

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО РАН  
НОВОСИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕСТВА ПОЧВОВЕДОВ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА

# ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Всероссийская научная  
конференция с международным  
участием, посвященная 55-летию  
Института почвоведения и  
агрохимии СО РАН



2–6 октября 2023 г.  
г. Новосибирск



## Сведения об издании

УДК 631.4

ББК 40.3

П65

DOI: [10.31251/conf1-2023](https://doi.org/10.31251/conf1-2023)

ISBN 978-5-6044070-4-2

ISBN 978-5-6044070-4-2



Рецензенты: д.б.н. Андроханов В.А., д.б.н. Сысо А.И.

Ответственный редактор: д.б.н. Якименко В.Н.

Компьютерная вёрстка: к.б.н. Гопп Н.В.

**Почвы и окружающая среда** [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (2–6 октября 2023 г., г. Новосибирск). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. 838 с. DOI: [10.31251/conf1-2023](https://doi.org/10.31251/conf1-2023)

В сборнике трудов Всероссийской научной конференции «Почвы и окружающая среда» представлены работы сотрудников научно-исследовательских и образовательных учреждений России и зарубежных стран. Цель конференции – обсуждение современных проблем и достижений почвоведения, агрохимии, экологии; обобщение информации о роли почвы в биосфере. Работа конференции проходила по восьми тематическим направлениям: 1. География, генезис и эволюция почв. Проблемы классификации почв и почвенное картографирование; 2. Плодородие почв и продуктивность агроценозов: теоретические и прикладные аспекты; 3. Почвенно-физические свойства и режимы; 4. Рекультивация и самовосстановление нарушенных земель; 5. Биогеохимические вопросы мониторинга, оценки и нормирования почв; 6. Почвы и почвенный покров в условиях изменения климата; 7. Биологическая продуктивность естественных и нарушенных экосистем: пространственно-временные аспекты; 8. Микробиоморфные комплексы в современных и древних почвах: сохранность, информативность, специфика.

Конференция позволила провести обмен мнениями специалистам различных профильных тематических направлений; ознакомиться с научно обоснованными подходами и представлениями в почвоведении, агрохимии и экологии; обсудить проблемы и перспективы рационального использования и сохранения почвенных ресурсов.

Сборник трудов предназначен для специалистов в области почвоведения, агрохимии, геоботаники, экологии, географии, сельского хозяйства и охраны окружающей среды.

*Ответственность за достоверность сведений, представленных в сборнике, несут авторы соответствующих материалов.*

© Авторы статей, 2023 г.

© ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 2023 г.

© Б.А. Смоленцев – автор фото на обложке сборника.

---

## Оглавление

Стр.

### Пленарные доклады

[10](#)

Титлянова А.А. Развитие теории биотического круговорота.....	<a href="#">10</a>
Сысо А.И. Биогеохимические критерии и нормативы оценки качества почв.....	<a href="#">14</a>
Соколов Д.А., Андроханов В.А. Эволюция представлений о почвах техногенных ландшафтов в работах сотрудников лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН.....	<a href="#">18</a>
Якименко В.Н. История образования ИПА СО АН СССР (СО РАН) и развития агрохимических исследований в институте.....	<a href="#">27</a>
Гамзиков Г.П. Фрагменты истории агрохимических исследований в ИПА СО РАН .....	<a href="#">36</a>
Буджапов Л.В. Кинетика процессов внутрипочвенной трансформации азота криоаридных почв Азиатской России: масштаб проявлений, активность микробного пула и прогнозные сценарии.....	<a href="#">41</a>
Убугунов Л.Л. Почвы и почвенный покров внутренней Азии: анализ результатов и перспективы исследований.....	<a href="#">44</a>
Лесовая С.Н. Почвы на плотных силикатных породах холодного сектора Евразии.....	<a href="#">49</a>

### Секция 1. География, генезис и эволюция почв. Проблемы классификации почв и почвенное картографирование

[52](#)

Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Матыченков Д.В., Шульгина С.В. Почвенное картографирование сельскохозяйственных земель Беларуси.....	<a href="#">52</a>
Аскерова Г.Ф. Экогеографические проблемы освоенных горно-лесных бурых почв Малого Кавказа... ..	<a href="#">55</a>
Аюшина Т.А., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д. Засоленные почвы Нижнеоронгойской котловины: морфология, свойства, геохимические особенности .....	<a href="#">58</a>
Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б. Общие параметры экологических ниш «особых» почв на южной границе криолитозоны Забайкалья.....	<a href="#">62</a>
Гопп Н.В. Цифровое картографирование агроэкологического потенциала западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции.....	<a href="#">66</a>
Гопп Н.В. Запасы органического углерода в почвах: обзор веб-сервисов, базы данных, методы картографирования.....	<a href="#">71</a>
Гопп Н.В. Цифровое картографирование плотности сложения почв западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции с использованием педотрансферной функции .....	<a href="#">74</a>
Гуркова Е.А., Контбойцева А.А. Подбуры Тувы: условия формирования, классификация и морфология.....	<a href="#">79</a>
Дорошенко Д.А., Никифоров А.Н., Гербер А.А. Катионно-анионный состав почв, почвенно-грунтовых и поверхностных вод озера Чаны.....	<a href="#">86</a>
Захарова Е.Г., Каллас Е.В. Неоднородность характеристик гумусовых профилей почв на территории северо-восточной части Приобского плато .....	<a href="#">89</a>
Иванова А.З. Почвы арктического острова Крестовский .....	<a href="#">94</a>
Инишева Л.И. Торфяная почва: определение, методы исследований .....	<a href="#">97</a>
Исмаилов Т.А., Жакеев Б.М. Почвы Жалал-Абадской области Кыргызской Республики .....	<a href="#">102</a>
Киселева Н.Д. Морфоаналитическая характеристика гипсоносных почв южного Приангарья.....	<a href="#">108</a>
Козлова А.А., Перфильев Д.В., Людвиг У.И., Николаев А.В. Проблемы генезиса, эволюции и классификации подтаежных почв южного Предбайкалья.....	<a href="#">113</a>
Костенко И.В., Новицкий М.Л. Оподзоленные почвы горного Крыма.....	<a href="#">116</a>
Кудинова В.И., Еремина У.В. Использование методов цифровой почвенной картографии в процессе обучения студентов почвоведов-агрохимиков .....	<a href="#">122</a>
Куклина С.Л., Воробьева Г.А., Кокорин Н.А. Следы криогенных процессов в почвах и отложениях ОАН «Стоянка «Мальта-Мост-3» (Южное Прибайкалье) .....	<a href="#">125</a>
Лигаева Н.А., Пономарева Т.В. Почвенный покров криолитозоны Красноярского края: состояние и перспективы исследований.....	<a href="#">128</a>
Мартынова Н.А., Гадалина Ю.А. Экологическая устойчивость почв Байкальской Сибири и основные стабилизационные механизмы их функционирования .....	<a href="#">132</a>
Мартынова Н.А., Жученко Н.А., Мартынова Д.О., Орхокова Е.А. Влияние литогенной основы почвообразующих пород на физико-химические свойства и генезис почв Прибайкалья .....	<a href="#">137</a>
Мартынова Н.А., Ливанова А.Д. Сравнительная оценка гумусного состояния почв Тункинской долины юго-западного Прибайкалья с использованием хемодеструкционного фракционирования органического вещества .....	<a href="#">142</a>
Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Перевощикова А.А. Свойства и классификация техногенных почв на территории Кизеловского угольного бассейна.....	<a href="#">147</a>
Михеева И.В. Системно-информационные закономерности основных компонентов почвенного покрова юга Западной Сибири .....	<a href="#">150</a>

<b>Пахорук И.В., Еремченко О.З.</b> Формирование солончаковых почв в долинах малых рек в условиях южной тайги .....	<a href="#">155</a>
<b>Попов В.В., Елизаров Н.В.</b> Геохимические особенности засоления почв северной части Кулундинской равнины .....	<a href="#">158</a>
<b>Родикова А.В., Кулижский С.П., Шипко Е.А.</b> Стратифицированные почвы склонов окрестностей Томска (Лоскутово) .....	<a href="#">161</a>
<b>Самофалова И.А.</b> Почвенное разнообразие тундровых и гольцовых ландшафтов на Среднем Урале... ..	<a href="#">165</a>
<b>Сапрыкин О.И., Соколова Н.А.</b> Изменение свойств текстурно-дифференцированных почв в связи с вовлечением в пашню .....	<a href="#">170</a>
<b>Смоленцев Б.А.</b> Морфогенетические особенности структуры почвенного покрова Притазовского Заполярья .....	<a href="#">175</a>
<b>Соболев Н.С., Герасимова М.И.</b> Сухоторфяно-литозёмы островных баров Тауйской губы.....	<a href="#">180</a>
<b>Спирина В.З., Малимон Д.В.</b> Современное состояние обыкновенных черноземов Егорлыкского района Ростовской области .....	<a href="#">184</a>
<b>Суханова Н.И., Кирюшин А.В.</b> Проблемы, возникающие при изучении действия фактора потока эндогенного водорода на почвенный покров .....	<a href="#">189</a>
<b>Сымпилова Д.П.</b> Особенности почвообразования темногумусовых почв и их классификационная принадлежность в ландшафтном экотоне тайга-степь в Селенгинском среднегорье.....	<a href="#">195</a>
<b>Убугунова В.И., Убугунов Л.Л., Ласточкин Е.И., Аюшина Т.А., Жамбалова А.Д., Ткачук Т.Е., Вишнякова О.В.</b> Степные почвы Торейского вулканического поля.....	<a href="#">198</a>
<b>Федченко Л.А., Пивоварова Е.Г.</b> Обоснование уровня экологического состояния агрогенных почв умеренно засушливой степи Алтайского края на основе региональных эталонов .....	<a href="#">202</a>
<b>Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В.</b> Эволюция засоленности чернозема под древесными культурами различного породного состава.....	<a href="#">207</a>
<b>Чевычелов А.П., Собакин П.И., Кузнецова Л.И.</b> Географо-генетические особенности почвообразования и разнообразие мерзлотных почв центральной Якутии.....	<a href="#">210</a>
<b>Шахматова Е.Ю.</b> Трансформация свойств ареносолей под влиянием пожаров различной интенсивности в сосновых лесах Западного Забайкалья .....	<a href="#">215</a>

## **Секция 2. Плодородие почв и продуктивность агроценозов: теоретические и прикладные аспекты**

[219](#)

<b>Аксенова Ю.В.</b> Состояние залежных земель и целесообразность их повторного введения в сельскохозяйственное производство.....	<a href="#">219</a>
<b>Васбиева М.Т., Завьялова Н.Е., Ямалтдинова В.Р.</b> Изменение численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов в почве при длительном сельскохозяйственном использовании пашни и применении удобрений.....	<a href="#">223</a>
<b>Вейнбендер А.А., Шулико Н.Н.</b> Численность протеолитической микрофлоры в ризосфере яровой пшеницы при бактериализации семян.....	<a href="#">228</a>
<b>Вейнбендер А.А., Шулико Н.Н.</b> Уреазная активность ризосферы сои при инокуляции семян.....	<a href="#">230</a>
<b>Волкова Е.Н.</b> Особенности изменения органического вещества в низинной торфяной почве различного сельскохозяйственного использования.....	<a href="#">232</a>
<b>Воровченко Т.А., Петрусев А.А., Валетова Е.А.</b> Агроэкологическая оценка состояния залежных земель Зырянского района Томской области.....	<a href="#">234</a>
<b>Галеева Л.П.</b> Сорбция и десорбция фосфора чернозёмом выщелоченным Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений под картофель.....	<a href="#">238</a>
<b>Гасанова Т.А.</b> Влияние основных биодиагностических показателей почв Гейчайского района на продуктивность агроценозов .....	<a href="#">242</a>
<b>Гусейнова Г.А.</b> Влияние рекреации на растительный покров южного склона Большого Кавказа .....	<a href="#">246</a>
<b>Даваев А.В., Гольдварг Б.А., Козырчук В.И.</b> Влияние биостимулятора роста «биотран» на урожайность озимого ячменя в аридных условиях центральной зоны Республики Калмыкия.....	<a href="#">248</a>
<b>Данилов В.П.</b> Сроки внесения азотных удобрений на люцерну в условиях лесостепной зоны Западной Сибири .....	<a href="#">253</a>
<b>Дегтярева Т.В.</b> Формирование микроэлементного состава почв под сельскохозяйственными угодьями Ставропольского края.....	<a href="#">260</a>
<b>Добрянская С.Л.</b> Оценка свойств залежи как потенциал для развития органического земледелия .....	<a href="#">264</a>
<b>Завьялова Н.Е.</b> Органическое вещество целинных и пахотных почв Среднего Предуралья .....	<a href="#">266</a>
<b>Занилов А.Х., Лешкенов А.М., Конова С.Р.</b> Влияние предпосевного обогащения почвы микроорганизмами на урожайность зерна кукурузы на фоне органо-минеральных систем удобрения... ..	<a href="#">271</a>
<b>Захарова О.Г., Чевычелов А.П.</b> Фосфатное состояние черноземов обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии .....	<a href="#">276</a>
<b>Каллас Е.В., Курдавилицев А.С.</b> Агрогенная трансформация лабильных форм гумусовых веществ в темно-серых почвах Томь-Яйского междуречья .....	<a href="#">280</a>
<b>Капустянчик С.Ю.</b> Влияние посадок мискантуса на свойства серой лесной супесчаной почвы .....	<a href="#">285</a>



<b>Колбин С.А., Ткаченко Г.И., Самохвалова Л.М.</b> Эффективность разных видов азотных удобрений на чернозёмах Новосибирского Приобья .....	<a href="#">291</a>
<b>Кузьмина Н.П., Ермолаева С.В., Чевычелов А.П.</b> Микробоценозы мерзлотных лугово-степных почв Центральной Якутии в экстремальных условиях засоления.....	<a href="#">297</a>
<b>Кылосова Н.В., Кондратьева М.А.</b> Оценка эрозионного смыва в агроландшафтах южной тайги.....	<a href="#">302</a>
<b>Мамедова А.С.</b> Факторы природного и антропогенного воздействия на орошаемых лугово-сероземных почвах Азербайджанской Республики.....	<a href="#">306</a>
<b>Матыченкова О.В., Азаренок Т.Н., Матыченков Д.В., Дыдышко С.В., Ананько Е.Д.</b> Агропроизводственный потенциал пахотных земель Беларуси для выращивания подсолнечника .....	<a href="#">309</a>
<b>Мезенцева Е.Г.</b> Плодородие среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях длительных дефицитных систем удобрения .....	<a href="#">314</a>
<b>Мудрых Н.М.</b> Адаптивно-ландшафтная система земледелия – основа формирования высокопродуктивных устойчивых агроландшафтов.....	<a href="#">319</a>
<b>Мусаева Г.М.</b> Оптимальные параметры плодородия сероземных почв Чуйской долины при возделывании зерновых культур.....	<a href="#">322</a>
<b>Некрасова О.А., Бетехтина А.А., Малахеева А.В., Черепанов С.А., Валдайских В.В.</b> Оценка влияния биоугля на физико-химические характеристики дерново-подзолистой почвы и рост пшеницы.....	<a href="#">328</a>
<b>Осипов А.И.</b> Проблемы химической мелиорации кислых почв и пути их эффективного решения .....	<a href="#">332</a>
<b>Прохоров И.С., Пирумова Л.Н., Царева М.В.</b> История публикаций новосибирских ученых в журнале «Агрохимический вестник» .....	<a href="#">336</a>
<b>Рамазанова Ф.М.</b> Причины положительного влияния промежуточных посевов кормовых культур на плодородие орошаемых лугово-сероземных почв Азербайджана .....	<a href="#">345</a>
<b>Сапожников П.М., Данилова Н.И.</b> Кадастровая стоимость агроландшафтов Новосибирской области .....	<a href="#">351</a>
<b>Сатыбалдин М.А., Яковлева Л.В.</b> Влияние лесомелиорации на химические свойства темно-каштановых почв Алгинского района Актюбинской области Республики Казахстан .....	<a href="#">356</a>
<b>Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Кирдун Т.М., Мачок Т.В.</b> Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от применяемых удобрений и способа их заделки на дерново-подзолистой супесчаной почве .....	<a href="#">362</a>
<b>Сидоренко М.Л., Клыкков А.Г.</b> Роль бактериальных препаратов в повышении почвенного плодородия и урожайности зерновых культур .....	<a href="#">366</a>
<b>Слепцова Т.В.</b> Эффективность обработки картофеля регулятором роста и микроудобрением на мерзлотно-пойменных почвах Якутии.....	<a href="#">368</a>
<b>Сорокин И.Б.</b> Проблемы известкования кислых почв на территории Томской области .....	<a href="#">373</a>
<b>Сорокина О.А.</b> Трансформация плодородия постагrogenных почв залежей при различном использовании .....	<a href="#">377</a>
<b>Ткаченко Г.И.</b> Проблемы почвенной диагностики фосфорного питания зерновых на чернозёмах Новосибирского Приобья .....	<a href="#">382</a>
<b>Трубников Ю.Н., Шпедт А.А.</b> Оценка и освоение залежных земель Приенисейской Сибири .....	<a href="#">385</a>
<b>Уланов А.К., Билтуев А.С.</b> Оценка каштановых почв Халютинской оросительной системы Республики Бурятия.....	<a href="#">390</a>
<b>Чебыкина Е.Ю., Абакумов Е.В., Низамутдинов Т.И., Поляков В.И.</b> Экологическое состояние и продуктивность залежных почв пригородов Санкт-Петербурга.....	<a href="#">395</a>
<b>Шарков И.Н.</b> Воспроизводство гумуса в сибирских черноземах при интенсификации технологии выращивания пшеницы.....	<a href="#">397</a>
<b>Шашко Ю.К., Юхновец А.В., Устинова А.М., Касьянчик С.А.</b> Методические подходы создания противоэрозионных комплексов на почвах пахотных земель Беларуси .....	<a href="#">402</a>
<b>Шевченко А.О., Тищенко С.А.</b> Изменение активности инвертазы в черноземах миграционно-сегрегационных при подтоплении .....	<a href="#">406</a>
<b>Шпедт А.А., Злотникова В.В.</b> Методика оценки природно-ресурсного потенциала деградированных почв в условиях мезорельефа .....	<a href="#">409</a>
<b>Шулико Н.Н.</b> Влияние применения биопрепаратов на интенсивность разложения целлюлозы в почве под посевом пшеницы .....	<a href="#">414</a>
<b>Якименко В.Н.</b> Проблема калия в земледелии Сибири .....	<a href="#">417</a>
<b>Якименко В.Н.</b> Фиксирующая способность серой лесной среднесуглинистой почвы в отношении магния и калия .....	<a href="#">422</a>
<b>Якутин М.В., Андриевский В.С.</b> Трансформация почвенного зоо-микробиального комплекса в процессе эволюции аласных почв Центральной Якутии .....	<a href="#">427</a>
<b>Якутина О.П.</b> Фракционный состав минерального фосфора почв расчлененной территории Западной Сибири и его изменение под влиянием водной эрозии .....	<a href="#">431</a>

### Секция 3. Почвенно-физические свойства и режимы

434

<b>Алексеев А.А., Чевычелов А.П., Горохов А.Н., Кузнецова Л.И.</b> Техногенная трансформация мерзлотных лугово-чернозёмных почв в придорожной полосе автотрассы Якутск-Покровск.....	434
<b>Анциферова О.А.</b> Многолетний мониторинг режима влажности почв в условиях контрастного почвенного покрова холмисто-моренных агроландшафтов на западе Русской равнины .....	439
<b>Бардашов Д.Р., Смирнова М.А., Лозбенев Н.И., Филь П.П.</b> Многолетняя динамика и индикаторы гидроморфизма полугидроморфных почв западных комплексов Тамбовской лесостепи.....	442
<b>Волокитин М.П.</b> Агрофизические свойства и режим влажности серых почв северной лесостепи .....	445
<b>Дыдышко С.В., Азарёнок Т.Н., Матыченкова О.В.</b> Применение показателей кислотно-основной буферности и гранулометрического состава в оценке агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв .....	449
<b>Кравцов Ю.В.</b> Многолетняя динамика уровня грунтовых вод в почвах Ишимской степи .....	454
<b>Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С.</b> Основные итоги фундаментальных и прикладных почвенно-физических исследований Западной Сибири и юго-восточного Алтая .....	458
<b>Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С., Соловьев С.В., Миллер Г.Ф., Безбородова А.Н., Мамаш Е.А., Пестунов И.А.</b> Исследование температурных полей орошаемых и посторошаемых почв Чуйской котловины Республики Алтай на основе временных рядов наземного и спутникового температурного мониторинга.....	462
<b>Лопатовская О.Г.</b> Некоторые свойства почв около минеральных источников Предбайкалья .....	467
<b>Макарьчев С.В.</b> Водно- и теплофизическое состояние серой лесной почвы разного гранулометрического состава .....	471
<b>Огородняя С.А.</b> Методические аспекты физического обеспечения математических моделей движения влаги в почве .....	476
<b>Рюмин М.Б.</b> Влияние нефтяного загрязнения на некоторые физические свойства почв .....	480
<b>Синюткина А.А., Гашкова Л.П.</b> Пространственная неоднородность влажности торфа осушенных и выгоревших верховых болот в пределах подзоны южной тайги Западной Сибири .....	482
<b>Человечкова А.В., Комиссарова И.В.</b> Моделирование водно-физических свойств с применением цифровых технологий.....	485
<b>Чурагулова З.С.</b> О деградации лесных почв Республики Башкортостан .....	489

### Секция 4. Рекультивация и самовосстановление нарушенных земель

494

<b>Алемасова В.А., Ахметова А.Д., Двуреченский Д.В.</b> Почвенно-экологический статус Заельцовского бора в г. Новосибирск.....	494
<b>Ахмедова Л.А.</b> Меры по борьбе с антропогенной деградацией почв Аджинохурского низкогорья Азербайджанской Республики.....	497
<b>Бакина Л.Г., Чугунова М.В., Герасимов А.О., Капелькина Л.П.</b> Начальные процессы формирования почв в шламовых амбарах Западной Сибири .....	499
<b>Бауэр Т.В., Поляков В.А., Рудь П.А., Бутова В.В., Грицай М.А., Минкина Т.М.</b> Разработка нанокompозита на основе биочара и MIL-100(Fe) для ремедиации почв, загрязненных медью .....	501
<b>Беланов И.П., Степанова М.В.</b> Нефтепродукты в почвах мест длительного складирования снежных масс.....	505
<b>Беспалов А.Н.</b> Особенности восстановления энтомоценозов (на примере жуков-жужелиц ( <i>Coloeptera, carabidae</i> )) на каменноугольных отвалах в лесостепной зоне Западной Сибири .....	509
<b>Богородская А.В.</b> Посттехногенные сукцессии микробоценозов почвогрунтов и опыт их ремедиации на примере отвалов угольных разрезов восточной части Канско-Ачинского бассейна .....	511
<b>Глянцева Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Львова О.С.</b> Самовосстановление мерзлотных почв, нарушенных в результате аварийного разлива нефти .....	515
<b>Госсен И.Н.</b> Формирование растительного покрова на различных субстратах отвалов на участках лесной рекультивации .....	519
<b>Двуреченский В.Г.</b> Рекультивация почв с экологической точки зрения концепции устойчивого развития .....	523
<b>Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Миннегалиев А.О., Юркевич М.Г., Бахмет О.Н.</b> Создание почвогрунтов на основе лигносульфоната натрия и материала отвалов карьера .....	527
<b>Игловиков А.В.</b> Роль живого напочвенного покрова в сохранении вечной мерзлоты .....	529
<b>Каракульева А.А., Самофалова И.А.</b> Особенности формирования почв на отвалах Кизеловского угольного бассейна.....	532
<b>Ковалева Е.И., Исакова С., Перебасова П., Трофимов С.Я.</b> Эффективность мероприятий по ремедиации нефтезагрязненных почв земель особого землепользования в условиях южной тундры.....	536
<b>Козьменко С.В., Бурачевская М.В., Переломов Л.В., Федоренко Е.С.</b> Влияние монтмориллонита модифицированного сунаталом на рост и динамику численности почвенных олиготрофных микроорганизмов .....	540



<b>Кречетов П.П., Шарапова А.В., Касимова Д.А., Черницова О.В.</b> Рекультивированные отвалы как депонирующая среда актуального и отложенного углеродного следа .....	<a href="#">543</a>
<b>Матвеева Д.А., Соколов Д.А., Гуркова Е.А.</b> Морфологическая диагностика почв Горловского антрацитового месторождения .....	<a href="#">548</a>
<b>Моторин А.С., Денисов А.А.</b> Влияние агромелиорантов на агрохимические свойства и питательный режим песчаного грунта в лесотундровой зоне крайнего севера .....	<a href="#">552</a>
<b>Петров А.И., Залесов С.В.</b> Потенциальная продуктивность дражных отвалов для искусственного лесоразведения.....	<a href="#">556</a>
<b>Петрова Т.А., Некрасова О.А., Учаев А.П.</b> Гумус молодых почв лесных сообществ золоотвалов Среднего Урала .....	<a href="#">558</a>
<b>Подурец О.И.</b> Исследование начальных процессов почвообразования в техноземах Кузнецкой экологической тропы .....	<a href="#">562</a>
<b>Поляк Ю.М., Бакина Л.Г.</b> Оценка биоразнообразия микробоценозов нефтезагрязненных почв на разных этапах их восстановления .....	<a href="#">565</a>
<b>Пономарёва Т.В., Пономарёв Е.И.</b> Почвообразование на отвалах в районах карьерной добычи золота в среднетаежной зоне Красноярского края .....	<a href="#">568</a>
<b>Пуятин Ю.В., Богдевич И.М., Станилевич И.С.</b> Влияние климатических условий вегетационных периодов на доступность радионуклидов <sup>137</sup> Cs и <sup>90</sup> Sr сельскохозяйственным культурам .....	<a href="#">571</a>
<b>Середина В.П., Носова М.В.</b> Теоретические аспекты рекультивации нефтесолевого загрязнения почв .....	<a href="#">575</a>
<b>Скотарева А.Е., Соколов Д.А.</b> Специфика сукцессии фитоценозов на отвалах плотных осадочных пород (на примере Горловского антрацитового месторождения).....	<a href="#">578</a>
<b>Сутурин А.Н.</b> Создание комплементарных искусственных почво-грунтов для рекультивации антропогенно-нарушенных территорий.....	<a href="#">583</a>
<b>Тюрюков А.Г.</b> Особенности проведения биологической рекультивации на севере Ямало-Ненецкого автономного округа.....	<a href="#">587</a>
<b>Фомина Н.В., Патрушева М.М.</b> Микологическая ремедиация: возможности и перспективы .....	<a href="#">591</a>
<b>Khodjaeva Z.F., Rashidov N.E.</b> Reducing soil mineralization using dengizkul collector waters.....	<a href="#">595</a>
<b>Хронюк О.Е., Бауэр Т.В., Минкина Т.М., Болдырева В.Э.</b> Синергетический эффект совместного пиролиза осадков сточных вод и лигнинсодержащей биомассы на свойства биочара и его адсорбционная способность по отношению к тяжелым металлам .....	<a href="#">599</a>
<b>Щемелева Г.В., Соколов Д.А., Дьяконов Д.А.</b> Оценка состояния систем органических веществ почв отвалов антрацитовых месторождений .....	<a href="#">604</a>

## **Секция 5. Биогеохимические вопросы мониторинга, оценки и нормирования почв**

[609](#)

<b>Барановская Н.В., Паничев А.М., Середкин И.В., Соктоев Б.Р., Агеева Е.В., Жорняк Л.В., Макаревич Р.А.</b> Об уникальной редкоземельной специфике системы «почва-растения-животные» на территории Приморского края .....	<a href="#">609</a>
<b>Боев В.А., Нагибин М.Е., Горских А.В.</b> Подвижные формы меди и свинца в почвах лесопарка «Затюменский» города Тюмень.....	<a href="#">613</a>
<b>Букин А.В.</b> Содержание и профильное распределение кадмия в пойменных почвах лесостепной зоны Зауралья .....	<a href="#">618</a>
<b>Бурачевская М.В., Минкина Т.М., Федоренко Е.С., Лацынник Е.С., Щербаков А.П.</b> Влияние свойств почв на трансформацию свинца с использованием фракционно-группового состава его соединений.....	<a href="#">623</a>
<b>Евстегнеева Н.А., Колесников С.И.</b> Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного в условиях загрязнения таллием .....	<a href="#">627</a>
<b>Ермолов Ю.В.</b> Поступление меди и никеля на поверхность почв Норильской долины на участке максимального пылеэрозольного загрязнения выбросами металлургических заводов .....	<a href="#">629</a>
<b>Капелькина Л.П.</b> Особенности нормирования загрязняющих веществ в почвах .....	<a href="#">632</a>
<b>Колесников С.И.</b> Сравнительная оценка экотоксичности химических элементов .....	<a href="#">635</a>
<b>Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А.</b> Некоторые закономерности содержания и распределения брома в почвах отдельных регионов Западной Сибири.....	<a href="#">637</a>
<b>Кузина А.А., Гайворонский В.Г., Колесников С.И.</b> Влияние дизельного топлива на биологические свойства чернозема остаточно-карбонатного Крыма .....	<a href="#">641</a>
<b>Ляпина Е.Е., Перегудина Е.В.</b> Токсичные элементы в поверхностной составляющей почв Южной Сибири.....	<a href="#">643</a>
<b>Мартынова Н.А., Жученко Н.А., Мартынова Д.О.</b> Биогеохимические особенности и свойства почв горно-долинных ландшафтов Прибайкалья Байкальской рифтовой зоны в аспекте оценки их почвенно-экологического потенциала.....	<a href="#">648</a>

<b>Сайранова П.Ш., Еремченко О.З.</b> Оценка устойчивости псаммоземов природно-рекреационной зоны г. Перми к загрязнению тяжелыми металлами.....	<a href="#">653</a>
<b>Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г.</b> Биогеохимический мониторинг городских экосистем с использованием показателей наземного детрита .....	<a href="#">656</a>
<b>Сидоренко М.Л., Тимофеева Я.О., Мартыненко Е.С.</b> Распределение культивируемых аэробных Fe- и Mn-окисляющих бактерий в Fe-Mn ортштейнах сформированных в зоне с минимальной техногенной нагрузкой .....	<a href="#">660</a>
<b>Синдирева А.В., Чистякова Н.Ф., Гурьев Н.Е., Ткаченко Н.С.</b> Влияние геолого-геоморфологических факторов на распределение селена в компонентах окружающей среды.....	<a href="#">663</a>
<b>Синдирева А.В., Котченко С.Г., Елизаров О.И.</b> Факторы, влияющие на содержание меди и цинка в почвах юга Тюменской области .....	<a href="#">668</a>
<b>Сиромля Т.И.</b> К вопросу о биогеохимических коэффициентах.....	<a href="#">673</a>
<b>Собакин П.И., Чевычелов А.П., Горохов А.Н.</b> Радиометрическое картирование почвенного покрова в условиях техногенного загрязнения .....	<a href="#">675</a>
<b>Степанова М.В., Сысо А.И., Соколов Д.А.</b> Экологическая оценка содержания тяжелых металлов в почвах пойм Норильского промышленного района .....	<a href="#">678</a>
<b>Тимофеева Я.О.</b> Тяжелые металлы и литофильные элементы в железо-марганцевых ортштейнах почв юга Дальнего Востока .....	<a href="#">682</a>
<b>Тютиков С.Ф., Ермаков В.В., Данилова В.Н.</b> Способ выявления техногенной составляющей загрязнения почвогрунтов молибденом и вольфрамом.....	<a href="#">687</a>
<b>Хомяков Д.М.</b> Биогеохимические аспекты мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения.....	<a href="#">690</a>
<b>Цепина Н.И., Колесников С.И.</b> Оценка экотоксичности нано- и микрочастиц серебра по активности дегидрогеназ чернозема обыкновенного .....	<a href="#">695</a>
<b>Черникова Н.П., Чаплыгин В.А., Манджиева С.С., Барахов А.В., Лацынник Е.С., Минкина Т.М., Брень Д.В., Сиромля Т.И., Литвинов Ю.А.</b> Содержание тяжелых металлов в почвах вблизи электростанции.....	<a href="#">697</a>

## **Секция 6. Почвы и почвенный покров в условиях изменения климата** [700](#)

<b>Бажина Н.Л., Дергачева М.И.</b> Коррелятивные связи основных параметров флуоресценции гуминовых кислот тундровых почв Тувы с условиями климата.....	<a href="#">700</a>
<b>Дергачева М.И.</b> Гумусовая составляющая почв в меняющемся климате.....	<a href="#">705</a>
<b>Жамбалова А.Д., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Аюшина Т.А., Ткачук Т.Е.</b> Динамические и статические свойства приозерных почв хлоридного засоления в аридные и гумидные климатические фазы .....	<a href="#">707</a>
<b>Низамутдинов Т.И., Поляков В.И., Шевченко Е.В., Макарова М.В., Абакумов Е.В.</b> Разнообразие почв проектируемого карбонового полигона «Ладога» (Ленинградская область).....	<a href="#">711</a>
<b>Поляков В.И., Абакумов Е.В.</b> Оценка стабилизации органического вещества криогенных почв дельты реки Лены с помощью <sup>13</sup> C ЯМР спектроскопии .....	<a href="#">714</a>
<b>Решоткин О.В., Алябина И.О.</b> Температурный режим почв юга Западной Сибири в условиях меняющегося климата.....	<a href="#">717</a>
<b>Смоленцева Е.Н., Сапрыкин О.И.</b> Отражение климатических ритмов голоцена в почвах озёрных котловин степного биома Западной Сибири.....	<a href="#">721</a>
<b>Сычева С.А., Пушкина П.Р.</b> Эволюция рышковских палеопочв в микулинское межледниковье (127–117 тыс. лет) по результатам изучения палеокатен в Александровском карьере - 2011, Курская область .....	<a href="#">725</a>
<b>Устинова А.М., Цырибко В.Б., Логачев Л.А., Митькова А.А.</b> Группировка почв Гомельского района по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям.....	<a href="#">727</a>
<b>Учаев А.П., Некрасова О.А., Дергачева М.И., Бажина Н.Л.</b> Гумусовый профиль среднеплейстоценовых отложений на Южном Урале .....	<a href="#">732</a>
<b>Федоров-Давыдов Д.Г., Остроумов В.Е., Давыдов С.П., Лупачев А.В.</b> Температурный режим почв северной Якутии: отклик на глобальное потепление .....	<a href="#">735</a>
<b>Федотова А.В., Яковлева Л.В., Спасенков Э.В.</b> Изменение состояния аридных почв юга России в условиях засоления и опустынивания.....	<a href="#">738</a>
<b>Филиппов Н.В., Десяткин Р.В.</b> Постагrogenные почвы начальных стадий аласообразования – былларов на территории Лено-Амгинского междуречья (с. Чурапча).....	<a href="#">741</a>
<b>Шейнкман В.С., Седов С.Н.</b> Палеопочвы севера Западной Сибири как информативная летопись природной среды в квартере и компонент современности .....	<a href="#">746</a>



## Секция 7. Биологическая продуктивность естественных и нарушенных экосистем: пространственно-временные аспекты

752

- Ахметзянова Р.Р., Силаев М.В., Ежелев З.С., Белов А.А. Изменение физических, химических и биологических свойств урбанозема при использовании различных мульчирующих субстратов..... [752](#)
- Вишнякова О.В., Убугунов В.Л., Лаврентьева И.Н., Болонева Л.Н., Убугунов Л.Л. Изменение продуктивности степных экосистем Западного Забайкалья при антропогенном воздействии..... [755](#)
- Дюкарев А.Г., Климова Н.В., Копысов С.Г., Никифоров А.Н., Чернова Н.А. Сукцессионная динамика почв и напочвенного покрова в темнохвойных лесах на юге таёжной зоны Западной Сибири..... [757](#)
- Жуйкова Т.В., Гордеева В.А., Мелинг Э.В., Безель В.С., Голоушкина Е.В. Изменение фитомассы травяных сообществ в ходе восстановительной сукцессии на агроземах и техноземах ..... [762](#)
- Копысов С.Г., Елисеев А.О. Гидролого-климатически обусловленная продуктивность экосистем юго-востока Западной Сибири..... [767](#)
- Коронатова Н.Г. Межгодовая вариабельность роста и продуктивности сфагновых мхов бакчарского болота..... [769](#)
- Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Вишнякова Е.К. Продукционно-деструкционные процессы в рьях юга Западной Сибири..... [771](#)
- Кудреватых И.Ю., Калинин П.И., Алексеев А.О. Продуктивность и химический состав растений как фактор изменения геохимических свойств степных экосистем при аридизации..... [775](#)
- Мартынова Н.А. Биоразнообразие и биологическая продуктивность почв естественных фосфоритоносных ландшафтов высотных поясов Прихубсугулья (Монголии) Байкальской рифтовой зоны и их эколого-функциональные особенности..... [779](#)
- Никифоров А.Н., Бисирова Э.М., Чернова Н.А. Динамичность почвообразования в пихтовых лесах Томской области с признаками биогенных сукцессий ..... [784](#)
- Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Продуктивность лугов аласных экосистем Лено-Амгинского междуречья ..... [787](#)
- Никонова Л.Г., Калашникова Д.А., Головацкая Е.А., Симонова Г.В. Деструкция растений-торфообразователей на начальных этапах разложения в условиях ненарушенных и постпирогенных торфяников Западной Сибири..... [790](#)
- Припутина И.В., Фролов П.В., Шанин В.Н., Быховец С.С. Моделирование динамики и вариабельности распределения запасов углерода и азота в лесных почвах ..... [795](#)
- Тертышная Ю.В., Попов А.А. Продуктивность почв в условиях активного применения полимерных агроматериалов ..... [798](#)
- Чепурнова М.А., Кадулин М.С. Влияние почвенных свойств на функциональное разнообразие растительных сообществ субальпийского пояса ..... [802](#)

## Секция 8. Микробиоморфные комплексы в современных и древних почвах: сохранность, информативность, специфика

806

- Алексейцева В.В. Особенности палинологического изучения пещерных археологических объектов... [806](#)
- Гольева А.А. Возможности и ограничения определения древних агроценозов на основе фитолитного анализа ..... [809](#)
- Гольева А.А., Седов С.Н., Соллейро Э., Диас Х. Фитолитные индикаторы древней антропогенной трансформации темноцветных тропических почв Мексики..... [814](#)
- Дружинина О.А., Гольева А.А. Микробиоморфный анализ в изучении пионерных ландшафтов позднеледниковья юго-восточной Прибалтики..... [819](#)
- Занина О.Г. Криогенное преобразование биогенного кремнезёма в модельных экспериментах..... [821](#)
- Котов С.Д., Соломонова М.Ю., Сперанская Н.Ю. Изменчивость морфометрических характеристик фитолитов *Dactylis glomerata* l. в различных климатических условиях ..... [825](#)
- Лада Н.Ю. Индикаторные формы фитолитов злаков в почвах Кулунды ..... [828](#)
- Соломонова М.Ю., Сперанская Н.Ю., Силантьева М.М. Ценогическая специфичность морфотипа фитолитов *Crenate* в поверхностных почвах фитоценозов северного и западного Алтая ..... [831](#)
- Сыренжапова А.С., Убугунов Л.Л., Абидуева Е.Ю. Разнообразие почв и микробиоморфные комплексы засоленных почв приозерных понижений юго-восточного Забайкалья ..... [834](#)

**\*\*\* ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ \*\*\***

УДК 631.42

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ БИОТИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА**

**А.А. Титлянова**

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [argenta@issa-siberia.ru](mailto:argenta@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены абиогенные и биогенные процессы в ряду травяных экосистем, расположенных на катене в Барабинской низменности (Новосибирская обл.) Показано, что чем ближе к стационарному состоянию экосистема, тем меньшую роль играют в ней абиотические процессы. С запада на восток ( $36^{\circ}$ – $116^{\circ}$  в.д.) чистая первичная продукция уменьшается с 37,0 до 16 т/га в год.

**Ключевые слова:** чистая первичная продукция, биотический круговорот, сукцессии.

1. Теория о биотическом (биологическом) круговороте, о его преобразующей роли в биосфере была создана В.И. Вернадским. Одними из основных понятий теории биотического круговорота является чистая первичная продукция экосистемы.

Продукция – это то количество вещества, которое создается фитоценозом конкретной экосистемы за определенное время (год). Чистая первичная продукция представляет собой разницу между полной продукцией и дыханием фитоценоза.

Обозначим понятие «чистая первичная продукция» NPP (net primary production). NPP состоит из надземной (above-ground net production – ANP) и подземной (below-ground net production – BNP) продукции экосистемы.

К 60-м годам прошлого столетия методики, дающей возможность определить величину NPP, ANP и BNP, не имелось. Мною был предложен полевой метод определения ANP и BNP, основанный на балансовых уравнениях, связывающий все компоненты экосистемы. Опыт, по определению данных величин, был проведен на стационаре «Карачи» (ИПА, Новосибирская обл.) В период 1969–1971 гг. проводились измерения необходимых величин во многих повторностях. Сходимость оценок продукций была достаточно высокой, но полная оценка NPP требовала много времени и усилий. В связи с этим был предложен метод минимальной оценки продукции, что уменьшало количество работы в 2 раза. На стационаре «Карачи» для трех экосистем (луговая степь, мезофитный луг, травяное болото) были получены истинные величины ANP и BNP. Для других экосистем – минимальные оценки. Исследования проводились на катене (склон гривы).

В любой экосистеме идут процессы как линейного перемещения вещества (абиотические), так и круговоротные (биотические) процессы. Абиотические процессы изучались группой сотрудников ИПА под руководством профессора Н.И. Базилевич. Биотические процессы — группой студентов НГУ под руководством доцента А.А. Титляновой. Из *входных абиотических процессов* учитывались: поступление химических элементов с атмосферными осадками; с водами поверхностного стока; с водами внутрипочвенного бокового стока и поступление химических элементов из подпочвы в почву с восходящими капиллярными растворами. *Выходные абиотические процессы:* вынос химических элементов из почвы с водами поверхностного стока; с водами внутрипочвенного бокового стока и вынос химических элементов из почвы в подпочву с нисходящими гравитационными растворами. Сумма интенсивностей абиотических входных потоков будет охватывать общий вход абиотических потоков в ту или иную экосистему, а суммой интенсивностей абиотических выходных потоков является общий выход абиотических потоков.

Процессом поступления углерода в фитоценоз будем считать фотосинтез за вычетом дыхания растений, процессом поступления азота и суммы минеральных элементов – поглощение их подземными органами растений из почвы. Тогда интенсивность биотического процесса для углерода будет равна чистой первичной продукции фитоценоза, а для азота и минеральных элементов – поглощение химических веществ корнями растений из почвы.

Показателем абиотичности для углерода (для входных процессов) будет отношение суммы абиотических потоков, деленной на чистую первичную продукцию; показателем абиотичности для выходных процессов будет сумма выхода абиотических потоков, деленной на чистую первичную продукцию.



Соответственно для азота показатель абиотичности равен входу абиотических потоков, деленных на поглощение азота корнями растений из почвы; для выходных процессов – равен общему выходу абиотических потоков, деленному на поглощение азота корнями растений из почвы.

**Чем ближе к стационарному состоянию биогеоценоз, тем более замкнутым становится его биологический круговорот, и тем меньшую роль в миграции играют абиотические процессы.** Климатические биогеоценозы характеризуются наибольшей замкнутостью биологического круговорота и наименьшей степенью абиотичности [1].

2. Данные о величинах надземной и подземной продукции, полученные на стационаре «Карачи», явились очень интересными характеристиками круговорота, но не стали общими характеристиками для аналогичных или близких экосистем, расположенных в других географических точках. Требовалось провести оценки этих величин по созданной методике (минимальная оценка). Были выбраны четыре степи, на заповедных участках которых проводилось определение величин ANP и BNP травостоев (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика продукционного процесса в различных травяных экосистемах

Тип экосистемы	Стрелецкая степь	Настоящая степь (верхняя часть склона)	Настоящая степь (вершина холма)	Луговые степи (вершина гривы)	Солонцеватая степь (вершина гривы)	Остепненный луг (верхняя часть склона гривы)	Настоящая степь (средняя часть южного склона)	Настоящая степь (южный склон)	Настоящая степь (северный склон)
Координаты	51° с.ш., 36° в.д	50° с.ш., 70° в.д	50° с.ш., 70° в.д	54° с.ш., 75° в.д	54° с.ш., 75° в.д	54° с.ш., 75° в.д	53° с.ш., 91° в.д	50° с.ш., 116° в.д	50° с.ш., 116° в.д
Местоположение	Курская область	Казахстан, Шортанды	Казахстан, Шортанды	Барабинская низменность, Карачи	Барабинская низменность, Карачи	Барабинская низменность, Карачи	Хакасия, Койбальская степь	Забайкалье, Харанор	Забайкалье, Харанор
Почва	Чернозем типичный тяжело-суглинистый	Лугово-черноземная	Чернозем карбонатный	Чернозем обыкновенный	Лугово-степной средний солонец	Лугово-степной глубокий солонец	Чернозем южный солонцеватый	Чернозем мучнисто-карбонатный солонцеватый	Чернозем мучнисто-карбонатный маломощный
ANP т/(га*год)	10,2	3,8	2,3	3,6	2,8	4,2	3,6	2,5	1,5
BNP т/(га*год)	26,8	23,1	15,9	18,3	23,5	20,0	11,6	17,5	14,4
NPP т/(га*год)	37,0	26,9	18,2	21,9	26,3	24,2	15,2	20,0	15,9
Отношение BNP/ANP	2,6	6,1	6,9	5,1	8,4	4,8	3,2	7,0	9,6

С запада на восток по мере увеличения континентальности климата величина ANP снижается почти в 7 раз; BNP – почти в 2 раза; величина NPP – в 2,3 раза. Однако снижение продукции не является равномерным. Так в Казахстане на вершине холма происходит снижение ANP, что связано с неблагоприятными свойствами почвы (чернозем карбонатный) и потерей воды за счет ее стекания в нижележащие экосистемы. Незакономерное увеличение продукции наблюдается в Барабинской низменности на склоне гривы в связи с дополнительной влажностью, стекающей сверху. Увеличение влажности меняет и свойства почвы, фитоценоз расположен на лугово-степном солонце и имеет более высокую величину ANP по

сравнению с фитоценозами, лежащими на вершине гряды. В самой восточной части рассматриваемого градиента величина ANP больше на южном склоне, по сравнению с северным склоном той же самой сопки. Следовательно, на величину ANP влияет не только климат, но и положение экосистемы в рельефе, с чем связано дополнительное увлажнение, а также повышенная инсоляция.

Характер изменения BNP не соответствует характеру изменения ANP. Повышению ANP может соответствовать понижение BNP, а понижению ANP – повышение BNP. Мы не находим видимой причины изменения величины BNP.

В целом величина NPP падает при движении с запада на восток. Ее изменение определяется изменением величины BNP, поскольку BNP больше ANP в 5 раз. Введем величину отношения BNP к ANP (табл.1). Данное отношение увеличивается с запада на восток от 2,6 до 9,6. Следовательно, *чем жестче условия произрастания растений, тем больше требуется живых корней для потребления воды и питательных элементов, обеспечивающих рост надземной фитомассы* [2].

3. Для описания продукционного процесса в различных климатических зонах и на различных континентах был собран обширный литературный материал, включающий потребление питательных элементов (N, P, K, Ca). Были проанализированы процессы: создание продукции, потребление элементов питания и их бюджет в лесных и не лесных экосистемах. Включались все типы лесов: от мелколесий субарктических зон вплоть до высокоствольных тропических лесов Амазонии. Рассматривались так же не лесные экосистемы — тундры, болота, луга, степи, прерии, кустарниковые экосистемы (табл. 2).

Таблица 2. Количество рассмотренных экосистем

Континент	Количество экосистем		Всего
	Лесные	Не лесные	
Европа	18	20	38
Азия	32	38	70
Северная Америка	19	12	31
Южная Америка	9	9	18
Африка	13	9	22
Австралия и Океания	20	10	30
По всем континентам	111	98	209

Анализ материала показал, что во всех экосистемах идут одни и те же процессы. Для углерода: фотосинтез, дыхание, рост и отмирание тканей растений, их минерализация. Для элементов питания (N, P, K, Ca, Na и др.) осуществляются следующие процессы: *потребление корнями для формирования NPP; транслокация из корней в надземные органы; вымывание осадками или перехват элементов из дождевых вод кронами; ретранслокация из стареющих тканей в растущие; выделение экссудатов корнями; возврат в подстилку и почву (с наземным опадом, с корнепадом); закрепление в истинном приросте; минерализация (подстилки, подземной мортмассы); освобождение при минерализации (подстилки, подземной мортмассы).*

В любой экосистеме осуществляется всего 20 процессов биотического круговорота. В то же время, количество видов растений чрезвычайно высоко: так на площади в 1 м<sup>2</sup> луговой степи сосуществуют от 30 до 80 различных видов растений. *Небольшое число обменных процессов и громадное число различных форм растительности создают все многообразие экосистем Земной поверхности* [3].

4. Сотрудники лаборатории биогеоценологии изучали различные типы сукцессий: с 1984 по 1989 г. – на отвалах угольной промышленности (Красноярский край); с 1998 по 2010 г. – в травяных экосистемах Тывы. Сукцессия – это направленные во времени изменения отдельных компонентов и всей экосистемы в целом. Изучались как первичные, так и вторичные сукцессии растительности.



Установлено, что первичная сукцессия делится на несколько этапов. 1 этап. Заселение открытой поверхности происходит мгновенно. Ветер приносит пыльцу, семена растений, бактерии, споры грибов, представителей микро- и нано- фауны. Начинается развитие растительного сообщества, в которое входят виды из разных экосистем. Этап длится около 10 лет. На втором этапе складывается зональное сообщество растений (10–15 лет). 3 этап. Полностью формируется структура растительного вещества. Органическое вещество почвы начинает формироваться уже на первом этапе и продолжается столетиями.

Вторичные сукцессии разнообразны, и обычно создаются человеком. В Тыве были изучены следующие сукцессии: первичная – самозаращение техногенных отвалов; вторичные – затопление прибрежных экосистем; пастбищная; пирогенная; залежные сукцессии. В каждой сукцессии на ряду со сменой видов проявляется самоподдержание и самоорганизация. *Самоподдержание* – это выживание отдельных видов терминального сообщества в самых неблагоприятных условиях и практически на всех стадиях сукцессии. *Самоорганизация* – это постепенное построение или переустройство всех систем биогеоценоза, движущегося к терминальному состоянию. ***Механизмом самоорганизации, по нашему мнению, является сетевая структура биотического круговорота.*** Каждая клетка сети – это круговорот вещества в определенной экосистеме. Между определенной ячейкой сети и окружающими ее другими ячейками (круговороты в соседних экосистемах) происходит непрерывный обмен веществом и энергией. Благодаря ветру осуществляется обмен пылью, семенами, спорами грибов и пр. между различными экосистемами. Огромную роль в обменных процессах играют животные. Так многие животные поедают траву в одной экосистеме, оставляют мочу и кал в другой, а погибают – в третьей. Мелкие беспозвоночные передвигаются из одной экосистемы в другую, включаясь в различные круговороты. Особенно велико перемещение животных в подземных ярусах экосистемы (дождевые черви, кроты и др.) Перемещаясь по экосистемам, растения, за счет семян и пыльцы; животные – за счет поедания и фекалий; почвенные беспозвоночные – прокладывая ходы, лабиринты из ходов, включаются в круговороты разных экосистем. Путей перемещения вещества из круговорота одной экосистемы в круговорот другой чрезвычайно много. Круговороты разных экосистем соприкасаются и частично совмещаются. В целом, картина круговорота вещества выглядит не кольцом с входом и выходом, а сетью. Однако на сегодняшний день мы практически ничего не знаем о сетевой структуре круговорота, но она выглядит более реальной, чем кольцевая [4].

#### Литература

1. Титлянова А.А., Базилевич Н.И. Функциональная модель обменных процессов // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Том 2. Биогеоценологические процессы. Новосибирск: Наука, 1976. С. 449–467.
2. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытко В.А. и др. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1988. 134 с.
3. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 376 с.
4. Титлянова А.А., Самбуу А.Д. Сукцессии в травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 191 с.

#### DEVELOPMENT OF BIOTIC TURNOVER THEORY

A.A. Titlyanova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, argenta@issa-siberia.ru

*Summary. Abiogenic and biogenic processes in grasslands located on the Catena in the Barabinsk lowland (Novosibirsk region) are considered. It is shown that the closer an ecosystem is to a stationary state, the less role abiotic processes play in it. From west to east (36–116°E) net primary production decreases from 37,0 to 16 t/ha per year.*

*Keywords: net primary production, biotic cycle, succession.*

УДК 631.48

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И НОРМАТИВЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВ

А.И. Сысо

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [syso@mail.ru](mailto:syso@mail.ru)

**Аннотация.** Проанализированы значения величин критериев и нормативов агрохимической, санитарной и биогеохимической оценки качества почвы, опыт их использования. Для комплексной и разносторонней оценки качества почв по широкому перечню показателей их свойств и состава, почвенного покрова территория предложено развивать биогеохимическое направление нормирования качества почв.

**Ключевые слова:** почвы, агрохимические нормативы, биогеохимические критерии, продуктивность растений, минеральная полноценность продукции.

Почвы – важный компонент биосферы и наземных экосистем, выполняющий глобальные экологические и прикладные утилитарные функции. К ним относятся обеспечение жизни, биоразнообразия, продуктивности и нормального элементного химического состава биоты, потоков химических элементов в трофических цепях. Производство растительной и животноводческой продукции часто ведет к деградации почв сельхозугодий, в том числе истощению в них запасов биофильных макро- и микроэлементов, накоплению потенциально опасных концентраций химических веществ естественной или техногенной природы.

Происходящее естественное и антропогенное негативное изменение почвенного покрова экосистем, состава и свойств почв, угрожает продовольственной, ресурсной и экологической безопасности человечества. В связи с этим актуален поиск критериев и нормативов оценки качества почв, для прогноза его изменения и поиски путей управления им, продуктивностью растений и минеральной полноценностью и экологической безопасностью их продукции.

Исследование состояния и трансформации элементного химического состава и свойств почв естественных и антропогенных экосистем России показало повсеместное уменьшение в почвах количества доступных форм нужных растениям макро- и микроэлементов. Следствием этого могут быть – падение урожая ресурсных растений, ухудшение качества их продукции и её биохимической и минеральной полноценности, усиление дефицита в пищевой цепи эссенциальных химических элементов, таких как кальций, магний, фосфор, медь, цинк, кобальт и другие. Это уже негативно сказывается на жизни и здоровье животных и человека.

Многofункциональность роли почв в биосфере и экосистемах, многофакторность природного и антропогенного воздействия на них предопределили наличие разных критериев (нормативов) оценки их качества по содержанию и статусу химических элементов, физико-химическим и иным показателям. В системах государственного мониторинга состояния и качества почв, по агрохимическим критериям оценивается плодородие почв, а экологическую оценку им дают по санитарным нормативам.

В настоящее время в России назрела проблема совершенствования системы нормирования качества окружающей среды, в том числе почв [1]. Она должна позволить комплексно оценить количество, статус, соотношение в почвах широкого перечня важных для живых организмов макро- и микроэлементов, учитывать достоинства и недостатки действующих агрохимических и санитарных нормативов, а также биогеохимических и иных критериев.

Обобщение и сравнение существующих агрохимических, биогеохимических и санитарных критериев оценки качества почв, указанных в нормативных документах [2, 3, 4, 5, 6], в научных публикациях [7, 8], показали заметные их различия (табл. 1).

Значения агрохимических и биогеохимических критериев подразделены на четыре группы: «низкие» – низкие и очень низкие значения показателей; «нормальные» – средние, повышенные и высокие значения показателей, соответствующие нормальным условиям жизни ресурсных растений и производству ими минерально-полноценной по содержанию микроэлементов продукции; «высокие» – очень высокие значения показателей, при которых растения находятся в не опасных для их жизни условиях произрастания и накопления в тканях избыточных концентраций макро- и микроэлементов; «токсичные» – фитотоксичные для основных ресурсных растений значения показателей, либо угрожающие опасному загрязнению трофической цепи и окружающей среды в целом. В группах указаны значения



валового содержания химических элементов, концентраций их подвижных в разных экстрагентах в почве.

Таблица 1. Агрохимические, биогеохимические и санитарные критерии и нормативы оценки качества почв

Вещество и его форма, показатель	Агрохимические / биогеохимические				Санитарные ПДК/ОДК
	низкие	нормальные	высокие	токсичные	
Валовое (общее) содержание, мг/кг					
Бор (В)	<5-7/<3-6	7-50/6-30	>50/>30	>70-100?	-
Кобальт (Co)	<2-3/<2-7	3-22/7-30	>22/>30	-	-
Медь (Cu)	<5-7/<6-15	7-50/15-60	>50/>60	-	-/33-132
Марганец (Mn)	<300/<400	300-2200/400-3000	>2200/ >3000	-	1500/-
Молибден (Mo)	<0,5-0,7/<1,5	0,7-5,0/1,5-4,0	>5,0/>4,0	-	-
Цинк (Zn)	<15/<30	15-110/30-70	>110/>70	-	-/55-220
Бериллий (BeO)	-	-	-	-	3,0/-
Кадмий (Cd)	-	-	-	-	-/0,5-2,0
Свинец (Pb)	-	-	-	-	-/32-132
Никель (Ni)	-	-	-	-	-/20-80
Мышьяк (As)	-	-	-	>50-100?	-/2,0-10,0
Ванадий (V)	-	-	-	-	150/-
Ртуть (Hg)	-	-	-	-	2,1/-
Сурьма (Sb)	-	-	-	-	4,5/-
Сера элементарная (по S)	-	-	-	-	160/-
Концентрации подвижных форм, мг/кг					
Нитраты (по NO <sub>3</sub> )/(по N-NO <sub>3</sub> )	<89/<20	89-222/20-50	>222/>50	-	130,0/29,4
Фосфаты (по P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	<50	50-200	>200	-	200,0*/-
Калий (по K <sub>2</sub> O)	<100	100-300	>300	-	360*/-
Кобальт (Co)	<0,15	0,16-0,30	>0,30	-	5,0
Медь (Cu)	<0,20	0,21-0,50	>0,50	-	3,0
Марганец (Mn)	<10,0	10,1-20,0	>20,0	-	140,0
Молибден (Mo)	<0,10	0,11-0,22	>0,22	-	-
Цинк (Zn)	<2,0	2,1-5,0	>5,0	-	23,0
Серная кислота (по S)	-	-	-	-	160/-
Сера сульфатная (по S)	<6,0	6,1-12,0	>12,0	-	-
Свинец (Pb)	-	-	-	-	6,0
Никель (Ni)	-	-	-	-	4,0
Хром трехвалентный (Cr)	-	-	-	-	6,0
Фтор (F)	-	-	-	-	2,8
Алюминия (Al)	-	<30	30-70	>70-80	-
Концентрации водорастворимой формы					
Фтор (F), мг/кг	-	-	-	-	10,0
Бор (В), мг/кг	<0,33	0,34-0,70	>0,70	>8,0	-
Сумма токс. солей, %	<0,10	0,11-0,50	0,51-0,80	>0,8	-
Электропроводность, мСм/см	<0,20	0,21-0,70	0,71-1,50	>1,51	-
Сера сульфатная (по S) «токсичная», мг/кг	<200	200-500	>500-1000	>1000	-
Реакция почвенной среды					
pH H <sub>2</sub> O/	<5,5/	5,5-7,5/	7,6-8,5/	>8,5/-	-
pH KCl, ед. pH	<5,0	5,0-7,0	>7,0		

Примечание. (?) – предполагаемое критически высокое значение показателя; (-) прочерк – значение не установлено, ПДК для подвижных форм фосфатов и калия настоящее время не действуют.

Значения агрохимических и биогеохимических критериев оценки валового содержания в почвах бора, кобальта, меди, марганца, молибдена и цинка близки между собой (табл. 1). Это

обусловлено тем, что приведенные значения – результат широкомасштабных и многочисленных фундаментальных и прикладных натурных и экспериментальных агрохимических исследований содержания химических элементов в почвах и поведения в системе почва-растение, а биогеохимических – в системе почва-растение-животное (человек). Агрохимические критерии валового содержания микроэлементов в почвах характеризуют потенциальный уровень обеспеченности ими растений, потребности во внесении микроудобрений и эффективности их применения. Биогеохимические критерии говорят о предпосылках возникновения на изучаемых территориях микроэлементозов животных (человека) – заболеваний, обусловленных недостатком, избытком или дисбалансом микроэлементов в звеньях пищевой цепи – почвах и растениях. Агрохимические и биогеохимические критерии учитывают широкое природное варьирование общего содержания микроэлементов в горных породах и почвах, значение их для жизни растений и животных.

Санитарные критерии и нормативы экологической оценки валового содержания химических веществ в почвах установлены на основе вегетационных опытов, лабораторных экспериментов и модельных расчетов без учета естественного количества микроэлементов в горных породах и почвах. Хотя в санитарных нормах и правилах [6] указывается, что они есть «величины ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)» однако это не так!

Из-за плохой геохимической, почвенно-агрохимической и биогеохимической обоснованности, принятое в России ПДК марганца в 1500 мг/кг почв находится в пределах природного варьирования его содержания в почвах, а ПДК для оксида бериллия – вовсе в два раза ниже кларка элемента в почвах и осадочных породах Мира [9]!

При экологической оценке качества почв по содержанию макро- и микроэлементов часто бездоказательно делаются заключения о токсичности их высоких концентраций для растений. Из всего перечня нормируемых по валовому содержанию микроэлементов только для бора учеными почвоведом и агрохимиками установлены значения его валового содержания в почвах (табл. 1), при которых возможно образование токсичных концентраций его водорастворимой формы для культурных злаков и других чувствительных к избытку бора в почвах растений [7]. Аномальные же – фитотоксичные, биогеохимически и экологически опасные количества в почвах As, Cd, Pb, Ni, Cu, Mo, Zn весьма велики [10], они в 10-100 раз больше величин ПДК (ОДК) в табл. 1. Из сказанного следует, что 2-х и даже 10-кратное превышение санитарных нормативов валового содержания этих элементов в почвах нельзя априори считать доказательством критического ухудшения их качества для произрастания растений. Однако они могут быть опасны с биогеохимических и гигиенических позиций – загрязнения растительной продукции.

Величины ПДК подвижных и водорастворимых форм макро- и микроэлементов в почвах также имеют низкую научную обоснованность с позиций агрохимии, биогеохимии, геохимии, почвоведения, экологии и аналитической химии. Это касается оценки нитратов в почвах как токсиканта, а не как нитратной формы азота – жизненно важного элемента для растений. При подобном подходе к оценке качества почв сельхозугодий, применение на них азотных и иных удобрений для повышения продуктивности возделываемых культур грозит штрафом за вред, причиненный почвам как объекту охраны окружающей среды.

В дополнение к выше сказанному, до вступления в действие новых санитарных норм и правил [6], по санитарным критериям в почвах также оценивались концентрации подвижных форм фосфора и калия, без указания методик их определения. Приведенные нами в табл. 1 агрохимические критерии указаны с учетом определения этой формы элементов в почвах методами Кирсанова и Чирикова. Хотя ПДК для них ныне не установлены, но все же их существование может быть оправданным с биогеохимических и экологических позиций – избыточного содержания фосфора в почве, снижающего доступность растениям других элементов минерального питания, высокого содержания и нарушения соотношения с другими биофильными элементами в растительной продукции, угрожающими здоровью животных и человека.

Концентрации в почвах подвижной формы микроэлементов-тяжелых металлов – Co, Cu, Mn, Zn, Pb, Ni, Cr, оцениваемые по агрохимическим и санитарным критериям, в основном



определяются при их экстрагировании 1 М ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (ААБ рН 4,8). Значения этих критериев различаются в 5-10 и более раз, поскольку имеют принципиально разные цели.

Агрохимические критерии нацелены на определение обеспеченности растений микроэлементами и потребности в микроудобрениях при выявленном уровне концентрации элементов в почвах.

Санитарные нормативы, установленные на основе опытов с водорастворимыми макро- и микроэлементами на искусственных субстратах с тест-культурами, рассматривают химические элементы в почвах как источник загрязнения поверхностных и грунтовых вод, растительной продукции, воздуха и прочих объектов.

Оценка качества почв по ПДК подвижной в ААБ с рН 4,8 формы тяжелых металлов показала, что нередко, даже при их количествах равных ПДК, в растениях концентрации Со, Си, Мп, Zn не достигают нужного для них агрохимического или биогеохимического уровня.

Анализ целей и задач, критериев и нормативов оценки качества почв свидетельствует об их ведомственной «зашоренности», ограничивающим возможность комплексной разносторонней оценки качества почвы по широкому перечню показателей их свойств и состава. Перспективным видится давно предложенный биогеохимический подход к нормированию качества почв. В первую очередь следует определять их пригодность для произрастания растений по агрохимическим показателям их состава и свойств, в том числе концентрации подвижных и водорастворимых макро- и микроэлементов, солей, реакции среды (табл. 1). На их основе уже ведется мониторинг почв [2] и оценивается их плодородие и его снижение [11, 12], выявляется деградация земель [4], определяется пригодность потенциально плодородных слоев почв и пород для биологической рекультивации [5].

Биогеохимические критерии, разработанные для выявления предпосылок заболеваний животных и человека, обусловленных недостатком, избытком или дисбалансом микроэлементов в звеньях пищевой цепи – почвах и растениях, являются не только основой биогеохимического районирования территорий, но могут служить для их эколого-агрохимического районирования, комплексной оценки качества почв.

#### Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 г. № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий».
2. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
3. Методические указания по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов. М.: почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1976. 80 с.
4. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. М.: Роскомзем. 1995. 28 с.
5. Государственный стандарт ГОСТ 17.5.1.03-86 Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 7 с.
6. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утверждены Постановлением Главного гос. сан. врача РФ № 2 от 28.01.2021. М.: 2021. (введены с 01.03.2021 срок действия до 01.03.2027)
7. Азаренко Ю.А. Содержание бора в почвах солонцовых комплексов Омского Прииртышья и бороустойчивость растений // Почвоведение. 2007. № 5. С. 562–573.
8. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.
9. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants/Fourth Editions. CRC Taylor and Francis Group, 2011. 505 p.
10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 244 с.

11. Приказ Минсельхоза России от 06.07.2017 № 325 «Об утверждении методики расчета показателей почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации»
12. Постановление правительства Российской Федерации от 22.07.2011 г. «Об утверждении критериев существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения».

## BIOGEOCHEMICAL CRITERIA AND NORMS TO ASSESS SOIL QUALITY

A.I. Syso

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, syso@issa-siberia.ru, syso@mail.ru

*Summary.* The values of criteria and standards for agrochemical, sanitary and biogeochemical assessment of soil quality, as well as some examples of those values use, are presented. The biogeochemical approach for standardizing soil quality is suggested to be further developed for comprehensive and diversified soil quality assessment, based on a wide spectrum of soil properties and composition characteristics and considering soil cover of a territory.

*Keywords:* soils, agrochemical norms, biogeochemical criteria, plant production, mineral fulness of produce.

УДК 631.618.

## ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ В РАБОТАХ СОТРУДНИКОВ ЛАБОРАТОРИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ ИПА СО РАН

Д.А. Соколов, В.А. Андроханов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, sokolovdenis@issa-siberia.ru

*Аннотация.* На основе анализа трудов сотрудников лаборатории рекультивации почв можно выделить три этапа развития исследований почв техногенных ландшафтов. На первом этапе происходит аккумуляция информации о свойствах техногенных субстратов, потенциале их плодородия и специфике условий техногенного почвообразования. Второй этап знаменуется обобщением и генетической интерпретацией накопленного материала, результатом которой является появление классификации почв техногенных ландшафтов. Отмечено, что разработанная в лаборатории классификация хорошо коррелирует с классификационными системами КцДПП, WRB и Soil Taxonomy. Для третьего этапа характерно расширение географии работ сотрудников, интерполяция и корректировка представлений о свойствах и режимах почв техногенных ландшафтов.

*Ключевые слова:* рекультивация, техногенные ландшафты, технопедогенез, Technosol.

Лаборатория рекультивации почв была организована в 1968 году в год основания Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО АН СССР. За 55-летнюю историю лаборатория, пожалуй, одно из немногих подразделений ИПА, которое не меняло свое название и основные направления исследований. Менялись времена, менялось отношение к науке и рекультивации, менялись заведующие лабораторией, но сохранялись ее традиции. В таких условиях изменения представлений о почвах техногенных ландшафтов происходили эволюционно.

Предпосылками для создания лаборатории явилось то, что на фоне небывалого роста в 50-60-е гг. темпов индустриализации существенно возросло техногенное воздействие на окружающую среду. В СССР эти годы было положено начало перехода от господствовавшего тогда шахтного способа добычи полезных ископаемых к карьерному. В горнодобывающих районах начали проводиться работы по восстановлению нарушенных земель. А уже к концу 60-х, началу 70-х годов стали организовываться научные мероприятия, посвященные проблемам восстановления земель, нарушенных промышленной деятельностью. Одно из таких проводилось в ИПА в 1972 году под руководством Р.В. Ковалева. Результатом таких мероприятий явилось обобщение опыта по рекультивации специалистами различного

профиля, в том числе, геоботаниками, микробиологами, лесотехниками, геологами, представителями сельскохозяйственных и технических наук. Проведенные мероприятия показали, что поскольку процесс формирования техногенных ландшафтов приводит к коренному преобразованию всех компонентов экосистем, то и вопросы, связанные с их восстановлением, должны решаться комплексно. Выявленные особенности трансформации компонентов техногенных ландшафтов не просто взаимосвязаны: они находятся в зависимости и отражаются в свойствах молодых почв [1]. Утверждение этого мнения способствовало выдвиганию на первый план почвенного направления в исследовании процессов восстановления техногенных ландшафтов.

Основателем и первым заведующим лаборатории стал **Сергей Сергеевич Трофимов**. Одним из первых обобщающих трудов лаборатории рекультивации почв стала его 2-хтомная докторская диссертация «Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области», написанная на 920 страницах и защищенная в 1971 году [2]. В нее были включены разделы, посвященные не только естественным почвам. 5 глав диссертации, посвящено биологической рекультивации нарушенных земель. В этих главах рассматриваются такие направления, которые послужили и до сих пор служат основой для многих исследований лаборатории. В частности, вопросы классификации техногенного рельефа и вскрышных пород, одна глава посвящена направлениям рекультивации и окупаемости затрат на ее проведение.

Следует отметить, что всегда особое внимание в работах сотрудников лаборатории уделялось и уделяется отвалам угольных месторождений. Это связано с тем, что сегодня добыча угля занимает лидирующую позицию по масштабам приумножения техногенных ландшафтов не только в Сибири, но и во всем мире [3].

Из числа сотрудников лаборатории во времена С.С. Трофимова следует отметить **Фикрата Кафаровича Рагим-Заде**, работы которого посвящены оценке потенциала плодородия вскрышных пород [4] и пригодности для формирования почвенного покрова [5]. **Егором Радионовичем Кандрашиным** выявлены особенности естественного зарастания отвалов высшей растительностью, продемонстрирована роль биоценоза и его структурных элементов в эволюции молодых почв техногенных экосистем [6]. Е.Р. Кандрашин вместе с аспирантами С.С. Трофимова **Леонидом Прокопьевичем Баранником** и **Василием Ивановичем Щербатенко** стали основоположниками работ по лесной рекультивации. Ими была проведена работа по оценке степени пригодности различных древесных пород для целей лесной рекультивации [7]. Нельзя не отметить также **Фарида Абдуллаевича Фаткулина**, который изучал процессы органонакопления и гумусообразования в молодых почвах отвалов. Он показал, что особенностью гумусонакопления в почвах техногенных ландшафтов является высокая вариабельность его темпов и скорости [8].

Из числа сотрудников института, которые активно сотрудничали с лабораторией во времена С.С. Трофимова, нужно выделить **Ию Леонидовну Клевенскую**, которая в последствии стала сотрудницей нашей лаборатории. Ия Леонидовна исследовала развитие функций микробиоценозов в молодых почвах [9].

Таким образом, за первые 20 лет существования лаборатории была проведена большая работа по инвентаризации условий, определяющих почвообразование в техногенных ландшафтах. Было получено большое количество данных по химическим и физическим свойствам техногенных элювиев и их роли в почвообразовании в зависимости от различных технологических условий. Итогом многолетней работы можно считать ранжирование техногенных субстратов по нескольким классам потенциального плодородия [5], также по группировке техногенных форм рельефа [10]. Проведенные в 1970-80-е гг. исследования стали фундаментом для работ, развивающих представления о почвах техногенных ландшафтов не только с рекультивационных, но и функциональных, экологических и генетических позиций.

В этой связи стоит особо отметить работы **Святослава Александровича Таранова**, в которых ознаменовался переход от утилитарного подхода к генетическому. С целью оценки разнокачественности условий формирования фитоценозов и их связи со свойствами молодых почв С.А. Тарановым было показано, что различные сочетания условий могут обуславливать лесную, дерново-степную, луговую или болотную направленность почвообразования [11]. Почвенно-генетический подход был использован также в последних работах С.С. Трофимова,



в которых рассматриваются факторы, определяющие скорость тех или иных элементарных почвообразовательных процессов [12].

В 1989 году лабораторию возглавил *Владимир Михайлович Курачев*. В новой экономической реальности, которая оформилась в 90-е, рекультивация потеряла то значение, которое она имела в предыдущие десятилетия. Предприятия, оказывавшие воздействие на окружающую среду, закрывались или приобретали новых собственников, которым не выгодно было заниматься рекультивацией. В тоже время в отечественном почвоведении популярность приобретает и начинает господствовать субстантивно-генетический подход. В таких условиях особое внимание получают исследования не направлений рекультивации и разработка технологий, а процессы самовосстановления техногенных экосистем.

Владимир Михайлович, будучи почвоведом-генетиком утверждает, что поверхностные образования техногенных ландшафтов являются почвами в полном смысле этого слова и работать с ними нужно опираясь на почвенные подходы. В 1992 году им совместно с И.М. Гаджиевым была разработана и опубликована Классификация почв техногенных ландшафтов [13]. Появление классификации стало ключевым моментом в признании почв техногенных ландшафтов как таковых не только в лаборатории, но и за ее пределами. Отличительная особенность предложенной классификации заключается в том, что диагностика каждого таксономического уровня опирается преимущественно на почвенно-генетические или породные признаки, отражающие специфику современного почвообразования (табл. 1). Создание и последующее развитие этой классификации [14, 15] позволило вывести изучение техногенных ландшафтов на новые иерархические уровни организации почвенной массы – уровни почвенных контуров, ареалов, районов. Это дало возможность картографировать поверхности техногенных объектов. С почвенно-генетических позиций стали рассматриваться физические [16], химические [17–19] и другие свойства техногенных образований [20], особенности формирования растительных сообществ [21, 22]. Полученные с использованием классификации знания позволили с почвенно-генетических позиций обосновать стратегию рекультивации земель [23], а также оценивать ресурсы [24] и эффективность рекультивационных мероприятий [25, 26].

Необходимо отметить, что классификация почв техногенных ландшафтов, появившаяся в ИПА на много определила свое время. Так реферативная группа Technosol появилась в WRB во втором издании, увидевшем свет только в 2006 году. В WRB объектами классификации также выступают образования, как обладающие «традиционными» почвенными признаками, так и любой субстрат, находящийся в пределах двух метров от поверхности и контактирующий с атмосферой. Принципы классификации базируются на измеряемых диагностических признаках почвенного профиля. Поэтому классификации ИПА и WRB хорошо коррелируют. Классификация почв ИПА СО РАН неплохо коррелирует и с другими почвенными классификациями. В том числе с классификацией почв России, в которой техногенные почвы не выделяются как таковые, а относятся к техногенным поверхностным образованиям. При этом те из них, которые имеют признаки органонакопления соответствуют почвам ствола первичного почвообразования (табл. 1).

Разработанная классификация открыла новые перспективы в изучении техногенных ландшафтов. Реализованы они были в диссертационной работе Владимира Алексеевича Андроханова, защищённой в 2005 году и оформленной в виде монографии в 2010 году [15]. В 2011 году Владимир Алексеевич становится заведующим лабораторией. В эти годы в стране доля полезных ископаемых, прежде всего угля и руд, добываемых карьерным способом, достигает 70% и техногенные ландшафты становятся привычным явлением не только для традиционных добывающих районов, но и практически для всех регионов Сибири. В таких условиях в исследованиях лаборатории начинает преобладать географический подход, соответственно, география работ сотрудников расширяется.

За 2010–2020 гг. показано, что развитие почвообразовательных процессов в техногенных ландшафтах далеко не всегда соответствуют зональной специфике и, прежде всего, связано со свойствами почвообразующего субстрата. Направленность зонального и техногенного почвообразования совпадает только в тех районах, где свойства техногенных субстратов близки таковым почвообразующих пород естественных ландшафтов [30]. Наиболее наглядно

это проявляется в условиях умеренного континентального климата, где на отвалах суглинистых пород также как и в естественных почвах ведущим процессом почвообразования выступает аккумулятивно-гумусовый. Кроме того, этот процесс является основным также для почв районов с гумидным климатом, но только на породах с высоким литогенным потенциалом гумусонакопления [31], на породах, которые содержат или способны к продуцированию достаточного количества тонкодисперсного материала, пригодного для образования органоминеральных комплексов.

Следует отметить, что в эти годы на базе ИПА была возобновлена практика проведения научных мероприятий, посвященных рекультивации. Не только в виде отдельных секций общепочвенных конференции, но и тематических мероприятий, посвящённых проблемам восстановления природно-техногенных комплексов [32, 33].

Таблица 1. Корреляция основных таксонов почв техногенных ландшафтов наиболее распространённых классификационных систем [3]

Признаки/ процессы	Классификационная принадлежность			
	КиДПР [27]	WRB [28]	Soil Taxonomy [29]	Классификация почв ИПА [14]
<b>Почвообразующие породы</b>				
<b>Плотные</b>	Натурфабрикаты и токсифабрикаты – абралиты, литостраты; петроземы и петроземы гумусовые	Technosol – ekranic, urbic, spolic, linic, leptic, hyperskeletal	Entisols – orthents – udorthents и ustorthents; все inceptisols	Все элювиоземы и эмбриоземы
<b>Рыхлые</b>	Все натурфабрикаты, артифабрикаты и токсифабрикаты; все пелоземы и псаммоземы.	Technosol – urbic, spolic, garbic, reductic, cryic	Entisols – psamments, fluvents; все inceptisols	Все эмбриоземы
<b>Токсичные</b>	Все токсифабрикаты	Technosol с горизонтами toxic	Н.д.*	Инициальные элювиоземы и эмбриоземы
<b>Конструированные почвы</b>	Квазиземы – реплантоземы и урбиквазиземы	Technosol – isolatic, linic, а также с признаками transportic	Entisols – fluvents	Дифференцированные и недифференцированные техноземы
<b>Проявление органоаккумуляции</b>				
<b>Подстилконакопление</b>	Пелоземы, псаммоземы, (карбо-, гипсо-) петроземы	Все technosol с горизонтами folic и profolic	Inceptisols – gelepts, cryepts, udepts, ustepts	Органо-аккумулятивные и дерновые эмбриоземы и элювиоземы
<b>Гумусонакопление</b>	Гумусовые пелоземы и псаммоземы, (карбо-, гипсо-) петроземы	Все technosol с горизонтами humic, protohumic, molic, umbric	Inceptisols – cyepts, udepts, ustepts, xerepts	Дерновые и гумусо-аккумулятивные эмбриоземы
<b>Торфонакопление</b>	Пелоземы, псаммоземы, (карбо-, гипсо-) петроземы	Technosol с горизонтами histic	Inceptisols – aquepts, gelepts, cryepts, udepts	Торфяные органо-аккумулятивные эмбриоземы и сухоторфянистые элювиоземы

Прошедшее десятилетие ознаменовалось также возобновлением микробиологических исследований в лаборатории. *Валентиной Сергеевной Артамоновой* проводятся исследования морфологического разнообразия и скорости роста колоний азотобактерий [34] и плесневых грибов на отвалах не только угледобычи, но и на фитоксичных субстратах отходов переработки сульфидсодержащих руд [35]. Полученные данные расширяют представления об экологии микроорганизмов в почвах техногенных ландшафтов [36].

Сегодня в лаборатории продолжают работы по усовершенствованию классификации почв техногенных ландшафтов [37]. Так если в первых редакциях классификации подтипы эмбриоземов выделяли по проявлению процессов, протекающих в естественных почвах. Например – выщелоченные, оподзоленные. То расширение географии исследований и накопление фактического материала повлекло за собой изменение подходов к дифференциации подтипов [30]. Поэтому в последних редакциях классификации критериями определения подтипов служат свойства типодиагностических горизонтов (табл. 2). Такой подход позволяет оценивать почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов с использованием дистанционных методов [38].

Таблица 2. Типы и подтипы эмбриоземов

Типы	Подтипы
Инициальный	Типичный
	Криптопедогенный
Органо-аккумулятивный	Войлочный
	Подстилочный
	Торфяной
Дерновый	Ксерофитный
	Мезофитный
	Гигрофитный
Гумусово-аккумулятивный	Типичный
	Грубогумусово-аккумулятивный

Возвращаясь к работам сотрудников лаборатории хочется акцентировать внимание на тех результатах, которые помогли пересмотреть ряд представлений, сложившиеся о техногенных почвах.

1. Представление о провальной водопроницаемости, которое особенно относится к каменистым почвообразующим субстратам. В результате исследований было установлено, что основная часть выпадающих осадков или испаряется или, стекает по поверхности. Поскольку высокая плотность вместе с жестким механическим воздействием и последующей усадкой субстрата существенно минимизируют объем порового пространства в почвах [39].

2. Представление об отсутствии почвенного профиля. В КиДПР написано, что поверхностные образования не являются почвами в Докучаевском смысле этого слова, т.к. не имеют профиля. Да действительно профиль не всегда фиксируется визуально на макроморфологическом уровне. Однако результаты микроморфологических наблюдений говорят об обратном [40]. О формировании профиля свидетельствует также текстурная дифференция эмбриоземов [41].

3. Представление о окислении угля и эмиссии его продуктов, имеется в виду углекислый газ, в атмосферу. Угли в почвах техногенных ландшафтов являются достаточно устойчивыми включениями и, если отвал не горит, не окисляются до углекислого газа [42]. Напротив, углесодержащие отвалы, в силу своей специфики, способны аккумулировать органические и неорганические соединения [43].

4. Представление о прямой связи влажности почв и состоянии растительных сообществ. Тут нужно отметить, что не количество влаги определяет тип и состояние растительных сообществ, а характер режимов увлажнения почв, которые складываются в почвах [43].

В настоящее время сотрудники лаборатории продолжают расширять представления о почвах техногенных ландшафтов и географию работ, в том числе в Арктической зоне



Российской Федерации [44]. Можно сказать, что определенным толчком в освоении Арктики сотрудниками лаборатории стал произошедший в мае 2020 года аварийный разлив дизельного топлива в городе Норильске. Для оценки последствий разлива «Норильским никелем» совместно с Сибирским отделением в экстренном порядке была организована комплексная научная экспедиция. В ее состав вошли сотрудники лаборатории рекультивации почв, а также лабораторий биогеохимии и географии и генезиса почв ИПА СО РАН. В задачи исследований входят не только оценка остаточного содержания нефтепродуктов в почвах, но и исследование свойств, отвечающих за закрепление, или наоборот очищение почв от нефтепродуктов [45].

Из других направлений исследований можно отметить исследование полициклических ароматических водородов углесодержащих почв. Эта работа проводится совместно с Новосибирским институтом органической химии им. Н.Н. Ворожцова (НИОХ СО РАН). Установлено, что разрабатываемые угольные месторождения являются источниками канцерогенных органических поллютантов. На поверхности некоторых из них проступают своеобразные битумные озера и ручьи, концентрация ПАУ, в которых достигает 80% и более [46].

Имеющиеся заделы и те возможности, которые в сегодняшней науке доступны сотрудникам лаборатории рекультивации почв, позволяют сформулировать приоритетное направление дальнейших исследований лаборатории. Объединяющим для географически удаленных объектов и разнонаправленных исследований сотрудников являются **органогенные функции почв** (рис. 1). Отметим, что специфика систем органических веществ техногенных почв заключается в особом составе и соотношении компонентов различной природы. Если сравнивать такие почвы с естественными, то отмеченные отличия проявляются не только в соотношении различных специфических (педогенных) и неспецифических (биогенных) веществ [47], но и в наличии значительного количества органических соединений, унаследованных от почвообразующих пород, а также продуктов их абиогенной (химической) трансформации [42]. Другими словами, если система органических веществ естественных почв формируется из поступающих веществ биогенной природы, то в почвах техногенных ландшафтов к этим веществам добавляются органические соединения антропогенного или литогенного происхождения [48, 49].

### **Органогенные функции почв**

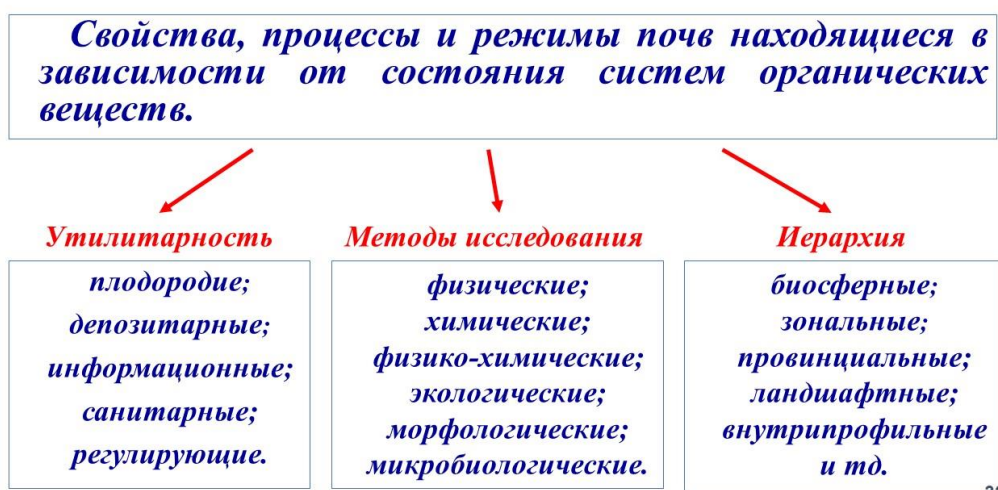


Рисунок 1. Органогенные функции почв.

В настоящее время коллектив научных сотрудников лаборатории рекультивации продолжает исследование техногенных ландшафтов, расположенных в различных регионах Сибири, активно используя опыт и наработки основателей лаборатории. Основное внимание уделяется оценке почвенно-экологического состояния и перспектив дальнейшего использования нарушенных территорий на основе почвенно-генетических и почвенно-географических исследований. Проводятся работы по разработке и использованию различных почвоулучшителей и мелиорантов для выполнения рекультивационных работ [50, 51]. В последние годы совместно с сотрудниками других организаций и лабораторий ИПА

разрабатываются подходы к применению дистанционных методов для изучения техногенно нарушенных территорий [38]. Таким образом, лаборатория рекультивации почв продолжает развивать фундаментальные проблемы, связанные с первичным почвообразованием и восстановлением почвенных функций на нарушенных территориях, а также выполнять и научно-практические работы, связанные с решением проблем рекультивации на конкретных техногенных объектах.

### Литература

1. Ковалев Р.В., Трофимов С.С., Горбунов Н.И. Сопоставление почв в Сибири и на Урале // Почвоведение. 1972. № 12. С. 138–139.
2. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск: 1971. 825 с.
3. Sokolov D.A., Androkhonov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Tomsk State University Journal of Biology. 2021. № 56. P. 6–32.
4. Рагим-заде Ф.К. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их пригодности для восстановления почвенного покрова: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск: 1977. 22 с.
5. Рагим-заде Ф.К., Фаткулин Ф.А., Щербинин В.И. Инструкция по почвенно-литологическому обследованию техногенных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 32 с.
6. Кандрашин Е.Р. Сукцессии биоты в техногенных экосистемах (на примере Кузнецкого угольного бассейна): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Днепропетровск: 1989. 17 с.
7. Баранник Л.П., Кандрашин Е.Р. Лесовозобновление на породных отвалах угольных разрезов Южного Кузбасса // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 172–179.
8. Фаткулин Ф.А. Органическое вещество молодых почв техногенных экосистем Кузбасса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1988. 17 с.
9. Клевенская И.Л. Эволюция микробоценозов и их функции // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 149–199.
10. Рагим-заде Ф.К. Эволюция техногенного рельефа и почвообразование // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1992. С. 45–61.
11. Таранов С.А., Кандрашин Е.Р., Фаткулин Ф.А., Шушуева М.Г. Парцеллярная структура фитоценоза и неоднородность молодых почв техногенных ландшафтов // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 19–57.
12. Трофимов С.С., Таранов С.А. Особенности почвообразования в техногенных экосистемах // Почвоведение. 1987. № 11. С. 95–99.
13. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 6–15.
14. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9, № 3. С. 255–261.
15. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2010. 221 с.
16. Госсен И.Н., Беланов И.П. Гранулометрический состав эмбриоземов в техногенных ландшафтах лесостепной зоны Кузбасса // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18, № 5. С. 713–718.
17. Полохин О.В. Трансформация литогенных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах (на примере КАТЭКа): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2008. 18 с.
18. Полохин О.В. Гумусное состояние молодых почв техногенных ландшафтов // Вестн. Красноярск. гос. агр. ун-та. 2010. № 10. С. 40–44.
19. Соколов Д.А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 17 с.
20. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 205 с.

21. Курачев В.М., Кандрашин Е.Р., Рагим-заде Ф.К. Сингенетичность растительности и почв техногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация // Сиб. экол. журн. 1994. Т. 1. № 3. С. 205–214.
22. Глебова О.И. Биогеографическая диагностика эмбриоземов Кузбасса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 18 с.
23. Гаджиев И.М., Курачев В.М., Андроханов В.А. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель. Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. 37 с.
24. Семина И.С., Шипилова А.М., Беланов И.П., Андроханов В.А. Сохранение ресурсов рекультивации как основа экологической безопасности функционирования техногенных ландшафтов // Проблемы региональной экологии. 2013. № 5. С. 17–20.
25. Шипилова А.М. Постмелиоративное развитие и почвенно-экологическое состояние рекультивированных территорий лесостепной зоны Кузбасса: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2012. 22 с.
26. Госсен И.Н. Почвенно-экологическая эффективность технологий рекультивации нарушенных земель в Кузбассе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2013. 20 с.
27. Полевой определитель почв России. Москва: Почв. ин-т. им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. 182 с.
28. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International 2022. Union of Soil Sciences, Vienna. 234 p.
29. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. Washington: USDA-Natural resources conservation service; 2014. 372 p.
30. Соколов Д.А. Диверсификация почвообразования на отвалах угольных месторождений Сибири. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 2019. 45 с.
31. Соколов Д.А., Мерзляков О.Э., Доможакова Е.А. Оценка литогенного потенциала гумусонакопления в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2015. № 399. С. 247–253.
32. Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование / Под ред. В.А. Андроханова (отв. ред.). Новосибирск: Окарина, 2013. 337 с.
33. Природно-техногенные комплексы: современное состояние и перспективы восстановления / Под ред. В.А. Андроханова (отв. ред.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 342 с.
34. Артамонова В.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Лютых И.И., Бортникова С.Б., Водолеев А.С. Эколого-физиологическое разнообразие микробных сообществ в техногенно-нарушенных ландшафтах Кузбасса // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18, № 5. С. 735–746.
35. Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Черный Н.К. Проблемы и перспективы вовлечения отходов обогащения полиметаллических и железных руд в биологическую консервацию // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7, № 1. С. 87–101.
36. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Фитобиомы в техногенной среде обитания (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 6–12.
37. Androkhonov V.A., Sokolov D.A. Soil evolution and reclamation of technogenic landscapes in Siberia // Advances in raw material industries for sustainable development goals. 2019. P. 268–273.
38. Соколова Н.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов антрацитовых месторождений // Экология и промышленность России. 2020. Т.24. №1. С. 62–68.
39. Госсен И.Н., Кулижский С.П., Данилова Е.Б., Соколов Д.А. Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и буроугольных месторождений) // Вестн. Новосиб. гос. агр. ун-та. 2016. № 2 (39). С. 71–81.
40. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лойко С.В., Доможакова Е.А. Использование сканирующей электронной микроскопии для диагностики процессов почвообразования на



- поверхности отвалов каменноугольных разрезов Сибири // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2014. № 3 (27). С. 36–52.
41. Соколов Д.А., Гуркова Е.А., Соколова Н.А. Литогенный потенциал почвообразования в техногенных ландшафтах угледобывающих месторождений Сибири // Экология и промышленность России. 2022. Т.26. №11. С. 48–54.
  42. Андроханов В.А., Соколов Д.А. Фракционный состав окислительно-восстановительных систем почв отвалов каменноугольных разрезов // Почвоведение. 2012. № 4. С. 453–457.
  43. Госсен И.Н. Водопроницаемость почв на участках рекультивации различного направления // Рекультивация нарушенных земель в Сибири. Кемерово, 2009. Вып. 4. С. 8–10.
  44. Сысо А.И., Соколов Д.А., Сиромля Т.И., Ермолов Ю.В., Махатков И.Д. Антропогенная трансформация свойств почв ландшафтов Таймыра // Почвоведение. 2022. № 5. С. 521–537.
  45. Андроханов В.А., Соколов Д.А., Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. Исследование распространения загрязнения почвенного покрова в результате аварийного разлива дизельного топлива на Норильской ТЭЦ // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. Севастополь, 2021. С. 68–72.
  46. Соколов Д.А., Морозов С.В., Абакумов Е.В., Андроханов В.А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах отвалов антрацитовых месторождений Сибири // Почвоведение. 2021. № 6. С. 701–714.
  47. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ // Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 112 с.
  48. Соколов Д.А. Специфика определения органических веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2012. № 18. С. 17–25.
  49. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лим А.Г., Гуркова Е.А. Нечаева Т.В., Мерзляков О.Э. Сравнительная оценка методов определения педогенного органического углерода в углесодержащих почвах // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2017. № 39. С. 29–43.
  50. Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Дугаржав Ж., Исмагилов З.Р. Исследование биологической активности гуминовых веществ для создания препаратов против опустынивания // Химия в интересах устойчивого развития. 2019. Т. 27. № 2. С. 155–163.
  51. Соколов Д.А., Добрянская С.Л., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю., Госсен И.Н., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Дугаржав Ж. Оценка влияния структурно-группового состава гуминовых кислот бурых углей на их биологическую активность в условиях техногенных ландшафтов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 5 (129). С. 90–100.

## EVOLUTION OF IDEAS ABOUT THE SOILS OF TECHNOGENIC LANDSCAPES IN THE WORKS OF EMPLOYEES OF THE LABORATORY OF SOIL RECLAMATION ISSA SB RAS

D.A. Sokolov, V.A. Androkhanov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, [sokolovdenis@issa-siberia.ru](mailto:sokolovdenis@issa-siberia.ru)

*Summary. Based on the analysis of the works of employees of the laboratory of soil reclamation, three stages of the development of soil research of technogenic landscapes can be distinguished. At the first stage, information is accumulated about the properties of technogenic substrates, the potential of their fertility and the specifics of the conditions of technogenic soil formation. The second stage is marked by the generalization and genetic interpretation of the accumulated material, the result of which is the emergence of a classification of soils of technogenic landscapes. It is noted that the classification developed in the laboratory correlates well with the classification systems of Classification and Diagnostics of Russia Soils, WRB and Soil Taxonomy. The third stage is characterized by the expansion of the geography of employees' work, interpolation and correction of ideas about the properties and modes of soils of technogenic landscapes.*

*Keywords: reclamation; technogenic landscapes; soil formation; coal mine; minesoils; Technosol.*

УДК 63:54

## ИСТОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ИПА СО АН СССР (СО РАН) И РАЗВИТИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНСТИТУТЕ

В.Н. Якименко

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, yakimenko@issa-siberia.ru

*Аннотация.* Показаны основные этапы формирования и развития Института почвоведения и агрохимии СО РАН (СО АН СССР), а также становление и достижения агрохимических исследований в институте, 55-летие которого отмечается в 2023 году.

*Ключевые слова:* Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, агрохимические исследования.

21 октября 1943 года Совет народных комиссаров СССР принял постановление № 1149 об организации в г. Новосибирск Западно-Сибирского филиала Академии наук СССР в составе 4-х институтов, в т.ч. Медико-биологического института. Медико-биологический институт был открыт в апреле 1944 года по адресу: Новосибирск, ул. Фрунзе, 11 и первоначально имел три отдела – ботанический, зоологический и медико-биологический.

В 1950 году во исполнение решения августовской 1948 года сессии ВАСХНИЛ и постановления ЦК КПСС о развитии исследований (в т.ч. в Сибири) по созданию научных основ обработки почвы, возделывания сельскохозяйственных культур на старопахотных, залежных и целинных землях, внедрения травопольных севооборотов и полесозащитного лесоразведения, в Медико-биологическом институте была создана лаборатория почвоведения и мелиорации с кабинетом леса. Лабораторию возглавил Сергей Николаевич Селяков, кандидат геолого-минералогических наук с 1937 года, занимавшийся вопросами мелиорации и рационального использования засоленных почв и солонцов Обь-Иртышского междуречья.



Сергей Николаевич Селяков

В период с 1950 по 1958 гг. лаборатории почвоведения пришлось решать практические вопросы в связи с освоением целинных и залежных земель на территории Присалаирской равнины, Приобского плато, Барабинской низменности и Северной Кулунды. Изучались водно-физические свойства

почв, динамика подвижных форм макроэлементов, состав микрофлоры, изменение этих показателей под влиянием удобрений и различных приёмов обработки почв. Результаты исследований, проведённых в этот период С.Н. Селяковым, Т.Н. Рябовой, В.Б. Ильиным, И.Л. Клевенской, Н.Н. Наплёковой, В.П. Панфиловым, В.П. Шаповаловым, были опубликованы в Трудах Биологического института.

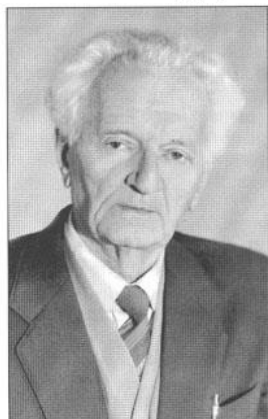
Постановлением Президиума АН СССР от 28 августа 1953 года Медико-биологический институт был переименован в Биологический институт. В мае 1957 года было создано Сибирское отделение АН СССР, в состав которого был включен и Биологический институт.

В 1958 году лабораторию почвоведения возглавил Роман Викторович Ковалёв. В 1960 году он защитил докторскую диссертацию «Почвы Ленкоранской области», ряд сотрудников защитили кандидатские диссертации, и вскоре лаборатория трансформировалась в Отдел почвоведения Биологического института. Этому предшествовало постановление Президиума АН СССР от 9 декабря 1960 года № 1058 «Об основных направлениях научной деятельности и структуре Биологического института СО АН СССР». Созданному Отделу почвоведения предписывались следующие основные направления научной деятельности: разработка теории почвообразовательного процесса, научных основ повышения плодородия почв, мелиорации, географии и картографирования почвенного покрова, теории управления микробиологическими процессами в почвенном покрове. В отдел входили лаборатории: географии и генезиса почв (руководитель Ковалев Р.В.), плодородия почв (Ильин В.Б.), физики, мелиорации и эрозии почв (Панфилов В.П.), почвенной микробиологии (Клевенская

И.Л.), а также Горно-Алтайская почвенная лаборатория. Результаты исследований сотрудников Отдела почвоведения были изложены в ряде работ, в т.ч. монографии «Почвы Новосибирской области». В 1968 г. в серии «Агрохимическая характеристика почв СССР» вышел том «Районы Западной Сибири» под редакцией Р.В. Ковалева и С.С. Трофимова. Сотрудники Отдела почвоведения БИ СО АН СССР Р.В. Ковалёв, Л.А. Зайкова, И.Я. Маслова, М.П. Панина, В.М. Попов, Т.Н. Рябова, В.П. Шаповалов подготовили главу «Агрохимическая характеристика почв Новосибирской области» в соответствии со схемой почвенного районирования. Главу о почвах Горно-Алтайской автономной области написали Р.В. Ковалёв, В.И. Волковинцер и В.А. Хмелёв, а в подготовке главы по почвам Кемеровской области участвовал С.С. Трофимов. В монографии были обобщены все имеющиеся на тот момент материалы почвенно-агрохимических исследований почв Западной Сибири.

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Академии наук СССР был открыт 9 октября 1968 года по адресу: г. Новосибирск, ул. Советская, 18 (в то время д. 20). Этому предшествовало принятие соответствующих постановлений Правительства СССР и решений Президиума АН СССР. В мае 1966 г. состоялся пленум ЦК КП СССР по вопросу «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур». На нём было принято постановление, которое обязывало Президиум АН рассмотреть вопрос о создании «...Института агрохимических проблем, Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР». В апреле 1967 г. Президиум АН СССР принял соответствующее постановление «О развитии научно-исследовательских работ в области агрохимии и почвоведения». В Сибирском отделении Академии наук основой для создания такого Института в 1968 г. послужил Отдел почвоведения Биологического института с уже сложившейся структурой и коллективом исследователей. Решение о создании Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР было принято Коллегией по науке и технике при Совете министров СССР 26 июля 1968 года. Организатором и первым директором Института был д.с.-х.н. Р.В. Ковалев, который руководил до 1986 г.; далее ИПА возглавляли: чл.-кор. РАН И.М. Гаджиев – 1986–2006 гг., д.б.н. К.С. Байков – 2006–2015 гг., д.б.н. А.И. Сысо – 2015–2019 гг., д.б.н. В.А. Андроханов – с 2019 г. по настоящее время.

#### Директора ИПА СО РАН (СО АН СССР)



*Ковалев Р.В., 1968–1986 гг.*



*Гаджиев И.М., 1986–2006 гг.*



*Байков К.С., 2006–2015 гг.*



*Сысо А.И., 2015–2019 гг.*



*Андроханов В.А., 2019–н/вр.*



Наибольшего развития институт достигал, пожалуй, в 70-е годы прошлого века, когда в его составе было 13 лабораторий и работало около 250 сотрудников.

Лаборатории ИПА СО АН СССР в 1974 году: Агрохимии почв, Биогеоценологии, Биогеохимии и агрохимии микроэлементов, Бонитировки почв, Генезиса и географии почв, Мелиорации почв, Почвенной климатологии, Почвенной микробиологии, Рекультивации, Физики почв, Физиологии растений, Эрозии почв, Питательного режима почв и трансформации удобрений (с 1979 г.)

В конце 70-х и в 80-х годах образовывались (переименовывались) лаборатории: Минерального питания растений, Физики и мелиорации почв, Галогеохимии почв, Почвенных ресурсов.

В 1997 году в результате проведенной структурной реорганизации, на основе имевшихся на тот момент научных подразделений института было создано 6 лабораторий, успешно функционирующих по настоящее время: Агрохимии, Биогеоценологии, Биогеохимии почв, Географии и генезиса почв, Почвенно-физических процессов, Рекультивации почв.

Для проведения исследований сотрудниками ИПА активно использовались, в т.ч., научные стационары, оборудованные в различных регионах Сибири. В 1970-х годах их было 13, в настоящее время действуют 4 (подчеркнутые): Карачинский – Чановский р-он, НСО; Которовский – Тогучинский р-он, НСО; Хайрюзовский – Троицкий р-он, Алтайский край; Байкальский – Кабанский р-он, Бурятская АССР; Сарыбалыкский – Здвинский р-он, НСО; Ключевской – Ключевской р-он, Алтайский край; Искитимский – Искитимский р-он, НСО; Атамановский – Новокузнецкий р-он, Кемеровская обл.; Плотниковский – Бакчарский р-он, Томская обл.; Новосибирский – Новосибирск, Заельцовский р-он; Горно-Алтайский – Майминский р-он, Горно-Алтайская АО; Усть-Каменский – Тогучинский р-он, НСО; Ордынский – Ордынский р-он, НСО.

В 2012 году институт переехал в новое здание по адресу: г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, где успешно функционирует по настоящее время. Следует сказать, что в ИПА имеется большая профильная научная библиотека, почвенный музей; действует Диссертационный совет по защите докторских и кандидатских диссертаций; институт является учредителем и издателем научного журнала «Почвы и окружающая среда», который включен в Перечень ВАК РФ по двум научным специальностям: 1.5.15. Экология и 1.5.19. Почвоведение.

Во все годы важное место в научной деятельности ИПА СО АН СССР (СО РАН) занимало агрохимическое направление исследований. В этой связи, более подробно рассмотрим становление и развитие агрохимических исследований в институте.



*Виктор Борисович Ильин*

Виктор Борисович Ильин является знаковой фигурой, стоящей у истоков развития агрохимических и биогеохимических исследований в ИПА. Он окончил Тимирязевскую СХА в 1952 г. В 1953 г. был принят м.н.с. в лабораторию почвоведения Биологического института и проработал в нем, а далее в ИПА до 2013 г. – 60 лет.

В 1959 году Виктор Борисович Ильин защитил кандидатскую диссертацию «Элементы плодородия каштановых почв Центральной Кулунды» и в составе Отдела почвоведения была организована лаборатория плодородия почв, которую он и возглавил. С этого времени началось более углубленное изучение эффективного плодородия основных типов почв сибирского региона.

С середины 60-х годов в лаборатории плодородия почв стали активно проводиться исследования содержания и распределения микроэлементов в природных объектах; это научное направление активно развивал В.Б. Ильин, который в 1970 году защитил докторскую диссертацию «Биогеохимия и агрохимия микроэлементов в южной части Западной Сибири». В 1972 году лаборатория плодородия почв закономерно трансформировалась в лабораторию биогеохимии и агрохимии микроэлементов, которой В.Б. Ильин заведовал до 1995 года.

В связи с изменением научного направления лаборатории плодородия почв, в Институте возникла необходимость в создании структурного подразделения, занимающегося проблемами классической, «ортодоксальной» агрохимии. В апреле 1972 года из лаборатории плодородия почв был выделен кабинет агрохимии, куда вошли сотрудники, занимающиеся вопросами эффективного применения удобрений и мониторингом почвенного плодородия – И.Я. Маслова, Л.А. Сухина, Л.П. Антипина, В.М. Назарюк, А.Я. Хромов, Р.П. Макарикова, А.С. Прозоров и др. Кабинет возглавила Любовь Павловна Антипина. Однако через некоторое время она перешла на работу в СО ВАСХНИЛ (п. Краснообск), где и выполнила свои основные исследования: провела районирование почв Западной Сибири по запасам и качественному составу фосфатного фонда, впервые отметила связь профильного распределения фосфора с процессами оподзоливания, осолодения и засоления, которые по-разному влияют на внутрипрофильную миграцию фосфорных соединений.

В мае 1974 года кабинет агрохимии был преобразован в лабораторию агрохимии почв, которую возглавил Израиль Абрамович Куперман. Он окончил в 1960 году агрономический факультет Омского СХИ, затем работал в ЦСБС, где учился в аспирантуре и защитил кандидатскую диссертацию. С 1969 по 1974 годы работал в лаборатории физиологии растений ИПА. В 1974 г. перешел с несколькими сотрудниками в лабораторию агрохимии почв, которую возглавлял до 1987 года. После его перехода в 1974 г. исследования в лаборатории агрохимии стали носить более теоретический характер; под его руководством разрабатывались теоретические основы применения удобрений при интенсификации продукционного процесса в агроценозах. И.А. Куперман, занимавшийся исследованиями в области физиологии растений, несколько иначе взглянул на агрохимические проблемы.



*Израиль Абрамович  
Куперман*

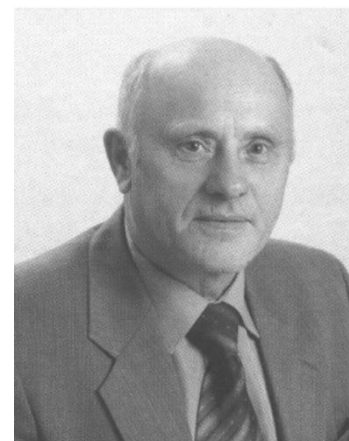
Обобщение и систематизация им многочисленных литературных данных и результатов, полученных агрохимиками ИПА, было представлено в виде работы «Принципы построения систем удобрений агроценозов», в которой показано, что различное поведение в почве зольных элементов и азота, особенности их физиологических функций дают основание для четкого разделения системы управления минеральным питанием агроценозов на две подсистемы: оптимизацию питания зольными элементами и оптимизацию питания азотом. В 1984 году защитил докторскую диссертацию «Минеральное питание, дыхание и продуктивность растений». Отметим, что в октябре 1979 года лаборатория агрохимии почв была переименована в лабораторию минерального питания растений.



*Ирина Яковлевна Маслова*

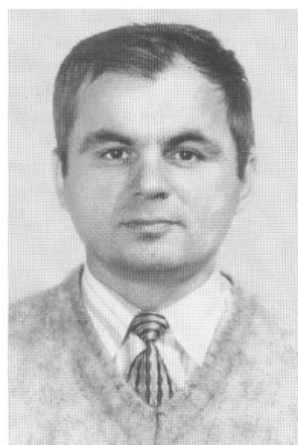
Ирина Яковлевна Маслова окончила факультет почвоведения и агрохимии Тимирязевской СХА. В 1963 году поступила в аспирантуру Биологического института по специальности агрохимия под руководством В.Б. Ильина. В 1970 г. защитила кандидатскую диссертацию, а в 1992 – докторскую «Динамика и регуляция питания яровой пшеницы серой», проработав в ИПА более 50 лет. Ее длительные исследования посвящены выяснению особенностей влияния серы на продукционный процесс выращиваемых культур. Проведенные ею исследования показали, что при использовании азотных удобрений, особенно в повышенных дозах, нарушается сбалансированность азотного и серного питания пшеницы, растениям недостаёт почвенной серы. И.Я. Масловой изучала влияние избытка серы в почве, создающегося в районах, подверженных воздействию серосодержащих техногенных выбросов.

Владимир Митрофанович Назарюк после окончания в 1971 году Кишиневского госуниверситета по специальности почвоведение и агрохимия, поступил на работу в лабораторию плодородия почв ИПА, в котором и работает по настоящее время, пройдя путь от старшего лаборанта до заведующего лабораторией и главного научного сотрудника. В 1980 г. он защитил кандидатскую диссертацию, а в 1991 г. – докторскую. С 1990 по 2015 год возглавлял лабораторию минерального питания растений и лабораторию агрохимии. Длительные исследования В. М. Назарюка посвящены изучению специфики баланса и трансформации азота в агроэкосистемах. В его работах значительное внимание уделено изучению поведения азота в системе почва-растение-удобрение, специфике азотмобилизующей способности выращиваемых культур в зависимости от свойств почв, особенностей климата и генотипа. Разработал ряд методических рекомендаций по эффективному применению удобрений под овощные культуры и картофель.



*Владимир Митрофанович  
Назарюк*

В исследованиях с использованием  $^{15}\text{N}$  он показал поведение «экстра»-азота в зависимости от условий азотного питания, роль растительных остатков в балансе и трансформации азотсодержащих соединений.



*Иван Николаевич  
Шарков*

Иван Николаевич Шарков в 1977 году после окончания Воронежского госуниверситета по специальности агрохимия и почвоведение поступил на должность инженера в лабораторию агрохимии ИПА; в 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию. В 1987 г. перешел на работу в Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства (СО ВАСХНИЛ), где прошел путь от заведующего лабораторией плодородия почв до руководителя организации. В 1997 году защитил докторскую диссертацию. С 2022 г. работает ведущим научным сотрудником лаборатории агрохимии ИПА.

Научные работы И.Н. Шаркова посвящены исследованиям процессов минерализации и баланса органического вещества в почвах агроценозов, управлению плодородием почвы и продукционным процессом растений при выращивании зерновых культур по интенсивным технологиям. В результате исследований вскрыты причинно-следственные связи, обуславливающие стабилизацию запасов гумуса в старопашотных черноземах при изменении поступления в них растительных остатков. Выявлены региональные закономерности процессов превращения углерода и азота в почвах Сибири, учет которых позволяет повысить эффективность приемов управления плодородием почв в зерновых агроценозах. Обосновано положение о временном характере снижения минерализации почвенного азота при минимизации механической обработки черноземов, что открывает возможности для широкого освоения мелких и поверхностных обработок без дополнительного применения азотных удобрений.

Сотрудники лаборатории агрохимии (минерального питания растений) с 1977 г. на протяжении ряда лет принимали участие в комплексных исследованиях по изучению возможности применения в качестве калийных удобрений продуктов переработки ультракалийевых алюмосиликатных руд Сыннырского массива месторождений (сынныритов), расположенных в зоне БАМ; совместно с СО ВАСХНИЛ и др. организациями проводили исследования, направленные на развитие народного хозяйства зоны БАМа и сибирского региона. Активно разрабатывались методические и научно-практические рекомендации по рациональному применению средств химизации сельского хозяйства, которые эффективно использовались в регионах Западной Сибири и БАМа.



Владимир Николаевич Якименко после окончания в 1979 году Томского государственного университета по специальности почвоведение и агрохимия был направлен по распределению в Институт почвоведения и агрохимии СО АН СССР на должность стажера-исследователя. После прохождения стажировки работал в течение ряда лет в Новосибирском СХИ, где в 1987 году защитил кандидатскую диссертацию.

С 1988 г. по настоящее время В.Н. Якименко работает в лаборатории агрохимии ИПА, с 2015 года возглавляет это научное подразделение. В 2004 году защитил докторскую диссертацию «Калий в почвах агроценозов Западной Сибири».

Основное внимание в исследованиях В.Н. Якименко уделено калийному статусу пахотных зональных почв. Им проведено сравнительное изучение диагностических показателей почвенного калийного состояния и методов их получения, разработаны градации обеспеченности почв доступным для растений калием. Проведены исследования фиксирующих, десорбционных и восстанавливающих способностей почв в отношении калия, показано изменение этих почвенных свойств в условиях агроценозов.

Важные теоретические и прикладные исследования на стыке агрохимии и физиологии растений проводили сотрудники лаборатории физиологии растений: В.Ф. Альтергот, И.А. Куперман, Е.В. Хитрово, С.Ф. Коваль, С.С. Мордкович, Л.А. Игнатьев, Ф.Р. Калимуллина, С.А. Мокридова, О.П. Зубкус, В.А. Кузьменко и другие.



*Владимир Федорович  
Альтергот*

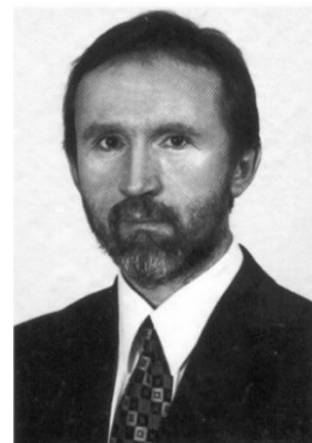
Владимир Федорович Альтергот был принят в 1957 г. по конкурсу в Биологический институт заведующим лабораторией биохимии, биофизики и физиологии растений.

В связи с переводом ботанических подразделений в ЦСБС СО АН СССР, работал там заведующим лабораторией физиологии растений с 1960 по 69 гг. В 1969 г. организовал лабораторию физиологии растений в ИПА, которую возглавлял до 1982 г.

В.Ф. Альтергот проводил исследования в области устойчивости высших растений к экстремальному действию экологических факторов, устанавливал общие биологические закономерности, проявляющиеся при взаимодействии живых организмов с окружающей средой, определяющие единство повреждений, адаптации и устойчивости растений. Активно изучались приемы направленной регуляции роста, развития и созревания культурных растений, такие как сеникация, некорневые подкормки, химические прополки и др.

Лев Алексеевич Игнатьев в составе лаборатории физиологии растений проводил исследования закономерностей фенотипической адаптации растений к повреждающему действию экологических факторов. Большое внимание им было уделено разработке представлений об ответных реакциях растений в связи с различным характером экстремального воздействия факторов внешней среды. С 1982 г. Л.А. Игнатьев возглавлял группу физиологии растений, которая в начале 90-х годов вошла в состав лаборатории минерального питания растений.

Л.А. Игнатьев изучил влияние ретарданта ССС на физиологическое состояние растений, выявил роль этого препарата как повреждающего фактора, обосновал его ингибирующее влияние на рост растений и приемы повышения устойчивости зерновых культур к полеганию посевов. На этой основе разработал диагностику сортов мягкой яровой пшеницы на засухоустойчивость.



*Владимир Николаевич  
Якименко*



*Лев Алексеевич  
Игнатьев*

В 1979 году в ИПА СО АН СССР была создана еще одна лаборатория агрохимического направления – лаборатория питательного режима почв и трансформации удобрений. Ее сотрудники – Г.П. Гамзиков, О.И. Гамзикова, П.А. Барсуков, В.С. Барсукова, П.С. Широких, А.П. Лешков, Р.П. Макарикова, М.Н. Кулагина и др. внесли большой вклад в изучение важных вопросов агрохимии.

Геннадия Павловича Гамзикова, организовавшего и возглавлявшего лабораторию с 1979 по 1988 гг., отличает многоплановость проводимых агрохимических исследований, однако особое внимание он уделил решению проблемы азота в сибирском земледелии, изучению биоцикла азота в системе почва-удобрение-растение. В своих исследованиях Г.П. Гамзиков установил ряд особенностей азотного фонда различных пахотных почв Западной Сибири, обусловленных своеобразием биоклиматических условий. Сведения о составе азотного фонда почв, содержании основных его компонентов и закономерностях режима позволили дать агрохимическую оценку мобильности и способности к гидролизу соединений почвенного азота. Выявлены основные источники пополнения минеральных форм азота в почве и показаны пути минерализации почвенных азотсодержащих соединений с целью оптимизации азотного питания выращиваемых культур. В своих работах Г.П. Гамзиков выявил географические и агротехнические закономерности действия азотных удобрений в различных почвенно-климатических зонах Западной Сибири,



Геннадий Павлович  
Гамзиков

разработал картосхему азотного фонда и эффективности азотных удобрений, предложил пути регулирования баланса азота в агроценозах.

Значительную теоретическую и практическую важность имеют исследования Ольги Ивановны Гамзиковой, выполненные на стыке двух наук – агрохимии и генетики. Она впервые предложила и апробировала методологию изучения механизмов контроля минерального питания растений, основанную на эволюционно-генетических подходах. В 1992 г. О.И. Гамзикова защитила докторскую диссертацию «Генетические аспекты отзывчивости пшеницы на условия минерального питания». Она разработала концепцию направленности и темпов эволюционных преобразований продукционного процесса и адаптивности представителей рода *Triticum L.* к условиям азотного питания, установила формирование во времени азотного статуса растения. С помощью генетических моделей были идентифицированы конкретные гены, хромосомы и доказан их вклад в процессы поглощения и использования растениями азота, фосфора, калия почвы и удобрений.



Ольга Ивановна  
Гамзикова

В 1988-1992 гг. лабораторию питательного режима почв и трансформации удобрений возглавлял Анатолий Павлович Лешков. Исследования А.П. Лешкова были направлены на разработку рекомендаций по применению азотных удобрений, повышению эффективности продукционного процесса растений и сохранению плодородия почв в системе орошаемых агроценозов.

Павел Анатольевич Барсуков заведовал лабораторией питательного режима почв и трансформации удобрений с 1992 по 1997 гг. Он проводил исследования влияния вносимых минеральных удобрений и способов обработки почвы на продуктивность сельскохозяйственных культур, баланс и динамику азота и фосфора, их содержание в почвах и растениях, запасы почвенного углерода.

В 1997 году в результате объединения лаборатории питательного режима почв и трансформации удобрений с лабораторией минерального питания растений, была образована лаборатория агрохимии, успешно работающая в ИПА СО РАН по настоящее время. Помимо названных выше сотрудников, в лаборатории агрохимии в течение долгих лет плодотворно

работали и работают А.С. Прозоров, М.И. Кленова, Ф.Р. Калимуллина, Н.Б. Наумова, Н.В. Смирнова, Т.В. Нечаева, О.П. Якутина и др., внося свой вклад в решение теоретических и прикладных вопросов агрохимии.

Заметное место в деятельности ИПА занимали и занимают исследования по агрохимии микроэлементов. На протяжении 40 с лишним лет их возглавлял Виктор Борисович Ильин, создав солидную школу высококвалифицированных специалистов. Его учениками и соратниками были А.П. Аникина, В.К. Бахнов, Н.Ю. Гармаш, Г.А. Гармаш, А.А. Трейман, М.Д. Степанова, Н.Л. Байдина, А.И. Сысо, Г.А. Конарбаева, Т.И. Сиромля, А.С. Черевко, Ю.В. Ермолов, С.А. Худяев и др., которые в разные годы работали в лаборатории биогеохимии и агрохимии микроэлементов, а также в настоящее время в лаборатории биогеохимии почв.



*Владимир  
Константинович Бахнов*

Содержание меди в торфяных почвах и эффективность применения на них медьсодержащих удобрений изучал Владимир Константинович Бахнов. Он показал, что малое содержание и трудная доступность растениям соединений микроэлемента в торфе обуславливают медную недостаточность у некоторых сельскохозяйственных культур. Применяемые на торфяных почвах азотные удобрения, особенно в повышенных дозах, уменьшают подвижность меди и тем самым усиливают степень проявления дефицита меди. В Барабе была выявлена провинция с низким количеством меди в кормах, произрастающих на торфяных почвах.

Большую научную ценность представляют почвенно-агрохимические исследования Александра Ивановича Сысо, возглавляющего лабораторию биогеохимии почв с 1995 г, по изучению влияния природных и антропогенных факторов на содержание и распределение химических элементов в почвенном покрове Западной Сибири. В своих работах А.И. Сысо обосновал связь элементного химического состава и агрохимических свойств низинных торфяных почв с ландшафтно-геохимическими особенностями их формирования, предложил приемы оптимизации минерального питания растений на осушенных торфяниках. Им получены данные о содержании и подвижности макро- и микроэлементов в низинных торфяных почвах, изменении их содержания в агроценозах, установлено длительное последствие фосфорных удобрений и высокая эффективность калийных.



*Александр Иванович  
Сысо*



*Галина Акмулудиновна  
Конарбаева*

Разносторонние исследования содержания, закономерностей распределения и специфики накопления галогенов в природных объектах юга Западной Сибири проведены Галиной Акмулудиновной Конарбаевой. Ею выявлены факторы, влияющие на миграцию и аккумуляцию галогенов в почвенном профиле, показана природа поглощения почвами галогенов и механизмы их взаимодействия с компонентами почвы. Определена концентрация галогенов в разных типах природных вод и растительности, дана оценка содержания галогенов в природных



*Татьяна Ивановна  
Сиромля*

объектах с экологических позиций.

Исследования Татьяны Ивановны Сиромля посвящены установлению закономерностей содержания и распределения форм соединений химических элементов в почвах и растениях юго-востока



Западной Сибири в зависимости от региональных особенностей природных и антропогенных факторов, комплексной оценке их экологического и биогеохимического состояния.

Таким образом, за время существования ИПА СО АН СССР (СО РАН) лаборатории агрохимического (в той или иной степени) профиля прошли (по настоящее время) ряд трансформаций – разделение, поглощение, объединение, которые показаны на схеме (рис.).

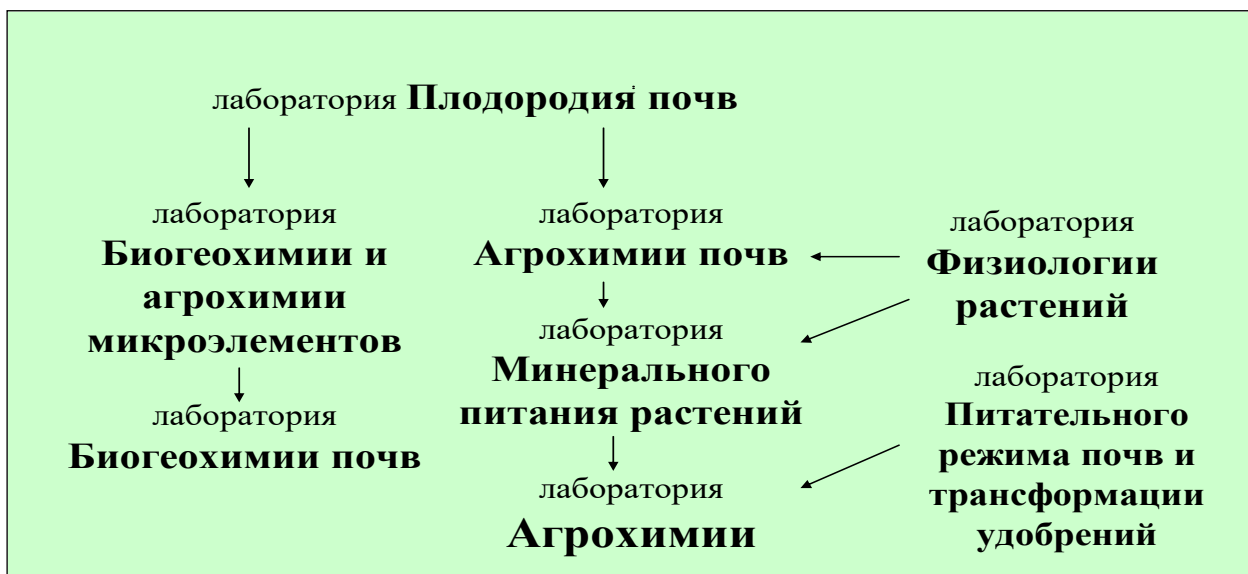


Рисунок. Организационно-структурные преобразования подразделений, проводящих агрохимические исследования в ИПА СО АН СССР (ИПА СО РАН) с 1968 по 2023 гг.

Отметим, что в Диссертационном совете при ИПА, действующем с 1976 года по настоящее время, было успешно защищено 15 докторских (табл.) и несколько десятков кандидатских диссертаций по специальности «Агрохимия». Кроме того, 10 докторских диссертаций были защищены по специальности «Агрочвоведение», в которых немало внимания уделено агрохимическим вопросам. Всего в диссоте было защищено 94 докторские диссертации.

Таблица. Защиты докторских диссертаций по специальности Агрохимия в диссертационном совете при ИПА СО АН СССР (ИПА СО РАН)

№ п/п	ФИО	Год защиты
1	Гамзиков Геннадий Павлович	1978
2	Амгалан Жанцандоржийн (Монголия)	1978
3	Иванов Николай Александрович	1983
4	Куперман Израиль Абрамович	1984
5	Усманов Анвар Намадович (Узбекистан)	1987
6	Помазкина Любовь Владимировна	1989
7	Ахмедов Али Раджаб (Азербайджан)	1990
8	Иванов Андрей Леонидович	1991
9	Назарюк Владимир Митрофанович	1991
10	Гамзикова Ольга Ивановна	1992
11	Маслова Ирина Яковлевна	1992
12	Кашин Владимир Капсимович	1993
13	Игнатъев Лев Алексеевич	1994
14	Убугунов Леонид Лазаревич	1995
15	Якименко Владимир Николаевич	2004
	Еще 10 диссертаций защищено по специальности «Агрочвоведение»	1990–1997

В завершении следует сказать, что образование и деятельность Института почвоведения и агрохимии СО РАН (СО АН СССР) сыграли важную роль в развитии этих и смежных наук как в России, так и за рубежом. На протяжении многих лет Институт обеспечивал и обеспечивает значительный вклад в достижения фундаментальной и прикладной науки, является определенным стимулом и ориентиром для развития исследований и формирования научных школ в других профильных учреждениях сибирского региона.

## THE HISTORY OF FORMATION OF THE ISSA SB AN USSR (SB RAS) AND THE DEVELOPMENT OF AGROCHEMICAL RESEARCH AT THE INSTITUTE

V.N. Yakimenko

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Division, Russian Academy of Science, Novosibirsk, yakimenko@issa-siberia.ru

*Summary. The main stages of the formation and development of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB AS USSR), as well as the formation and achievements of agrochemical research at the institute, whose 55th anniversary is celebrated in 2023, are shown.*

*Keywords: Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, agrochemical research.*

УДК 631.8:001(09)

## ФРАГМЕНТЫ ИСТОРИИ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИПА СО РАН

Г.П. Гамзиков

Новосибирский аграрный университет, Новосибирск, gamolgen@rambler.ru

*Аннотация. Организация научной агрохимической лаборатории в 70-х г. прошлого столетия была прогрессивным шагом для развития сибирской агрохимии. Молодой и энергичный коллектив смог внимательно проанализировать состояние агрохимической науки в регионе и увидеть ряд важных и мало изученных проблем, которые были ими использованы для будущих исследований. Коллективу удалось внести существенный вклад по ряду агрохимических направлений: в генетику минерального питания полевых культур (по идентификации хромосом пшениц, гены которых контролируют способность поглощения азота, фосфора и калия); трансформацию элементов питания в системе: удобрения-почва-растение; по почвенной диагностике потребности культур в удобрениях и др. Немалый вклад лабораторией был внесён в разработку методик и решений методических вопросов на стыке агрохимии, генетики и селекции; при изучении новых видов и форм удобрений; при применении радиоактивных и стабильных изотопов в агрохимических исследованиях; при оценке научной и производственной значимости местных удобрений (торф, вивианиты, фосфориты, апатиты) и др.*

*Ключевые слова: Агрохимическая лаборатория, кадры, направления исследований, подготовка кадров, научные достижения, публикации, агрохимический вклад.*

Создание в 60-х годах прошлого столетия в Сибири научно-исследовательского института, посвящённого двум, крайне актуальным и востребованным для земледелия региона направлениям – почвоведению и агрохимии было весьма своевременным. Проблемы изучения плодородия почвенного покрова сельскохозяйственных земель, приёмов его сохранения и улучшения, а также разработки способов рационального применения органических и минеральных удобрений для оптимизации питания и получения высоких урожаев полевых культур были крайне важными для сельскохозяйственного производства громадного региона.

В 1979 г. в Институте почвоведения и агрохимии по инициативе директора профессора Р.В. Ковалёва, наряду с уже существующими лабораториями «Плодородия почв» (рук. проф. В.Б. Ильин) и «Минерального питания растений» (рук. д.б.н. И.А. Куперман), была создана новая: «Питательного режима почв и трансформации удобрений». Агрохимик Г.П. Гамзиков, возглавивший новое подразделение, был аспирантом СибНИИСХ (Омск), прошёл обычный исследовательский путь в этом институте: м.н.с., с.н.с., заведующий лабораторией агрохимии. Подготовил и защитил в 1967 г. кандидатскую диссертацию, а в 1978 г – докторскую на тему:

«Азотный фонд почв Западной Сибири и эффективность азотных удобрений». В 1978 г. был приглашён на работу в ИПА СО АН [1, 2].

За 10 лет работы в Институте почвоведения и агрохимии, заведующим лабораторией был сформирован весьма продуктивный коллектив научных работников и аспирантов, лаборантов и инженеров. В новом подразделении была создана аналитическая экспериментальная научная база, а также же два полевых научных стационара: Ордынский в Новосибирской и Колпашевский в Томской областях с полигонами для полевых опытов. На Ордынском стационаре была также сформирована оросительная система для изучения эффективности применения удобрений при разных нормах полива. На Нарымской опытной станции в Колпашево исследования базировались при многолетнем опыте с удобрениями закладки 1948 г. Лабораторией активно использовалась часть вегетационного домика в институте для проведения модельных опытов, в том числе с меченым изотопом  $^{15}\text{N}$ .

Комплексные исследования с научными учреждениями Западной и Восточной Сибири проводились как на основе творческих договоров, так и при консультациях в процессе подготовки докторских диссертаций, а также при руководстве заведующего аспирантскими работами.

Ежегодно в летний период проводились комплексные экспедиционные автомобильные поездки по региону по агрохимическому обследованию изменения свойств пахотных почв при многолетнем применении удобрений. В результате этих экспедиций был собран немалый коллекционный банк образцов сибирских почв разной степени удобренности. Ежегодные экспедиционные поездки от Урала до Забайкалья позволили познакомиться со всеми длительными стационарными полевыми опытами с удобрениями, входящими во Всесоюзную Геосеть опытов с удобрениями, созданную в 1931 году академиком Д.Н. Прянишниковым. При посещении полевых опытов в научно-исследовательских институтах, на опытных станциях, в ВУЗах и лабораториях агрохимслужбы члены экспедиций во главе с заведующим знакомились с опытами, обсуждали методологию их проведения и при необходимости оказывали методическую помощь.

Кадровый состав лаборатории формировался в основном подбором специалистов агрохимического направления. Квалификационный состав лаборатории Питательного режима почв и трансформации удобрений состоял из главного, 2–3-х старших, 3–4-х младших научных сотрудников, 4–5 инженеров и лаборантов. Ежегодно на практику из Новосибирского ГАУ приходило 4–6 студентов, которые участвовали в исследовательском процессе лаборатории. Половина практикантов, как правило, для написания дипломных работ ежегодно использовала экспериментальный материал лаборатории для написания дипломных работ. Направление и тематика научных исследований, ежегодные и законченные отчёты по темам, рукописи монографий и практических планов исследований предварительно рецензировались, затем рассматривались и утверждались на Учёном совете института.

Слаженный коллектив Лаборатории питательного режима почв и трансформации удобрений летом, загруженный полевыми опытами и экспедиционными поездками, а зимой агрохимическими анализами, камеральной обработкой материалов и написанием отчётов, и статьёй, участием в конференциях и семинарах жил дружно и работал продуктивно. Ориентировочно за жизненное время лаборатории было опубликовано более десятка монографий [3–7], ряд рекомендаций и брошюр [8–15], а также свыше сотни статей в научных журналах, трудах и тезисах конференций].

**Краткая информация о работе научных сотрудников.** Главный научный сотрудник д.б.н. **О.И. Гамзикова**, масштабно проводила пионерские исследования на стыке генетики и агрохимии растений. Исследователем разработана методология исследований изменчивости реакций рода Тритикум к возрастающим уровням азотного, фосфорного и калийного питания. Использование в полевых экспериментах генетических моделей (дителосомные линии) позволило идентифицировать хромосомы и гены, которых прямо или опосредованно контролируют реакции пшеницы на условия питания азотом, фосфором и калием. С помощью  $^{15}\text{N}$  изучен эффект нуллисомии в отношении поглощения азота удобрений и его распределения по растению. Полученная генетическая информация служит базой для создания материальной модели агрохимически эффективных и экологически устойчивых сортов и разработки путей



управления генофондом мягкой пшеницы при постановке, решении и реализации задач экономически эффективного и экологически безупречного применения минеральных удобрений. По этому направлению исследований опубликовано несколько монографий [16–20] и более сотни статей.

Исследования старшего научного сотрудника к.б.н. **Р.П. Макариковой** были посвящены агрохимической оценке нетрадиционных удобрений, применяемых на почвах тайги и лесостепи. В качестве объектов исследований служили удобрения местного производства из сибирских апатитов (Ошурковский) и фосфоритов (Сейбинский, Обладжанский, Телекский, Белкинский), а также твёрдые и жидкие комплексные азотно-фосфорные удобрения (ТКУ, ТКУ+Л и ЖКУ). Проведённые исследования доказали, что сибирские фосфаты, содержащиеся в агрорудах, обладают потенциальными и эффективными удобрительными свойствами и при соответствующей переработке могут успешно использоваться в сельскохозяйственном производстве региона в качестве ценных удобрений [21–25].

Старший научный сотрудник, к.б.н. **В.Н. Емельянова**, занималась поиском приёмов повышения эффективности азотных удобрений при внесении под полевые культуры и приёмов повышения коэффициентов их использования. В полевых и лабораторных исследованиях с использованием изотопной метки  $^{15}\text{N}$  автором получены новые материалы по балансу и трансформации промышленного азота, установлены зависимости коэффициентов использования элемента от культуры, вида удобрений, способа внесения, условий, увлажнения. Были предложены агротехнические приёмы повышения эффективности азотных удобрений: оптимизация доз и способов внесения, применение медленно действующих форм, а также ингибиторов нитрификации [3, 25–27].

Старший научный сотрудник, к.с.-х.н. **А.П. Лешков** опытный исследователь, один из создателей агрохимслужбы в Алтайском крае долгие годы возглавлял Барнаульскую агрохимическую лабораторию. Анатолий Павлович активно занимался как формированием орошаемого комплекса, так и исследовательской работой по поиску оптимальных режимов орошения. Исследования систем применения удобрений на поливном участке позволили разработать при оптимальных режимах орошения, наиболее эффективные нормы и сочетания удобрений для культур севооборота. [7, 13, 15].

К.б.н., старший научный сотрудник **П.А. Барсуков** в условиях таёжной зоны Западной Сибири установил особенности влияния длительного применения различных систем удобрений на баланс вновь внесённого азота, а также оценил его роль на процессы внутри почвенного цикла, а также на оборот в составе микробной биомассы. Результаты исследований используются при составлении экономического и экологического обоснования систем удобрений, направленных на повышение продуктивности полевых культур, возделываемых на дерново-подзолистых почвах таёжной зоны [26–28].

Младший научный сотрудник к.б.н. **Кулагиной М.Н.** установлены параметры изменения гумусного состояния основных типов сибирских почв под влиянием длительного применения удобрений. Определены качественные параметры и направленность изменения компонентного состава гумусовых веществ. Полученные материалы расширяют возможности прогнозирования режима гумусовых составляющих в зависимости от систем органических и минеральных удобрений, норм и длительности их применения [29, 30].

Лаборатория Питательного режима почв и трансформации удобрений была важным полигоном развития агрохимической науки в регионе. За период её активной жизнедеятельности аспирантами очного и заочного обучения в аспирантуре, а также прикрепленными соискателями было подготовлено и успешно защищено 10 кандидатских диссертаций (Емельянова В.Н. (1984), Пигарева Н.Н. (1984), Мангатаев Ц.Д. (1985), Степенев А.Г. (1987), Мармулев А.Н., (1990), Шотт П.Р. (1991), Барсуков П.А. (1991), Кулагина М.Н. (1991), Макарикова Р.П. (1992), Рузавин Ю.Н. (1993). Все эти кандидаты наук успешно продолжили поиски агрохимических истин в сибирских научных и учебных учреждениях.

Профессором Г.П. Гамзиковым была оказана консультационная помощь при анализе материала и подготовке докторских диссертаций восьми будущим докторам наук: Помазкиной Л.В. (1989), Семененко Н.Н. (1982), Гамзиковой О.И. (1992), Храпцову И.Ф. (1997), Холмову В.Г. (1990), Куликову Г.Г. (1994), Моторину А.С. (1998), Лапухину Т.П.

(2000). Краткое содержание всех докторских и кандидатских диссертаций опубликовано в монографии [2].

Краткий анализ деятельности коллектива лаборатории Питательного режима и трансформации удобрений свидетельствует о многогранности агрохимических проблем, которым уделялось внимание руководства и исполнителей-сотрудников всех агрохимических лабораторий ИПА. Новизна идей, активность к сотрудничеству и регулярные агрохимические семинары, проводимые в институте, привлекали сибирских агрохимиков к научному общению, что способствовало активному развитию новых направлений в сибирской агрохимической науке. Результатом этой активности были эффективные разработки теоретического плана и практических приёмов по технологиям применения органических и минеральных удобрений, освоению методов диагностики элементов питания. Большое внимание агрохимиками ИПА традиционно уделялось как биологическим направлениям теоретической агрохимии (генетическим особенностям растений, биоте почв, экологическим проблемам и др.), так и практическим приёмам эффективного использования природного плодородия и всех видов удобрений

### Литература

1. Деятели сельскохозяйственной науки и аграрного образования. Гамзиков Г.П. / Новосибирск. 2008. 104 с.
2. Проблемы экспериментальной агрохимии. Научно-педагогическая школа академика РАСХН Г.П. Гамзикова. // РАСХН, Сиб. отд-ние, Новосибирский ГАУ. Новосибирск, 2013 с. 2013. 448 с.
3. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981.
4. Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 161 с.
5. Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М., Аникина А.П., Гамзикова О.И., Жуков Г.А., Лешков А.П. и др. Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1989. 254 с.
6. Гамзиков Г.П., Мангатаев Ц.Д., Пигарева Н.Н. Плодородие лугово-черноземных мерзлотных почв. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 132 с.
7. Лешков А.П., Назарюк В.М., Ткаченко Г.И., Кирюшин В.И., Шарков И.Н., Гамзиков Г.П., Москвин П.М. и др. Нитраты и качество продуктов растениеводства. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 167 с.
8. Рекомендации по увеличению урожайности зерновых культур в Омской, Новосибирской, Кемеровской, Томской областях / Азиев К.Г., Березин Л.В., Верёвкин В.С., Волощук А.Т., Гамзиков Г.П. и др. Омск: СибНИИСХоз, 1979. 66 с.
9. Комплексная программа увеличения производства зерна и кормов в Новосибирской области на 1980-1985 гг. / Гончаров П.Л., Краснощеков Н.В., Шумный В.К., Алексеев А.С., Кубышев В.А., Гамзиков Г.П. и др. Новосибирск, 1980. 44 с.
10. Защита почв от эрозии в Западной Сибири (рекомендации) / Милащенко Н.З., Краснощеков Н.В., Гоф В.Ф., Холмов В.Г., Гамзиков Г.П. М. Россельхозиздат, 1980. 52 с.
11. Зональные системы земледелия Новосибирской области / Коллектив авторов. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1982. 455 с.
12. Рекомендации по диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений / Гамзиков Г.П., Кочергин А.Е., Крупкин П.И., Чуканов В.И. Новосибирск, 1983. 30 с.
13. Гамзиков Г.П., Мурин В.Н., Салмин Л.Н., Лешков А.П. Рекомендации по применению азотных удобрений в земледелии Новосибирской области. Новосибирск, 1984. 23 с.
14. Рекомендации по рациональному использованию почвенного азота в хозяйствах Еравнинского района Бурятской АССР / Гамзиков Г.П., Дугаров В.И., Пигарева Н.Н. Улан-Удэ, 1984. 8 с.
15. Рекомендации по применению удобрений в земледелии Новосибирской области в 1985 году / Гамзиков Г.П., Лешков А.П., Мурин В.Н. и др. Новосибирск, 1985. 22 с.
16. Гамзикова О.И., Калачник Н.А. Генетика признаков пшеницы на фонах питания / Акад. Наук СССР. Сиб. отд-ние. 1988. 129 с.

17. Калачник Н.А., Гамзикова О.И. Генетика агрохимических признаков пшеницы / Новосибирск, 1994. 220 с.
18. Гамзикова О.И. Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений // РАСХН СО, НГАУ. Новосибирск, ИПФ «Агрос», Новосибирск. 2008. 372 с.
19. Гамзикова О.И., Майстренко О.И. Генетический контроль усвоения соединений азота пшеницей // Известия АН СССР. 1991, №5. С. 700–706.
20. Гамзикова О.И. Состояние исследований в области генетики минерального питания // Агрохимия, 1992, №4, С. 139–150.
21. Макарикова Р.П. Агрохимическая оценка нетрадиционных удобрений в агроценозах Западной Сибири / Автореф. дис. на соискание уч. ст. к.б.н. Новосибирск. 1992.
22. Макарикова Р.П. Агрохимическая оценка фосфоритов сибирских месторождений // Агрохимия. №4, 1996. С. 39–49
23. Гамзиков Г.П., Емельянова В.Н. Локальное внесение азотных удобрений // Способы внесения удобрений в Сибири. Новосибирск: Сиб. отд-ние ВАСХНИЛ, 1986. С. 32–39.
24. Емельянова В.Н. Пути повышения и использования растениями и снижения потерь азота удобрений // Автореф. дис. на соискание уч. ст. к.б.н. Новосибирск. 1985. 17 с.
25. Гамзиков Г.П., Емельянова В.Н., Макарикова Р.П., Дудников Ю.С. Агрохимическая оценка азотно-фосфорных удобрений // Сибирский биологический журнал. 1991. вып. I. С. 40–43.
26. Гамзиков Г.П., Барсуков П.А. Симбиотическая и не симбиотическая азотфиксацию в дерново-подзолистой почве Западной Сибири // Доклады Россельхозакадемии, 1996. № 1. С. 13–15.
27. Барсуков П.А. Влияние длительного применения удобрений на баланс и трансформацию азота в дерново-подзолистой почве // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. к.б.н. Новосибирск. 1991. 18.с.
28. Гамзиков Г.П., Барсуков П.А. Баланс азота при длительном применении удобрений в агроценозах на дерново-подзолистой почве // Агрохимия, 1997. № 9. С. 5–10.
29. Гамзиков Г.П., Кулагина М.Н. Влияние длительного систематического применения удобрений на органическое вещество почв // Почвоведение, 1990. № 11. С. 57–67.
30. Гамзиков Г.П., Кулагина М.Н. Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования. М.: ВНИИТЭИА, 1992. 49 с.
31. Гамзиков Г.П., Емельянова В.Н. Приемы повышения степени использования и снижения потерь азота удобрений // Трансформация азота в почве и использование его сельскохозяйственными культурами в интенсивном земледелии / Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М., 1991. С. 62–72.
32. Барсуков П.А., Гамзиков Г.П. Трансформация и использование в последствии закрепленного азота ( $^{15}\text{N}$ ) в зависимости от предшествующей удобренности дерново-подзолистой почвы // Агрохимия, 2003. № 7. С. 5–10.
33. Гамзиков Г.П., Барсуков П.А., Варвайн О.Д. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // Доклады Россельхозакадемии, 2007, №5, С. 28-32 // Доклады Россельхозакадемии, 2007. №5. С. 28–32.
34. Гамзиков Г.П., Барсуков П.А. Баланс азота при длительном применении удобрений в агроценозах на дерново-подзолистой почве // Агрохимия, 1997. № 9. С. 5–10.

#### FRAGMENTS OF THE HISTORY OF AGROCHEMICALS RESEARCH AT THE ISSA SB RAS G.P. Gamzikov

*Novosibirsk Agrarian University, Novosibirsk, gamolgen@rambler.ru*

*Summary. The organization of a scientific agrochemical laboratory in the 70s of the last century was a progressive step for the development of Siberian agrochemistry. The young and energetic team was able to carefully analyze the state of agrochemical science in the region and see a number of important and little-studied problems that they used for future research. The team managed to make a significant contribution in a number of agrochemical areas: to the genetics of mineral nutrition of field crops, in particular, to the identification of wheat chromosomes, the genes of which control the ability to absorb nitrogen, phosphorus and potassium; transformation of nutrients in the system:*



*fertilizers-soil-plant; on soil diagnostics of crop fertilizer needs, etc. The laboratory made a significant contribution to the development of methods and solutions to methodological issues at the intersection of agrochemistry, genetics and breeding; when studying new types and forms of fertilizers; when using radioactive and stable isotopes in agrochemical research; when assessing the scientific and industrial significance of local fertilizers (peat, vivianites, phosphorites, apatites).*

*Keywords: Agrochemical laboratory, personnel, areas of research, personnel training, scientific achievements, publications, agrochemical contribution.*

УДК 631.41

## **КИНЕТИКА ПРОЦЕССОВ ВНУТРИПОЧВЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТА КРИОАРИДНЫХ ПОЧВ АЗИАТСКОЙ РОССИИ: МАСШТАБ ПРОЯВЛЕНИЙ, АКТИВНОСТЬ МИКРОБНОГО ПУЛА И ПРОГНОЗНЫЕ СЦЕНАРИИ**

**Л.В. Будажапов**

ФГБНУ Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,  
Улан-Удэ, nitrolu@mail.ru

***Аннотация.** По данным многолетних опытов с  $^{15}\text{N}$  предложена диагностика изменений азотного статуса криоаридных почв по скоростным характеристикам внутрипочвенных процессов трансформации азота. Согласно уравнению экспоненты выведены скоростные константы ( $k$ ) процессов иммобилизации азота в почвах, минерализации устойчивого и метаболического пула почвенного азота и активности почвенных микроорганизмов под нагрузкой и без внесения азотных удобрений. Предложена кинетическая концепция оценки азотного статуса почв, которая позволяет при незначительных изменениях раскрыть чувствительные скоростные проявления и предложить новые дополнительные индикаторы к характеристикам азотного статуса почв на момент ( $t_0$ ) времени. Последние выступают в качестве прогнозных сценариев.*

***Ключевые слова:** криоаридные почвы, иммобилизация и минерализация азота, микробный пул почв, кинетика процессов.*

**Актуальность.** Проблема азота всегда была и остается важнейшей в оценке и диагностике плодородия почв [1, 2]. В этом понимании, криоаридные почвы не являются исключением и являются наиболее ярким примером высокой их чувствительности на изменение азотного фонда, особенно под влиянием азотных удобрений [3, 4]. Соответственно, внесение азотных удобрений сопровождается изменением азотного пула. Причем, процессы внутрипочвенной трансформации азота в этих почвах в количественном и скоростном представляют наиболее мотивированную позицию. Последнее связано отсутствием подобных развернутых оценок – с одной стороны, и возможностью построения прогнозных сценариев по изменению азотного статуса почв – с другой. Последние в совокупном определении определяют всю актуальность оценки внутрипочвенных превращений азота в системе почва-растение-удобрение. При этом незначительные и небольшие изменения в отклике азотного их фонда остаются, как правило, в пределах не существенных величин, которые при низком и бедном составе азотного их состояния и дефиците доступного минерального азота представляют особую значимость [5]. Отсюда, скоростные характеристики представляется приоритетными, поскольку позволяют оценить изменения на любой момент времени ( $t_0$ ). Причем, их различия отражают панораму незначительных изменений и выступают устойчивым критерием диагностики азотного их статуса, позволяя значительно расширить известные классические представления.

**Объекты и методы.** Микрополевые опыты проводили на типичных почвах криоаридного ряда сухой степи и степи (каштановая и чернозем южный) в Бурятии и Забайкальском крае с применением методов изотопно-меченой индикации [6, 7]. Меченые  $^{15}\text{N}$  удобрения вносили ежегодно весной при посеве в виде солей сульфата аммония (Na) и натриевой (Nc) селитры по скользящему графику в две разные повторности опытов с разным исходным обогащением (32,5...58,8 ат.%  $^{15}\text{N}$ ). Образцы почв отбирались в динамике каждые 10 дней. Изотопный состав азота определяли масс-спектрометрически. Статистический анализ и математическое

моделирование проводили по уравнению экспоненты с привлечением пакета стандартным программ Excell 2010. Кинетические изменения оценивали по выведенным константам (k). Подобный подход позволил сформировать базу данных и серию прогнозных ожиданий ( $t_0$ ). Плодородие почв, в т.ч. азотного их фонда, а также климатические ресурсы были типичными и соответствовали криоаридному режиму их функционированию (ГТК 0,11–0,49).

**Обсуждение результатов.** Во внутрипочвенных превращениях азота иммобилизационно-минерализационные процессы являются ключевыми [3, 8]. Подобное в почвах криоаридного ряда не стало исключением. Установленные высокие размеры и темпы иммобилизации азота вносимых удобрений сопровождались высокими кинетическими характеристиками процесса при адекватно высокой кинетической активности гетеротрофной микрофлоры почв на фоне повсеместного дефицита доступного минерального азота (табл. 1). Величина закрепления азота в органическую форму в почвах в среднем не превышала 41% с широким диапазоном предельных величин при более высокой кинетике процесса в каштановой почве ( $k=0,449$  в сутки). Масштаб иммобилизации азота удобрений в лугово-черноземной почве определялся значительно выше и достигал в среднем 53,3% при значительно меньшей кинетике процесса –  $k=0,105$  в сутки (табл. 1). Масштаб закрепления вносимого азота почвенной микрофлорой возрастал в направлении увеличения почвенного плодородия с обратной зависимостью по кинетическим усилиям. Подобное в частном определении поддерживается фундаментальным принципом Ле-Шателье.

Таблица 1. Масштаб и кинетика (k) иммобилизации  $^{15}\text{N}$  удобрений в почвах, % внесенного

Почва	n	$M \pm m$	lim	$\sigma$	$M \pm tm$	V, %	k, в сутки
Каштановая	12	$41,1 \pm 1,4$	36,2–48,1	4,1	37,9–44,3	9,98	0,449
Чернозем южный	8	$41,1 \pm 2,5$	33,7–45,2	6,0	34,6–44,6	14,6	0,383
Лугово-черноземная	14	$53,3 \pm 1,3$	48,1–61,2	3,8	50,3–56,3	7,13	0,105

Высокая величина и кинетика процессов иммобилизации  $^{15}\text{N}$  удобрений обеспечивалась высокой активностью микробного пула, в составе которого актиномицеты характеризовались наибольшей активностью –  $k=0,129$  и  $k=0,165$  в год (табл. 2). При этом, активность грибной микрофлоры в этом процессе практически ничтожна. Высокая активность актиномицетов за доступные источники питания ранее отмечено в работах ряда авторов [1, 3]. По их мнению, подобное связано с тем фактом, что актиномицеты являются K-стратегами [9, 10], высокая активность которых проявляется именно при дефиците источников питания и в отличие от грибов (r-стратеги) эта группа микроорганизмов колонизирует субстрат позже грибной. Как следствие, подобное обеспечивает высокую адаптивность и кинетику актиномицетов.

Таблица 2. Микробный пул и кинетическая активность (k) почвенных микроорганизмов в процессах иммобилизации  $^{15}\text{N}$  удобрений в криоаридных почвах,  $n=8-12$

Признак и параметр оценки		Каштановая	Чернозем южный	Лугово-черноземная	
Грибы	численность, тыс/г	$20,7 \pm 1,9$	$9,17 \pm 0,78$	$85,9 \pm 4,82$	
	k	скорости роста	0,0004 в год	0,003 в год	0,0004 в год
		активности	0,011 в год	0,001 год <sup>-1</sup>	0,001 в год
Актиномицеты	численность, тыс/г	$1,84 \pm 0,49$	$2,11 \pm 0,26$	$7,37 \pm 0,31$	
	k	скорости роста	0,0014 в год	0,002 год <sup>-1</sup>	0,0004 в год
		активности	0,129 в год	0,165 год <sup>-1</sup>	0,434 в год

Кинетические характеристики процесса иммобилизации азота в этих специфических почвах выступают в качестве новых индикаторов внутрипочвенных превращений азота в системе почва-удобрение-растение и позволяют значительно расширить масштаб проявлений этого ключевого фундаментального явления (депонирование азота). В этом проявлении возрастает не только азотный статус почв, но и общее энергетическое их состояние. Последнее в свою

очередь обеспечивает снижение ряда негативных явлений их функционирования – хрупкость и наличие мерзлоты с аридностью.

При выраженном дефиците подвижного минерального азота в криоаридных почвах, оценка азотминерализующего эффекта ( $N_0$ ) выступает одним из индикаторов азотного статуса почв и ближайшего резерва доступного минерального азота [0,0]. Во всех случаях, независимо от различий в плодородии почв, в т.ч. составе азотного фонда, активности микробоценозов и гидротермического состояния, масштаб проявлений складывался с различной величиной  $N_0$  и кинетической константой ( $k$ , год<sup>-1</sup>) этого процесса на варианте контроле (без удобрений) и при систематическом внесении NPK удобрений (табл. 3).

Таблица 3. Масштаб проявлений азотминерализующего потенциала ( $N_0$ ) криоридных почв и кинетика ( $k$ ) минерализации устойчивого и метаболического пула почвенного азота

Вариант оценки		Параметр оценки	Каштановая	Чернозем южный	Лугово-черноземная
без удобрений	$N_0$	мг /100 г	2,98	3,29	6,16
		% N общий	2,17	1,15	1,42
	$k$ , год <sup>-1</sup>	устойчивый пул	0,023	0,013	0,016
		метаболический	0,355	0,380	0,291
P40 K40 +N60	$N_0$	мг /100 г	1,14	0,76	0,34
		% N общий	0,83	0,24	0,08
	$k$ , год <sup>-1</sup>	устойчивый пул	0,008	0,002	0,0009
		метаболический	0,148	0,121	0,053

Характер отклика почвенного азота по всем вариантам оценки  $N_0$  подчинялся функции экспоненты аналогично характеру активности микробного пула с различиями в величине кинетических констант ( $k$ ). В этом восприятии впервые для криоаридных почв удалось разделить кинетические различия (усилия) в минерализации органического азота почв на устойчивый (медленноразлагаемая фракция) и метаболический (лабильная фракция) пул. Подобное позволяет выявить потенциал возможностей пополнения почв доступными формами азота, в т.ч. с ожидаемым учетом по фракциям. Кинетика последние складывалась различно и была повсеместно выше по метаболическому пулу (0,121–0,380 год<sup>-1</sup>) или по лабильной фракции с меньшими значениями констант ( $k$ ) при внесении азотных удобрений ( $k=0,053–0,148$  год<sup>-1</sup>). При этом, на контроле (без удобрений) кинетические усилия ( $k$ ) по устойчивому и метаболическому пулу складывались выше аналогичных при внесении туков (табл. 3). Помимо этого, кинетика минерализации устойчивого пула органического азота отражала чрезвычайно слабую кинетику процесса, особенно в случае внесения удобрений ( $k=0,0009–0,008$  год<sup>-1</sup>). Ранее общепризнанная слабая минерализации трудногидролизуемых фракций почвенного азота получила кинетическое сопровождение.

**Заключение.** В почвах с низким азотным фондом и дефицитом подвижных минеральных форм азота при скудном микробоценозе и жестких гидротермических режимах кинетическая индикация позволяет выявить скоростные изменения внутрипочвенных превращений азота и раскрыть тонкие границы процессов иммобилизации азота удобрений и минерализации азота почвенных соединений в разных вариативных оценках с построением прогнозных сценариев. В этом построении раскрыта серия кинетических характеристик азотной трансформации и удалось «встроить» скоростные параметры активности микробного пула в систему оценок внутрипочвенной трансформации азота. Подобные предпосылки ранее отражали статические величины, а незначительные и небольшие изменения не выходили за рамки существенной разницы. Кинетический подход позволяет раскрыть наименее чувствительные аспекты и на этой основе развернуть панораму превращений азота в почвах в более масштабной версии.

#### Литература

1. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: СО РАСХН, Новосибирский ГАУ, 2013. 790 с.
2. Башкин В.Н. Биогеохимия М.: Научный мир, 2004. 584 с.



3. Кудеяров В.Н. Цикл азота и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 216 с.
4. Волковинцер В.И. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука, 1978. 208 с.
5. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
6. Смирнов П.М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с  $^{15}\text{N}$ ). М.: ТСХА, 1982. 74 с.
7. Кореньков Д.А. Агрохимия азотных удобрений. М.: Наука, 1976. 210 с.
8. Руделев Е.В. Минерализация - иммобилизация азота в основных типах почв России и эффективность азотных удобрений: автореф. дис. докт. биол. Наук. М.: ВИУА, 1992. 34 с.
9. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: МГУ, 1989. 336 с.
10. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445 с.

## KINETICS OF IN SOIL NITROGEN TRANSFORMATION PROCESSES IN CRYOARID SOILS OF ASIAN RUSSIA: SCALE OF OCCURRENCE, MICROBIAL POOL ACTIVITY AND FORECAST SCENARIOS

L.V. Budazhapov

FSBRE Buryat Research Institute of Agriculture, Ulan-Ude, nitrolu@mail.ru

*Summary.* Diagnostics of changes in the nitrogen status of cryoarid soils based on the data of long-term experiments with  $^{15}\text{N}$  is proposed with accordance of the rate characteristics of intra-soil nitrogen transformation processes. Due to the exponent equation, there were derived the rate constants ( $k$ ) of the processes of nitrogen immobilization in soils, mineralization of stable and metabolic pool of soil nitrogen and the activity of soil microorganisms under the load and without nitrogen fertilizer application. It is suggested a kinetic concept of soil nitrogen status assessment which allows revealing sensitive rate manifestations at insignificant changes and offering new additional indicators to the soil nitrogen status characteristics at the moment ( $t_0$ ) of time which act as predictive scenarios.

*Keywords:* cryoarid soils, nitrogen immobilization and mineralization, soil microbial pool, process of kinetics.

УДК 631.4 (571.53)

## ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ: АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л.Л. Убугунов

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, l-ulze@mail.ru

*Аннотация.* В данном сообщении с современных позиций рассмотрены теоретические основы особенностей почвообразования на обширной территории Внутренней Азии. Показано разнообразие и пространственное распространение почв по природно-климатическим зонам. Представлены составленные на основе субстативно-генетического подхода почвенные карты и проведенное на новой основе почвенно-экологическое районирование всей территории бассейна оз. Байкал по биоклиматическим (провинции) и лито- и геоморфологическим (округа) показателям. Установлены и количественно оценены приоритетные процессы, вызывающие опустынивание ландшафтов и деградацию почвенно-земельных ресурсов. Изучены биогеохимические особенности, плодородие почв и биопродуктивность основных типов естественных лугопастбищных угодий и агроэкосистем. Разработаны агрохимические приемы оптимизации минерального питания растений, в том числе за счет создания новых видов удобрительных композиций. Показаны техногенно нарушенные земли в Байкальском регионе и предложены практические технологии по их восстановлению и использованию. Представлены приоритетные направления почвенных и биоагрогеохимических исследований, которые будут способствовать сохранению и рациональному использованию почв в таком обширном, но экологически «ранимом» регионе, как Внутренняя Азия.

*Ключевые слова:* почвы, экосистемы, разнообразие, биоагрогеохимия, экология, Внутренняя Азия, Байкальский регион.

Почва является важнейшим компонентом экосистем, способствующим сохранению экологического состояния ландшафтов и материальным условием социальной жизни и трудовой деятельности людей. Поэтому важнейшим условием безопасного существования и экономического роста как отдельных стран, так и конкретных природно-хозяйственных регионов Земли является всестороннее изучение и разработка научных основ охраны и рационального использования почвенного покрова.

За последние 40–50 лет особенно заметно активизируется глобальный характер экологических проблем, вставших перед человечеством из-за природно-климатических изменений и резко возрастающего антропогенного воздействия на почвенно-земельные и биологические ресурсы. Глобальные климатические трансформации проявляются в первую очередь через потепление климата, что вызывает ряд серьезнейших неблагоприятных последствий – аридизацию, опустынивание, дегумификацию почв, деградацию вечной мерзлоты, нарушение секвестирования углерода/кислорода и др. Особенно заметно данные негативные процессы происходят и проявляют нежелательную тенденцию дальнейшей активизации во многих регионах Внутренней Азии [1–4].

Что подразумевается под Внутренней Азией? Это глубинные внутриконтинентальные районы Азии. Представления об ее границах пока еще несколько условны [5–8]. В целом, центральной частью данного региона является вся Монголия. Кроме того, он включает территории Республики Тыва, Республики Бурятия и Забайкальского края в Российской Федерации и Автономный округ Внутренняя Монголия, Синьцзян-Уйгурский автономный округ и провинцию Ганьсу в Китае.

Для всего обширного региона Внутренней Азии характерен преимущественно горный, в северной части сильно расчлененный рельеф. Условия развития и функционирования экосистем здесь разнообразные, но общим является следующее: они протекают в экстремальных условиях резко континентального климата и недостатка атмосферных осадков.

Для данной территории свойственно уникальное сочетание разнообразных ландшафтов – от горно-тундровых и горно-таежных до сухостепных и пустынных. Формирование почвенного покрова происходит в широком диапазоне абсолютных высот (от 450 до 3400 м над ур. м.), многообразии форм рельефа, при контрастных параметрах тепло- и влагообеспеченности, резкой пространственной смене климатических показателей, различных проявлениях мерзлотного, криоаридного, галогенного, пойменно-аллювиального и других процессов. Поэтому региону свойственно большое разнообразие почв.

В данной работе в кратком виде представлены результаты многолетних научных исследований основных типов зональных и интразональных почв глубоко внутриматериковых территорий Монголии и российской части Байкальского региона (Прибайкалье и Забайкалье). Установлено, что почвы исследованного региона формируются преимущественно на продуктах выветривания щелочных гранитов крупнейших на планете батолитов в условиях континентального и экстраконтинентального климата с резкой сменой климатических показателей, при многообразии форм рельефа, различных типах мерзлоты и т.д. Изучены разнообразие, пространственная организация, площадное распространение, генезис, свойства и плодородие почв. Выявлено, что многие зональные и интразональные типы почв существенно отличаются от почв, расположенных на тех же широтах равнинной Европейской части России и Западной Сибири. Они имеют укороченный профиль, слабое развитие метаморфических процессов, малогумусные, менее кислые и более нейтрально-щелочные, характеризуются низким плодородием почв.

На основе собственных исследований, анализа и обобщения имеющихся крайне разрозненных по региону картографических материалов (1980–2010 гг.), используя единый методологический и классификационный субстативно-генетический подход коллективом почвоведов Института общей и экспериментальной биологии СО РАН были составлены почвенная карта Бурятии [9, 10] и совместно с иркутскими и монгольскими учеными карты почв бассейна озера Байкал [10–12], Байкальского региона [13], Центральной Экологической зоны бассейна оз. Байкал [14]. В результате проведенных исследований нами впервые определено распространение почв по природно-климатическим зонам региона – горно-тундровой, горно-таежной, лесостепной, степной и сухостепной и интразональным

территориям и выявлено распространение в них преобладающих типов. Из всех компонентов экосистем почва обладает наиболее выраженной способностью к отражению географической среды, которые она хранит в морфологическом строении профиля и своих свойствах. Именно почвенный покров выступает носителем информации о функционировании и формировании ландшафта. Поэтому логическим результатом исследования разнообразия почв и закономерностей их пространственного распространения явилось проведенное совместно с иркутскими и монгольскими почвоведом почвенно-экологическое районирование бассейна оз. Байкал [15–17]. В данной работе был использован новый подход в исследовании почв, который позволяет рассматривать почвенный покров как целостную экологическую систему. Выделено 9 почвенно-экологических провинций, в которые объединены выделы почв с относительно близкими и играющими ведущую роль в формировании почвенного покрова биоклиматическими факторами. Также на основе специфики региональных геологических и почвообразующих пород и особенностей рельефа выделено 28 округов. Представленная почвенно-экологическая карта является своеобразным интегрированным информационным носителем, на котором комплексно отражаются экзогенные факторы почвообразования: климат, рельеф, горные породы, биота.

Существенную корректировку в неоднородность почвенного покрова изученной территории вносит горный рельеф за счет преобладания вертикальной поясности в северной части внутриазиатского региона, инверсии, экспозиционности склонов, миграции и интерференции природно-климатических зон. Следует отметить, что при близких значениях климатических параметров и даже высотного градиента определенную роль в формирование разнообразия почв проявляет и широтная зональность, которая усиливается, хотя все же не играет доминирующей роли, на более южных позициях региона. Особенности эколого-биоклиматических условий почвообразования свойственны поймам крупных рек Внутренней Азии. Они связаны с горным характером территории, высотно-поясным расположением пойм, резко континентальным климатом, функционированием почв в условиях взаимоисключающих процессов криодизации и аридизации, особенностью пойменно-аллювиальных процессов каждой реки, составом аллювиальных отложений, дренированностью конкретных пойменных участков и т.д. Более детально она будет освещена в докладе, а также результаты исследований аллювиальных почв опубликованы [18–25]. В докладе представлены установленные проведенными исследованиями особенности разнообразия почв и формирования почвенного покрова в пойменно-долиновых ландшафтах внутриазиатского региона.

Легкий гранулометрический состав, неблагоприятные водно-физические и физико-химические свойства, малое содержание гумуса и питательных элементов, низкая буферизирующая способность, экологическая слабоустойчивость, характерные для большинства почв Центральной Азии, на фоне происходящих глобальных и региональных изменений климата и усиливающегося антропогенного воздействия способствуют процессам деградации почвенного покрова и опустынивания ландшафтов на большей части территории Внутренней Азии [3, 26, 27]. В пойменно-долиновых ландшафтах это еще связано с наличием засоленных и заболоченных почв и происходящими процессами вторичного засоления и/или заболачивания.

Опустынивание происходит в результате действия различных стационально-деструкционных процессов (СДП) – дефляции, водной эрозии, засоления, затопления, загрязнения почв, вод, воздуха и других негативных воздействий. Объектами-мишенями же данных процессов являются не только почвы, но и растительность, поверхностные и грунтовые воды, приземная атмосфера. Для изученного региона выделен еще и мерзлотный (криогенный) СДП, когда проявляются криоэрозия, криосолифлюкция (стекание грунта, перенасыщенного влагой, по замерзшей поверхности нижележащего слоя), термокарстовые явления [27]. Выявлено, что наибольшую опасность представляет дефляция (ветровая эрозия), 2-я роль принадлежит водной эрозии, 3-я – совместному проявлению дефляции и водной эрозии и 4-я – засолению. Также определенную опасность представляют, как нами установлено, процессы затопления, подтопления и осолонцевания. Например, пашня на территории Бурятии на 80% подвергается первым двум процессам деструкции, при этом 60 % площади этих угодий разрушается только



при дефляции. Подобные негативные явления характерны для Монголии и, в целом, для всей Внутренней Азии. Поэтому противоэрозионные, агромелиоративные и другие методы борьбы с выявленными стацциально-деструкционными процессами на обширной внутриазиатской территории должны иметь несомненный приоритет, особенно на пахотных угодьях, а связанные с этим мероприятия – высокую эколого-экономическую эффективность.

В многолетних исследованиях выявлены закономерности и особенности формирования биопродуктивности основных типов богарных и орошаемых естественных и агроэкосистем в зависимости от свойств почв. Проведены многочисленные биоагрогеохимические исследования по повышению почвенного плодородия и оптимизации минерального питания растений. Также в кратком виде показаны результаты научных исследований и экологического контроля на техногенно нарушенных территориях.

В заключение, в докладе будут представлены наиболее актуальные и перспективные теоретические и практические мероприятия по дальнейшему изучению почв исследованной территории, которые будут способствовать разработке технологий и моделей по сохранению и рациональному использованию почвенно-земельных ресурсов в таком экологически «ранимом» регионе, как Внутренняя Азия.

### Литература

1. Гунин П.Д., Востокова Е.А., Бажа С.Н., Дугаржав Ч., Ульзийхутаг Н., Прищепа А.В. Экосистемы Монголии: разнообразие, современное состояние и охрана // Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охраны. Ecosystems of the Inner Asia: issues of research and conservation. М.: ИПЭЭ им. А.Н. Северцова, 2007. С. 4–31.
2. Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Куликов М.А. О применении технологии риск-анализа для оценки экологической опасности опустынивания (на примере Республики Бурятия) // Сибирский экологический журнал. 2011. № 2. С. 239–249.
3. Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц. О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 3. С. 5–13.
4. Ecosystems of Mongolia Atlas / P.D. Gunin, M. Saandar (Eds). 2019. Ulaanbaatar. Admon. 264 p.
5. Обручев В.А. Орография Центральной Азии и ее юго-восточной окраины // Избранные труды по географии Азии. М.: Географгиз, 1951. Т. 1. С. 248–331.
6. Равский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. СМ.: Наука, 1972. 336 с.
7. Гунин П.Д., Востокова Е.А., Матюшкин Е.Н. Охрана экосистем Внутренней Азии. М.: Наука, 1998. 219 с.
8. Гомбоев Б.О. Аграрное землепользование Внутренней Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 228 с.
9. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Белозерцева И.А., Гынинова А.Б., Сороковой А.А., Убугунов В.Л. Почвы бассейна оз. Байкал: итоги исследований за 1980-2017 гг. // География и природные ресурсы. 2018. № 2(7). С. 7–26.
10. Убугунов Л.Л., Бадмаев Н.Б., Убугунова В.И., Гынинова А.Б., Гончиков Б.-М.Н., Убугунов В.Л., Цыбикдоржиев Ц.-Д.Ц. Почвы // Бурятия. Энциклопедический справочник в двух томах. Т. 1. Природа. Общество. Экономика. Улан-Удэ: Экос, 2011. С. 66–73.
11. Белозерцева И.А., Убугунов Л.Л., Бадмаев Н.Б., Убугунов Л.Л., Доржготов Д., Убугунова В.И., Гынинова А.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.-М.Н., Цыбикдоржиев Ц.-Д.Ц., Сороковой А.А. «Почвы бассейна озера Байкал: карта». Масштаб 1:2 500 000 [Электронный ресурс]. Иркутск: ИГ СО РАН. 2015. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_24268326\\_86682870.jpg](https://elibrary.ru/download/elibrary_24268326_86682870.jpg) (дата обращения: 16.01.2018).
12. Белозерцева И.А., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Доржготов Д., Гынинова А.Б., Убугунов В.Л., Сороковой А.А., Бадмаев Н.Б. Почвы Байкальского региона и прилегающих территорий // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 96–108.
13. Убугунов Л.Л., Гынинова А.Б., Белозерцева И.А., Доржготов Д., Убугунова В.И., Сороковой А.А., Убугунов В.Л., Бадмаев Н.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.-М.Н. Географические закономерности распределения почв на водосборной территории оз.

- Байкал (к карте «Почвы бассейна оз. Байкал») // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2018. № 2(11). С. 40–59. DOI: 10.18101/2542-0623-2019-2-40-59.
14. Убугунов Л.Л., Белозерцева И.А., Убугунова В.И., Сороковой А.А., Доржготов Д., Дугаржав Ч. Почвенно-экологическое районирование бассейна о. Байкал // Карта / Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Масштаб 1: 2 500 000. 2021.
  15. Убугунов Л.Л., Белозерцева И.А., Убугунова В.И., Сороковой А.А. Районирование почв бассейна озера Байкал: экологический подход // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2019. № 2(11). С. 40–59. DOI: 10.18101/2542-0623-2019-2-40-59.
  16. Убугунов Л.Л., Белозерцева И.А., Убугунова В.И., Сороковой А.А. Экологическое районирование почв бассейна озера Байкал // Сибирский экологический журнал. 2019. № 6. С. 640–653.
  17. Убугунов Л.Л., Белозерцева И.А., Убугунова В.И., Сороковой А.А. Разнообразие почв и почвенные ресурсы Центральной экологической зоны Байкальской природной территории (в границах Республики Бурятия) // География и природные ресурсы. 2021. № 2. С. 69–78.
  18. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Почвы речных пойм Монголии // Почвоведение. 1991. № 11. С. 105–117.
  19. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Почвы поймы нижнего течения р. Ховд в Котловине Больших озер Монголии // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1295–1303.
  20. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Почвы речных пойм аридных территорий Внутренней Азии (р. Завхан, Монголия) // Почвоведение. 2012. № 3. С. 277–286.
  21. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Пойменные почвы бессточного Улдза-Торейского бассейна (Монголия) // География и природные ресурсы. 2023. Т. 44. № 2. С. 161–171.
  22. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Эколого-географические условия почвообразования в бассейне трансграничной реки Улз-Гол (на территории Монголии) и характеристика основных типов почв пойменных-долинных экосистем // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2023б. № 2(24). С. 52–67. DOI: 10.18101/2542-0623-2023-2-52-67.
  23. Убугунова В.И., Убугунов Л.Л., Корсунов В.М., Балабко П.Н. Аллювиальные почвы речных долин бассейна Селенги. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1998. 254 с.
  24. Убугунов Л.Л., Лаврентьева И.Н., Убугунова В.И., Меркушева М.Г. Разнообразие почв Иволгинской котловины: эколого-агрохимические аспекты. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им В.Р. Филиппова. 2000. 208 с.
  25. Убугунова В.И., Убугунов Л.Л., Убугунов В.Л. Почвы пойм горных рек Верхнекеруленской котловины (Монголия) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 1–15.
  26. Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Куликов М.А. О применении технологии риск-анализа для оценки экологической опасности опустынивания (на примере Республики Бурятия) // Сибирский экологический журнал. 2011а. № 2. С. 239–249.
  27. Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Убугунов В.Л. Разнообразие, риски деградации и эколого-агрохимические технологии управления плодородием почв Внутренней Азии // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 2. С. 3–9.

## SOILS AND SOIL COVER IN INTER ASIA: ANALYSIS OF THE RESULTS AND RESEARCH PROSPECTS

L.L. Ubugunov

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, l-ulze@mail.ru

*Summary. The theoretical foundations for the soil formation features in the vast territory of Inner Asia are considered from the modern positions in this report. The diversity and spatial distribution of soils in natural and climatic zones is shown. Soil maps compiled on the basis of the substantive-genetic approach and soil-ecological zoning of the entire territory of the Lake Baikal Basin according to bioclimatic (provinces) and litho- and geomorphological (districts) indicators, carried out on a new basis, is presented. Priority processes causing landscapes desertification and degradation of soil and land resources have been established and quantified. The biogeochemical features, soil fertility and biological productivity of the main types of natural grasslands and agricultural ecosystems have been studied. Agrochemical methods have been performed to optimize the plant mineral nutrition, including development a new types of fertilizer compositions. Technogenically disturbed lands within*

*the Baikal Region have been shown and practical technologies for their restoration and use are proposed. The priority fields for soil and bioagrogeochemical research are presented, that will contribute to the conservation and rational use of soils within a vast, but ecologically vulnerable region as Inner Asia.*

*Keywords: soils, ecosystems, diversity, bioagrogeochemistry, ecology, Inner Asia, Baikal Region.*

УДК 631.48

## ПОЧВЫ НА ПЛОТНЫХ СИЛИКАТНЫХ ПОРОДАХ ХОЛОДНОГО СЕКТОРА ЕВРАЗИИ

С.Н. Лесовая

Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, s.lesovaya@spbu.ru

**Аннотация.** Проведенные исследования находятся в рамках проблематики изучения современных процессов почвообразования в северных регионах страны. На примере маломощных, щебнистых почв, формирующихся при близком подстилании плотными силикатными породами, и расположенными в широком географическом диапазоне, верифицирована нулевая гипотеза о почвах как «фабрике глин», рассматривающей исходный силикатный состав породы как ресурс почвенно-растительного покрова и педогенный потенциал.

**Ключевые слова:** холодный сектор Евразии, выветривание, глинистые минералы.

Изучение почвообразования на плотных силикатных породах начались с работ В.В. Докучаева по изучению Староладожской крепости, и остается актуальным в настоящее время. Это обусловлено тем, что данные по преобразованию минерального субстрата в зоне гипергенеза позволяют оценить направленность и скорости преобразования исходного силикатного материала, прогнозировать развитие почвообразовательных процессов, в том числе на территориях, освобождающихся от ледника в связи с изменением климата. Кроме того, маломощные (мощность профиля до 50 см) щебнистые почвы рассматривают, в том числе как этап эволюции ландшафтов [1].

В отечественном почвоведении В.О. Таргульяном было обосновано существование феномена «широкого пояса сильноокислых, ненасыщенных почв», формирующихся при близком подстилании силикатными породами различного генезиса и состава в тундровой и таежной зонах. Для этих почв характерна обогащенность органическим веществом, (гидро)оксидами алюминия и железа, преобладание унаследованных от породы глинистых минералов в связи «с замедленными процессами глинообразования» [2]. В отношении минералогической компоненты для почв северных регионов в настоящее время доминируют следующие представления: слабая активность процессов выветривания [3]; преобладание органо-минеральных соединений [4], и плохо-окристаллизованных смешанослойных образований среди продуктов выветривания и почвообразования [5].

**Объекты и методы.** Наши собственные исследования были направлены на комплексное почвенно-генетическое и почвенно-минералогическое изучение феномена существования маломощных щебнистых почв, развитых при близком залегании плотных силикатных пород. Объекты исследования расположены в широком географическом диапазоне: на территории европейской территории России (ЕТР) – Восточная Фенноскандия; в Сибири – Среднесибирское плоскогорье; на Полярном Урале. Был использован комплекс методов, что позволило изучить как общие свойства почв (общепринятые методы), так и минералогический состав тонкодисперсных фракций (рентгендифрактометрия и инфракрасная спектроскопия). Названия почв даны в соответствии с подходами профилно-генетической классификации [6].

**Результаты.** На территории ЕТР были изучены литоземы, петроземы и подбуры, развитые на выходах метаморфизованных пород первоначально основного и среднего состава. Такой состав пород позволяет отделить автохтонный мелкозем от примеси «кислого» моренного материала, широко распространенного на территории ЕТР. На Среднесибирском плоскогорье изучены подбуры на элювии пород основного состава, относящихся к трапповой формации.



Ранее И.А. Соколовым было показано, что специфические черты таких почв и ландшафтов Среднесибирского плоскогорья – обширной территории, занятой выходами и элювием траппов, во многом обусловлены своеобразием литогенной основы [7]. На Полярном Урале изучены почвы, сформированные на элювии основных и ультраосновных пород, а также морене, состоящей из материала основных и ультраосновных пород. Показано, что подбуры формируются только на основных породах. На ультраосновных породах рассмотрены слабо развитые почвы – пелоземы и формирующиеся в условиях затруднительного дренажа – глееземы с колористически ярким проявлением оглеения. Специфичность оглеения проявляется в отсутствии выраженного обезжелезнения мелкозема при наличии яркой зеленовато-сизой окраски. На морене описаны ржавоземы, в тонкодисперсных фракциях мелкозема которых преобладает материал ультраосновных пород, в то время как в крупноземе – основных. Эти данные дополняют общие схемы закономерностей почвообразования и выветривания В.О. Таргульяна [2], где ультраосновные породы рассматриваются совместно с основными.

**Обсуждение.** Полученные результаты позволили выделить и обосновать существование следующих вариантов минералогической компоненты почв как результат взаимодействий в системе плотная порода – почва: (а) преобладание в илистой фракции почв глинистых минералов, отсутствующих в породе; (б) относительное накопление в илистой фракции почв глинистых минералов, диагностируемых в породе, с их последующей трансформацией/разрушением в почве; (в) практически полное отсутствие глинистых минералов в тонкодисперсных фракциях почв. Полученные результаты показали, что, несмотря на существование общих черт, маломощные щебнистые почвы, формирующиеся при близком залегании плотных силикатных пород, не являются единой общностью в силу различия минералогического состава и его потенциальной устойчивости к выветриванию. Этот вывод объясняет существующие противоречия в данных о преобладании плохо-окристаллизованных образований среди продуктов выветривания и почвообразования в тундровой и таежной зонах [4, 5] и о наличии хорошо окристаллизованных минеральных фаз среди продуктов выветривания в почвах на плотных силикатных породах [8].

**Заключение.** Таким образом, проведенные исследования в области изучения минералогического состава почв, распределения минеральных фаз в зависимости от состава и генезиса плотных силикатных пород позволило расширить существующие представления о процессах выветривания и почвообразования в холодных биоклиматических условиях.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект 20-04-00888), XRD-данные получены в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

### Литература

1. Bockheim J.G. (2015) Classification and development of shallow soils (< 50 cm) in the USA // *Geoderma Regional*. 2015. V. 6. P. 31–39.
2. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. Москва: Наука, 1971. 271 с.
3. Borden P.W., Ping C.-Lu., McCarthy P.J., Naidu S. Clay mineralogy in arctic tundra Gelisols. Northern Alaska // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2010. V. 74(2). P. 580–592.
4. Wilson M.J., Jones D. Lichen weathering of minerals: implication for pedogenesis / in: *Residual Deposits: Surface Related Weathering Processes and Material* (R.C.L. Wilson, editor). Special Publications, 11. Geological Society, Blackwell, London, 1983. P. 2–12.
5. Черняховский А.Г. Современные коры выветривания. Москва: Наука, 1991. 208 с.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Соколов И.А., Градусов Б.П. Почвообразование и выветривание на основных породах в условиях холодного гумидного климата // *Почвоведение*. 1978. № 2. С. 5–17.
8. Lessovaia S., Dultz S., Polekhovsky Yu. et al., Rock control of pedogenic clay mineral formation in a shallow soil from serpentinitic dunite in the Polar Urals, Russia // *Applied Clay Science*. 2012. V. 64. P. 4–11.

## SOILS ON THE HARD SILICATE ROCKS IN THE COLD REGIONS OF EURASIA

S.N. Lessovaia

Institute of Earth Scientists, St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, s.lesovaya@spbu.ru

*Summary. The objects of the present research are the shallow soils derived from and underlain by silicate solid rocks. That aimed to assess the modern process of weathering and soil formation as well as solid rock transformation into clayey substrate in the soil profiles from cold environment.*

*Keywords: cold environment, weathering, clay minerals.*

## СЕКЦИЯ 1. ГЕОГРАФИЯ, ГЕНЕЗИС И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ. ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВ И ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

УДК 631.471

### ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ

Т.Н. Азаренок<sup>1</sup>, О.В. Матыченкова<sup>1</sup>, Д.В. Матыченков<sup>1</sup>, С.В. Шульгина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, soil@tut.by, tanik63@mail.ru

<sup>2</sup>ВАК Республики Беларусь, Минск

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований о состоянии почвенно-картографических работ в Республике Беларусь, дана характеристика научно-методических аспектов их проведения. Созданная и сохраненная научно-методическая система проведения картографических работ позволяет получать почвенные карты, объективно отражающие компонентный состав сельскохозяйственных земель для землеоценочных работ, мероприятий по повышению плодородия почв для обеспечения продовольственной безопасности страны.

**Ключевые слова:** почвенно-картографические работы, полевое обследование, корректировка результатов почвенного обследования, диагностика почв, крупномасштабные и среднемасштабные почвенные карты, цифровое картографирование.

В Республике Беларусь рациональное использование почв как основополагающей составляющей земельных ресурсов, является приоритетным направлением политики устойчивого развития и обеспечения продовольственной безопасности государства.

Цель проведенных исследований – систематизация сведений о состоянии почвенно-картографических работ в Республике Беларусь, характеристика научно-методических аспектов их проведения.

Объективное отображение почвенного покрова сельскохозяйственных земель напрямую зависит от качества научно-методического сопровождения данного вида работ. Беларусь единственная на постсоветском пространстве республика, в которой почвенно-картографические работы идут с 1957 года. Уже проведено 2 тура крупномасштабных почвенных обследований сельскохозяйственных земель (1957–1966 гг., 1966–1984 гг.). С 1984 года по настоящее время продолжают работы по корректировке материалов II тура почвенного картографирования. Начиная с 2006 года, они ведутся на осушенных сельскохозяйственных землях, в компонентном составе которых преобладают торфяные почвы различного генезиса и мощности органогенной толщи, а также дегроторфяные почвы (с содержанием органического вещества <50 %). С 2021 года обследуются почвы сельскохозяйственных земель, подверженные водной и ветровой эрозии.

Научной основой для проведения этих работ является классификация почв [1], которая базируется на профилно-вещественно-генетическом принципе с учетом природных и антропогенных факторов почвообразования. При ее построении использована полная таксономическая система: ряд-класс-тип-подтип-род-вид-разновидность. Методической основой проводимых исследований служит системный подход на основе современного изучения строения, состава, свойств почв. Главным общепринятым принципом диагностики почв в полевых условиях является профилно-генетический, предполагающий разделение почв на основе строения профиля как системы соподчиненных генетических горизонтов, взаимосвязанных и взаимообусловленных в своем генезисе и сформированных при совокупном влиянии 6 факторов почвообразования (время, климат, рельеф, почвообразующие породы, растительность, хозяйственная деятельность человека). Это позволяет рассматривать почву как единое природное целое на основе анализа и характеристики ее свойств и признаков (морфологических, физических, физико-химических). Антропогенно-преобразованные почвы диагностируются по наличию качественно и количественно определенных типодиагностических горизонтов. Для унификации описания почв в республике разработан «Примерный номенклатурный список почв для целей крупномасштабного почвенного картографирования», в который включено более 430 почвенных разновидностей различного генезиса, гранулометрического состава, строения почвообразующих и постилающих пород,



несущих различную степень антропогенной трансформации [2]. Усовершенствована индексировка горизонтов для дерново-подзолистых, дерново-подзолистых заболоченных и торфяных почв, разработаны новые типодиагностические горизонты для антропогенно-преобразованных почв [3–5].

Почвенное обследование земель включает следующие основные этапы: подготовительные работы, составление исходного картографического материала на территорию землепользователя, почвенное обследование земель на местности и составление полевой почвенной карты земельных участков землепользователя, лабораторные исследования почвенных образцов, оформление материалов почвенного обследования земельных участков землепользователя, обновление слоя «Почвы» земельно-информационных систем. На основании методики составления почвенного слоя для земельно-информационной системы Республики Беларусь, при непосредственном участии Института почвоведения и агрохимии, создан и поддерживается в актуальном состоянии информационный слой «Почва» в республиканской земельно-информационной системе (ЗИС) в РУП «Проектный институт Белгипрозем» и его дочерних организациях.

Работы по созданию, обновлению базы данных слоя «Почвы» выполняются после проведения работ по почвенному обследованию или корректировке результатов предыдущего обследования в границах земель сельскохозяйственных организаций, в том числе крестьянских (фермерских) хозяйств, подсобных хозяйств, а также в границах административного района. Слой почвы ЗИС создается и обновляется с точностью масштаба карты 1:10000. На уровне графического (почвенно-картографического) представления каждый почвенный контур цифровой карты соответствует таксономическому уровню разновидности и для каждого конкретного хозяйства включает определенное количество ареалов, определяющихся спецификой регионального почвообразования. Легенда почвенной карты (семантическое представление) выполнена согласно новому номенклатурному списку почв и содержит следующие кодированные параметры для каждого объекта (контура) полигонального покрытия:

- классификационное положение почвы (тип почвы);
- генезис почвообразующих пород;
- степень увлажнения;
- гранулометрический состав почв;
- степень подверженности эрозии;
- подстилающая порода;

Кодирование почвенных разновидностей осуществляется в соответствии с Номенклатурным списком почв республики Беларусь [2, 5]. Данные крупномасштабного почвенного картографирования содержат в себе и информацию о почвенных разрезах (о строении почвенного профиля, основных морфологических, агрохимических и физико-химических свойствах почв, гранулометрическом составе и генезисе почвообразующей и подстилающей пород, мощности почвообразующей породы и глубине залегания подстилающей, степени гидроморфизма почв и т.д.). Полученный информационный слой «Почва» в ЗИС позволяет хранить информацию о почвенном покрове республики, распространении всего разнообразия почв, их площадные характеристики. Для каждого землепользования создаются экспликации земель по генетическим типам почв, гранулометрическому составу почв, степени увлажнения почв, степени подверженности эрозии, почвенным разновидностям. База данных слоя «Почвы», растровая основа, почвенная карта и номенклатурный список почв земельных участков землепользования (в формате pdf) сохраняется на электронном носителе и хранится в архиве организации по землеустройству. Слой «Почвы» ЗИС размещается на Геопортале ЗИС. Все методические положения по проведению почвенно-картографических работ в республике определяются Техническим кодексом установившейся практики [5], разработанном совместно с учеными РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и специалистами РУП «Проектный институт Белгипрозем».

В целом, результате многолетних крупномасштабных исследований получены разновременные почвенные карты (М 1:10000) в разрезе сельскохозяйственных организаций, очерки, записки, агрохимические картограммы, картограммы агрогрупп и рационального

использования земель. На территорию республики составлены 114 (из 118) районных (М 1:50000), 6 областных (М 1:200000) почвенных карт и республиканская почвенная карта (М 1:600000, 1:1250000), для районов Гомельской и Могилевской областей, подвергшихся радиационному загрязнению, составляются районные почвенные карты (М 1:90000), на основе которых ведется разработка мероприятий по оптимизации землепользования в этих районах. Все эти почвенные карты формируют уникальный картографический фонд, применяемый для исследований вопросов трансформации и эволюции почв, создания специализированных геоинформационных систем в республике.

Разновременные данные о площадях почв сельскохозяйственных земель по двум турам обследования обобщены в виде сборников таблиц по административным районам, областям и республике (1968, 1979, 1988, 1990, 2000 гг.), в которых представлены сведения по типовой принадлежности, степени увлажнения, гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород. В 2017 г. в практическом пособии «Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» [9] на видовом уровне классификации обобщены площадные данные о торфяных и дегроторфяных почвах сельскохозяйственных земель административных районов, областей и республике в целом.

Для повышения профессионального уровня специалистов, осуществляющих почвенно-картографические работы и улучшения качества почвенных карт, ежегодно ведущими научными сотрудниками Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси проводятся научно-методические учебные и консультации по аспектам проведения полевого и камерального этапов работ, вопросам диагностики почв с учетом региональных особенностей их формирования (в период с 1997 по 2023 гг. проведено 26 республиканских учеб, из них 20 в полевых условиях в различных почвенно-экологических районах республики), а также по вопросам интерпретации данных лабораторных анализов почв и создания цифровых почвенных карт (слоя «Почвы» в системе ЗИС). Разработаны и изданы уникальные справочные пособия: «Полевая диагностика почв Беларуси» [4], «Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» [6], монография «Почвы Республики Беларусь» [7], «Методические указания по диагностике и полевому исследованию антропогенно-преобразованных почв сельскохозяйственных земель республики» [8], которые содержат фотографии и описания почвенных профилей (на уровне разновидности), научные сведения об особенностях формирования, распространения, состава и свойств почв, особенности их трансформации под влиянием антропогенных факторов.

Таким образом, созданное в республике научно-методическое обеспечение для проведения почвенно-картографических работ, позволяет получать почвенные карты, отражающие разновременные и современные особенности компонентного состава сельскохозяйственных земель для планирования и осуществления мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв, проведения землеоценочных работ в целях обеспечения продовольственной безопасности страны.

### Литература

1. Смяян Н.И. Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смяян. Мн.: Ураджай, 1980. 173 с.
2. Примерный Номенклатурный список почв Республики Беларусь / Цытрон Г.С. [и др.] // Государственный Комитет по Имуществу РБ, РУП «Институт почвоведения и агрохимии», РУП «Проектный институт Белгипрозем». Минск. 2013. 64 с.
3. Смяян Н.И., Цытрон Г.С. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси/ РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, 2007. 220 с.
4. Полевая диагностика почв Беларуси / Г.С.Цытрон [и др.] // Справочное пособие. Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. 175 с.
5. Почвенное обследование земель и создание, обновление почвенных карт. Порядок и технология работ. Издание официальное (ТКП 651-2020 (33520)). Минск: Госкомимущество. 2020. 66 с.

6. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» / В.В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В.В. Лапа, А.Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск: ИВЦ Минфина, 2017. 170 с.
7. Почвы Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа // Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 632 с.
8. Методические указания по диагностике и полевому исследованию антропогенно-преобразованных почв сельскохозяйственных земель республики / Т. Н. Азарёнок [и др.]. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2021. 72 с.
9. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие» / В.В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В.В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск: ИВЦ Минфина, 2018. 215 с.

#### SOIL MAPPING AGRICULTURAL LAND OF BELARUS

T.N. Azaronak<sup>1</sup>, O.V. Matychenkova<sup>1</sup>, D.V. Matychenkov<sup>1</sup>, S.V. Shulgina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, tanik63@mail.ru, soil@tut.by

<sup>2</sup>Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus, Minsk

*Summary. The article presents the results of studies on the state of soil-cartographic work in the Republic of Belarus, and characterizes the scientific and methodological aspects of their implementation. The created and preserved scientific and methodological system for carrying out cartographic work makes it possible to obtain soil maps that objectively reflect the component composition of agricultural land for land assessment work, measures to improve soil fertility and ensure the country's food security.*

*Keywords: soil-cartographic works, field survey, correction of soil survey results, soil diagnostics, large-scale and medium-scale soil maps, digital mapping.*

УДК 631.42

#### ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕННЫХ ГОРНО-ЛЕСНЫХ БУРЫХ ПОЧВ МАЛОГО КАВКАЗА

Г.Ф. Аскерова

Институт Почвоведения и Агрохимии Министерства науки и образования Азербайджана, г. Баку, Азербайджан, asgarova.gunel@mail.ru

*Аннотация. Одним из регионов с большим экономическим потенциалом для развития сельского хозяйства в нашей республике является Малый Кавказ. В настоящее время все большее распространение получили антропогенные воздействия на природные экосистемы, в том числе в результате хозяйственной деятельности человека на почвенный покров. Северо-восточный склон Малого Кавказа выделяется своей уникальностью среди относительно более освоенных районов нашей республики. На протяжении многих лет пастбищный цикл, подстегнувший развитие эрозионного процесса в горных зонах вследствие вырубki лесов в среднегорных и предгорных районах, многократно усиливал антропогенные нагрузки на окружающую среду и ее отдельные компоненты: атмосферный воздух, поверхностные и грунтовые воды, почвенный покров естественных ценозов. В результате в некоторых местах загрязнение почвы, воздуха и водоемов достигло опасного для организма человека уровня. В результате эрозии и засоления усилилась деградация почвенного покрова, летних и зимних пастбищ. Лесные экосистемы либо полностью уничтожены в отдельных районах, либо их естественно-историческая структура разрушена и изменила свой ареал. В настоящее время становится актуальным изучение эколого-географических проблем, возникших в природно-географической среде в результате активной эксплуатации бурых горно-лесных почв. Предлагается изучить почвенно-экологическое состояние этих почв на основе различных диагностических показателей (гранулометрический состав, содержание гумуса и др.)*

*Ключевые слова: агрохимические показатели, деградация, эрозия, антропогенное воздействие, гумус.*



**Актуальность.** На протяжении нескольких предыдущих тысячелетий человеческая деятельность наносила небольшой ущерб экологии, но после технических революций равновесие между человеком и природой было нарушено, поскольку с тех пор природные ресурсы стали интенсивно использоваться. Истощению подверглись и почвы в результате сельскохозяйственной деятельности. Горно-лесные бурые почвы распространенные в зоне мезофильных и ксерофильных лесов Малого Кавказа, относятся к числу древнейших населенных регионов. В течение длительного исторического периода интенсивное и стихийное освоение различных хозяйственных полей привело к замене естественных геосистем антропогенными геосистемами. Предотвращение деградации этих компонентов и потери производительности является одной из наиболее актуальных задач. Важную роль может сыграть эффективное и правильное использование, защита и предупреждение негативных процессов [1].

**Объект исследования и методика.** Исследуемая территория охватывает северо-восточный склон Малого Кавказа. Район исследований включает территории 5 административных районов (Гадабейский, Дашкесанский, Гёйгёльский район) на северо-восточном склоне. Горные геосистемы изучаемой территории имеют сложное строение рельефа, что обуславливает разнообразие ее природно-географических условий.

Основной целью исследований является изучение эколого-географических проблем, возникающих при освоении территорий, расположенных на высотах более 800 м, изучение физико-химических свойств почв. Для этого использовались материалы почвенных обследований, проведенных в районе исследований, фондовые материалы и аналитические данные физических и агрохимических свойств почв. Географические координаты каждой пробы почвы, взятой в фермерских хозяйствах, типичных для районов исследования, были определены с помощью устройства Garmin GPS Map. Образцы почвы были проанализированы в лабораторных условиях в соответствии с международными стандартами. Гранулометрический состав – методом Н.А. Качинского, гумус – по И.В. Тюрину, поглощенные основания – по Д.И. Иванову, реакцию среды – потенциометром, содержание карбонатов – кальциметром [2].

**Обсуждение результатов.** Анализ результатов показывает, что физико-химические показатели почв в каждом хозяйстве четко отличаются друг от друга и между собой.

Проведенные исследования в зоне мезофильных и ксерофильных горно-лесных и кустарниковых лесов, расположенных на крутых склонах, показали, что на данных территориях проводились интенсивные рубки леса и в настоящее время они используются в качестве пастбищ. В результате, почвы сильно подвержены процессам водной эрозии, что повлияло на изменение физико-химических показателей почв в худшую сторону. Наблюдается снижение мощности гумусового слоя, вымывание поглощенных оснований и уменьшение содержания карбонатов [3].

Изменение свойств почв можно увидеть на основе сравнения некоторых агрохимических показателей горно-лесных бурых в разные периоды [4].

Таблица 1. Показатели плодородия горно-лесных бурых почв

Агрохимические показатели		Горно лесные бурые почвы (2000 г.)				Горно лесные бурые почвы (2023 г.)			
		3–13	13–28	28–44	44–54	0–12	12–26	26–58	58–85
Глубина, см		3–13	13–28	28–44	44–54	0–12	12–26	26–58	58–85
рН		5,9	5,3	5,0	5,2	5,6	5,9	5,9	6,0
Гумус, %		12,7	5,03	2,62	1,16	5,8	3,0	1,8	0,7
С:N		12,0	8,1	7,80	–	8,4	7,9	6,9	5,1
Са/Mg		2,5	2,5	2,3	4,3	3,2	5,25	1,5	2,5
Размер частиц в мм, %	<0,001	6,6	18,1	21,3	21,4	25,2	23,6	39,2	37,6
	<0,01 (физическая глина)	41,6	65,2	65,3	64,8	40,4	40,4	55,2	58,0

За последние 20 лет большинство показателей потенциального плодородия бурых горно-лесных почв снизились. Это снижение значительно заметно по таким элементам, как гумус и азот. Количество гумуса изменилось с 12,7% до 1,16% по глубине в период до 2000 г., а в современное время этот показатель уменьшился с 5,8% до 0,7% по глубине и означает снижение до 30%. Соответственно, отношение C:N в указанных почвах также значительно уменьшилось по сравнению с предыдущим периодом. Если в предшествующий период Ca/Mg в верхних слоях составляло 2,5, то в современный период это отношение увеличилось до 3,2–5,25, а в нижних слоях с 2,3–4,3 до 1,5–2,5. рН водного раствора увеличился. По сравнению с предыдущими годами этот показатель увеличился на 0,3–0,9 единицы и изменился с 5,0 до 5,9. рН горно-лесных бурых почв изменилась от близкой к нейтральной на нейтральную. Количество физической глины также уменьшилось на 15–20% по сравнению с предыдущим периодом, количество частиц размером <0,01 мм по профилю уменьшилось с 41,6–64,8 % до 40,4–58%.

Необходимо эффективно использовать почвенно-растительный покров изучаемой территории и не допускать его деградации. Для этого следует вносить органические и минеральные удобрения, проводить мероприятия по улучшению поверхности с учетом потребности почвы в питательных веществах. Для восстановления растительности, подвергшейся воздействию экологических и антропогенных факторов, выпас скота следует прекратить для восстановления фитоценозов на современных пастбищах, особенно в период первой вегетации кормовых растений. Антропогенное загрязнение почв, в том числе сточными водами, длительное время недооценивалась в плане негативных последствий для окружающей среды и здоровья человека. В последние десятилетия данная проблема приобрела особую остроту и стала многими восприниматься с должной объективностью.

**Выводы.** 60% площадей бурых горно-лесных почв мезофильной и ксерофильной лесостепной зоны на высотах 800–2200 м северо-восточного склона Малого Кавказа освоено различными отраслями. За последние десятилетия площадь естественных ценозов уменьшилась на 2–30%. Это привело к дальнейшей деградации почв, снижению качественных показателей и нарушению эколого-географического баланса окружающей среды. В местах, где пасется скот, растения выедаются и гибнут, а дождевая вода размывает грунт. В результате этого могут образоваться глубокие ямы и овраги. Чтобы замедлить и прекратить данный процесс, нужно переселить людей и животных в другие районы и посадить лес.

#### Литература

1. Аскерова Г.Ф. 2023. Определение фитомассы почв лугов Малого Кавказа в последние годы. VI Международный научно-практическая конференция: Здоровые почвы-гарант устойчивого развития. Посвященная 140-летию с момента становления почвоведения как науки и публикации фундаментального научного труда В.В. Докучаева Русский чернозем, Курский государственный университет, г. Курск. С. 7–8
2. Аскерова Г.Ф. 2022. Органические ресурсы влажных субтропических почв Азербайджана. Охрана окружающей среды – основа безопасности страны. ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. Сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной 100-летию КубГАУ, С.334–336
3. Салаев М.Э., Бабаев М.П., Джафарова Ч.М., Гасанова В.Х. Морфогенетический профиль почв Азербайджана. Баку, Элм 2004, 202 с.
4. Nasirova A.I., Mammadova R.N., Aliyeva M.M., Hasanova T.A. (2022). Bioecological Edificators of Gray-Brown Soils in Ganja-Gazakh Massif (Azerbaijan). Environment and Ecology Research, DOI: 10.13189/eer.2022.10030 Vol. 10 No 3. pp. 392–397. URL: [https://www.hrpub.org/journals/jour\\_info.php?id=40](https://www.hrpub.org/journals/jour_info.php?id=40)

#### ECO GEOGRAPHICAL PROBLEMS OF ASSIGNED MOUNTAIN AND FOREST BROWN SOILS OF THE SMALL CAUCASUS

G.F. Asgarova

Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Baku, Azerbaijan. Az1073, asgarova.gunel@mail.ru

*Summary. One of the regions with great economic potential for the development of agriculture in our republic are the soils of the Lesser Caucasus. Anthropogenic impacts on natural ecosystems, including as a result of human economic activity on the soil cover, have become more widespread. The northeastern slope of the Lesser Caucasus stands out for its uniqueness among the relatively more developed regions of our republic. Several years, the pasture cycle, which spurred the development of the erosion process in mountain zones due to deforestation in mid-mountain and foothill areas, has repeatedly increased anthropogenic pressure on the environment and its individual components, atmospheric air, water, soil cover, and natural cenoses. As a result, in some places, pollution of soil, air and water bodies has reached a dangerous level for the humans, as a result of salinization and salinization erosion, soil cover degradation has intensified, summer and winter pastures forest ecosystems have been completely destroyed in some areas, their natural-historical structure has been destroyed and the habitat has changed. In this case, it is proposed to study the soil-ecological state on the basis of various diagnostic indicators of these soils (granulometric composition, humus content, etc.) obtained as a result of anthropogenic impact, and to study the ways of rational and proper use of soils. At current, the study of ecological and geographical problems that have arisen in the natural and geographical environment as a result of more active exploitation of brown mountain forest soils is becoming relevant.*

*Keywords: agrochemical indicators, degradation, erosion, anthropogenic impact, humus.*

УДК.631.4

## **ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ НИЖНЕОРОНГОЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ: МОРФОЛОГИЯ, СВОЙСТВА, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ**

**Т.А. Аюшина, В.И. Убугунова, А.Д. Жамбалова**

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, [tuyana2602@mail.ru](mailto:tuyana2602@mail.ru)

*Аннотация.* Изучены засоленные почвы Нижнеоронгойской котловины Бурятии. Отмечены разные свойства, интенсивность и химизм засоления почв зависимости от геоморфологических, гидрологических, литологических условий. Геохимические особенности засоленных почв связаны с повышенным содержанием ряда элементов, в числе которых встречаются тяжелые металлы.

*Ключевые слова:* Нижнеоронгойская котловина, минеральные источники, засоленные почвы, химизм засоления, геохимическая ассоциация.

Исследования проводили в Нижнеоронгойской котловине (Республика Бурятия, Селенгинское среднегорье). Она занимает пограничное положение между кайнозойскими и мезозойскими структурами. Для нее характерна умеренная тектоническая активность. Это проявляется в виде разрывных нарушений, разгрузки трещинно-жильных вод (соленые озера, минеральные источники). Климат территории резкоконтинентальный. Среднегодовая температура отрицательная, характерна высокая амплитуда температур, среднегодовое количество осадков составляет 200–300 мм, испаряемость до 650 мм [1].

При проведении полевых исследований в 2018–2021 гг. в котловине были обнаружены большие ареалы засоленных почв. Классический механизм накопления солей в низких замкнутых и слабопроточных элементах рельефа здесь осложнен открытым и подпочвенным выклиниванием минерализованных вод, геоморфологическим строением котловины, неоднородным составом почвообразующих пород.

Целью нашего исследования было изучение морфологических, физико-химических свойств и геохимических особенностей засоленных почв северо-восточной части Нижнеоронгойской котловины.

**Объектом исследования** были засоленные почвы, расположенные в зоне влияния минерального источника Ута-Булаг. Разгрузка источника происходит в пределах распространения пород гранитоидной группы (гранитогайсов, гранитопегматитов), щелочных и умеренно-щелочных базальтов, трахибазальтов, карбонатитов. Выходы источника связаны с тектоническим разломом северо-восточного простирания и представляет

собой линейную разгрузку с 16 малодобитными выходами вод гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава с минерализацией до 0,5 г/л. По классификации воды относятся к Селенгинской гидроминеральной области прохладных негазирующих радоновых вод, к гидрокарбонатному классу [2]. В источнике содержатся избыточные количества фтора, бария, кобальта, серы, урана, лантана, молибдена. Территория является ландшафтным памятником природы местного значения [3,4].

Зональные степные почвы расположены в предгорной части хр. Хамар-Дабан. Они имеют неполноразвитый профиль. По системе генетических горизонтов (AJ–C) и мощности почвенной толщи относятся к отделу литоземов (литоземы светлогумусовые) или органо-аккумулятивному (светлогумусовые, светлогумусовые солончаковатые), а почвы с выраженным горизонтом карбонатной аккумуляции (AJ–BCA–C) – к отделу светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв (светлогумусовая аккумулятивно-карбонатная). Гранулометрический состав зональных почв изменяется от супесчаных до легкосуглинистых разновидностей. Реакция pH в верхней части профиля нейтральная, в нижней – слабощелочная, отмечается вскипание от HCl (табл. 1). Содержание гумуса невысокое – 2–3%, с глубиной резко падает. Почвы незасоленные. В составе обменных катионов преобладает кальций, его доля составляет 60–70%, что типично для степного типа почвообразования [5].

Таблица 1. Физико-химические свойства почв Нижнеоронгойской котловины

Горизонты	Глубина, см	pH <sub>вод</sub>	Плотный остаток	CO <sub>2</sub>	Гумус	N <sub>общ.</sub>	ЕКО,	Содержание фракций, %	
								ммоль/экв	<0,01
Зональные: Светлогумусовая (1)									
AJ	0–28(54)	7,4	0,060	-	3,02	0,41	14,4	33	13
AJCSa	28(54)–50(90)	7,6	0,070	-	1,31	0,07	6,6	13	6
Csa	50(90)–90	7,8	0,074	0,4	0,72	0,02	5,3	8	4
Засоленные почвы									
Гумусово-квизиглеевая карбонатная (3)									
AUca,g	0–5(16)	7,3	0,274	3,3	9,38	1,13	22,4	48	19
Q	5(16)–56	7,0	0,150	0,2	3,74	0,60	15,2	46	19
Перегнойно-темногумусовая квизиглеевая карбонатная засоленная (4)									
AHca,s	0–5(10)	8,1	0,374	5,4	15,67*	2,13	24,9	57	24
Qs	5(10)–20(27)	7,7	0,248	0,9	6,46	0,33	26,6	77	33
[AH]ca,g	20(27)–30(38)	7,8	0,196	2,8	10,86*	1,51	22,5	54	20
CQca	30(38)–66	7,6	0,120	14,6	4,63	0,32	18,6	70	29
Чернозем квизиглеевый языковатый солонцеватый (2-18)									
AUca,s	0–17	8,2	0,168	4,5	5,43	0,48	18,7	52	26
BCAq,sn	17–40(44)	8,8	0,154	13,2	1,05	0,19	13,2	75	48
Qca,s	40(45)–63(66)	8,4	0,156	6,6	1,32	0,15	14,5	67	33
CQca,s	63(66)–98	8,3	0,141	6,6	1,31	0,12	11,2	61	25
Чернозем солонцеватый языковатый (6)									
AUca,s	0–7(37)	8,4	0,125	7,7	7,20	0,52	21,6	67	34
BCAsn	7(37)–42(54)	8,9	0,179	10,2	1,69	0,23	18,2	63	33
Csa,s	42(54)–78	9,1	0,196	8,5	1,29	0,15	16,6	58	34
Солончак квизиглеевый карбонатный (5)									
Sca	0–8(14)	9,9	2,510	2,3	1,15	0,14	10,9	31	21
Qs,ca	8(14)–33(70)	10,1	0,954	2,5	0,72	0,05	13,1	47	26
Cq,s,ca	33(70)–73	10,0	0,566	6,9	0,55	0,02	12,5	59	36

Примечание. \* – потери при прокаливании.

**Результаты исследования.** Для изучения засоленных почв Нижнеоронгойской котловины были заложены 2 трансекты. Первый трансект включает зону влияния 12 разгружающихся



источников Ута-Булаг с гумусово-квизиглеевыми (разр.3), перегнойно-темногумусовыми квизиглеевыми (разр.4), черноземами квизиглеевыми (разр.2–18), черноземами солонцеватыми (разр.6), солончаками квизиглеевыми (разр.5). Второй трансект включает зону влияния подпочвенного выклинивания источника 16, здесь расположены перегнойно-темногумусовая (разр.7), гумусово-квизиглеевая (разр.8) почвы и солончак типичный (разр.9). Установлено, что почвы, формирующиеся в зоне влияния слабоминерализованных вод, имеют существенное отличие от зональных почв. Дополнительное увлажнение, в ряде разрезов участие грунтовых вод в формировании почв способствуют изменению направленности почвообразовательного процесса. Это фиксируется и на изменении растительного покрова. На светлогумусовых почвах произрастают степные ценозы, а в микро- и мезопонижениях с гумусово-квизиглеевыми и перегнойно-темногумусовыми почвами гидрометаморфического отдела произрастает влаголюбивая растительность. На возвышенных участках днища котловины формируются среднечастотные и маломощные черноземы. Гумусовые горизонты хорошо оструктурены, а срединные горизонты имеют высокую плотность, в них выражены гумусовые затеки и карманы, характерна глыбисто-комковатая структура, распадающаяся на мелкоплитчатые агрегаты. На вогнутых поверхностях днища котловин встречаются пятна галофитной растительности на солончаках. Среди изученных почв отмечены квизиглеевые, карбонатные, засоленные, солонцеватые подтипы.

Реакция среды в изученных почвах изменяется от слабощелочной до щелочной (рН=7,6–10,1). Почвы вскипают от HCl, содержание карбонатов достигает максимума в гор. ВСА (13,2–15,0%). В темногумусовых почвах и черноземах мощность и оструктуренность гумусового горизонта возрастает, увеличивается содержание гумуса (5,43–9,48%). Характерным является значительное содержание гумуса (1,30%) на большой глубине, вплоть до 78–98 см, что говорит о подвижности гумусовых веществ и их миграции в нижние горизонты.

Во всех изученных почвах отмечается достаточно высокое содержание физической глины (50–80%) и илистых частиц (18–50%), что не характерно зональным почвам. По классификации Качинского состав изменяется от тяжелосуглинистых до тяжелоглинистых разновидностей. Вероятно, длительное выветривание пород минерализованными водами способствует образованию глинисто-гидрослюдистых минералов и высвобождению из кристаллической решетки ионов магния, калия и натрия, оказывающих влияние на водно-солевой баланс в почвах. В солончаках резко увеличивается содержание обменного натрия, в остальных типах почв заметно возрастает доля обменного магния (64–72% от суммы ЕКО).

Все изученные почвы в той или иной степени засолены, несмотря на слабую минерализованность разгружающихся вод. Обращает внимание, что засоленные почвы не всегда встречаются только на низких гипсометрических позициях. Аккумуляция солей может происходить и во вложенных микрокотловинах.

По степени засоления исследуемые почвы составляют следующий ряд по возрастанию: к слабо засоленным относятся черноземы солонцеватые и гумусово-квизиглеевые почвы, плотный остаток которых равен соответственно 0,154–0,196% и 0,142–0,274%. Среднезасоленные почвы представлены перегнойно-темногумусовыми квизиглеевыми почвами с содержанием легкорастворимых солей 0,120–0,374%. К сильно засоленным почвам относятся солончаки, в них концентрация солей высокая по всему профилю 0,954–2,538%. Почвы аккумулируют легкорастворимые соли в солевых корках и поверхностных горизонтах. Тип химизма почв по катионам преимущественно магниевый-натриевый (44%) и натриевый (41%). По соотношению анионов выделено четыре типа: сульфатный (7,5%), хлоридно-сульфатный (30%), сульфатно-хлоридный (15%) и различные комбинации сульфатного, хлоридного засоления с участием соды (46%).

Элементный состав позволил выявить особенности геохимической специализации изученных засоленных почв. Были рассчитаны коэффициенты концентрации (Кк) и рассеяния (Кр). Данные коэффициенты отражают миграционную способность химических элементов. Геохимическая специфика наиболее засоленных почв района исследования – солончаков типичных – имеет следующую ассоциацию элементов (средневзвешенное):  $Sr_{5,2}, As_{3,8}, Li_{2,5}, Mg_{2,0}, Ca_{1,9}, S_{1,7}, P_{1,7}, Co_{1,6}, Pb_{1,5}, Ba_{1,5}, Zn_{1,3}, La_{1,2}, Ce_{1,2}, Ni_{1,2}, Ti_{1,1}, Sc_{1,1}, Mn_{1,0}$ . Наибольшей миграцией обладают элементы, свойственные нижней части земной коры, в почвах

аккумулируются в основном в глинистых фракциях. Возможной причиной такого геохимического состава солончаков являются воды источника Ута-Булаг, неоднородный состав подстилающих пород.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что на формирование засоленных почв Нижнеоронгойской котловины влияют открытые и подпочвенные выклинивания минерализованных вод источника Ута-Булаг, геоморфологическое строение котловины, микро и мезорельеф, неоднородный состав почвообразующих пород. Длительное выветривание подстилающих пород минерализованными водами в условиях щелочной среды оказывает влияние на водно-солевой баланс в почвах. Геохимические особенности засоленных почв связаны с повышенным содержанием ряда элементов, в числе которых встречаются тяжелые металлы. Причиной их аномального содержания являются близлежащие месторождения руд (Халютинское месторождение Ва-Sr-карбонатитов). Необходимо проведение дальнейших исследований для установления подвижных форм этих элементов, высокое содержание которых может оказывать негативное влияние.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках бюджетного проекта № АААА–А17–117011810038–7.

### Литература

1. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск, изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015, 145 с.
2. Замана Л.В. Гидрохимия минерального источника Ута-Булаг (Западное Забайкалье) Вода: химия и экология. 2014. №11. С. 3–93.
3. Елаев Э.Н., Пыжикова Е.М., Рудых С.Г., Цыренова М.Г., Буянтуев, Э.Б. Организация биоты степных и галофитных комплексов Оронгойской котловины (Забайкалье). Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология» 2018. Т. 26. С. 86–93
4. Шагжиев К.Ш., Елаев Э.Н., Бабилов В.А., Черных В.Н., Гармаев А.Ю. Экологическая паспортизация памятников природы Республики Бурятия (Иволгинский и Селенгинский районы). Улан-Удэ, изд-во БГУ, 2015. 164 с.
5. Убугунова В.И., Аюшина Т.А., Насатуева Ц.Н. Почвы степей Нижнеоронгойской котловины (Западное Забайкалье). Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». В печати.

### SALTED SOILS OF THE LOWER ORONGOI DOWN: MORPHOLOGY, PROPERTIES, GEOCHEMICAL FEATURES

T.A. Ayushina, V.I. Ubugunova, A.D. Zhambalova

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, tuyana2602@mail.ru

*Summary.* The saline soils of the Nizhneorongoy depression of Buryatia have been studied. Different properties, intensity and chemistry of soil salinization depending on geomorphological, hydrological, lithological conditions are noted. The geochemical features of saline soils are associated with an increased content of a number of elements, including heavy metals.

*Keywords:* Nizhneorongoi basin, mineral springs, saline soils, salinity chemistry, geochemical association.

УДК 631.42

## ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НИШ «ОСОБЫХ» ПОЧВ НА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЕ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Н.Б. Бадмаев<sup>1,2</sup>, А.Б. Гынинова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, [nima\\_b@mail.ru](mailto:nima_b@mail.ru)

<sup>2</sup>Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ

**Аннотация.** *Использование междисциплинарных методов картографии и информационного анализа позволило определить общие параметры топоэкологических ниш и значительно расширить по Новой классификации почв России ареалы отделов структурно-метаморфических и палео-метаморфических почв.*

**Ключевые слова:** *карта, информация, многомерное признаковое пространство, почва, экологическая ниша, алгоритм.*

На основе иерархического принципа почвенно-географического районирования последовательно выделены новые пространственные границы таксономических единиц юга Витимского плоскогорья и севера Селенгинского среднегорья. Использование междисциплинарных методов картографии, информационного анализа и микроморфологических исследований позволило определить общие параметры топоэкологических ниш и значительно расширить по Новой классификации почв России [1] ареалы отделов структурно-метаморфических и палео-метаморфических почв.

Почвенный покров представлен нами как система объектов, расположенных в  $n$ -мерном экологическом гиперпространстве, осями которого выступают факторы почвообразования [2]. Каждый тип может формироваться лишь внутри определенной амплитуды значений каждого фактора почвообразования. Крайние значения определяют тот объем многомерного пространства, который и может быть определен как экологическая ниша типа почв.

Разработанный алгоритм определения экологических ниш почв предполагает следующую последовательность (рисунок). Для выявления «скрытых» количественных и качественных показателей факторов почвообразования создается картографическая информация (КИ). КИ, созданная для каждого фактора почвообразования, ранжируется по количественным и качественным параметрам, в результате которого образуется многомерное признаковое пространство. На каждый выделенный почвенный контур на уровне типа накладывается КИ факторов почвообразования, рассчитываются вероятность и частота встречаемости типа почв с отдельными факторами почвообразования и их ранговыми значениями. В конечном итоге каждый тип почв имеет только ему присущие количественные и качественные параметры, которые характеризуют его экологическую нишу в этом многомерном признаковом пространстве факторов почвообразования.

На основе анализа КИ шести полигонов-трансектов ЮВП и ССС, с составленными почвенными картами и тематическими картами факторов почвообразования выявлены новые типы почв, значительно расширены ареалы и определены количественные и качественные параметры экологических ниш (Таблица).

Буроземы грубогумусовые оподзоленные мерзлотные формируются под лиственничными лесами на водораздельных позициях на элювиально-делювиальных продуктах выветривания неогеновых и нижне-плейстоценовых базальтов. В Байкальском регионе буроземы локально встречаются только на северо-западных склонах хребта Хамар-Дабан и вдоль южного побережья Байкала. Условиями для их формирования являются непромерзающий тип температурного режима, гумидный климат и темнохвойная тайга [3].

Палевые почвы занимают особые природные условия в центральной части Якутии под лиственничными лесами в условиях сплошного распространения многолетней мерзлоты [1]. Выявленные в Забайкалье палевые мерзлотные почвы встречаются на пологих склонах северных экспозиций под березовыми лесами, где встречаются тяжелосуглинистые продукты выветривания вулканических пород палеоген-неогенового возраста и близкое залегание мерзлоты.

								8-й этап Карта
								Классы ГЛ
								7-й этап Карта Испаряемость
								6-й этап Карта Растительность
								5-й этап Карта Мерзлота
								4-й этап Карта Порода (грансостав)
								3-й этап Карта Порода (ген.)
								2-й этап Карта Рельеф
1-й этап Карта								1-й этап Почвы
Почвы								
								Высота
								Экспозиция
								Крутизна
								Фация
								*Сезонномерзлотные почвы, остальные мерзлотные **Глубина промерзания БР – буроземы ЧГ – черноземы глееватые ЧК – черноземы квазиоглеевые засоленные Кра – криоаридные
								I. Материнская порода
								II. Растительность
								III. Рельеф
								IV. Климат
								1. Глубина протаивания, см
								2. Испаряемость, мм

Рисунок. Алгоритм определения параметров экологических ниш почв.

Экологической нишей криоаридных почв с неполным хрящевато-щебнистым профилем являются крутые склоны и увалы южной экспозиции под криоксерофитными степями на плотных каменистых породах, продуктах разрушения ниже-палеозойских гранитоидов. Эти почвы выделял В.И. Волковинцер [4] на склонах теплых экспозиций только в пределах высоких хребтов Алтая, Саяна, Сунтар-Хаята и Тянь-Шаня. Ранее выделяемые каштановые почвы занимают более пологие ландшафты под ксерофитными степями и характеризуются полным профилем и ярко выраженным карбонатным горизонтом. В настоящее время, по тем же местоположениям разрезов и собственным данным по криоаридным почвам, как генетическому типу в Классификации почв России, дана подробная характеристика их географии, морфологии и диагностики [5].



Таблица. Общие параметры экологических ниш «особых» почв

Почвы и факторы почвообразования				
<b>ПОЯС</b>	Бореальный (умеренно-холодный)			
<b>Область</b>	Восточно-Сибирская мерзлотно-таежная			
<b>Провинция</b>	Северо-Прибайкальская горная			Забайкальская горная
<b>Округ</b>	Еравнинско-Телембинский котловинный			Кижингиско-Шилкинский среднегорный
<b>Почво-образующие породы (ПП)</b>	Неогеновые и нижне-плейстоценовые базальты		Палеоген-неогеновые отложения	Нижне-палеозойские гранитоиды
ПП по генезису	Элювий (Э), Элювио-делювий (ЭД)	Делювий (Д), Дса	Д, Дса	Э, Д, Д са, R (плотная порода)
ПП грансостав	С	ТС, С	ТС, ГЛ	С, ЛС, СП
<b>Климат</b>				
<b>Осадки, мм</b>	350–400			200–250
<b>Сумма T&gt;10°C</b>	1000–1400		1400–1600	1600–2000
<b>Растительность</b>	Лиственничный лес с березой и единичными осинами	Разнотравный березовый лес с единичными лиственницами	Луговые степи (разнотравно-злаковые сообщества)	Криоксерофитные степи (кобрезиево-типчачковые)
<b>Рельеф,</b> Высота	991–1017	969–991	971–972	730–890
Экспозиция	с, с-в, с-з	с, с-з, с-в	в, юв	ю, ю-в, ю-з
Крутизна	1–3	2–3, 3–5	1–3	3–5, 5–8, 8–10
Фация	э, тэ	т-э, т-а	э, тэ	т-э, т-а
<b>Климат почв</b>				
Глубина протаивания, см	270–300	230–250	250–280	–
Глубина промерзания, см	–	–	–	300–400
Испаряемость, мм	471–522	445–470	471–496	523–540
<b>Отдел</b>	Структурно-метаморфический	Палево-метаморфический	Аккумулятивно-гумусовые	Палево-метаморфический
<b>Тип,</b> КиДП СССР, 1977	Мерзлотно-таежные (Ногина, 1964)	Мерзлотно-лугово-лесные (Ногина, 1964)	Мерзлотно-лугово-черноземные (Ногина, 1964)	Степные криоаридные (Волковинцер, 1978),
КиДП России, 2004	Буроземы	Палевые	Темные слитые	Криоаридные
WRB, 2014	Skeletal Cambisols Gelic	Cambic Protocalcic Cryosols	Haplic Vertisols (Chernic Gelistagnic)	Skelletic Cambisols (Protocalcic)

В отделе аккумулятивно-гумусовых почв, ранее с И.В. Ковда [6] на озерной террасе впервые в криолитозоне выделены темные слитые почвы. Новые инструментальные исследования на основе современных датчиков-логгеров доказывают, что кроме высокого содержания илстых частиц (>50%) в горизонтах, экстремальные суточные, сезонные и многолетние циклы промерзания и протаивания почв, являются дополнительным условием для формирования слитых почв (вертисолей и вертикальных признаков). Именно в этих фациях

(приводораздельная часть ландшафта), где выделены слитоземы и самая высокая частота суточных фазовых переходов почвенной влаги на глубинах 5–10–20 см в ранее весеннее (апрель–май) и осеннее (октябрь) периоды.

Таким образом, использование междисциплинарных методов картографии и информационного анализа позволило определить общие параметры топоэкологических ниш и значительно расширить по Новой классификации почв России ареалы отделов структурно-метаморфических и палео-метаморфических почв. Выявленные почвы на основе Новой классификации почв России ранее на южной границе криолитозоны Забайкалья не выделялись, а формировались только в особых природных условиях (буроземы – под широколиственными лесами на равнинах Дальнего Востока, в горах Кавказа, Алтая и Сихотэ-Алиня; палевые – в тундрово-таежных мерзлотных областях Центральной Якутии с экстроконтинентальным климатом, преимущественно на суглинистом субстрате; криоаридные – в котловинах горных систем северо-востока Азии и высокогорьях Алтая и Саян, под криоксерофильной степной растительностью на каменисто-супесчано-песчаном субстрате и темные слитые, которые формируются под лугово-степной и степной растительностью на глинах, часто засоленных, с содержанием илистой фракции не менее 40%, образуют только локальные ареалы в лесостепи и степи Предкавказья [1]. Выделенные почвы на южной границе криолитозоны можно назвать уникальными для данной территории.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке проекта НИР № 121030100228-4 ИОЭБ СО РАН и гранта РФФИ №№ 19-29-05250.

#### Литература

1. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
2. Бадмаев Н.Б. Координатный анализ и принципы распознавания почв. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2008. 206 с.
3. Цыбжитов Ц.Х., Убугунова В.И. Генезис и география таежных почв бассейна озера Байкал. Улан-Удэ: Бурят. Кн. Изд-во, 1992. 240 с.
4. Волковинцер В.И. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. 208 с.
5. Бронникова М.А., Герасимова М.И., Конопляникова Ю.В., Гуркова Е.А., Черноусенко Г.И., Голубцов В.А., Ефимов О.Е. Криоаридные почвы как генетический тип почв в классификации почв России: география, морфология, диагностика // Почвоведение. 2022. № 3. С. 263–284.
6. Kovda I., Goryachkin S., Lebedeva M., Chizhikova N., Kulikov A., Badmaev N. Vertic soils and Vertisols in cryogenic environments of southern Siberia, Russia // Geoderma. 2017. V. 288. pp. 184–195. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.008>.

#### GENERAL PARAMETERS OF ECOLOGICAL NICHES OF "SPECIAL" SOILS ON THE SOUTHERN BORDER OF THE PERMAFROST ZONE OF TRANSBAIKALYE

N.B. Badmaev<sup>1,2</sup>, A.B. Gyninova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, nima\_b@mail.ru

<sup>2</sup>Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude

*Summary.* The use of interdisciplinary methods of cartography and information analysis made it possible to determine the general parameters of topoecological niches and significantly expand the areas of structural-metamorphic and pale-metamorphic soil divisions according to the New Classification of Russian Soils.

*Keywords:* map, information, multidimensional space, soil, ecological niche, algorithm.

УДК 631.4:631.452

## ЦИФРОВОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЦКО-САЛАИРСКОЙ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Н.В. Гопп

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [gopp@issa-siberia.ru](mailto:gopp@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** *Агроэкологический потенциал (АП) в комплексном виде характеризует обеспеченность территории ресурсами тепла и влаги с учетом континентальности климата, которые оказывают значительное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В настоящей работе разработана методика цифрового картографирования АП западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции. Геопространственный анализ показал, что значения АП варьируют в диапазоне от 3,0 до 6,5 и увеличиваются с юго-запада на северо-восток исследуемой территории. Изменение АП на 0,5 единиц послужило основанием для выделения 7-ми агроклиматических оценочных подзон. Таким образом, разработанная методика позволила выявить выраженную пространственную дифференциацию АП изучаемой территории, а также отобразить пространственное изменение АП на цифровой карте.*

**Ключевые слова:** *сумма активных температур воздуха, коэффициент увлажнения, континентальность климата, WorldClim, SAGA GIS.*

**Введение.** Агроэкологический потенциал (АП) объединяет в себе климатические показатели, характеризующие обеспеченность территории ресурсами тепла и влаги с учетом континентальности климата, которые оказывают значительное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Для расчета АП используются следующие климатические показатели: сумма активных температур воздуха выше 10°C (САТ10), коэффициенты увлажнения (КУ) и континентальности климата (КК) [1, 2, 3]. Климатические показатели, используемые для расчета АП, как в пространственном, так и временном аспектах не постоянны и их изменение приводит, в том числе к изменению АП, которое эффективнее всего показывать на картах. Наличие усредненных за несколько лет климатических данных в удобном для математических расчетов виде (растры/гриды) позволяет упростить процедуру картографирования АП и сделать итоговые карты, во-первых, более точными, во-вторых, дифференцированными в пространственном отношении, по сравнению с расчетами с использованием только справочных данных, которые представляют собой усредненные значения для большой площади исследуемой территории и не позволяют объективно оценить пространственную дифференциацию изучаемого параметра. Оценка и картографирование АП необходимы, прежде всего, для подбора сортов сельскохозяйственных культур и планирования мероприятий по их возделыванию, а также для сравнительного анализа значений АП, характерных для компонентов ландшафта (почв, растительности и др.) изучаемой территории. Кроме того, АП используется при оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве [4, 5], кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения [6, 7], а также является важной составляющей при расчете почвенно-экологического индекса [3].

**Цель исследования** – разработать методику цифрового картографирования агроэкологического потенциала западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции.

**Объекты и методы исследования.** Территория исследования расположена в западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции Алтае-Саянской горной страны (Новосибирская область, Искитимский район) и занимает площадь 4384 км<sup>2</sup>. Климат континентальный. Средние температуры воздуха: годовая – -0.3°C...-0.6°C, января – -19°C, июля – +19°C. Количество осадков варьирует от 400 до 450 мм/год. Коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (отношение суммы осадков к испарению в год) варьирует от 0,7 до 0,8. Сумма активных температур воздуха выше 10°C (САТ10) находится в диапазоне от 1750 до 1900°C [8]. Агроэкологический потенциал рассчитывался по следующей формуле [3, 9]:

$$АП = \frac{\sum t > 10^{\circ}(КУ - P)}{КК + 100}$$

где  $\sum t > 10^{\circ}$  – сумма активных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ ; КУ – коэффициент увлажнения (отношение количества осадков в год к испаряемости), величины КУ более 1,1 принимаются равными 1,1; P – поправка к КУ, при КУ > 0,76: P=0,20–0,6 (1,1–КУ); при КУ 0,76–0,36 P=0; при КУ 0,35–0,30 P=0,35–КУ; при КУ < 0,30 P=0,05; КК – коэффициент континентальности климата.

В качестве исходных данных для расчета карты АП были использованы геопривязанные растровые карты: 1) суммы активных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  (построена по данным почвенно-климатического атласа [8]); 2) коэффициента увлажнения (построена на основе растровых карт суммы осадков в год WorldClim [10] и испаряемости с открытой водной поверхности пресного водоёма по данным почвенно-климатического атласа [8]). Данные о коэффициенте континентальности климата были взяты из справочника агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации [10]. Все математические операции с геопривязанными растровыми картами проводились в программном обеспечении SAGA GIS [11], в том числе, корректировка растровой карты коэффициента увлажнения согласно поправкам к КУ. Все растровые карты приведены к разрешению  $30 \times 30$  м.

**Результаты.** Согласно справочнику агроклиматического зонирования субъектов Российской Федерации [10], территория исследования относится к 4-ой агроклиматической подзоне, для которой характерны следующие средние климатические параметры: САТ10 –  $1861^{\circ}\text{C}$ , КУ – 0,86; КК – 200, АП – 5. По карте САТ10 выявлено, что значения варьируют от 1650 до  $1900^{\circ}\text{C}$  и они отличаются от справочных, прежде всего тем, что это не одно среднее значение для всей территории, а множество локальных значений пикселей, изменяющихся в пространстве, с отчётливо заметным трендом увеличения с северо-востока на юго-запад (рис. 1, а). САТ10 изучаемой территории подходит для выращивания большинства сельскохозяйственных культур с различной группой спелости (ранне-, средне- и позднеспелые), за исключением теплолюбивых культур, для полного созревания которых необходимы более высокие значения этого показателя (средне- и позднеспелые сорта подсолнечника, средне- и позднеспелые сорта кукурузы и др.). Если культура обеспечена теплом не более чем на 50%, то её возделывание не имеет смысла [12].

По картам суммы осадков в год и испаряемости выявлено, что значения варьируют от 375 до 500 мм и от 350 до 500 мм, соответственно (рис. 1, б, в). Согласно атласу [8], в зависимости от суммы осадков в год выделяют три типа увлажнения: достаточное, но неустойчивое (350–400 мм); избыточное, устойчивое увлажнение (400–450 мм) и весьма избыточное устойчивое увлажнение (> 450 мм). На соответствующей карте отчётливо заметен тренд увеличения осадков с юго-запад на северо-восток (рис. 1, б). Производная карта коэффициента увлажнения, построенная на основе растровых карт суммы осадков в год WorldClim [9] и испаряемости (по данным почвенно-климатического атласа) показывает, что значения варьируют в диапазоне от 0,7 до 1,4 (рис. 1, г).

Интегральная карта АП, составленная с использованием выше представленных растровых карт климатических показателей, характеризуется выраженной пространственной дифференциацией по значениям АП (рис. 2). Установлено, что АП увеличивается с юго-запада на северо-восток изучаемой территории от 3,0 до 6,5, т.е. северо-восточная часть территории в отношении имеющихся ресурсов тепла и влаги является более ценной, чем юго-западная. Согласно справочным данным [10], расчётное значение АП для всей изучаемой территории равно 5 (без диапазона варьирования). Таким образом, использование геопривязанных тематических карт позволило получить более точные сведения об агроэкологическом потенциале изучаемой территории, а также отобразить пространственное изменение АП на цифровой карте.

Изменение показателя АП на 0,5 единиц служит основанием для выделения новых агроклиматических оценочных подзон [5]. Таким образом, на изучаемой территории можно выделить 7 агроклиматических оценочных подзон (рис. 2), а не одну, которая представлена в справочнике [10].



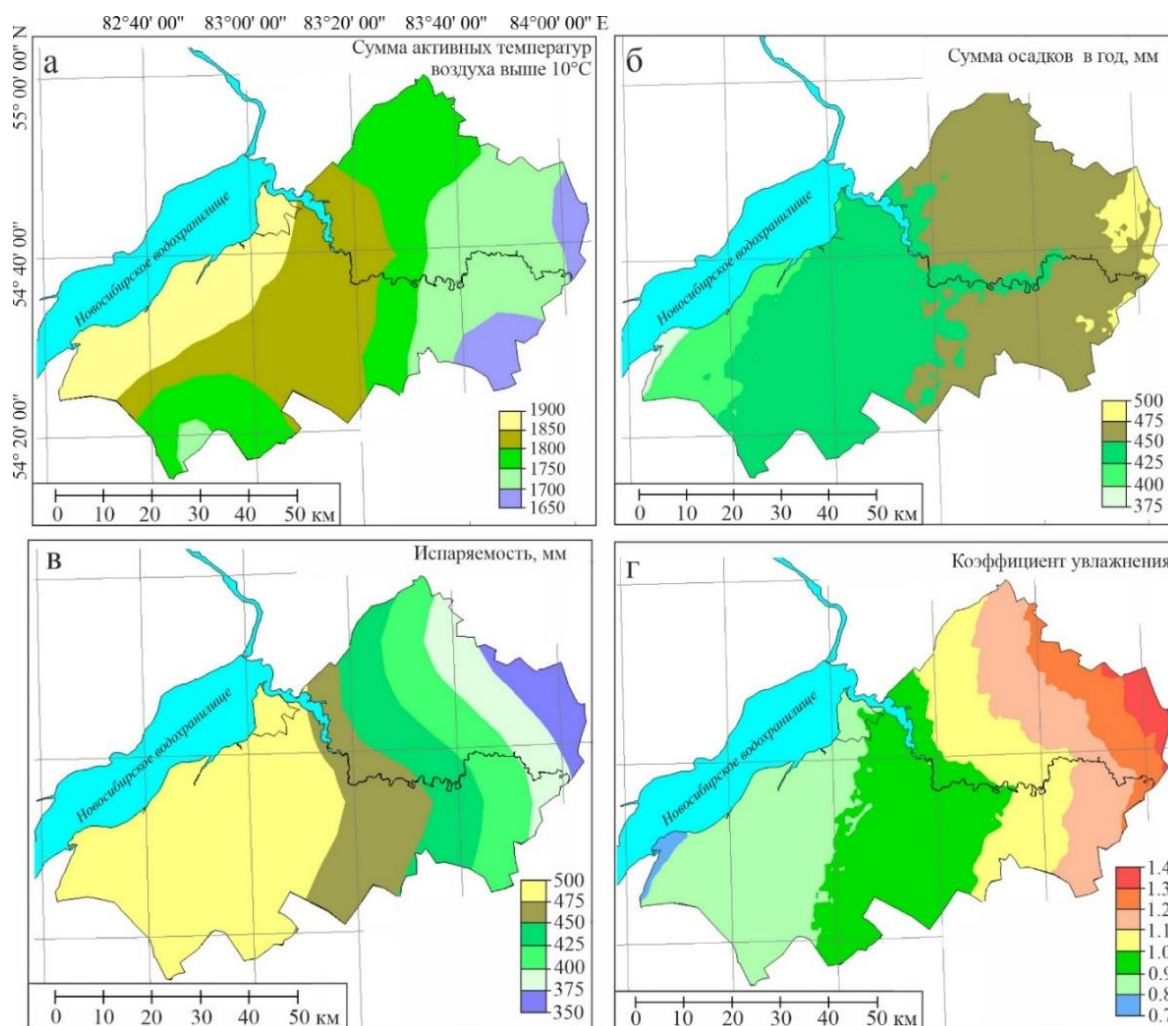


Рисунок 1. Карты агроклиматических показателей западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции: а) сумма активных температур воздуха выше 10°C; б) сумма осадков в год, мм; в) испаряемость с открытой водной поверхности пресного водоёма в год, мм; г) коэффициент увлажнения.

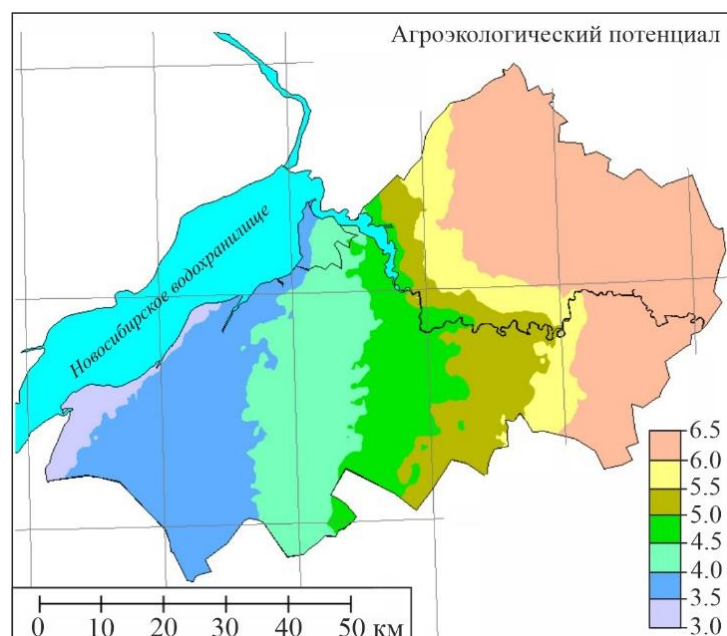


Рисунок 2. Карта агроэкологического потенциала западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции.

Для сравнения: АП Краснодарского края, отличающегося высокими урожаями сельскохозяйственных культур, варьирует в диапазоне от 8,5 до 15,3 (28 агроклиматических подзон) [10], т.е. по сравнению с этим краем АП изучаемой территории значительно ниже в несколько раз. Средняя нормативная урожайность зерновых колосовых культур (без подразделения на виды) в Краснодарском крае составляет 46,1 ц/га, а в Новосибирской области – 16,3 ц/га [10]. Известно, что фактическая урожайность культур варьирует из года в год и может отличаться от расчетной нормативной урожайности в несколько раз. Например, согласно интернет-изданию «Искитимская газета» [13], в 2022 году урожайность яровой пшеницы сорта «Тризо» в хозяйстве АО «Полевод» составила 82 ц/га, до этого года максимальный рекорд не превышал 50 ц/га. Это хозяйство находится северо-восточной части изучаемой территории, для которого характерны максимальные значения АП от 5,5 до 6,5 (рис. 2). Высокие урожаи в этом хозяйстве обеспечиваются оптимальными климатическими условиями, наличием средне- и сильногумусированных почв, а также агротехническими приёмами (хозяйство перешло на применение четырехкратной подкормки жидкими и сухими удобрениями в течении вегетации). Таким образом, можно сделать вывод, что и в условиях Сибири можно получать высокие урожаи зерновых культур сравнимые с урожаями областей, имеющих высокий агроэкологический потенциал. Известно, что такие результаты достигаются благодаря не только оптимальным климатическим и почвенным показателям, но и агротехническим приёмам.

Оценка АП территории имеет важное значение в агрономической практике и позволяет экономить денежные средства путём правильного подбора сортов сельскохозяйственных культур с определенными потребностями в ресурсах тепла и влаги для роста и развития, которые необходимо учитывать при формировании списка выращиваемых культур на изучаемой территории.

Для совершенствования методики картографирования АП и получения более точных результатов необходимо предусмотреть составление геопривязанной растровой карты коэффициента континентальности климата. Также эту методику можно усовершенствовать путем учёта сведений об экспозиции склонов и топографическом индексе влажности, которые можно вычислить с использованием цифровых моделей высот. Склоны различной экспозиции отличаются по запасам влаги и теплообеспеченности, и их изменение приводит к изменению коэффициента увлажнения. Таким образом, учёт этих показателей позволит создать более точную и дифференцированную карту АП, учитывающую микроклиматические условия, которые формируются благодаря рельефу.

**Заключение.** Проведенная работа позволила получить более точные сведения об агроэкологическом потенциале исследуемой территории. При использовании дифференцированных исходных картографических данных в растровом формате для составления карты АП получены его значения в диапазоне от 3,0 до 6,5, и они увеличиваются с юго-запада на северо-восток. Изменение АП на 0,5 единиц послужило основанием для выделения 7-ми агроклиматических оценочных подзон. Таким образом, разработанная методика позволила выявить выраженную пространственную дифференциацию АП изучаемой территории.

Проведение картографических работ не требует выезда на территорию хозяйства, так как все необходимые исходные картографические данные (сумма активных температур воздуха выше 10°C, сумма осадков и испаряемость в год, коэффициенты увлажнения и континентальности климата) для составления карты АП находятся в свободном доступе в сети интернет, справочниках и атласах. Карты АП можно в дальнейшем использовать для составления карт нормативной урожайности сельскохозяйственных культур, проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия, оценки кадастровой стоимости сельскохозяйственных земель и пригодности земель для использования в сельском хозяйстве.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## Литература

1. Карманов И.И. Ландшафтно-сельскохозяйственная типизация территории: методическое пособие / И.И. Карманов, Д.С. Булгаков. М.: РАСХН, Почв. ин-т им. Докучаева, 1997. 48 с.
2. Карманов И.И., Фриев Т.А. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей // Почвоведение. 1982. №5. С. 13–21.
3. Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И., Ефремов В.В. Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв. В кн.: Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М.: Наука, 1991. С. 161–223.
4. Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. Росземкадастр, ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ, РосНИИземпроект, 2003. 170 с.
5. Оценка качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. М.: Роснедвижимость – ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ, 2007. 131 с.
6. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации / Под ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. М., 2012. 157 с.
7. Шехтер К.П., Сапожников П.М. Кадастровая стоимость земель агроландшафтов Краснодарского края // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2022. №2. С. 103–109.
8. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1978. 122 с.
9. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации. Учеб. практическое пособие // Под ред. С.И. Носова. Ответственный исполнитель Оглезнев А.К. М.: Маросейка, 2010. 208 с.
10. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2017. 37(12). pp. 4302–4315.
11. Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. *Geosci. Model Dev.*, 2015. 8(7). pp. 1991–2007.
12. Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. 244 с.
13. Искитимская газета [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://goo.su/Jd0F1> (дата обращения: 04.07.2023 г.)

## DIGITAL MAPPING OF THE AGROECOLOGICAL POTENTIAL OF THE WESTERN PART KUZNETSK-SALAIR GEOMORPHOLOGICAL PROVINCE

N.V. Gopp

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8/2 Ak. Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, [gopp@issa-siberia.ru](mailto:gopp@issa-siberia.ru)

*Summary.* The agroecological potential (AP) characterizes the provision of the territory with warm and moisture resources, taking into account the continentality of the climate, which have a significant impact on the growth and development of agricultural crops. In this paper, a method of digital mapping of the AP of the western part of the Kuznetsk-Salair geomorphological province has been developed. Studies showed that AP values change in the range from 3,0 to 6,5 and increase from the southwest to the northeast of the study area. The north-eastern part of the territory is more valuable in terms of available warm and moisture resources than the south-western part. The change in AP by 0.5 units served as the basis for the allocation of 7 agro-climatic evaluation subzones. Thus, the developed digital mapping technique made it possible to identify the pronounced spatial differentiation of the AP of the studied territory, as well as to display the spatial change of the AP on a digital map.

*Keywords:* sum of active air temperatures, humidification coefficient, continentality of climate, WoldClim, SAGA GIS.

УДК 631.4

## ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ: ОБЗОР ВЕБ-СЕРВИСОВ, БАЗЫ ДАННЫХ, МЕТОДЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Н.В. Гопп

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [gopp@issa-siberia.ru](mailto:gopp@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** В настоящей работе приводится обзор веб-сервисов, содержащих карты запасов почвенного органического углерода (ПОУ) в слое 0–30 см и охватывающих сушу всего земного шара. Рассмотрены следующие веб-сервисы: GSOСmap v.1.5.0 (Global Soil Organic Carbon map) и SoilGrids 2.0 (System for global digital soil mapping). Карта GSOСmap с разрешением 1×1 км составлена с использованием национальных почвенных баз данных и существующих почвенных карт, переведенных в цифровой формат. Карта SoilGrids с разрешением 250×250 м составлена с использованием почвенной базы данных WoSIS (World Soil Information Service) и экологических ковариат (более 400), характеризующих растительность, рельеф, климат, геологию и гидрологию. Рассмотренные выше глобальные карты запасов ПОУ служат примером построения карт с использованием двух различных подходов: 1) на основе имеющихся тематических карт и почвенных баз данных, 2) на основе цифровых пространственно распределенных данных и почвенных баз данных.

**Ключевые слова:** SoilGrids 2.0, GSOСmap v.1.5.0, цифровое почвенное картографирование.

Почвы являются крупнейшим наземным резервуаром углерода и играют важную роль в его глобальном балансе путем регулирования динамических биогеохимических процессов и процесса обмена парниковыми газами с атмосферой [1]. Представление запасов почвенного органического углерода (ПОУ) в картографическом виде позволяет более точно определять глобальные запасы углерода, которые необходимы для прогнозирования климатических изменений и изучения взаимосвязей между углеродом почв и атмосферы. Кроме того, по картам можно идентифицировать территории с относительно большими или меньшими запасами ПОУ, выявлять корреляцию с данными, представленными на других тематических картах (климатических, ландшафтных, почвенных, геоботанических и др.), и делать соответствующие заключения о закономерностях пространственного распределения. Другим примером использования карт может быть точный расчет глобальных запасов ПОУ в почвах не только всего земного шара, но и отдельных континентов. К современным достижениям в области почвенной картографии можно отнести веб-сервисы, содержащие карты запасов ПОУ, которые можно просматривать в интерактивном режиме. Пользователи могут получить сведения о запасах ПОУ путём наведения курсора и нажатия компьютерной мышкой на определенный участок карты, в результате чего появляется всплывающее сообщение с необходимыми данными. Также эти карты можно загрузить с сайта для дальнейшего изучения в настольных географических информационных системах (ГИС).

Ниже приведены примеры веб-сервисов, содержащих карты запасов ПОУ и охватывающих сушу всего земного шара.

Платформа GLOСIS (Global Soil Information System) объединяет информацию о почвах, собранную национальными учреждениями [2]. В частности, на этой платформе размещена глобальная карта запасов ПОУ GSOСmap v.1.5.0 (Global Soil Organic Carbon map) в слое 0–30 см, которая построена на основе более 1 млн. наблюдений за почвой (рис. 1) [3]. Растровая карта GSOСmap имеет пространственное разрешение 30 угловых секунд (приблизительно 1×1 км). Часть карты, относящаяся к территории России, была построена на основе Почвенной карты РСФСР масштаба 1: 2 500 000 и информационной системы «Почвенно-географическая база данных Российской Федерации», в которой по большей части содержатся результаты исследований почвенных разрезов, относящихся к 60–80-м годам прошлого века [5]. Для расчета запасов ПОУ необходимо знать не только содержание углерода, но и плотность почв в естественном сложении. Для расчета плотности почв авторы карты GSOСmap по территории России использовали педотрансферную функцию, описанную О.В. Честных и Д.Г. Замолотчиковым [6]. Кроме этого, производилась корректировка содержания ПОУ с использованием коэффициента 1,28 для получения более точных результатов, сходных с методом сухого сжигания на СНН-анализаторе [5, 7]. Полученные



эталонные/среднеарифметические значения запасов ПОУ в различных почвах присваивались почвенным контурам на карте с учетом информации, имеющейся на других тематических картах (климатических, ландшафтных и др.).

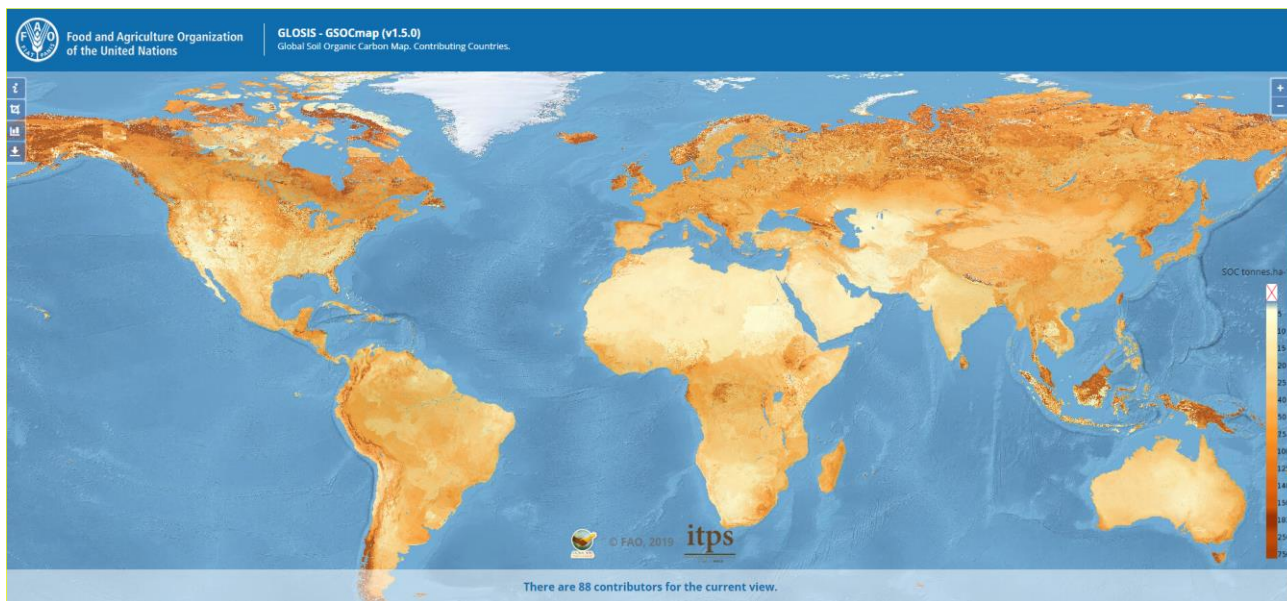


Рисунок 1. Глобальная карта запасов ПОУ GSOCSmap v.1.5.0 в слое 0-30 см (т/га) [4].

Другим примером может служить веб-сервис SoilGrids 2.0 (SoilGrids – system for global digital soil mapping). Карта запасов ПОУ в слое 0–30 см была создана на основе современного метода машинного обучения, а именно, квантильного случайного леса [8] (рис. 2).

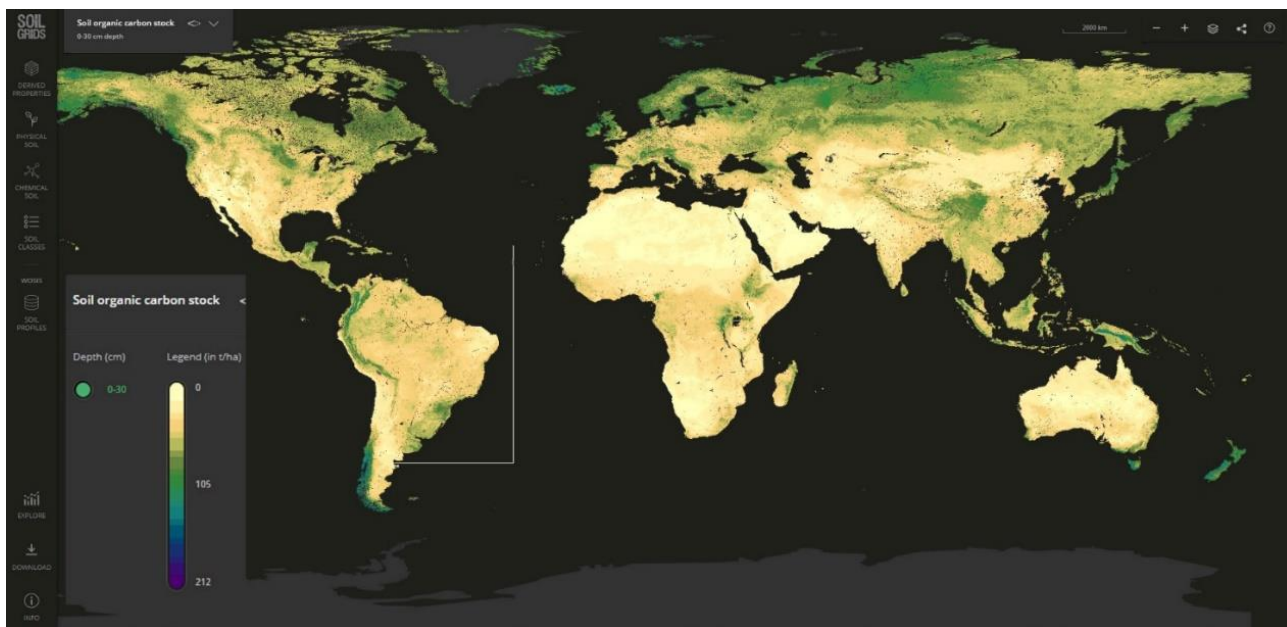


Рисунок 2. Глобальная карта запасов ПОУ SoilGrids 2.0 в слое 0–30 см (т/га) [8].

Для построения карты SoilGrids использовались 240 000 наблюдений за почвой, полученных из базы данных WoSIS (World Soil Information Service), а также экологические ковариаты (более 400), характеризующие растительность, рельеф, климат, геологию и гидрологию [9]. Карта запасов ПОУ SoilGrids 2.0 представлена с разрешением 250x250 м. На соответствующем сайте опубликованы сведения о том, что карты на национальном и локальном уровнях являются более точными по сравнению с глобальной картой SoilGrids, и связано это с наличием более подробной информации о почвах, имеющейся в национальных учреждениях [8].

Приведенные выше веб-сервисы служат примером построения карт с использованием двух различных подходов: 1) на основе имеющихся тематических карт – присвоение эталонных, среднеарифметических или полученных в результате моделирования значений содержания и запасов ПОУ определенным картографическим единицам (почвенным, ландшафтным, климатическим и т.д.); 2) на основе цифровых пространственно распределенных данных – совместная обработка данных лабораторно-полевых обследований и пространственных предикторов с использованием методов машинного обучения, геостатистики и гибридных подходов [10].

Рассмотренные веб-сервисы являются продуктами глобальных усилий, направленных на объединение существующих знаний об органическом углероде почвы со всего мира [3, 8]. Известными проблемами глобальных карт запасов ПОУ являются завышенные или заниженные значения запасов ПОУ для участков местности, где отсутствовало достаточное количество данных о свойствах почв (содержание ПОУ, плотность сложения, содержание крупнозема и др.), необходимых для расчета запасов ПОУ. По заявлениям разработчиков, на глобальных и национальных картах запасов ПОУ будет представлена более точная информация при дальнейшем развитии веб-сервисов и поступлении новых сведений о почвенных свойствах в базы данных.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

#### Литература

1. Lal R. Soil carbon management and climate change // Carbon Management. 2013. V. 4. pp. 439–462. URL: <http://dx.doi.org/10.4155/cmt.13.31>
2. GLOIS Web Service. URL: <https://data.apps.fao.org/glois/> (дата обращения: 10.07.2023).
3. FAO and ITPS. Global Soil Organic Carbon Map V1.5: Technical report. Rome, FAO, 2020. pp. 169.
4. GSOCmap Web Service. URL: <http://54.229.242.119/GSOCmap/> (дата обращения: 10.07.2023).
5. Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепаченко Д.Г. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. №3. С. 273–286.
6. Честных О. В., Замолотчиков Д. Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. 2004. № 8. С. 937–944.
7. Когут Б.М., Фрид А.С. Сравнительная оценка методов определения содержания гумуса в почвах // Почвоведение. 1993. № 9. С. 119–123.
8. SoilGrids Web Service. URL: <https://soilgrids.org/> (дата обращения: 10.07.2023).
9. Poggio L., de Sousa L., Batjes N., Heuvelink G., Kempen B., Ribeiro E., Rossiter D., SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty // SOIL. 2021. Vol. 7. Issue 1. pp. 217–240.
10. Гопп Н.В., Мешалкина Ю.Л., Нарыкова А.Н., Плотникова А.С., Чернова О.В. Картографирование содержания и запасов органического углерода почв на региональном и локальном уровнях: анализ современных методических подходов // Вопросы лесной науки. 2023. Т.6. №1. Статья 120. С. 1–59.

SOIL ORGANIC CARBON STOCKS: OVERVIEW OF WEB SERVICES, DATABASES,  
MAPPING METHODS

N.V. Gopp

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of  
Sciences, Novosibirsk, [gopp@issa-siberia.ru](mailto:gopp@issa-siberia.ru)

*Summary. This paper provides an overview of web services containing maps of soil organic carbon stocks (SOCS) in layer of 0–30 cm, covering the entire globe. The following web services are considered: GSOCmap v.1.5.0 (Global Soil Organic Carbon map) and Soil Grids 2.0 (system for global digital soil mapping). The GSOCmap map with a resolution of 1x1 km was compiled using national soil databases and existing soil maps translated into digital format. The map of SoilGrids with resolution of 250x250 m was compiled using the WoSIS (World Soil Information Service) soil database and ecological covariates (more than 400) describing vegetation, relief, climate, geology and hydrology. The above maps of SOCS can serve as an example of constructing maps using two different approaches: (1) based on existing thematic maps and soil database, (2) based on digital spatially distributed data and soil database.*

*Keywords: SoilGrids 2.0, GSOCmap v.1.5.0, digital soil mapping.*

УДК 631.4:631.452

## ЦИФРОВОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЦКО-САЛАЙРСКОЙ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕДОТРАНСФЕРНОЙ ФУНКЦИИ

Н.В. Гопп

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [gopp@issa-siberia.ru](mailto:gopp@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** В настоящей работе представлены результаты картографирования плотности сложения почв с использованием педотрансферной функции и растровой карты содержания почвенного органического углерода (ПОУ) в качестве картографической основы. Геопространственный анализ показал, что плотность почв варьирует в диапазоне от 1,1 до 1,37 г/см<sup>3</sup>. Выявлена выраженная пространственная дифференциация по плотности сложения почв, которая увеличивается с юго-запада на северо-восток исследуемой территории. Сравнение карты плотности почв, полученной с помощью педотрансферной функции, с данными, представленными на глобальных картах SoilGrids (System for global digital soil mapping) и HWSD (Harmonized World Soils Database), показало, что на карте SoilGrids значения существенно занижены, а на карте HWSD незначительно завышены. Карта плотности сложения почв SoilGrids слабо дифференцирована в пространственном отношении, при этом известно, что на изучаемой территории распространены как минимум 12 типов почв, у которых плотность сложения значительно выше, чем на представленной глобальной карте.

**Ключевые слова:** Harmonized World Soils Database, HWSD, SoilGrids, System for global digital soil mapping, SAGA GIS, ковариаты, Landsat ETM+, SRTM.

**Введение.** Плотность почв оказывает прямое влияние на пористость и содержание доступной воды в почве, а также косвенное влияние на рост и развитие растений, кроме этого, используется при расчете запасов элементов питания, массы слоя почвы определенной площади и в гидрологическом моделировании [1–4]. Плотность сложения почв редко определяется при проведении исследований, поэтому в литературных источниках содержится недостаточно сведений об этом показателе. Отсутствие достаточного количества данных о плотности сложения почв с географической привязкой привело к необходимости применения педотрансферных функций, которые позволяют получить неизвестные значения, используя другие свойства почв. Чаще всего такими свойствами почв являются содержание почвенного органического углерода (ПОУ) и физической глины. Перечисленные свойства почв используются в педотрансферных функциях как вместе, так и по отдельности. Наличие почвенных баз данных позволяет создавать геопривязанные растровые карты необходимых почвенных свойств, которые в дальнейшем служат в качестве картографической основы для дальнейших математических расчетов. Такой подход позволяет упростить процедуру картографирования, а также сделать итоговые карты плотности почв более точными и дифференцированными в пространственном отношении.



**Цель исследования** – цифровое картографирование плотности сложения почв западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции.

**Объекты и методы исследования.** Территория исследования расположена в западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции Алтае-Саянской горной страны (Новосибирская область, Искитимский район) и занимает площадь 4384 км<sup>2</sup>. Климат континентальный. Средние температуры воздуха: годовая – -0.3°C...-0.6°C, января – -19°C, июля – +19°C. Количество осадков варьирует от 400 до 450 мм/год. [5].

Названия таксономических единиц почв даны в соответствии с Классификацией и диагностикой почв Советского Союза [6]. Преобладающая часть почв (черноземы, темно-серые лесные, серые и светло-серые лесные почвы) сформировалась на лёссовидных карбонатных суглинках. На оглеенных лёссовидных суглинках сформировались лугово-черноземные и луговые почвы, на аллювиальных отложениях рек (супесях и песках) – аллювиальные луговые почвы. Гранулометрический состав почвообразующих пород и почв в основном представлен средними и тяжелыми суглинками (илогато-пылеватыми).

Карта плотности сложения почв рассчитана на основе растровой карты содержания ПОУ с использованием педотрансферной функции [4]:

$$BD (g\ cm^{-3}) = 1.44 \times \exp(-0.03 \times OC),$$

где OC (%) – содержание почвенного органического углерода.

База данных, включающая сведения о содержании ПОУ, была создана на основе архивных данных проектного института по землеустройству «ЗАПСИБГИПРОЗЕМ», проводившего почвенные обследования в 1984–1990 гг. В общей сложности в базе данных содержится описание 263 профилей почв. Содержание ПОУ определялось методом мокрого сжигания по Тюрину [7]. При использовании метода мокрого сжигания происходит неполное окисление углерода, поэтому для коррекции содержания ПОУ и получения более точных результатов был использован поправочный коэффициент 1,15. Этот коэффициент был получен при сравнении результатов мокрого (по Тюрину) и сухого сжигания на CHN-анализаторе, где последний считается наиболее точным методом определения содержания ПОУ [8, 9]. Цифровая карта содержания ПОУ составлена в программном обеспечении SAGA GIS с использованием метода регрессионного кригинга, основанного на использовании методов геостатистики и множественной линейной регрессии. В качестве предикторов использовались ковариаты, рассчитанные по данным дистанционного зондирования Земли (цифровые модели высот (SRTM v.3, разрешение 35×30 м) и мультиспектральные снимки (Landsat ETM+, разрешение 30 м). Все математические операции с геопривязанными растровыми картами проводились в программном обеспечении SAGA GIS [10]. Все растровые карты ковариат приведены к разрешению 30×30 м. Оценка точности картографирования содержания ПОУ производилась с использованием коэффициента детерминации ( $R^2$ ), среднеквадратичной ошибки (Root Mean Square Error, RMSE) и средней абсолютной процентной ошибки (Mean Absolute Percentage Error, MAPE).

Карта плотности сложения почв, составленная с использованием педотрансферной функции, использовалась для сравнения с глобальными данными (SoilGrids 2.0 (System for global digital soil mapping), Гармонизированная всемирная база данных почв версии 1.2 (Harmonized World Soils Database, HWSD)). Глобальные карты плотности сложения были загружены с веб-сервисов: SoilGrids Web Service [11]; GLOSIS Web Service [12]. Растровая карта плотности почв SoilGrids характеризуется разрешением 250×250 м [13]. Карта плотности почв HWSD имеет пространственное разрешение 0,05 градуса (приблизительно 3,3×5,0 км на широте 54 градуса).

**Результаты.** Карта содержания ПОУ построена на основе почвенной базы данных и 10 пространственных предикторов, характеризующих растительность и рельеф (рис. 1, А). Моделирование пространственных зависимостей осуществлялось методом регрессионного кригинга. Результаты оценки точности показали, что карта содержания ПОУ имеет удовлетворительную точность (MAPE от 20 до 50%). Среднеквадратическая ошибка RMSE (1,15%) составила более половины стандартного отклонения. Анализ карты содержания ПОУ



показал, что наибольшие его значения наблюдались в почвах юго-западной части изучаемой территории, в северо-восточной части значения были значительно ниже (рис. 1, А). Значения по содержанию ПОУ варьировали в широком диапазоне от 0,5 до 9%.

Карта плотности сложения почв, составленная с использованием выше представленной растровой карты содержания ПОУ и педотрансферной функции, характеризуется выраженной пространственной дифференциацией (рис. 1, Б). Установлено, что плотность почв увеличивается с юго-запада на северо-восток изучаемой территории от 1,1 до 1,37 г/см<sup>3</sup>. Почвы северо-восточной части территории более плотные, чем в юго-западной. Сравнение плотности почв, полученной с помощью педотрансферной функции, с данными, представленными на глобальных картах SoilGrids и HWSD, показало, что на карте SoilGrids значения существенно занижены, а на карте HWSD незначительно завышены (рис. 2, А, Б, В).

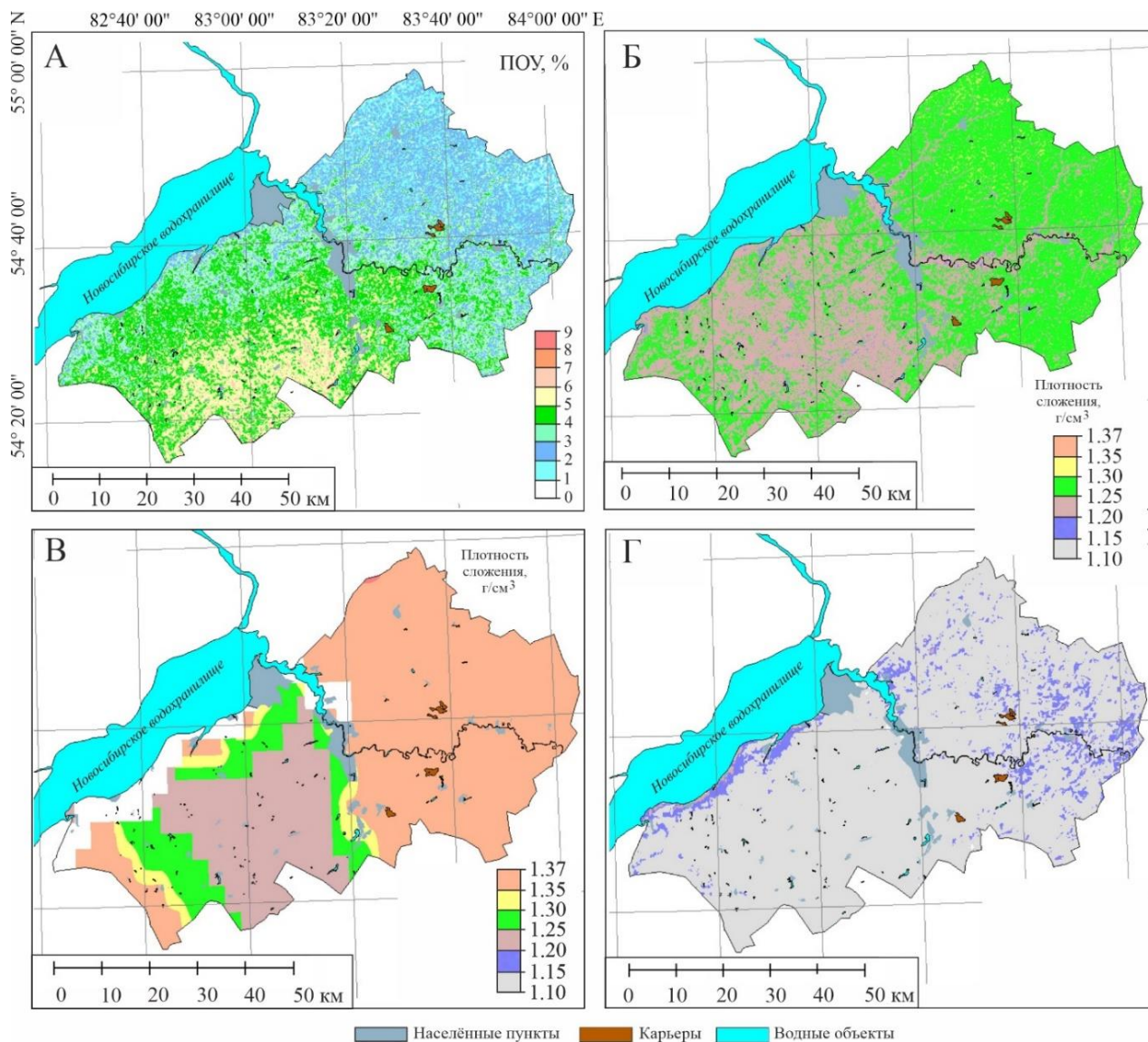


Рисунок 1. Карты: А) содержания ПОУ; Б) плотности сложения почв (составлена с использованием педотрансферной функции); В) плотности сложения почв (HWSD); Г) плотности сложения почв (SoilGrids).

Карта плотности почв SoilGrids слабо дифференцирована в пространственном отношении, при этом известно, что на изучаемой территории распространены как минимум 12 типов почв, у которых плотность значительно выше, чем на представленной карте.

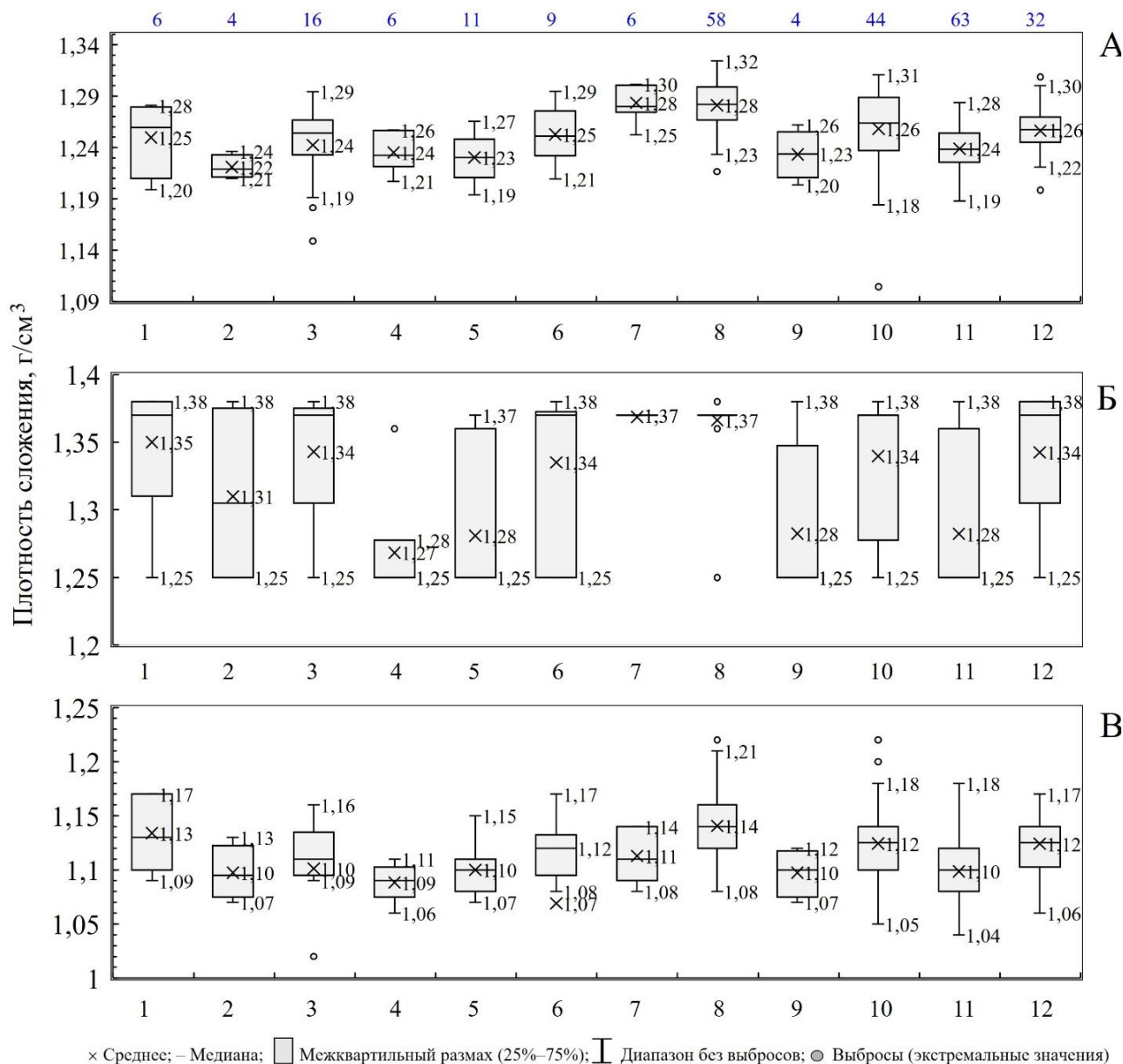


Рисунок 2. Варьирование плотности сложения различных почв. Значения экспортированы с карт плотности: А) составленной с использованием педотрансферной функции (слой 0–30 см); Б) HWSD (слой 0–30 см); В) SoilGrids (слой 15–30 см). Примечание. Почвы: 1 – аллювиальная луговая; 2 – луговая карбонатная; 3 – луговая оподзоленная; 4 – луговая солончаковатая; 5 – лугово-черноземная обыкновенная; 6 – лугово-черноземная оподзоленная; 7 – светло-серая лесная оподзоленная; 8 – серая лесная оподзоленная; 9 – солонец луговой; 10 – темно-серая лесная оподзоленная; 11 – чернозем выщелоченный; 12 – чернозем оподзоленный. Объём выборки указан синими цифрами над диаграммами размаха.

Использование базы данных и педотрансферной функции позволило получить более точные сведения о плотности сложения почв изучаемой территории, а также отобразить её пространственное изменение на цифровой карте. Для совершенствования методики картографирования и получения более точных результатов необходимо предусмотреть получение педотрансферной функции с использованием полевых данных по плотности сложения почв, полученных на конкретной изучаемой территории. Также эту методику можно усовершенствовать путем учёта сведений о других почвенных свойствах, оказывающих влияние на изучаемый показатель. Кроме того, существует необходимость введения коэффициентов учитывающих объёмные изменения почв в результате набухания под действием влаги и усадки при высыхании. Согласно литературным данным [14], плотность сложения одной и той же почвы может варьировать в зависимости от изменения влажности почвы от 1,04 до 1,30 г/см³. Таким образом, расхождения в результатах определения плотности

почвы под действием процессов набухания и усадки могут достигать 25% и более. Таким образом, учёт всех показателей, оказывающих влияние на плотность почв, позволит создать более точную и дифференцированную карту.

**Заключение.** Проведенная работа позволила получить более точные сведения о плотности сложения почв исследуемой территории. Установлено, что плотность почв увеличивается с юго-запада на северо-восток изучаемой территории от 1,1 до 1,37 г/см<sup>3</sup>. Сравнение плотности почв, полученной с помощью педотрансферной функции, с данными, представленными на глобальных картах SoilGrids и HWSD, показало, что на карте SoilGrids значения существенно занижены, а на карте HWSD незначительно завышены. Построенная карта плотности сложения почв на региональном уровне с использованием педотрансферной функции может в дальнейшем способствовать уточнению глобальных карт.

При наличии базы данных, содержащей сведения о координатах места отбора образцов и содержании в них ПОУ, составление карты плотности сложения почв не требует выезда на территорию исследования, что позволяет экономить денежные средства. К недостаткам данного подхода следует отнести невозможность расчета среднеквадратической ошибки (RMSE) моделирования плотности сложения почв. Однако этот недостаток можно устранить путём создания независимой валидационной выборки при проведении полевых работ, что позволит в дальнейшем выявлять эффективность педотрансферных функций.

Карту плотности почв можно в дальнейшем использовать для составления карт запасов ПОУ, элементов питания, массы пахотного слоя определенной площади и т.д., а также для оценки пригодности земель для использования в сельском хозяйстве.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

#### Литература

1. Агрофизические методы исследования почв. М: Наука, 1966. 258 с.
2. Курбатова А.С., Башкина В.Н., Мягкова А.Д., Решетина Т.В., Савельева В.А., Тошева Г.П., Яковлева А.С. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. М.: 2003. 33 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. Abdelbaki A.M. Evaluation of pedotransfer functions for predicting soil bulk density for U.S. soils // Ain Shams Engineering Journal, 2018. Vol. 9. Issue 4. pp. 1611–1619.
5. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1978. 122 с.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
7. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
8. FAO. Standard operating procedure for soil organic carbon: Tyurin spectrophotometric method. FAO: Rom, 2021. 26 p. URL: <https://www.fao.org/3/cb4757en/cb4757en.pdf> (дата обращения: 04.07.2023 г.).
9. Shamrikova E.V., Kondratenok B.M., Tumanova E.A., Vanchikova E.V., Lapteva E.M., Zonova T.V., Lu-Lyan-Min E.I., Davydova A.P., Libohova Z., Suvannang N. Transferability between soil organic matter measurement methods for database harmonization. Geoderma, 2022. Vol. 412. 115547.
10. Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. Geosci. Model Dev., 2015. 8(7). pp. 1991–2007.
11. SoilGrids Web Service. URL: <https://soilgrids.org/> (дата обращения: 10.07.2023).
12. GLOIS Web Service. URL: <https://data.apps.fao.org/glois/> (дата обращения: 10.07.2023).



13. Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., and Rossiter, D.: SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty // SOIL. 2021. Vol. 7. pp. 217–240.
14. Морозов И.В., Болдырева В.Э., Варельджан Д.Э., Колесникова Н.А. К вопросу об определении плотности сложения для оценки агрофизического состояния набухающих почв и грунтов // Живые и биокосные системы. 2020. № 32. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-32/article-7> (дата обращения: 10.07.2023).

## DIGITAL MAPPING OF BULK DENSITY OF SOILS OF THE WESTERN PART KUZNETSK-SALAIR GEOMORPHOLOGICAL PROVINCE USING PEDOTRANSFER FUNCTION

N.V. Gopp

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, [gopp@issa-siberia.ru](mailto:gopp@issa-siberia.ru)

*Summary.* This paper presents the results of mapping the bulk density of soil using pedotransfer function and a raster map of the content of soil organic carbon (SOC) as a cartographic basis. Geospatial analysis showed that the bulk density of soils varied in the range from 1,1 to 1,37 g/cm<sup>3</sup>. A pronounced spatial differentiation of the soil bulk density was revealed, which increases from the southwest to the northeast of the studied territory. A comparison of the soil bulk density map obtained using the pedotransfer function with the data presented on the global maps SoilGrids (System for global digital soil mapping) and HWSO (Harmonized World Soils Database) showed that the values on the SoilGrids map are significantly underestimated, and on the HWSO map are slightly overestimated. The SoilGrids bulk density map is poorly differentiated spatially, while it is known that at least 12 types of soils are common in the study area, whose addition density is significantly higher than on the presented global map.

*Keywords:* Harmonized World Soils Database, HWSO, SoilGrids, System for global digital soil mapping, SAGA GIS, covariates, Landsat ETM+, SRTM, digital mapping.

УДК 631.4

## ПОДБУРЫ ТУВЫ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МОРФОЛОГИЯ

Е.А. Гуркова<sup>1,2</sup>, А.А. Контобойцева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [gurkova@issa-siberia.ru](mailto:gurkova@issa-siberia.ru)

<sup>2</sup>Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл

<sup>3</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, [kontoboytseva@gmail.com](mailto:kontoboytseva@gmail.com)

*Аннотация.* В статье рассмотрены условия почвообразования и их влияние на морфологическое строение подбуров Тувы. Основные почвообразовательные процессы приводят к формированию в подбурах специфического альфегумусового горизонта, с выраженными признаками иллювиального накопления соединений алюминия, железа и органического вещества (железистые и гумусовые пленки на каменистых отдельностях), а также органогенного горизонта с различной степенью преобразования растительных остатков. В зависимости от климатических условий и типа растительного покрова формируются различные типы органогенного горизонта, на основании чего диагностированы грубогумусовый, типичный подбуры, а также дерново-, торфяно- и сухоторфяно-подбуры.

*Ключевые слова:* подбуры, альфегумусовые почвы, органогенный горизонт, альфегумусовый горизонт, горные почвы, Тува.

Подбуры – одни из наиболее распространённых почв России. Они относятся к отделу альфегумусовых почв и отличаются морфологически и аналитически выраженной иллювиальной аккумуляцией Al-Fe-гумусовых соединений [1, 2]. Основным диагностическим горизонтом является альфегумусовый горизонт *BHF* с охристо-бурой или коричневой окраской, обусловленной соотношением органического вещества и оксидов железа [3]. В



предыдущих классификациях [4] выделение подбуров в качестве самостоятельных типов не предусматривалось, но почвенная карта РСФСР [5] включала контуры подбуров в таежной и тундровой зонах, а также в горных регионах. В более поздних классификациях [1, 2, 6] подбуры отнесены как отдельный тип к отделу альфегумусовых почв. Сравнение с классификацией 1977 года показывает, что подбуры в современных системах классификации приближены к мерзлотно-таежным и/или таежным перегнойным почвам. В международной классификационной системе WRB [7] подбуры относятся к различным реферативным группам: Podzols (Entic Podzols), Cryosols (Spodic Cryosols).

В региональных очерках и на почвенных картах Тувы подбуры не были выделены, их морфология и свойства подробно не описаны [8–29]. Но уже на современных картах [30–31] подбуры являются частым элементом почвенного покрова региона, их контуры выделены в среднегорно-таежном и высокогорном поясах Восточной и Западной Тувы, Западного Саяна, Восточного Танну-Ола. Однако, специальных исследований, посвященных подбурам Тувы, до сих пор не проводилось. Поскольку длительное время основное внимание исследователей уделялось степным сельскохозяйственным территориям региона, изучение лесных и высокогорных почв не было систематизированным, а имеющиеся публикации опираются на классические работы. В настоящей статье впервые представлены результаты изучения подбуров с целью более точного определения их морфологии и классификации, что позволит не только расширить представление об этих почвах в регионе, но и улучшить и уточнить классификацию почв и строение почвенного покрова горных территорий.

**Объекты и методы исследований.** Полевые исследования по изучению подбуров проводились в Северо-Восточной Туве, в южных отрогах хр. Ергак-Таргак-Тайга (Восточный Саян), на хребте Академика Обручева. В ходе работ заложено 30 разрезов подбуров, дерново- и сухоторфяно-подбуров. Для каждого разреза зафиксированы координаты с помощью портативного GPS-приемника, проведена фотофиксация, выполнено морфологическое описание по общепринятой схеме, определение окраски генетических горизонтов выполнено по шкале Манселла. Полевая диагностика и индексация почвенных горизонтов осуществлялась в соответствии с КиДПР [1–2].

**Условия формирования подбуров на территории Тувы.** Формирование горных почв в значительной мере зависит от почвообразующих пород и рельефа [32]. В условиях пересеченного сложного рельефа гор происходит локальное перераспределение тепла и влаги, а свойства почвообразующих пород задают вектор почвообразования. Для подбуров почвообразующими породами являются пески, супеси, а также щебнисто-мелкоземистый элюво-делювий кислых (реже основных и средних) магматических (граниты, гранодиориты, плагиограниты и др.) и метаморфических (гнейсы, гранитогнейсы, песчаники) пород [33–35]. В Туве такие породы широко распространены на востоке, на хр. Восточный Танну-Ола, а также в горах западной части региона, что обусловлено спецификой его геологического развития [18, 36]. При выветривании этих пород образуется маломощный чехол элюво-делювия с мелкоземистой верхней частью (в пределах 20–30 см) и грубообломочной нижней. Мелкозем легко- и среднесуглинистый, богат первичными минералами и основаниями [18].

Климат Тувы обусловлен географическим положением и известен своей засушливостью, однако в горах имеет локальные отличия в увлажнении, температуре, мощности снегового покрова и других параметрах. Например, в среднегорьях (на абс. высотах более 1500 м) климат гораздо более гумидный и менее континентальный, чем в межгорных засушливых котловинах. Для протекания альфегумусового процесса в подбурах значение имеет, в первую очередь, увлажнение и хороший дренаж. Склоны горных сооружений на северо-востоке и северо-западе Тувы получают 500–600 мм осадков в год. В высокогорьях (выше 2000 м) условия более суровые, чем в среднегорьях, это область сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов, однако влажность здесь высокая, за счет низкой испаряемости. Достаточный дренаж обеспечивается хорошей проницаемостью щебнистого субстрата и уклоном поверхности.

Типичной растительностью, под которой формируются подбуры, является хвойная тайга и тундры [2–3]. В горных районах Тувы эти типы растительности образуют два высотных пояса – среднегорно-таежный и высокогорно-тундровый. Подбуры распространены, главным образом, в верхней части таежного пояса [37]. Здесь представлены хвойные леса из кедра, ели,

пихты, лиственницы с участием мелколиственных пород (главным образом, березы, чаще – на горячих). Присутствует кустарниковый («ерники» – жимолость, березка круглолистная, курильский чай) и кустарничковый ярус (голубика, черника, брусника). Хорошо развит мощный мохово-лишайниковый покров из зеленого мха и ягеля. Травянистый ярус фрагментарный, представлен осокой, баданом, разнотравьем. Подбуры в высокогорьях формируются под кустарниково-мохово-лишайниковыми тундрами с участием кустарничков, разнотравья. На контакте тундры и леса подбуры развиты под сплошными кустарниковыми зарослями из березки круглолистной, курильского чая, ивы (ерники) с мохово-лишайниковым напочвенным покровом и минимальным участием разнотравья, злаков, осок.

**Морфологическое строение подбуров.** Рассмотренные условия почвообразования определяют специфику морфологического строения подбуров, а также основные почвообразовательные процессы в них. Среди основных – подстилкообразование, грубогумусово-аккумулятивный и альфегумусовый [3]. Мохово-лишайниковый покров, кустарники, хвойные деревья дают грубый опад, который во влажном холодном климате разлагается медленно. В результате образуется слой органического материала, состоящий из нескольких горизонтов с разной степенью его преобразования. В изученных разрезах этот слой диагностирован как подстильно-торфяной (*O*) или грубогумусовый (*AO*) горизонт (табл. 1). В наиболее увлажненных и холодных местообитаниях верхней тайги и в высокогорной тундре под мезофильным напочвенным покровом выделен сухоторфяный горизонт (*TJ*). В более «теплых» местообитаниях, где доля травянистых растений в составе напочвенного покрова выше, в верхней части подбуров определяется дерновый горизонт (*AУ*). Мощность органогенных горизонтов в изученных разрезах не превышает 10–15 см. В них отмечено незначительное количество мелкозема, но в основном преобладают растительные остатки. Также встречаются крупные корни, густой моховый очес, гифы грибов и отмытые зерна первичных минералов. Каменистый материал в органогенных горизонтах подбуров представлен мелкой дресвой, щебнем. Мелкозем имеет супесчаный, суглинистый состав, в основном является бесструктурным. Наиболее выражена структура у дернового (*AУ*) горизонта, обычно она неясная, мелкокомковатая, зернистая, порошистая (табл. 1). По характеру органогенного горизонта выделены подбуры, дерново-подбуры и торфяно- и сухоторфяно-подбуры (табл. 1).

Альфегумусовый горизонт, общий для всех типов подбуров, формируется в результате иллювиального накопления соединений подвижных форм оксидов алюминия, железа и подвижного органического вещества в средней части профиля [38]. Источником соединений выступают продукты выветривания силикатных пород с алюминием и железом в составе, а также растительные остатки. Основным признаком альфегумусового процесса в изученных разрезах является наличие железистых и гумусовых пленок на зернах минералов, каменистых включениях, что приводит к появлению бурой, коричневой или охристой окраски (табл. 1). В изученных подбурах пленки встречаются в большом количестве на поверхности каменистых включений, наименьшее их количество отмечается в дерново-подбурах. Гранулометрический состав мелкозема горизонта в основном легкосуглинистый, опесчаненный. Реже встречается средне- и тяжелосуглинистый состав. Горизонт оструктурен, часто отмечается мелкокомковатая, зернисто-комковатая, ореховатая структура. В ряде разрезов выявлена криогенная творожистая структура признаки тиксотропности. Встречены углистые частицы, большое количество щебня, дресвы, обломков породы (табл. 1).

Подстилающая часть профиля изученных подбуров (горизонт *BC/C*) состоит из грубообломочной породы, с незначительным содержанием мелкозема в пустотах между обломками, много дресвы, мелкого щебня (более 70%). На обломках фиксируются железистые и гумусовые пленки. В ряде случаев, на слабонаклонных участках поверхности складываются благоприятные условия для застоя влаги. Это приводит к появлению в нижней части профиля подбуров признаков оглеения. Изученные подбуры бескарбонатны на всю глубину профиля, наблюдалась турбированность горизонта *BHF*, у оподзоленных подтипов диагностировался маломощный прослой между органогенным и альфегумусовым горизонтами, имеющий серо-белесую, буровато-белесую окраску.

Таблица 1. Морфологические признаки типодиагностических горизонтов подбуров Тувы

Подбуры	Дерново-подбуры	Сухоторфяно-подбуры
<b>Органогенный горизонт (O, AO, TJ, AY)</b>		
<p><u>Окраска:</u> неоднородная, темная, с коричневыми, бурыми, серыми оттенками (5-10YR2-4/1-4)</p> <p><u>Структура*:</u> отсутствует либо неясно выраженная зернистая или мелко-комковатая</p> <p><u>Гранулометрический состав*:</u> легкий суглинок, редко супесь</p> <p><u>Другое:</u> органический материал разной степени разложения, минеральный мелкозем в незначительном количестве, редкий щебень, гифы грибов, много корней, редкие отмытые зерна минералов</p>	<p><u>Окраска:</u> серая, буровато-серая, темно-коричневая (10YR2/1)</p> <p><u>Структура*:</u> порошистая, зернисто-мелкокомковатая, неясно-зернистая</p> <p><u>Гранулометрический состав*:</u> легкий, реже средний суглинок</p> <p><u>Другое:</u> слаборазложившиеся растительные остатки</p>	<p><u>Окраска:</u> бурая, темно-бурая (10YR3/4)</p> <p><u>Структура*:</u> отсутствует</p> <p><u>Гранулометрический состав*:</u> опесчаненный легкий суглинок</p> <p><u>Другое:</u> много корней, редкие включения дресвы, щебня</p>
<b>Альфегумусовый горизонт (ВНF)</b>		
<p><u>Окраска:</u> бурая с охристыми пятнами, ярко-охристая либо коричневая, коричнево-серая, светлые оттенки для оподзоленных подтипов 7.5-10YR 3-4/2-6</p> <p><u>Структура:</u> ореховатая, комковато-ореховатая, непрочнокомковатая, неяснозернистая, зернисто-комковатая</p> <p><u>Гранулометрический состав:</u> легкий суглинок</p> <p><u>Другое:</u> железистые и гумусовые пленки на каменистых включениях, много дресвы, углистых частиц, корней, гнезда песка, единичные крупные обломки породы</p>	<p><u>Окраска:</u> бурая, буро-коричневая, охристо-бурая, коричнево-кофейная, белесые оттенки для оподзоленных подтипов</p> <p><u>Структура:</u> ореховато-комковатая, мелко-комковато-зернистая</p> <p><u>Гранулометрический состав:</u> легкий, средний, тяжелый суглинок</p> <p><u>Другое:</u> сильно каменистый, скопления дресвы, щебня, редкие железистые и гумусовые пленки</p>	<p><u>Окраска:</u> бурая, буро-серая, охристо-бурая, ржаво-бурая 7.5YR 4/3</p> <p><u>Структура:</u> зернисто-мелкокомковатая, комковато-творожистая</p> <p><u>Гранулометрический состав:</u> легкий суглинок</p> <p><u>Другое:</u> гнезда песка, дресвы, на каменистых включениях железистые/гумусовые пленки, сильно каменистый</p>
<b>Горизонт ВС/Cg</b>		
<p>Грубообломочный с включением мелкозема, либо плотная валунная порода, элювий, элюво-делювий пород, на обломках – железистые пленки, очень плотный, признаки глеевого процесса</p>	<p>Грубообломочный горизонт с суглинистым заполнителем, плотный</p>	<p>Каменисто-мелкоземистый горизонт, холодный, очень плотный, железистые пленки на обломках</p>
* – для мелкозема		

На основании имеющихся морфологических описаний на изученной территории были выделены 4 типа: подбуры, торфяно-подбуры, сухоторфяно-подбуры и дерново-подбуры. В типе подбуров выделено 5 подтипов: иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые, грубогумусовые, оподзоленные, охристые. В типах сухоторфяно- и дерново-подбуров описаны иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые подтипы. На основе данных по условиям почвообразования и морфологии подбуров предложена следующая схема их корреляции (табл. 2).

Таблица 2. Корреляция подбуров по [КиДПР, 2004] и типов почв из основных региональных публикаций

КиДПР, 2004, 2008	Источник		
	Носин, 1963	Смирнов, 1970	Горбачев, 1985
Подбуры			
-иллювиально-железистые	Горно-таежные перегнойные кислые неоподзоленные, горно-тундровые перегнойные	Горно-таежные перегнойные неоподзоленные, горно-тундровые перегнойные	Горно-тундровые перегнойные, горно-таежные перегнойные
- иллювиально-гумусовые			
- грубогумусовые		Горно-таежные торфянисто-перегнойные кислые неоподзоленные	Горно-тундровые и горно-таежные перегнойно-торфянистые
- оподзоленные	Горно-таежные перегнойные кислые оподзоленные, дерново-слабоподзолистые, частично подзолистые слаборазвитые	Горно-таежные перегнойные оподзоленные	Горно-таежные перегнойно-подзолистые
- охристые	Горно-таежные ожелезненные	Горно-таежные торфянисто-перегнойные кислые неоподзоленные	
Торфяно-подбуры глеевые	Мерзлотно-таежные торфянисто-перегнойные глееватые	Горно-таежные торфянисто-перегнойные мерзлотные глееватые, горно-тундровые торфянистые почвы	Горно-тундровые торфянисто-перегнойные оглеенные
Сухоторфяно-подбуры	Частично горно-тундровые дерновые	–	–
Дерново-подбуры	Горно-тундровые дерновые	Горно-тундровые дерновые	Горно-таежные дерново-перегнойные

Таким образом, подбуры – частый элемент почвенного покрова Тувы. Комплекс условий почвообразования, необходимый для формирования этой группы альфегумусовых почв, наиболее характерен Северо-Восточной, Восточной и Западной Туве. Здесь подбуры присутствуют в почвенном покрове верхней части таежно-лесного и в высокогорно-тундровом высотных поясах. В зависимости от характера растительности и органогенного горизонта выделены типичные, грубогумусовые подбуры, дерново-, торфяно- и сухоторфяно-



подбуры. Общим для подбуров является выраженный альфегумусовый горизонт с характерными железисто-гумусовыми пленками на каменистых отдельностях.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках госзадания ИПА СО РАН и базового проекта ТуВИКОПР СО РАН.

### Литература

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
2. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
3. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, АСТ, 2011.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977 г. 221 с.
5. Почвенная карта РСФСР масштаба – 1: 2 500 000 / Под ред. В.М. Фридланда В.М. (ред.). М.: ГУГК, 1988.
6. Классификация почв России. М: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. 236 с
7. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022.
8. Благовещенский Н.В. Южная часть Минусинского уезда Енисейской губернии // Предварительный отчет по организации и исполнению работ по исследованию почв Азиатской России. Спб., 1914. 250 с.
9. Петров Б.Ф. Почвы Алтае-Саянской области. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 248 с.
10. Петров Б.Ф. К характеристике почвенного покрова Тувинской автономной области (Центральная и Западная Тува) – М.: Издательство АН СССР, 1952. 74 с.
11. Кириллов М.В. Краткий очерк почв Тувинской автономной области // Уч. зап. Красноярского пед. ин-та, 1953. Т. 2. С. 49–77.
12. Кириллов М.В. Почвы Тувинской автономной области // Труды Томского государственного университета им. В.В. Куйбышева. – Томск, 1954. Т. 130. С. 7–9.
13. Государственная почвенная карта масштаба 1:1 000 000. Лист N-46, Абакан / под ред. Прасолова Л.И. М.: ГУГК, 1951.
14. Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1 000 000. Лист N-46, Абакан / под ред. Прасолова Л.И. М.: ГУГК, 1951.
15. Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1 000 000. Лист M-46, Кызыл / под ред. Герасимова И.П., Ивановой Е.Н., Тюрина И.В. М.: ГУГК, 1960.
16. Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1 000 000. Лист M-47, оз. Хубсугул-Далай / под ред. Герасимова И.П., Ивановой Е.Н. М.: ГУГК, 1964.
17. Государственная почвенная карта России масштаба 1:1 000 000. Лист N-47, Нижнеудинск / под ред. Шишова Л.Л. М.: ГКФ, 1995.
18. Носин В.А. Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 339 с.
19. Смирнов М.П. Почвы Западного Саяна. М.: Наука, 1970. 235 с.
20. Горбачев В.Н. Почвы Восточного Саяна. М.: Наука, 1978. 201 с.
21. Курбатская С.С. Степные экосистемы Убсу-Нурской котловины – природной биосферной лаборатории. Метод функциональной экологии. Кызыл: ТывГУ, 2001. С. 20–33.
22. Лебедев В.И., Прудников С.Г. Кальная О.И. и др. Геоэкологическое состояние природной среды в районе Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Тува). Кызыл: ТуВИКОПР СО РАН, 2012. 178 с.
23. Хорошев А.В. Ландшафты Северо-восточной Тувы // Вестн. РГО. 2016. Т. 148. № 5. С. 1–12.
24. Самбуу А.Д., Красноборов И.М., Савостьянов В.В. и др. Природные условия Республики Тыва. Новосибирск: Гарамонд, 2019. Т. 1. С. 151–250.
25. Курбатская С.С. Почвенный покров и биогеохимия межгорных котловин Тувы: Автореф. дис. ... канд-та биол. наук. М: 1990. 26 с.
26. Ондар Е.Э., Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Очур К.О. Гумус горно-таежные дерновых почв Тоджинской котловины // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. 2015. №6(151). С. 131–138
27. Бажина Н.Л., Ондар Е.Э., Очур К.О., Дергачева М.И. Состав гумуса горно-тундровых почв Западной Тувы // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. 2015. № 10(185). С. 143–146.

28. Тихонова И.В., Мухортова Л.В., Данилова И.В., Михайлова И.А. Оценка лесорастительного потенциала почв Республики Тыва для основных лесобразующих видов хвойных // Лесоведение. 2018. №3. С. 194–209.
29. Деева Н.Ф., Ильина А.А., Керженцев А.С., Курбатская С.С., Орешкин В.Н., Орлов Д.С., Суханова Н.И., Хахимов Н.И., Шильникова Н.М. Почвенный покров // Эксперимент "Убсу-Нур". Коллективная монография. – Москва: Интеллект, 1995. Ч.1. С. 160–223.
30. Ландшафтная карта Алтае-Саянского экорегиона М: 1 2 000 000 /сост. Самойлова Г.С., Веселовский А.В., Маханова Т.М., Платэ А.Н. М., 2003
31. Калихман Т.П., Богданов В.Н., Огородникова Л.Ю. Особо охраняемые природные территории Сибирского федерального округа. Атлас. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2012. 384 с.
32. Гуркова Е.А. Специфика дифференциации почвенного покрова Центрально-Тувинской котловины // Сибирский экологический журнал. 2009.
33. Краснощеков Ю.Н. Геохимические особенности криогенных и альфегумусовых почв горной тайги Северной Монголии // Почвоведение. 2020. №1. С.31–44.
34. Лопатина Д.Н., Белозерцева И.А., Биличенко И.Н. Почвы горных территорий Прибайкалья (на примере Приморского и Баргузинского хребтов) // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: мат. VIII Всерос. научн. конф. с межд. уч. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. 410 с.
35. Оконешникова М.В., Иванова А.З., Десяткин Р. В., Николин Е.Г. Почвы высотных поясов хребта Сунтар-Хаята: морфология, свойства, классификация //Почвоведение. 2021. №5. С. 558–567
36. Геология СССР. М.: Недра, 1966. Т. XXIX. Тувинская АССР. Ч. 1. 459 с.
37. Урусевская И.С. Типы поясности и почвенно-географическое районирование горных систем России // Почвоведение. 2007. №11. С. 1285–1297.
38. Почвообразовательные процессы. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 510 с.

#### PODBURS OF TUVA: FORMING CONDITIONS, CLASSIFICATION AND MORFOLOGY

Е.А. Gurkova<sup>1, 2</sup>, А.А. Kontoboytseva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [gurkova@issa-siberia.ru](mailto:gurkova@issa-siberia.ru)

<sup>2</sup>Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB of RAS, Kyzyl

<sup>3</sup>Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov of RAS, Moscow, [kontoboytseva@gmail.com](mailto:kontoboytseva@gmail.com)

*Summary. The article discusses the conditions of soil formation and their influence on the morphological structure of podburs of Tuva. The main soil-forming processes lead to the formation of specific alfegumus horizons in the podburs, with pronounced signs of illuvial accumulation of aluminum, iron, and organic matter (iron and humus films on rocky particles), and also an organogenic horizon with varying degrees of transformation of plant residues. Depending on the climatic conditions and type of vegetation, different types of organogenic horizons are formed, based on which coarse-humus podburs, typical podburs, also soddy, peaty, and dry peaty podburs are diagnosed.*

*Keywords: podburs, alfegumus soils, organogenic horizon, alfegumus horizon, mountains soils, Tuva.*

УДК 631.423.5

## КАТИОННО-АНИОННЫЙ СОСТАВ ПОЧВ, ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА ОЗЕРА ЧАНЫ

Д.А. Дорошенко<sup>1</sup>, А.Н. Никифоров<sup>1,2</sup>, А.А. Гербер<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск.

Davad29070277@gmail.com

***Аннотация.** В работе приводится сравнительный анализ катионно-анионного состава почвенных образцов, почвенно-грунтовых (верховодки) и поверхностных вод озера Чаны, представляющего большое экологическое и рыбохозяйственное значение.*

***Ключевые слова:** водная вытяжка, катионно-анионный состав, общая минерализация.*

В пределах Обь-Иртышского междуречья лежит бессточная Барабинская равнина. На ее территории расположено более 2500 озер, самым большим из которых является непроточное солоноватое озеро Чаны. Некогда крупнейший внутриматериковый гидрологический объект, в конце XVIII в. имел общую площадь около 12 тыс. км<sup>2</sup> [1]. В настоящее время озеро Чаны разделено на четыре плеса: Ярковский, Тагано-Казанцевский, Чинязинский и Юдинский.

В 1971 г., после отделения Юдинского плеса от основной части озера и его дальнейшего пересыхания, начались прогрессивные исследования озера Чаны. Территория каждого плеса находится на определенном этапе своей эволюции [2]. Однако, научных трудов, описывающих современное состояние почвообразования постакавальных и супераквальных территорий других плесов недостаточно для понимания общей картины эволюции ландшафта бассейна озера Чаны.

Целью исследования послужила оценка и взаимосвязь катионно-анионного состава почв постакавальных пространств, почвенно-грунтовых и поверхностных вод озера Чаны.

Объектом исследования выбран почвенный профиль, заложенный вблизи Ярковского плеса (54.907829N, 78.062773E в 10 м от уреза воды). Из почвенного разреза отобраны образцы сплошной колонкой в пределах выделенных генетических горизонтов, для последующего проведения аналитических исследований. Кроме образцов грунта из почвенного разреза и водоёма отобраны образцы воды для проведения сравнительного анализа солевого состава.

**Метод исследований:** для оценки катионно-анионного состава исследованных объектов проводились анализы общепринятыми методами [3, 4].

**Результаты исследования.** Озеру Чаны, имеющему бессточный водный режим, свойственны гидрологические пульсации. Каждые 30–35 лет в его водном режиме происходит трансгрессии за счет увеличения стока питающих рек.

Исследованная территория представляет собой очагово заросший остепненный участок в границах субаквального ландшафта Ярковского плеса. Свойство грунта (высокая подвижность песков) препятствует формированию в верхней части почвенного профиля хорошо оформленного дернового горизонта, обуславливающего снижение подвижности песка. В напочвенном покрове участка преобладает солерос, встречается ковыль, широко распространенный на сопредельных территориях.

Почвенный профиль осложнен многократным полициклическим озерно-аллювиальным и эоловым осадконакоплением, в связи с чем четкое определение принадлежности к генетическому типу почв весьма затруднено, однако ряд признаков указывает что почва относится к стратозему серогумусовому на лугово-болотной почве. Цикличность переотложения минерального материала подтверждается (рис.1, А) неоднородностью распределения гранулометрических фракций и соотношением совокупных фракций физического песка и физической глины. Полученные данные свидетельствуют, что в верхней 60-сантиметровой толще проявляются процессы эолового переотложения песчаного материала, обусловленного, по всей видимости, сменой субаквальной стадии на супераквальную. Толща ниже 60 см характеризуется более тяжелым гранулометрическим составом, с существенным преобладанием доли илистых частиц, что связано с прохождением субаквальной стадией осадконакопления. На глубине 110–120 см наблюдается изменение

фракционного состава минеральной части, что, по-видимому, связано с регрессией вод озера на более ранних стадиях эволюции ландшафта.

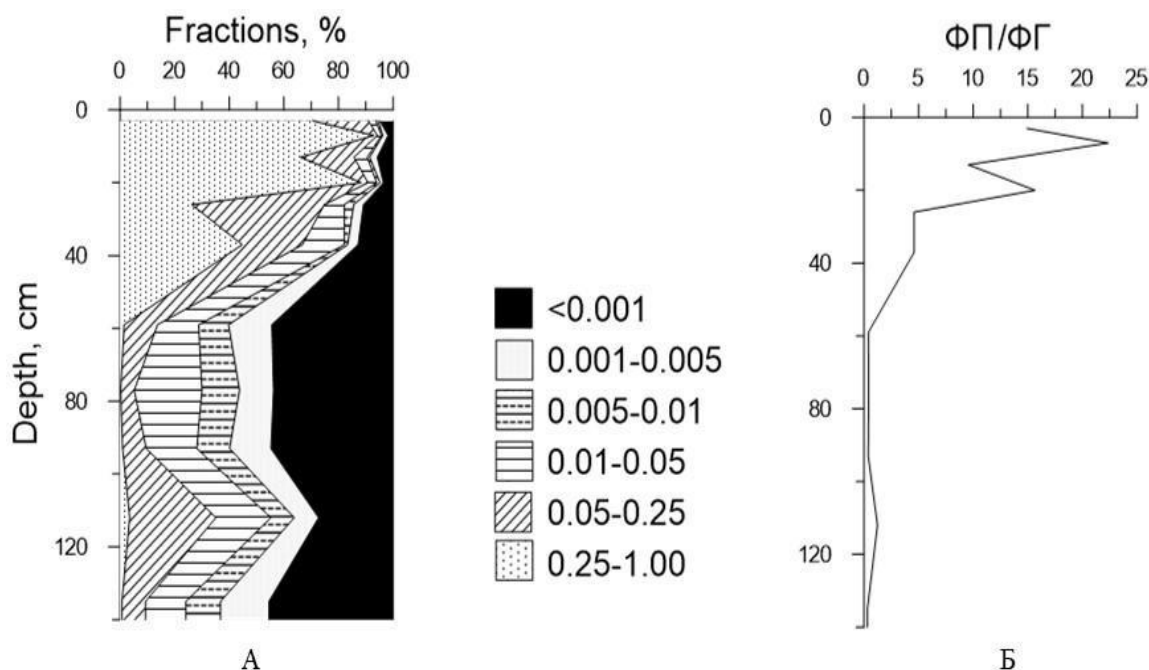


Рисунок 1. Профильное распределение гранулометрических фракций исследованного почвенного разреза (А) и соотношение совокупных фракций физического песка и физической глины (Б).

М.В. Савкин с соавторами [5], проводя ретроспективный анализ общей солености вод озера Чаны, по состоянию на 2002г. отмечает, что степень минерализации довольно вариабельна (0,7–5,6 г/л). Однако, полученные нами данные существенно отличаются от проведенных, указанными авторами, исследований и свидетельствуют (табл. 1), что степень минерализации Яркового плеса за последние 20 лет уменьшилась более чем в 200 раз. Результаты количественной оценки состава воды плеса свидетельствуют, что согласно классификации [6] степень минерализации крайне мала, а сами воды можно отнести к ультрапресным. Это может быть связано с локальными условиями опреснения воды временными водотоками или ливневыми осадками или закономерностями развития ландшафта.

В целом в солевом балансе вод исследованного объекта преобладают анионы хлора и катионы натрия, что определяет тенденцию формирования класса хлоридных и группы натриевых вод. Следует отметить, что общая минерализация почвенно-грунтовых вод заметно ниже, чем в воде Яркового плеса. Это связано, вероятно, с частичным внутрпочвенным удержанием растворенных солей минеральными, в особенности тонкодисперсными, частицами.

В почвенном профиле, как и в исследованных водах сохраняется тенденция хлоридно-натриевого соленакопления. Несмотря на облегчение гранулометрического состава в верхней части почвенного профиля, в ней аккумулируются ионы хлора, что может быть связано с их подтягиванием с почвенным раствором в весенне-летний период. В этом случае почва сохраняет остаточные признаки солонцеватости, выраженные лишь аналитически. В целом почва характеризуется относительным трендом формирования типа солевого баланса - засоление, на что указывает некоторая аккумуляция солей в верхней части профиля.

Почвенные горизонты характеризуются небольшим содержанием солей, которое в отдельных горизонтах не превышает 40 мг/кг. Содержание соды крайне мало, однако ее количество вниз по профилю несколько возрастает, не оказывая при этом токсического эффекта для растений.

На глубине 10–16см наблюдается заметное (табл. 1) увеличение доли участия натрия, относительно выше и ниже лежащих горизонтов почвенного профиля. Такие значения могут



быть связаны с резким уменьшением доли участия грубодисперсных минеральных частиц и сжатием соотношения (рис. 1, Б) содержания физического песка к физической глине. Для всего почвенного профиля характерны следующие соотношения катионов:  $Na > Ca$ ,  $Na > Mg$ ,  $Ca < 20\% \sum$  катионов,  $Mg < 20\% \sum$  катионов. Такие значения указывают на солонцеватость почвы.

Таблица 1. Значения показателя рН и катионно-анионного состава вод и почвенных образцов

Глубина	рН	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Сумма
Воды Яркового плёса*									
0–20	8,6	0,8	0,1	13,4	0,1	0,1	0,1	14,2	28,8
Почвенно-грунтовые воды*									
120–130	8,6	0,2	следы	8,1	1,6	0,1	0,6	9,2	19,8
Почвенный профиль**									
0–5	8,9	следы	0,3	5,3	0,4	0,1	0,1	5,9	12,2
5–10	9,3	следы	0,3	3,6	0,3	0,1	0,1	4,0	8,4
10–16	8,3	следы	0,4	15,7	2,5	0,3	0,3	18,0	37,2
16–21	8,8	следы	0,4	7,0	0,9	0,1	0,1	8,1	16,6
21–30	8,4	следы	0,3	8,5	2,2	0,3	0,2	10,5	22,0
32–42	8,3	следы	0,3	3,1	1,1	0,3	0,1	4,1	9,0
54–64	8,5	0,1	0,4	3,1	0,8	0,1	0,1	4,2	8,8
74–81	8,4	следы	0,6	2,9	0,8	0,1	0,1	4,1	8,6
86–96	8,2	следы	0,4	2,5	0,7	0,1	0,1	3,4	7,2
107–117	8,5	0,1	0,9	2,5	0,7	0,1	0,1	4,0	8,4
120–130	8,6	следы	0,4	2,7	0,6	0,1	следы	3,6	7,4

Примечание. \* р – достигнутая вероятность (средняя по 6 критериям); h – информационная энтропия. \*значения катионно-анионного состава указаны в мг/л; \*\*значения катионно-анионного состава указаны в мг/кг.

Таким образом, проведенные исследования воды Яркового плеса и почвенно-грунтовых вод свидетельствуют, об опреснении водного объекта и характеризуют воды как ультрапресные. В их составе и в составе водных вытяжек минеральных образцов имеется сходство, связанное с тенденцией формирования хлоридного класса и натриевой группы. Общая минерализация вод и водных вытяжек не несет токсического эффекта и существенно не влияет на экологическое состояние гидробионтов и подчиненные элементы (компоненты) постаквальных и супераквальных ландшафтов. Опреснение может быть связано с локальными условиями или закономерностями развития ландшафта, а для полноты картины требуется комплексный подход в изучении территории Яркового плеса и всех (гидрологических, почвенных, подпочвенных) его объектов.

### Литература

1. Якутин М.В., Анопоченко Л.Ю. Картографический метод в изучении динамики обсыхания Юдинского плеса озера Чаны // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. №6. С. 63–65.
2. Елизаров Н.В., Добротворская Н.И. Эволюция свойств пойм постаквальных территорий Барабинской степи (на примере Юдинского плеса озера Чаны) // Вопросы степеведения. 2023. №1. С. 65–74.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Московский университет. 1970. 487 с.
4. Таубе П.Р., Баранова А.Г. Практикум по химии вод. М.: Высшая школа, 1971. 128 с.
5. Савкин В.М., Кондаков О.В., Двуреченская С.Я., Марусин К.В. Водно-экологическое состояние озера Чаны (ретроспектива и современность) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы II международной конференции. Казань, 2019. Ч.1. С. 162–166.
6. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука. 1982. 154 с.

## CATION-ANION COMPOSITION OF SOILS, SOIL-GROUND AND SURFACE WATER OF LAKE CHANY BASIN

D.A. Doroshenko<sup>1</sup>, A.N. Nikiforov<sup>1,2</sup>, A.A. Gerber<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk

<sup>2</sup>Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk.

*Summary.* The paper presents a comparative analysis of the cation-anion composition of soil samples, soil-ground and surface waters of Lake Chany, which is of great ecological and fishery importance.

*Keywords:* water extract, cation-anion composition, total mineralization.

УДК 631.4

## НЕОДНОРОДНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ГУМУСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИОБСКОГО ПЛАТО

Е.Г. Захарова<sup>1</sup>, Е.В. Каллас<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия,

[zakharova@issa-siberia.ru](mailto:zakharova@issa-siberia.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия,

[ekallas70@gmail.com](mailto:ekallas70@gmail.com)

*Аннотация.* Дается анализ неоднородности характеристик гумусовых профилей почв сложной по истории формирования территории северо-восточной части Приобского плато (Алтайский край, Россия). Выявлено, что почвы, сформированные на лёссовидных породах, имеют в целом типичный для черноземных почв гумусовый профиль, четко отвечающий основной формуле профиля. Черноземы, имеющие под подошвой современных почв на разной глубине еще два-три среднеплейстоценовых реликтовых горизонта с повышенной гумусированностью, существенно различаются между собой по сочетанию основных характеристик гумусовых профилей, однако в целом показывают, что все реликтовые палеопочвы формировались в условиях теплого климата, но с разной степенью увлажненности.

*Ключевые слова:* гумусовые профили, почвы, палеопочвы, средний плейстоцен, Барнаульское Приобье.

**Введение.** Одним из значимых генетических признаков почвы является гумусовый профиль, который фиксирует и отражает в своем строении все изменения условий почвообразования на протяжении времени его формирования [1]. Используя характеристики гумусовых профилей, можно реконструировать стадии и фазы развития почв даже при кратковременных изменениях природной среды, когда отсутствуют явно выраженные морфологические реликтовые признаки [2]. Согласно разработанным ранее представлениям, можно говорить о гумусовом профиле почв как о «совокупности химически и генетически сопряженных однородных зон (слоев) почвы, каждая из которых имеет специфическое сочетание и степень проявления элементарных гумусообразовательных процессов, определяющихся сменой биоклиматических условий в период формирования почвы» [1, стр. 32]. Для описания гумусового профиля используют подробные послойные (каждые 5–10 см или менее, с учетом границ генетических горизонтов) изменения внутри почвенной толщи разных характеристик гумусовой составляющей почв. Поскольку соотношение и свойства компонентов системы гумусовых веществ обусловлены гидротермическим режимом, в котором проходило образование гумусовых кислот и их органоминаральных производных [3], изучение гумусовых профилей будет способствовать выявлению эволюции конкретных почв и условий их формирования, а также специфики структуры почв и почвенного покрова со сложной историей развития.

Цель настоящего исследования – выявление неоднородности гумусовых профилей почв северо-восточной части Приобского плато, имеющего сложную историю развития.

**Объекты исследования.** Объектом исследования послужили черноземы, расположенные на территории ключевого участка Володарка, который приурочен к северо-восточной части Приобского плато в пределах Алтайского края на левом берегу реки Обь. На его территории распространены почвы, морфогенетические свойства которых значительно варьируют [4, 5]. Для выявления особенностей гумусовых профилей этих почв на территории ключевого участка была заложена серия разрезов, различающихся формулами профиля. Среди них ряд почв имели типичный для черноземов морфологический облик. Другие разрезы вскрывали почвы, в которых визуальнo на разных глубинах выделялись гумусовые и сопряженные с ними горизонты.

**Методы изучения гумусовых профилей почв.** Характеристики гумусовых профилей получены с использованием методики [6]. Почвенные образцы отбирались сплошной колонкой с учетом визуальнo выделяемых горизонтов каждые 5–10 см. Гумусовые профилограммы построены по специальной программе, основанной на рекомендациях [1]. Интерпретация полученных материалов основана на представлении гумусовой составляющей почв как природной системе, а также на принципах экологии почв [3].

**Результаты исследований.** В настоящей работе рассматриваются гумусовые профили черноземов, сформированных на разной литогенной основе.

Разрезы 1-04, 1-08, 1-012 сформированы на лёссовидных суглинках под типичной ковыльно-разнотравной степной растительностью и имеют все типичные морфологические черты, присущие черноземам обыкновенным: весь комплекс генетических горизонтов, вскипание от 10% НС1, как правило, в верхней трети гумусово-аккумулятивного горизонта, наличие гипса в почвообразующей породе (иногда в нижней части профиля), а также карбонатов в виде псевдомицелия и общей интенсивной пропитки. Согласно морфологическому облику, они имеют единую формулу профилей:  $A_d - A_{Ca} - AB_{Ca} - B_{Ca} - BC_{Ca} - C_{Ca}$ . Мощность гумусового горизонта составляет от 30 до 50 см. Все горизонты профилей характеризуются, в основном, суглинистым составом [5].

Черноземы, современное почвообразование которых идет по выходам разных горизонтов среднеплейстоценовых палеопочв, существенно отличаются от предыдущих мощностью современного гумусово-аккумулятивного горизонта, глубиной вскипания от НС1, наличием в профилях еще двух-трех гумусированных горизонтов на разной глубине, а также несоответствием свойств последних современным условиям почвообразования. Единой формулы профиля для этих почв представить невозможно. Гумусовые профили таких почв рассматриваются на примере разрезов 3-012 и 4-012.

Гумусовые профили почв, сформированных на мощных лёссовидных отложениях, представлены на рисунке 1. Общими чертами этих гумусовых профилей являются: максимальное содержание общего органического углерода в верхней гумусово-аккумулятивной толще почвы (в среднем около 4%), постепенное снижение его количества с глубиной (рис. 1, а), неоднородное долевое содержание углерода каждого из групп и компонентов гумусовой составляющей почв в разных горизонтах профиля (рис. 1, б, в, г), в т. ч. преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами (ФК) только в верхней части профиля и фульвокислот – в остальных горизонтах, присутствие и очень низкое содержание углерода гуминовых кислот (ГК) бурой фракции (рис. 1, д), преобладание во всем профиле среди гуминовых кислот черных их форм (рис. 1, е), а также низкая доля ГК остальных выделенных форм (рис. 1, ж). Величина отношения ГК к ФК колеблется в пределах 1,4–2,9 в гумусово-аккумулятивном горизонте, то есть он имеет изменяющийся от фульватно-гуматного до гуматного тип. В нижних горизонтах величина этого отношения лежит в пределах 0,1–0,9, соответствуя гуматно-фульватному и фульватному типу.

Черноземы, которые в настоящее время формируются на выходах разных горизонтов среднеплейстоценовых палеопочв, отличаются очень сложной сменой характеристик гумусовых профилей. Их строение различается в такой степени, что анализ требует индивидуального описания.

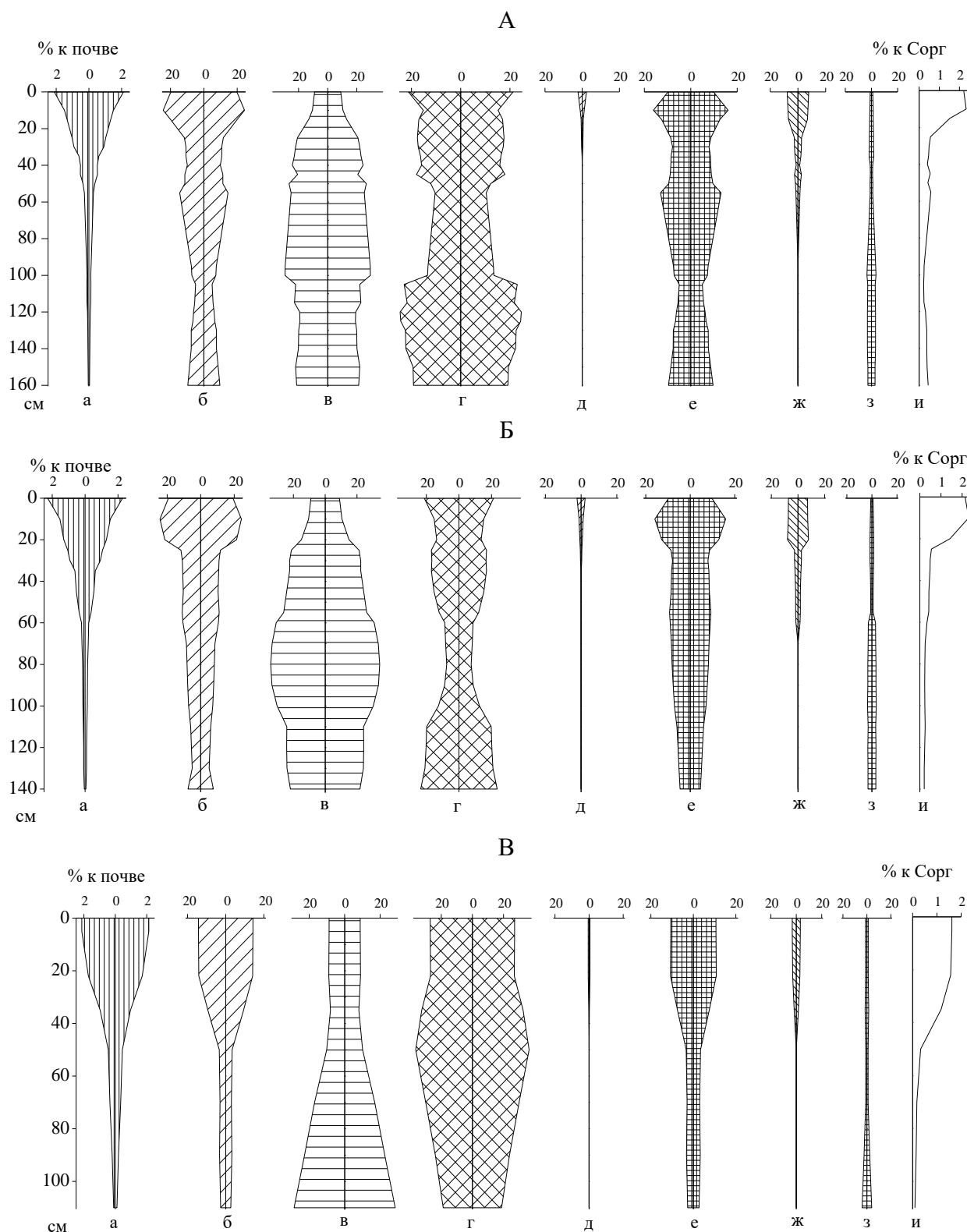


Рисунок 1. Гумусовые профили почв на лёссовидных породах: А – разрез 1-04; Б – разрез 1-08; В – разрез 1-012. Условные обозначения: а – содержание органического углерода, % к почве; содержание групп и фракций гумусовых веществ, % к общему углероду: б – гуминовые кислоты (ГК), в – фульвокислоты (ФК), г – негидролизуемые формы гумуса, д – ГК фракции 1, е – ГК фракции 2, ж – ГК фракции 3, з – ФК фракции 1а, и –  $S_{гк}:S_{фк}$

Разрез 3-012, в кровле которого находятся горизонты современного чернозема южного карбонатного неполноразвитого среднемощного среднесуглинистого, имеет во вскрытой 170-см толще еще четко выявляемые по долевым участию гумусовых веществ и их соотношению три гумусово-аккумулятивных толщи, мощность которых от более раннего к более позднему изменяется как 20 см – 10 – 30 см соответственно (рис. 2). Содержание Сорг. в гумусово-



аккумулятивных горизонтах палеопочв лежит в пределах 1,62–1,26%, в современном – превышает 2,5% (рис. 2, а). Только в нижней части разреза и в пределах современной части профиля почв кроме гумусово-аккумулятивной толщи выделяются горизонты ВС. Они имеют в составе более 30% фульвокислот (рис.2, в), пониженную долю гуминовых кислот (рис.2, б) и соответственно фульватный тип гумусовой составляющей (рис. 2, и). В горизонтах [А] палеопочв доля гуминовых кислот составляет в среднем от 27% в нижней почве до 33–29% – в выше лежащих, фульвокислот – от 15% до 24%. Величина интегрального показателя гумусового состояния почв – Сгк:Сфк – изменяется от 1,7–1,9 в нижней палеопочве до 1,5 и затем до 1,2 в лежащих выше гумусовых горизонтах. Соответственно тип гумусовой составляющей палеопочв изменяется снизу-вверх от гуматного до фульватно-гуматного.

Разрез 4-012 характеризуется наличием в профиле, кроме современного, двух четко выраженных максимумов накопления Сорг., доли гуминовых кислот и повышенных в них величин Сгк:Сфк (1,1–1,3), а также более низкой долей фульвокислот, которые в горизонтах [А] составляют в среднем 13–18%. На рисунке 2 Б четко выделяется горизонт сложного строения с двумя максимальными величинами Сгк:Сфк на глубине 80–100 см и 125–150 см. Отличие горизонтов [АВ] от выше лежащего заключается в существенно пониженном содержании общего органического углерода, доли гуминовых кислот, а также в фульватном типе гумусовой составляющей почв.

Следует обратить внимание на отсутствие в обеих палеопочвах гуминовых кислот бурой фракции (см. рис.1, 2, д), что характерно для палеопочв древнее голоценового возраста [3].

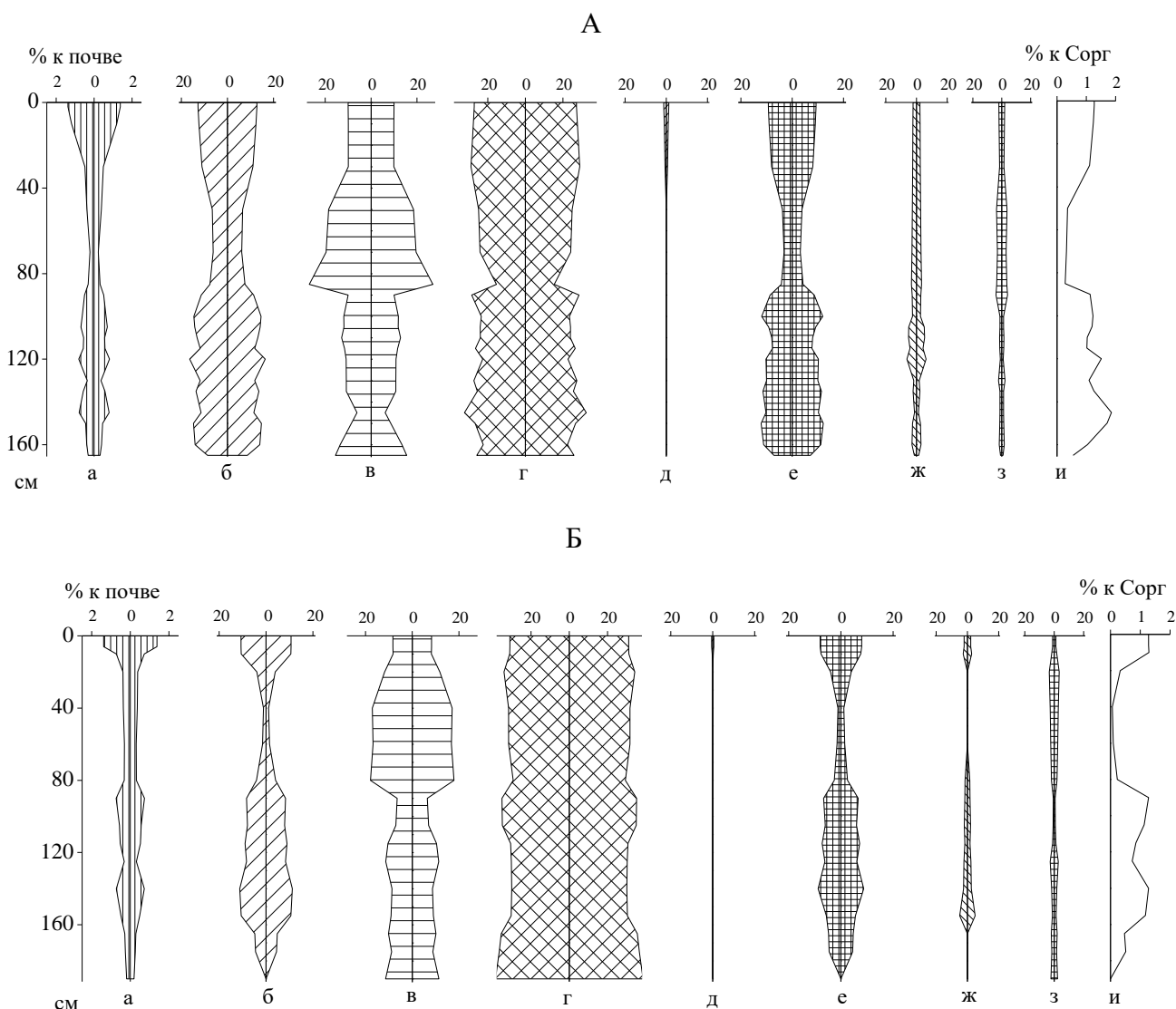


Рисунок 2. Гумусовые профили почв на выходах разных горизонтов среднеплейстоценовых палеопочв: А – 3-012; Б – 4-012. Обозначения см. рис.1.

Таким образом, рассмотренные объекты исследования отличаются существенной неоднородностью характеристик гумусовых профилей, что связано с наличием (как в разрезах 3-012 и 4-012), или отсутствием во вскрытых разрезах толщ (как в разрезах 1-04, 1-08, 1-012) не только различающихся количественными параметрами современных гумусовых горизонтов, но и гумусово-аккумулятивных горизонтов – реликтов среднеплейстоценового педогенеза. Неоднородность свойств гумусовых профилей обусловлена развитием современных почв на отложениях, представляющих собой или мощные лёссовидные породы или разные горизонты палеопочв Беловского педокомплекса, широко распространенного на территории Приобского плато в Алтайском крае. Этот педокомплекс хорошо просматривается в береговом обнажении реки Оби, где видно, что разные горизонты этого педокомплекса в разных местах рассматриваемой территории ключевого участка Володарка выходят к поверхности и перекрываются горизонтами современного почвообразования. Судя по характеристикам гумусовых профилей, все палеопочвы формировались в условиях теплого климата с разной степенью увлажненности.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

#### Литература

1. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 155 с.
2. Калласс Е.В. Гумусовые профили почв озерных котловин Чулымо-Енисейской впадины. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. 170 с.
3. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 292 с.
4. Захарова Е.Г. Варьирование свойств в верхней части современных почв и поверхностных палеопочв ключевого участка Володарка (Барнаульское Приобье) // Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого. Новосибирск: ООО «Галер-Пресс», 2011. С. 91–94.
5. Дергачева М.И., Пономарев С.Ю. Морфогенетические особенности почв с древними признаками почвообразования восточной части Приобского плато // Вестник ОГУ. 2014. №6 (167)/июнь. С. 207–212.
6. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов // Почвоведение. 1968. №11. С 104–117.

#### HETEROGENEITY OF CHARACTERISTICS OF SOIL HUMUS PROFILES IN THE NORTHEASTERN PART OF THE PRIOBSCOYE PLATEAU

E.G. Zakharova<sup>1</sup>, E.V. Kallas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia, zakharova@issa-siberia.ru

<sup>2</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, ekallas70@gmail.com

*Summary. Analysis of the humus profile heterogeneity characteristics of the soils of the territory with complex formation history in the northeastern part of the Priobskoye plateau (Altai Territory, Russia) is given. It was revealed that the soils formed on loess-like rocks have, in general, have a humus profile typical for chernozems and it clearly corresponds to the main formula of the profile. Chernozems, which have two or three addition Middle Pleistocene relict horizons (with increased humus content) at different depths under modern soils, differ significantly from each other in the combination of the main humus profile characteristics. However, in general, they show that relict paleosols were formed in a warm climate with varying moisture degrees.*

*Keywords: humus profiles, soils, paleosols, Middle Pleistocene, Barnaul Ob region.*

УДК 631.4:551.42(211-17)

## ПОЧВЫ АРКТИЧЕСКОГО ОСТРОВА КРЕСТОВСКИЙ

А.З. Иванова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, madalexia@mail.ru

**Аннотация.** *Даны результаты исследования почвенного покрова арктического острова Крестовский, входящего в архипелаг Медвежьих острова (Восточно-Сибирское море). Почвы представлены следующими типами: горные примитивные щебнистые почвы на горных участках, мерзлотные тундровые слабogleевые почвы на увлажненных пологих склонах; комплекс мерзлотных арктотундровых глееватых и перегнойно-глеевых почв на пониженных участках, осложненных криогенным микрорельефом; маршевые почвы вдоль береговой линии.*

**Ключевые слова:** *остров, Восточно-Сибирское море, почвенный покров, морфология, свойства, Арктика.*

Остров Крестовский является наибольшим по площади в архипелаге Медвежьих островов и самым приближенным к материковому побережью. Почвы острова в связи с трудной доступностью до их пор оставались слабоизученными. В данной работе рассматриваются результаты исследований почв и почвенного покрова острова Крестовский, проведенных в августе 2021 года в составе комплексной экспедиции сотрудниками Института биологических проблем криолитозоны СО РАН [1].

Рельеф острова – низкогорный, с двумя небольшими сопками. Северный и восточный берега – обрывистые, западный и южный – более пологие. Почвообразующие породы представлены, в основном, гранитами, но в понижениях могут вскрываться песчаные или реже суглинистые осадочные породы [2, 3]. На поверхности много выходов обломочного материала в виде единичных прорывов, россыпей, кос, склоновых осыпей и т.д. Климат морской, арктический. Растительный покров довольно однообразный арктотундровый, кустарничково-мохово-лишайниковый или лишайниково-моховый, иногда с участием трав и маков [4, 5].

По почвенно-географическому районированию остров относится к Евразийской полярной почвенно-биолиматической области, подзоне распространения мерзлотных арктических почв Арктики [6], в которой формирование и развитие почв происходит в условиях близкого залегания многолетней мерзлоты (около 1 м). Для изучения состава и свойств почв были выполнены стандартные аналитические исследования: гранулометрический состав (пирофосфатный метод в модификации Качинского), рН водный, содержание гумуса по Тюрину с титриметрическим окончанием, обменные катионы, гидролитическая кислотность. Диагностика почв и индексация генетических горизонтов проводились в соответствии с Классификацией и диагностикой почв СССР и единым государственным реестром почвенных ресурсов России [7].

Несмотря на то, что ландшафты острова на первый взгляд кажутся довольно однообразными, с точки зрения почвенной структуры на обследованном нами западном побережье почвенный покров характеризуется некоторым разнообразием.

Между выходами гранитов на высоких участках вскрываются короткопрофильные горные примитивные щебнистые почвы (разрез К-1-21). Морфологический профиль имеет следующее строение: А/АВ (0–3 см) – ВС/С (3–22 см). Это относительно слабо развитые почвы с высоким содержанием щебня. Подстилка практически не сформирована – под накипью лишайников вскрывается небольшой буроватый гумусовый (или переходный к гумусовому) горизонт с признаками дерновости слабого накопления органики. Ниже почва однородная, неоглеенная, суглинистая, светло-серовато-бурая с обильным или средним щебнем, значительным содержанием тонких корней, и неустойчиво-зернистой структурой. Мерзлоты в деятельном слое нет. Почва близка по описанию к подбурам.

Почва легкосуглинистая (содержание физ. глины около 22%), кислая (рН 4,4–4,7). Распределение фракций и кислотности можно считать равномерным по профилю, что говорит о слабо развитости почвы. Содержание гумуса в гумусовом слое составляет почти 4%, ниже – 2,8%, что возможно говорит о пропитке минеральной толщи бесцветным фульватным гумусом, продуктом разложения лишайников, что иногда встречается в почвах горных территорий [23]. Сумма обменных оснований равна 4,5–6,25 ммоль/100г, с максимумом в

верхней части, то есть катионов больше в горизонте с большим содержанием гумуса. Степень насыщенности основаниями низкая.

На пологих длинных склонах с затрудненным дренажом, под кочкарной мохово-травянистой тундрой формируются мерзлотные тундровые слабogleевые почвы на супесчаных отложениях (разрез К-5-21). Морфологическое строение профиля: ОТ (0–10 см) – Вg (10–14 см) – ВСg/C (14–34 см). Под подушкой живого мха и травянистого войлока есть небольшая торфянистая прослойка из слаборазложившихся растительных остатков. Ниже расположена мокрая, плотно переплетенная нитевидными корнями минеральная толща светло-серовато-бурой окраски, в верхней части которой выделяется небольшой переходный горизонт.

Почва супесчаная с равномерным преобладанием среднего, мелкого песка и крупной пыли. Реакция почвенной среды кислая (рН 4,5–4,8). В минеральной толще содержание гумуса равномерное и довольно высокое, что возможно говорит о пропитке фульватным гумусом, также значительную роль в повышении показателей содержания органического углерода играет обильное содержание внутрипочвенного детрита в виде отмерших корней растений. Содержание обменных кальция и магния такое же, как и в разрезе К-1-21, почва также не насыщена основаниями.

В центральной части западного побережья пологие склоны сопки образуют небольшой водосбор. Ближе к ручью, в условиях переувлажнения наблюдается мерзлотное растрескивание поверхности – формируются крупные полигоны с выраженными трещинами между ними (размеры полигонов колеблются от 3 до 20 м). Поверхность полигона неровная, местами вспученная (мелкие бугры от 1 до 2 м диаметром), с мелкими трещинами. Здесь формируется мерзлотная арктотундровая глееватая почва (разрез К-3-21). Морфологический профиль имеет следующее строение: О (0–2 см) – В (2–8/12 см) – Вg/BC<sup>⊥</sup> (8/12–48 см). Гумусового горизонта нет, подстилка выражена слабо. Профиль равномерно окрашен в темно-буроватый цвет, в верхних 6 см он более переплетен корнями и имеет единичные бурые пятна, в нижней части тоже есть пятна, но также появляются признаки небольшого оглеения в виде сизоватых и охристых пятен. Данная почва может быть излившейся.

Гранулометрический состав легкосуглинистый, реакция среды слабокислая (рН 5,2–6,4). Содержание гумуса в минеральной толще равномерное и составляет 2,1–2,4%, сумма обменных катионов достигает 7,8–8,9 ммоль/100 г., что является довольно высоким показателем для района исследования. Гидролитическая кислотность низкая, с максимумом вверху. Почва насыщена основаниями в большей части профиля (до 90,5%).

В трещине почва более гидроморфна. Органогенный слой здесь представлен фрагментарным перегнойным черным горизонтом АН, плотно переплетенным корнями растений и имеющим клиновидную форму, который ниже сменяется буровато-серым гумусовым горизонтом. Затем вскрывается оглеенная светло-буровато-серая толща с признаками тиксотропии и оглеения. Тип почвы – мерзлотная арктотундровая перегнойно-глеевая почва (разрез К-4-21). Морфологическое строение профиля следующее: О (0–2 см) – АН (2–5/22 см) – АВ (5/22–7/24 см) – ВG<sup>⊥</sup> (7/24–48 см). В трещине почва слабокислая, близкая к нейтральной (рН 5,7–6,1), гранулометрический состав легко- и среднесуглинистый. Содержание физической глины увеличивается вниз по профилю. В гумусовом горизонте содержание гумуса достигает 5,5%, ниже – 1,5%. Насыщенность основаниями в нижнем горизонте довольно высока.

Вдоль берега моря, почти на уровне водной поверхности, выделяется узкая полоса осадочных песчаных отложений. Здесь под разреженной мохово-лишайниковой накипью с остатками травянистого войлока и фрагментарным минеральным наносом вскрывается неоглеенная маршевая почва (разрез К-2-21). Морфологическое строение профиля: Ad (0–6 см) – AC/C (6–20 см) – C' (20–60 см). Эта почва имеет слоистое строение и сложена плохотмытым песком различной окраски. Зерна песка характеризуются довольно крупным размером, в нижней части профиля можно даже выделить мелкую гальку диаметром до 0,5 мм. Крупных камней нет. В верхней части профиля сформирован небольшой (до 6 см) дерновый горизонт.



Почва приморской затапливаемой низины кислая с очень низким содержанием обменного кальция и магния, что связано с легкостью гранулометрического состава почвы. Гидролитическая кислотность также низкая. Содержание гумуса имеет высокие значения в дерновом горизонте (9%), и низкие – в нижних слоях (0,4–0,5%).

Таким образом, территория острова Крестовский представлена совокупностью нескольких ландшафтов, характеризующихся формированием в них различных типов мерзлотных почв. На горных участках вскрываются горные примитивные щебнистые почвы (А–ВС(С)). На пологих длинных склонах под кочкарной мохово-травянистой тундрой формируются мерзлотные тундровые слабogleевые почвы (ОТ–Вg– ВСg(С)). В естественных депрессиях на криогенных формах микрорельефа почвенный покров представлен совокупностью мерзлотных арктотундровых глееватых (О–В–Вg(ВС)<sup>1</sup>) и перегнойно-глеевых почв (О–АН– АВ–Вg<sup>1</sup>). Маршевые почвы (Ad–С(AC)–С') распространены по низким затапливаемым пологим берегам острова. Исследования показали, что почвы, сформированные на песчаных и супесчаных отложениях, здесь редко имеют признаки оглеения даже при достаточном увлажнении, в то время как суглинистые почвы на водосборных понижениях имеют признаки оглеения, характеризуются обнаружением многолетней мерзлоты в профиле на небольшой глубине и сильнее подвержены изменениям вследствие криогенной деформации поверхности. Все почвы, за исключением почв полигонально-западной тундры, кислые с низкой насыщенностью обменными катионами и достаточно высоким содержанием гумуса в минеральной толще (кроме маршевой).

#### Литература

1. Оконешникова М.В., Иванова А.З. Почвы островов Крестовский и Четырехстолбовой Государственного природного заповедника «Медвежий острова» (Восточно-Сибирское море) // Природные ресурсы арктики и субарктики. 2023. Т.28, №1. С. 94–103. DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-1-94-103
2. Егiazаров Б.Х., Сидоренко А.В., Ткаченко Б.В. Геология СССР. 26 том. Острова Советской Арктики. Геологическое строение. М.: Недра; 1970. 548 с.
3. Национальный атлас Арктики. М.: Роскартография; 2017. 495 с.
4. Заславская Т.М., Плиева Т.В. Флора острова Четырехстолбового (архипелаг Медвежий острова, Восточно-Сибирское море). Ботанический журнал. 1983;68(3):369-376.
5. Афонина О.М., Королева Т.М. Мхи острова Четырехстолбового (архипелаг Медвежий острова, Восточно-Сибирское море). Новости систематики низших растений. 2006. 40:295–306.
6. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: ООО Астрель, 2011. 631 с.
7. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.

#### SOILS OF THE ARCTIC ISLAND – KRESTOVSKY

A.Z. Ivanova

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, madalexia@mail.ru

*Summary. The results of a study of the soil cover of the Krestovsky island (the Medvezhiy Islands archipelago, East Siberian Sea), are given. Soils are represented by the following types: primitive gravelly soils in mountainous areas; permafrost tundra low-gley soils on gentle long slopes; a combination of permafrost arctotundra gleyic and humus-gley soils in low areas complicated by cryogenic microrelief; marsh soils along the coastline.*

*Keywords: island, East Siberian Sea, soil cover, morphology, properties, Arctic.*

УДК 631.445.12

## ТОРФЯНАЯ ПОЧВА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л.И. Инишева

Томский государственный педагогический университет, Томск, [inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru)

**Аннотация.** В статье изложены представления по определению понятия - торфяные почвы, которые занимают около 9% земельного фонда страны и их площади увеличиваются с каждым годом. Показано, что органическая и минеральная часть торфяных почв – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нем историей их развития. Предложено весь торфяной профиль до подстилающих минеральных пород принять за торфяные почвы.

**Ключевые слова:** торфяной профиль, подстилающая порода, процесс торфообразования, атмосферное почвообразование, ботанический состав.

**Введение.** В 1886 г. В.В. Докучаев в классификации почв выделил III класс – типичных болотных почв с полным их профилем до минеральной почвообразующей породы [1]. Такой же точки зрения, согласно В.Н. Ефимову [2], придерживались К.Д. Глинка, В.Р. Вильямс, Д.Г. Виленский, С.П. Кравков и др. Впервые в 1937 г. Герасимовым Д.А. [3] было предложено разделить весь торфяной профиль на торфяную почву и торфогенную породу, которая является материальной породой для торфяной почвы. Наиболее широкое отражений этих взглядов нашло воплощение в работе И. Н. Скрынниковой [4]. Согласно ее определению, торфяная почва – это верхний слой торфа на глубину распространения основной массы корней растений, который периодически подвергается аэрации. Почвообразовательные процессы в нижележащих слоях торфяного профиля не наблюдаются, а сам торф находится в законсервированном состоянии.

Описание метрового торфяного профиля, например, верховых торфяных почв, в классическом варианте выглядело следующим образом – с поверхности выделяется горизонт сфагнового очеса соломенно-желтого или буровато-желтого цвета, под которым залегает бурый торф с хорошо оформленными растительными остатками, переходящий в темно-бурый торф, подстилаемый мощными торфами.

Мелиораторов тоже в торфяных болотах интересовал слой до 1 м, так как норма осушения, как правило, ограничивалась этой глубиной. Развитие мелиорации в 60–80 гг характеризуется по Б.С. Маслову [5] как золотой век мелиорации. Вполне вероятно это также оказывало давление на мелиоративное почвоведение и послужило причиной распространению понятия болотных почв, предложенное И.Н. Скрынниковой. Разработанные ею классификационные показатели легли в основу и в современной классификации почв органогенного ствола [6]. Прошло много времени, предлагается вернуться к этим вопросам, может быть с несколько других позиций.

*Целью* данной статьи ставится рассмотреть, что есть торфяная почва и методы её исследования.

Согласно С.Э. Вомперскому [7] в России имеется 139 млн. га болот (слой торфа более 30 см). Большая часть сосредоточена в Западно-Сибирской низменности (до 70–90%), на севере страны, в таежной зоне и на Дальнем Востоке. Площадь заболоченных земель (со слоем торфа до 30 см) составляет 230 млн. га. Торфяные и заболоченные земли занимают 369,1 млн. га, или 21% территории страны. То есть, каждый пятый гектар поверхности суши России представлен болотными почвами. Таким образом, столь широкое распространение торфяных почв и ежегодный прирост площади, за счет прогрессирующего заболачивания, требуют особого к ним внимания.

*Что такое торфяная почва.* Рассмотрим формирование торфяного профиля с позиций почвообразовательных процессов. Торфообразование является следствием заболачивания территории, заключающегося в анаэробной, преимущественно субаквальной консервации растений-торфообразователей. Торфяной профиль с поверхности представляет собой слой, в котором интенсивно протекают биохимические процессы. Но и в нижних слоях торфяного профиля эти процессы тоже наблюдаются. Традиционно считается, что в нижней части профиля отмечаются облигатно восстановительные условия. Но так ли это? В торфяном

профиле несмотря на постоянное затопление, всегда присутствует свободный кислород, который поступает, в том числе, и в результате происходящих в глубине профиля биохимических процессов. Известно, например, что содержание кислорода в торфяных почвах изменяется от 65–80 до 100–150 г/м<sup>3</sup>, или 5–11 % по объему [8]. Проведенные нами исследования ОВП, микробиологической и энзимологической активности в торфяных почвах до подстилающих пород [9] показали, что в их профиле формируются микромозаичные анаэробно-аэробные условия, свидетельствующие о наличии в глубоких слоях торфяного профиля кислорода. Это объясняется тем, что в процессе формирования торфяного профиля, в нижележащих слоях в процессе трансформации и полимеризации продуктов распада растений образуются трудно проницаемые для молекул воды микроструктуры, в которых формируются ограниченные окислительные условия, к которым адаптируется микрофлора [10, 11].

Другая особенность торфяных почв заключается в том, что источником минерального питания для растительности болот, является минеральная почва, подвергшаяся заболачиванию. Проведенные нами исследования в южно-таежной подзоне Западной Сибири [12] по изучению свойств олиготрофных болот, позволили выявить их мезотрофный характер, обусловленный повышенным содержанием кальция, магния и некоторых других биогенных элементов в олиготрофной части профиля, минеральное питание которого осуществляется исключительно за счет атмосферных осадков. Однако эти элементы в большом количестве содержатся в подстилающей древней почве, откуда происходит их миграция вслед за нарастающим вверх торфяным профилем. Основное количество зольных элементов в торфах накапливается на исходном этапе торфообразования. Из этого слоя, насыщенного кальцием, корневая система следующего слоя торфообразователей потребляет кальций. Так происходит перераспределение элементов по профилю торфяных почв с постепенным снижением их концентрации ближе к поверхности, образуя биогенную форму миграции элементов по Бахнову [13]. В результате, сформировались олиготрофные торфяные почвы с признаками мезотрофного типа торфообразования. Таким образом, древняя минеральная почва, подвергшаяся заболачиванию, составляет биолитосферный этаж, сформированный в условиях длительного или постоянного переувлажнения под влаголюбивой растительностью, верхняя часть которого, как правило, оглеена и служит почвообразующей породой для нарастающего вверх профиля торфяных почв с образовавшейся уже зоной функционирования (зона, охваченная потоками вещества и энергии). Органическая и минеральная части торфяных почв – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нем историей их развития. Верхний метровый горизонт профиля торфяных почв правильнее рассматривать как часть почвенного профиля современной стадии почвообразования с более активными биохимическими процессами. Но и нижележащие горизонты также биохимически активны. Наши исследования [14] и исследования других авторов [15] это констатируют (таблица).

На основании выше изложенного, в понятие торфяная почва включается вся торфяная залежь и верхние горизонты древней минеральной почвы. Вместе это субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нем историей их развития. Такой же точки зрения придерживался В.В. Докучаев и в последующем В.Н. Ефимов [16], В.К. Бахнов [13]. Наши исследования подтверждают точку зрения этих авторов и доказательства изложены в статье [17]. Предлагается в Классификации почв России [18] принять следующее определение: ствол органогенных почв состоит из торфяных почв, для которых характерен торфяной профиль, мощностью не менее 30 см, подстилаемый почвообразующей минеральной породой. При глубине менее 30 см почвы относятся к другим стволам классификации почв. Главными критериями классификации торфяных почв должны служить ботанические особенности их стратиграфического сложения.

Таблица. Численность микроорганизмов в торфяных залежах Васюганского болота

Глубина отбора проб, см	Вид торфа, тип залежи	Бактерии, млрд./г	Мицелий		Споры грибов, млн./г
			актиномицетный, м/г	грибной, км/г	
0–25	фускум-торф, В	44,52 ± 3,34	412,83 ± 57,15	3,50 ± 0,84	58,58 ± 27,23
25–50	фускум-торф, В	53,12 ± 3,96	648,00 ± 22,83	4,67 ± 1,21	44,37 ± 9,88
100–125	фускум-торф, В	2,13 ± 0,14	45,50 ± 2,32	0,0	5,95 ± 0,93
275–300	фускум-торф, В	1,32 ± 0,15	14,83 ± 2,30	0,0	4,42 ± 1,36
475–500	фускум-торф, В	2,97 ± 0,16	68,83 ± 3,72	0,0	6,23 ± 1,39
25–50	сфагновый, П	3,32 ± 0,15	23,33 ± 2,56	0,67 ± 0,52	6,40 ± 2,40
75–100	осоковый, Н	4,63 ± 0,65	79,00 ± 3,05	0,0	4,12 ± 1,83
125–150	осоковый, Н	3,72 ± 0,32	80,00 ± 3,44	0,0	3,00 ± 0,93
225–250	осоково-гипновый, Н	1,95 ± 0,31	39,00 ± 2,78	0,0	5,53 ± 1,72
350–375	осоково-гипновый, Н	1,35 ± 0,29	15,67 ± 2,32	0,0	3,87 ± 1,74
25–50	осоково-гипновый, Н	3,28 ± 0,15	0	0	6,38 ± 1,44
100–125	осоково-гипновый, Н	3,30 ± 0,17	23,67 ± 2,56	0	4,40 ± 1,51
225–240	осоково-гипновый, Н	3,55 ± 0,18	24,50 ± 3,00	1,00 ± 0,00	4,00 ± 0,73

Примечание. В – верховой тип, П – переходный тип, Н – низинный тип.

Перечислим основные положения: 1. Древняя почва, подвергшаяся заболачиванию, выполняет роль почвообразующей породы по отношению к формирующемуся на ней торфяному профилю и в дальнейшем между ними сохраняется генетическая связь. 2. В болотных почвах происходит внутриболотный переток мигрирующих вод, обеспечивая инситность процессов. Однако миграция воды происходит не только сверху вниз, но и снизу-вверх из-за особенностей торфообразовательного процесса. 3. Торфяная почва – субаквальная, инситная система со знаком минус (направлена вверх). Минеральная древняя почва служит почвообразующей породой для нарастающего вверх профиля торфяных почв с образовавшейся уже зоной функционирования (зона, охваченная потоками вещества и энергии). Поэтому верхний горизонт торфяных почв соответствует современным условиям, нижний – предшествующим стадиям развития. 4. Подходить к исследованию торфяных почв и их классификации предлагается с ботанических позиций, используя ботанические ключи отнесения торфяных почв к номенклатурным единицам.

*Роль болот в биосфере.* Кратко рассмотрим вопрос о появлении болот и их эволюции. Формы почвообразования – естественно-исторические категории, эволюция которых представляется как единый генетически связанный процесс последовательного появления на Земле гидроземного, атмоземного и литоземного почвообразования [19]. Болотное почвообразование в истории биосферы выполнило своего рода роль переходного моста, по которому растения вышли из воды на сушу. Болото как раз и представляет ту благоприятную среду, которую можно рассматривать и как водоем, где вода связана с органическим веществом, и как сушу, содержащую 80–90% воды и 20–10% сухого вещества. При таком двуединстве болота экологический контраст между водной средой и сушей в болоте являлся наименьшим. Это делало болота благоприятным субстратом в период адаптации растений к воздушной среде, а затем и к литосферной оболочке суши. Таким образом, выходу растений из океана на сушу способствовали болота. Каждая вновь возникшая форма почвообразования не исчезала, а появлялась в лоне предыдущей и продолжала развиваться. К самым древним относятся подводные почвы (3 млрд. лет), далее следуют болотные (400 млн. лет) и литоземные почвы (60–70 млн лет). Поэтому в настоящее время вместе с литоземными почвами, на Земном шаре располагаются и подводные и болотные почвы. Важно отметить, что распространение болотных почв в настоящее время прогрессирует.

*К вопросу о некоторых методах исследований торфяных почв.* Важно отметить также, что свойства торфяных почв существенно отличаются от свойств минеральных почв. В торфяных почвах своеобразно соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз. Твердая фаза,



представленная на 70–90% органическим веществом, занимает всего 8–25% от общего объема почвы. На воздушную фазу приходится от 12 до 27%. Основной объем торфяной почвы представлен жидкой фазой – 51–80%. Отсюда плотность сложения торфяных почв олиготрофного типа имеет значения 0,02–0,1 г/см<sup>3</sup>, эвтрофного – 0,2–0,4 г/см<sup>3</sup>. И эти показатели существенно отличаются от минеральных почв, что указывает на индивидуальность оценки торфяных почв по агрохимическим и биологическим показателям.

Торфяные почвы состоят из высокомолекулярных продуктов разложения и растительных остатков высокополимеров целлюлозной природы, свойства которых определяются, прежде всего, ботаническим составом торфов, слагающих их профиль. Торфяная почва делится на слои, мощность которых определяется однородностью ботанического (флористического) состава торфов. Поэтому подходить к их исследованию следует с ботанических позиций. Под ботаническим составом торфа подразумевается совокупное сочетание всех ископаемых тканей, на основе которого можно установить исходный фитоценоз и выяснить его генезис. Все выявленные торфообразователи перечисляются в процентном отношении, по преобладающему виду дается название. Например, в образце торфа содержится: сфагнума – 70%, пушицы – 20%, древесных остатков – 10%, название торфа – пушицево-сфагновый. И при этом четко известен видовой состав растений-торфообразователей каждого вида торфа. Отбор образцов на анализ следует проводить в слоях, идентичных по ботаническому составу. Очень важно соблюдать при отборе образцов «попадание» именно в одинаковые по ботаническому составу слои торфяного профиля. В ином случае сравнивать свойства торфов, их химический состав, микробиологическую и биохимическую активность как в торфяном профиле, так и по территории будет невозможно. Подробно это описывая, мы подчеркиваем важность этого показателя для работы с торфяными почвами, так как разный ботанический состав определяет их химический состав и, соответственно все другие свойства. Так, полевые исследования предполагают повторные измерения в пункте через определенные интервалы времени и годы. И здесь возникают существенные трудности в связи с невозможностью повторения отбора пробы в прежнем пункте. Важно, чтобы отбор проводился в слоях, одинаковых или близких по ботаническому составу. В ином случае сравнивать свойства торфов, их биохимическую и микробиологическую активность как в торфяном профиле, так и по территории будет невозможно. Заметим, что торфяная почва имеет разный стратиграфический профиль, ботанический состав которого к тому же формируется в зависимости и от рельефа территории. Чтобы этого избежать, необходимо перед проведением исследований на предполагаемой площади провести отбор образцов и построить по этому участку стратиграфический профиль с разметкой точек бурения.

По поводу рельефа территории. В последнее время большое внимание уделяется изучению процессов трансформации ОВ торфов и болотных растений, помещаемых в болотную почву в мешочках-капсулах. Сам по себе метод недостаточно информативен. Но очень важно учитывать уровни болотных вод при развитии микрорельефа на территории болота. Это связано с типично болотными условиями – малых глубин уровней болотных вод, при которых небольшие различия в средних значениях существенны для экологии растений, их микробного сообщества, и, соответственно, процессов трансформации ОВ. В ином случае – результаты и выводы будут неверными. Приводим некоторые источники литературы по свойствам и методам изучения торфяных профилей, [20, 21, 22].

#### Литература

1. Докучаев В.В. Раздел «Разбор главнейших почвенных классификаций». Избранные сочинения (1846–1903). М: Изд-во с-х литературы. 1954. С. 209, 217.
2. Ефимов В.Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л.: Агропромиздат. Лен. отд-ние. 1986. 264 с.
3. Герасимов Д.А. О принципах классификации, разведки и картирования торфяных месторождений // Почвоведение. 1937. № 10. С. 643–646.
4. Скрынникова И.Н. К вопросу об истории исследования, принципы классификации и систематики болотных почв СССР // Почвоведение. 1954. № 4. С. 37–50.
5. Маслов Б.С., Колчанов А. В., Гулюк Г.Г., Гусенков Е.П. История мелиорации в России. Том 2. Москва: ФГНУ «Росинформагротех». 2002. 528 с.

6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
8. Смагин А.В. Почвенно-гидрофизическое обеспечение исследований газовой функции западносибирских болот в связи с проблемой парникового эффекта // Экологический Вестник Сев. Кавказа. 2007. Т. 3. № 3. С. 46–48.
9. Инишева Л.И., Шайдак Л., Сергеева М.А. Динамика биохимических процессов и окислительно-восстановительных условий в геохимически сопряженных ландшафтов олиготрофных болот. Почвоведение. 2016. № 4. С. 505–513.
10. Функционирование микробных комплексов в верховых торфяниках – анализ причин медленной деструкции торфа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 128 с.
11. Thormann M.N., Rice A.V. Fungi from peatlands // Fungal Diversity. 2007. V. 24. P. 241–299.
12. Инишева Л.И. Закономерности функционирования болотных экосистем в условиях воздействия природных и антропогенных факторов. – Томск: Издательство ТГПУ, 2020. 482 с.
13. Бахнов В.К. Биохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1986. 193 с.
14. Инишева Л.И., Головченко А.В. Характеристика микробоценоза в торфяных залежах ландшафтного профиля олиготрофного торфогенеза. Сибирский экологический журнал. 2007, № 3, С. 363–373.
15. Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Звягинцев Д.Г., Инишева Л.И., Кураков А.В., Смагин А.В., Зенова Г.М., и др. Функционирование микробных комплексов в верховых торфяниках. М., Товарищество научных изданий КМК. 2013. 128 с.
16. Ефимов В.Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение. 1986. 264 с.
17. Inisheva L.I. Peat soils: Genesis and classification. 2006., Eurasian Soil Science 39 (7), p. 699–704.
18. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
19. Бахнов В.К. Почвообразование (взгляд в прошлое и настоящее). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2000. 114 с.
20. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 431 с.
21. Раковский В. Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. Москва: Недра. 1978. 231 с.
22. Базин Е.Т., Косов В.И. Физика и химия торфа // Водно-физические и структурно-механические свойства торфа и торфяных залежей. Калинин: КГУ, 1982. 104 с.

## PEAT SOILS, DEFINITION AND APPROACHES TO THEIR STUDY

L.I. Inisheva

Tomsk State Pedagogical University, Russia, Tomsk, [inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru)

*Summary. The article presents ideas on the definition of the concept - peat soils, which occupy about 9% of the country's land fund. Their areas are increasing with every year. It has been shown that the organic and mineral part of peat soils is a substantive-functional system, which is a genetically unified soil profile with a fixed history of their development. It is proposed to take the entire peat profile up to the underlying mineral rocks as peat soils.*

*Keywords: peat profile, basal rock, peat formation process, atmozemnoe soil formation, botanical composition.*

УДК 631.471

## ПОЧВЫ ЖАЛАЛ–АБАДСКОЙ ОБЛАСТИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Т.А. Исмаилов<sup>1</sup>, Б.М. Жакеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кыргызский научно-исследовательский институт земледелия. Бишкек, Кыргызская Республика, [turusbeki@mail.ru](mailto:turusbeki@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика, [baha75@list.ru](mailto:baha75@list.ru)

**Аннотация.** Жалал-Абадская область – своеобразный регион на территории Средней Азии, где все особенности почвообразования предопределены горными условиями. В этой связи всестороннее изучение генезиса и географии почв региона, составление почвенной карты территории Жалал-Абадской области представляет основную задачу в деле рационального использования почвенного покрова региона на основе всестороннего анализа состава и особенностей почв и влияния хозяйственной деятельности человека.

**Ключевые слова:** почвенная карта, классификация, номенклатура, систематика, зональность, вертикальная поясность, морфология, химизм.

Первые научные сведения о почвах Жалал-Абадской области появились в 1882 г. в работе А.Ф. Миддендорфа “Очерки Ферганской долины”. Автор выделял среди поверхностных образований Ферганы щебневую пустыню, солончаковую пустыню, песчаную пустыню, лёсс и перегной (черноземы) [3].

В истории последующего изучения почв Жалал-Абадской области можно наметить четыре крупных периода: 1) период работ почвенно-ботанических экспедиций Переселенческого управления (начало XX столетия); 2) период работ Института почвоведения и геоботаники САГУ (Среднеазиатский государственный университет, двадцатые годы); 3) период составления агрохимических карт (тридцатые годы) и 4) период работы Южнокиргизской комплексной экспедиции Академии наук СССР (послевоенный период).

Наиболее интересными работами первого периода являются труды С.С. Неуструева, Л.И. Прасолова и А.И. Безсонова [5].

Следует отметить, что эти первые почвенные исследования были комплексными, так как они проводились совместно с геоботаниками и в этом отношении могут служить примером для работ, проводимых в настоящее время. К этим работам приложены схематические, мелкомасштабные (1: 840 000) почвенные карты.

В своих работах С.С. Неуструев выявил не типичность горно-луговых почв субальпийской зоны некоторых районов Жалал-Абадской области вследствие сухости климата и преобладания здесь степных ассоциаций, с одной стороны, и каменистости – с другой. Он впервые назвал лугово-степными почвы, которые только теперь начали выделять, как самостоятельный почвенный тип [5].

На основе материалов, собранных к тому времени сотрудниками Института почвоведения и геоботаники САГУ, в 1931 году К.М. Клавдиенко была составлена обзорная схематическая “Почвенная карта Киргизской АССР” масштаба 1: 420 000, на которой показаны и почвы Южной Киргизии [9].

Следующий период изучения почв Жалал-Абадской области связан с реорганизацией в 1932 году Института почвоведения и геоботаники САГУ в Центральную станцию удобрений и агропочвоведения (ЦСУ) СоюзНИХИ, в связи новыми задачами химизации сельского хозяйства и необходимостью расширения площадей под хлопчатник. В результате были составлены почвенно-агрохимические карты по каждому району Жалал-Абадской области в масштабе 1: 25 000 с краткими очерками к ним [5].

Следует отметить, что участниками экспедиции были такие известные почвоведы Советского Союза, как Д.Г. Виленский, И.П. Герасимов, Ю.А. Ливеровский, А.Н. Розанов [5].

В настоящее время на основе собранных материалов, обобщения научных исследований и полевых почвенных съемок в 2021–2023 годах нами впервые составлена цифровая карта Жалал-Абадской области.

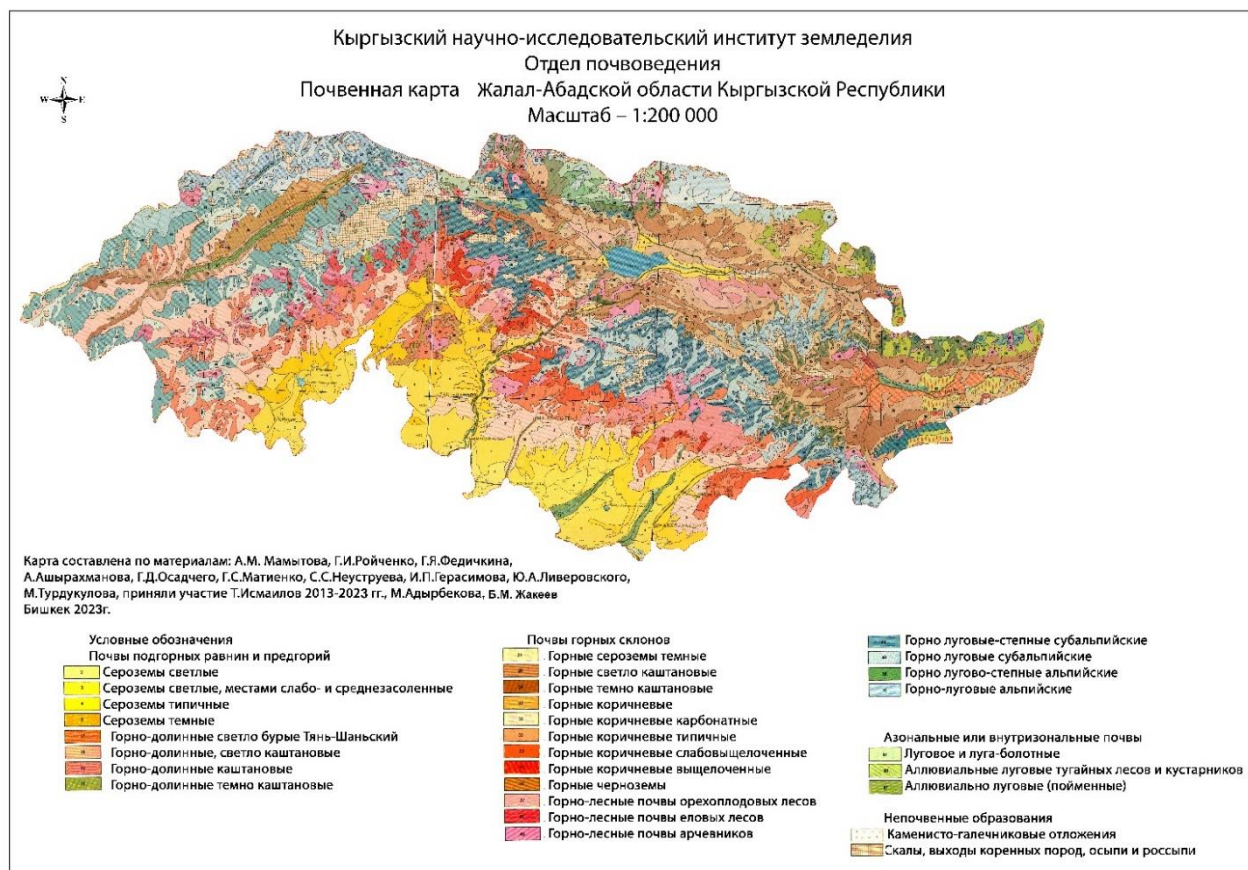


Рисунок 1. Почвенная карта Жалал-Абадской области Кыргызской Республики.

Среди сероземов можно выделить следующие подтипы:

- 1) светлые сероземы;
- 2) типичные сероземы;
- 3) темные сероземы.

Светлые сероземы встречаются в предгорьях горных хребтов и занимают предгорный шлейф до высоты 700–800 м над ур.м. Развиваются светлые сероземы в условиях сильного недостатка влаги: годовое количество осадков не превышает 150 мм при среднегодовой температуре +12–13 °С. Растительность бедная, редкая, эфемерного типа. Светлые сероземы малогумусны: в верхнем горизонте гумуса содержится 1,1–1,3%. Содержание азота в них также низкое: в верхнем горизонте (0–10 см) азота содержится 0,09%, а отношение C:N равно 7. Ниже по профилю почвы содержание гумуса падает значительно резче, чем содержание азота, поэтому отношение уменьшается до 3. Реакция среды этих почв щелочная: рН водной суспензии равняется 7,7–8,7.

**Типичные сероземы.** Типичные сероземы распространены в зоне низких гор и адырных предгорий в пределах абсолютных высот 700–1300 м. Формируются они в условиях полупустынного климата при среднегодовом количестве атмосферных осадков 300–400 мм и среднегодовой температуре воздуха +11–12 °С.

Материнскими породами служат древнечетвертичные и неогеновые отложения, представленные конгломератами с небольшим количеством суглинка, реже встречаются лессовидные суглинки.

В морфологическом отношении типичные сероземы характеризуются небольшой мощностью гумусовых горизонтов, высокой карбонатностью. Почвы карбонатны с поверхности, распределение карбонатов по профилю почв неравномерное, на глубине 40–60 см наблюдается их максимум. Реакция почвенного раствора щелочная, рН = 8–8,5.

Содержание гумуса в типичных сероземах колеблется в пределах 1,8–2,5%, иногда – 3%. Отношение углерода к азоту – 7–9.



Почвы слабо обеспечены азотом и фосфором, что диктует необходимость применения высоких доз органических удобрений.

Типичный серозем – основной земельный фонд хлопкосеяния в условиях орошения в Жалал-Абадской области.

**Сероземы темные.** Сероземы темные формируются в пределах высотных отметок 1200–1500 м над уровнем моря под пырейно-разнотравными степями с эфемероидным циклом развития.

Для темных сероземов характерно значительное накопление (2,1–4,6%) гумуса при отношении углерода к азоту, равном 7–9. Содержание азота составляет 0,39–0,41% в верхнем горизонте.

В распределении карбонатов наблюдается следующая закономерность: незначительное содержание  $\text{CO}_2$  (2–4) в верхнем и максимальное (10–11%) – в карбонатно-иллювиальном горизонте на глубине 60–100 см.

Темные сероземы имеют щелочную реакцию почвенной среды по всему профилю ( $\text{pH} = 8,3\text{--}8,7$ ).

Почвы слабо обеспечены основными элементами питания растений, поэтому необходимо вносить органические и минеральные удобрения.

Темные сероземы используются в богарном земледелии под посевы зерновых и многолетних трав.

**Горные коричневые почвы.** Эти почвы распространены в зоне сухих лесов и кустарниковой растительности среднегорного пояса в пределах 1500–700 м абс. высоты, местами их граница поднимается до 1900–2200 м.

В зоне распространения коричневых почв выпадает от 400–500 до 700–900 мм осадков, при довольно высокой среднегодовой температуре воздуха + 9–0 °С, а летом – около 22–25 °С. Основная масса атмосферных осадков приходится на зимне-весенний период.

Почвообразующими породами в зоне распространения горных коричневых почв служат преимущественно лессовидные суглинки, реже продукты выветривания коренных пород (известняки, сланцы, граниты и др.). По степени выраженности процессов почвообразования среди горных коричневых почв выделяются:

- 1) Горные коричневые типичные.
- 2) Горные коричневые темные.

**Горные коричневые типичные почвы.** Эти почвы широко распространены в нижней части среднегорий зоны горных хребтов на высоте 1300–1500 м. Нередко верхняя граница их южных относительно сухих склонов поднимается до высоты 1700–1900 м.

Растительный покров представлен пырейно-разнотравными кустарниковыми сообществами с некоторым участием крупнотравных представителей – эремуруса, скабиозы, ферулы и др.

Морфологически горные коричневые типичные почвы характеризуются следующими особенностями:

- а) темно-серой с коричневатым оттенком окраской гумусового горизонта;
- б) большой мощностью гумусового горизонта;
- в) некоторой оглененностью средней части почвенного профиля;
- г) тяжелым механическим составом;
- д) комковатой структурой;
- е) наличием карбонатно-иллювиального горизонта.

По механическому составу они относятся к тяжелым пылеватым суглинкам. Эти почвы в верхнем слое содержат от 4,5 до 5% гумуса. Количество  $\text{CO}_2$  карбонатов в верхнем горизонте доходит до 0,5–1,5%, к низу оно резко увеличивается и достигает 10–15%. Реакция почвенной среды колеблется в пределах щелочного интервала ( $\text{pH} = 8,3\text{--}8,7$ ). Содержание азота в них составляет в гумусовом горизонте 0,3–0,4%, отношение C:N довольно широкое – 7–10.

Горные коричневые типичные почвы Жалал-Абадской области характеризуются невысокой водопрочностью структурных частиц (размером 3–5 мм) и нередко подвержены процессам эрозии. Обеспеченность элементами питания у этих почв слабая. При

использовании этих почв необходимо обратить внимание на накопление и сохранение влаги, проводить мероприятия по борьбе с эрозией.

**Горные коричневые темные.** Горные коричневые темные почвы распространены выше коричневых типичных и занимают более увлажненные склоны северных и северо-западных экспозиций Ферганского хребта. Формируются они, в основном, под кустарниково-крупнотравными и злаковыми растительными сообществами в пределах 1600–1900 (2100) м абс. высоты. Нередко в составе древесно-кустарниковых растений на этих почвах встречаются клен, яблоня, алыча, а также отдельные экземпляры деревьев грецкого ореха.

Для морфологического строения профиля характерны следующие признаки:

- а) верхний гумусовый горизонт имеет коричневую окраску, мелкозернисто-ореховато-комковатой структуры;
- б) переходный горизонт В<sub>1</sub> отличается более светло-коричневой окраской;
- в) горизонт С окрашен в более светлые коричневые тона с палевым оттенком, слабоструктурен;
- г) карбонаты выщелочены на большую глубину.

Содержание перегноя в горных темно-коричневых почвах высокое и в гумусово-аккумулятивном горизонте достигает 8–14%, валового азота в нем содержится до 0,4–0,6%. Соответственно, с этим отношение углерода к азоту характеризуется величиной (9,6–12,5). Реакция почвенной среды в связи с выщелоченностью от карбонатов нейтральная в верхних горизонтах (рН=7,0–7,3) и с глубиной изменяется до щелочного интервала (рН=7,6–8,5). Максимум карбонатов сосредоточено в карбонатно-иллювиальном горизонте, где количество СО<sub>2</sub> составляет 12–17%.

Горные темно-коричневые почвы используются под посевы зерновых, лесных и плодовых культур, а также как сенокосно-пастбищные угодья.

**Горно-лесные почвы.** Горно-лесные почвы орехо-плодовых лесов распространены на увлажненных юго-западных склонах Ферганского и Чаткальского хребтов.

Районы распространения горных почв ореховых лесов по климатическим условиям характеризуются выпадением атмосферных осадков до 900–1000 мм в год, умеренностью температурного режима в летнее время, мягкими зимами и повышенной влажностью при наличии засушливого периода летом и осенью.

Основной лесообразующей породой, под которой развиваются черно-коричневые почвы, является грецкий орех с примесью яблони. В подлеске встречаются жимолость, алыча, миндаль, бересклет, абелия и др. Из травянистых растений широко представлены коротконожка, мятлики, чина луговая, скерода и др.

Почвообразующие породы – горно-лесные почвы орехо-плодовых лесов состоят, преимущественно, из лессовидных отложений с высоким содержанием углекислых солей (30–35%). Реже эти почвы развиваются на элювии и делювии сланцев, известняков и конгломератов.

Горно-лесные почвы орехо-плодовых лесов обычно выщелочены от карбонатов на значительную глубину. Карбонаты обнаруживаются обычно на глубине 80–100, реже 65–75 см. По механическому составу эти почвы преимущественно тяжело-суглинистые, с оглинением средней части профиля.

Содержание гумуса в верхнем горизонте достигает 10–15%, а иногда 20%, с глубиной резко уменьшается. В связи с интенсивным накоплением органических остатков общее количество азота в верхнем горизонте достигает 0,6–0,85%, ниже глубины 35–40 см оно не превышает 0,2–0,4%. Эти почвы обладают нейтральной реакцией почвенного раствора (рН=6,5–7,3). Рассматриваемые почвы являются одними из наиболее обеспеченных питательными элементами и высокопроизводительными в Кыргызстане. Эти почвы следует использовать для развития лесного хозяйства и промышленного садоводства. Одновременно с этим здесь необходимо широко практиковать развитие пчеловодства, так как на почвах орехоплодовых лесов произрастают очень многие виды медоносных травянистых растений.

**Горно – лесные почвы еловых лесов.** В Жалал-Абадской области эти горно-лесные почвы формируются под еловыми лесами, которые разбросаны отдельными крутинами в субальпийском поясе, занимая обычно наиболее влажные и довольно крутые склоны северной

экспозиции. Эти почвы имеют небольшое распространение, так как полоса еловых лесов более или менее отчетливо выражена лишь на Чаткальском хребте, кроме того, отдельные небольшие участки их имеются на Ферганском хребте.

Для морфологического строения горно-лесных почв характерны:

1. Оторфованность верхнего горизонта.
2. Темно-коричневый цвет гумусового горизонта.
3. Пороховатая структура горизонта А и комковато-ореховатая структура горизонта В.
4. Отсутствие признаков оподзоленности.
5. Сильная склетность горизонта С.

Горно-лесные почвы содержатся более 10% гумуса, ниже количество его резко убывает. Карбонаты в почвах еловых лесов обычно выщелочены до подстилающей породы.

В заключении следует подчеркнуть, что горно-лесные почвы еловых лесов Жалал-Абадской области, как и Тянь-Шаня в целом, представляют собой оригинальные почвенные образования, обусловленные особым сочетанием факторов и условий почвообразования и заслуживающие выделения их в особую генетическую группу.

**Горно-лесные почвы арчовых лесов.** Под этим названием описываются почвы древовидных арчовых лесов среднегорного пояса в пределах 2200–3000 м абс. высоты. Растительность представлена высокоствольной арчей с подлеском из рябины, жимолости, барбариса и других кустарников. Травянистый покров представлен типчаком с некоторым участием субальпийского разнотравья. Почвы формируются преимущественно на продуктах разрушения сланцев, известняков, песчаников, реже – гранитов. Почвы арчовых лесов характеризуются следующими морфологическими особенностями:

1. Наличием подстилки.
2. Бурой окраской верхнего гумусового горизонта.
3. Пороховато-зернистой структурой гумусово-аккумулятивного горизонта.
4. Слабой оглиненностью почвенного профиля.
5. Наличием хорошо выраженного карбонатно-иллювиального горизонта.

По механическому составу эти почвы тяжелосуглинистые. Содержание гумуса – до 12–15%, рН водной суспензии равен 6,5.

**Почвы субальпийского пояса.** Горные лугово-степные субальпийские почвы формируются под субальпийскими лугостепями на элювии и делювии коренных пород (гранитов, сланцев, известняков, песчаников) на южных склонах хребтов. Климатические условия в зоне образования этих почв отличаются низкой среднегодовой температурой, коротким вегетационным периодом при среднегодовом количестве осадков 400–500 мм.

Содержание гумуса в лугово-степных субальпийских почвах в верхней части гумусового горизонта составляет 6–10%. Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам равно 1,5. В гумусовом горизонте эти почвы содержат от 0,25 до 0,35 % азота, отношение углерода к азоту – 11–16. Реакция почв у поверхности нейтральная, на глубине 30–40 см – слабощелочная, а ниже – обычно щелочная.

Горно-луговые субальпийские почвы формируются под субальпийской луговой растительностью, среди которой преобладают тимофеевка луговая, мятлик, овсяница, осока и др. на северных склонах хребтов.

Описываемые почвы, по сравнению с горными лугово-степными, содержат значительное количество гумуса (8–15%). Они выщелочены от карбонатов, имеют рН порядка 6,5–7. Емкость поглощения высокая и составляет 40–60 мг-экв. на 100 г почвы. Поглощающий комплекс насыщен кальцием.

По механическому составу горно-луговые субальпийские почвы характеризуются значительным содержанием песка, хряща и щебня. Мелкозем этих почв относится к средним суглинкам. Другой особенностью механического состава является увеличение илистых частиц в горизонте В, что связано с их вымыванием из гумусового горизонта.

**Почвы альпийского пояса.** Горно-лугово-степные альпийские почвы формируются под альпийскими лугостепями на южных склонах хребтов в пределах 3200–3800 м абсолютной высоты. Им свойственна темно-серая окраска гумусового горизонта, комковато-зернистая структура. Общая мощность гумусовых горизонтов – 50–70 см.

Лугово-степные альпийские почвы богаты гумусом (10–11%), в составе которого преобладают фульвокислоты. Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам – меньше единицы. Содержание азота доходит до 0,7%.

Почвы карбонатны с поверхности, количество CO<sub>2</sub> в гумусовом горизонте не превышает 1,5–3,0%, ниже оно увеличивается. Реакция почвенного раствора – нейтральная или слабощелочная.

По механическому составу лугово-степные почвы относятся к средним и тяжелым суглинкам.

Горно-луговые альпийские почвы формируются под альпийскими лугами на северных (затененных) склонах хребтов в зоне альпийского пояса.

Почвы характеризуются следующими признаками:

1. Наличием дернового горизонта темно-серого цвета.
2. Небольшой мощностью гумусового горизонта.
3. Наличием гумусовых потеков в почвенном профиле.
4. Выщелоченностью почвенного профиля от карбонатов.
5. Отчетливо выраженной деятельностью дождевых червей.

В верхних дерновых горизонтах горно-луговых альпийских почв содержится 10–15% гумуса, а в оторфованных – до 20%. В составе преобладают фульвокислоты. Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам составляет 0,83–8,7. Почвы отличаются высоким содержанием общего азота (0,6–0,8%).

Вследствие довольно значительного количества атмосферных осадков горно-луговые альпийские почвы относятся к выщелоченным и имеют слабокислую реакцию.

Территория Жалал-Абадской области представляет собой горную страну, расположенную на стыке двух величайших горных систем мира – Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Она занимает предгорную и горную часть бортов Ферганской котловины в пределах от 500–6000 м высоты над уровнем моря.

Характерна четко выраженная структура поясности для межгорных впадин и вертикальная для окружающих склонов, где наблюдается смена поясов от дна впадины до вершин окружающих хребтов.

Такое разнообразие почвенно-климатических условий накладывает отпечаток на характер ведения сельскохозяйственного производства, его специализацию, а также мелиоративное состояние земель и их производительность.

Почвенная карта Жалал-Абадской области Кыргызской Республики масштаба 1:200 000 позволяет установить новые взаимосвязи почв с другими компонентами ландшафта, вывести новые закономерности и отразить современное состояние почвенного покрова Жалал-Абадской области.

### Литература

1. Аболин Р.И. Основы естественноисторического районирования Советской Средней Азии. Тр. САГУ. Серия XIIa. Вып. 2.
2. Мамытов А.М. Почвы Центрального Тянь-Шаня. Фрунзе, Изд-во АН Киргизской ССР, 1963. 557 с.
3. Миддендорф А.Ф. Очерки Ферганской долины. СПб, 1882.
4. Прасолов Л.И. К изучению вертикальных почвенных зон в Тянь-Шане // Почвоведение. 1909. №1.
5. Ройченко Г.И. Почвы южной Киргизии. Фрунзе, 1960. 231 с.

### SOILS OF JALALABAD PROVINCE OF THE KYRGYZ REPUBLIC

T.A. Ismailov<sup>1</sup>, B.M. Zhakeev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyrgyz Agricultural Research Institute. Bishkek, Kyrgyz Republic, [turusbeki@mail.ru](mailto:turusbeki@mail.ru)

<sup>2</sup>Institute of Water Problems and Hydropower of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. Bishkek, Kyrgyz Republic, [baha75@list.ru](mailto:baha75@list.ru)

*Summary. Jalal-Abad province is a peculiar region on the territory of Central Asia, where all features of soil formation are predetermined by mountain conditions. In this regard, a comprehensive study of the genesis and geography of the region, making a soil map of the territory of Jalal-Abad*



*region is the main task in the rational use of the soil cover of the region based on a comprehensive analysis of the composition and features of soils and the impact of human economic activity.*

*Keywords: soil map, classification, nomenclature, systematics, zoning, vertical zoning, morphology, chemistry.*

УДК 631.42

## **МОРФОАНАЛИТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРИАНГАРЬЯ**

**Н.Д. Киселева**

Иркутский государственный университет, Иркутск, [nata\\_kis71@list.ru](mailto:nata_kis71@list.ru)

***Аннотация.** На территории Южного Приангарья формируются разнообразные почвы. Особое место среди них занимают гипсоносные «гажевые», расположенные по долинам малых рек, притоков Ангары. На гипсоносность почв основное влияние оказывают своеобразные верхнекембрийские породы, и особенности генезиса этих почв. Выявлены морфоаналитические свойства изучаемых разрезов аллювиальных, гидротематоморфических засоленных почв и черноземов региона.*

***Ключевые слова:** Южное Приангарье, «гажа», гипс, пойменные почвы, засоление.*

Территория Южного Приангарья богата разнообразием почв. Засоленные почвы имеют незначительное распространение, особое место среди которых занимают своеобразные гипсовые почвы, с разными формами гипсовых новообразований, от гипсового камня до мелкокристаллических мучнистых отложений. Мелкокристаллические мучнистые гипсовые отложения в литературе принято называть «гажей». Пойменные «гажевые» почвы Южного Приангарья являются уникальными образованиями, аналоги которых встречаются только в нескольких регионах России и Закавказья. «Гажевые» почвы нашего региона изучены недостаточно глубоко, современные данные практически отсутствуют.

Для изучения морфоаналитических особенностей пойменных «гажевых» почв, образованных на продуктах выветривания верхнекембрийских отложений, в поймах рек Унга, Залари, Тангутка, Харётка в Нукутском районе было заложено 7 разрезов в низких поймах рек и по береговым обнажениям. Для выявления химических особенностей проведены следующие анализы: определение актуальной кислотности ( $pH_{H_2O}$ ), определение  $CO_2$  карбонатов по методу Голубева и расчёт процентного содержания  $CaCO_3$ , определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-91, анализ водной вытяжки по общепринятой методике, определение гипса методом солянокислой вытяжки.

Почвы, развитые на «гажевых» отложениях, известны во многих регионах мира, а также и в России. Особенно большие площади их находятся в Закавказье и Прикаспийской низменности. Имеются сведения, что почвы, формирующиеся на «гажевых» отложениях, встречаются в сухих субтропических районах Испании и в ряде штатов Северной Америки [6].

При изучении почвенного покрова речных долин и падей Южного Приангарья на рыхлых белесого цвета гипсоносных отложениях были обнаружены интересные почвы, которые в литературе принято называть «гажа». «Гажевые» почвы представляет собой рыхлую мучнистую породу позднечетвертичного возраста, белесовато-палевого цвета. В составе ее преобладает мелкокристаллический гипс (от 30 до 90%) с примесью глинистых материалов и карбоната кальция. В более или менее значительных количествах в «гаже» могут присутствовать легкорастворимые соли (от 1,5 до 3–4%). «Гажевые» отложения в условиях Южного Приангарья встречаются лишь в тех частях территории, где широко распространены гипсоносные породы кембрия. В поле сплошного распространения юры «гажевые» отложения не обнаружены. Отсюда с уверенностью можно сделать вывод, что «гажа» образовалась в результате процессов выветривания и переотложения гипсоносных пород кембрия [3, 6].

В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие осадочные породы кембрия и перекрывающие их юрские и четвертичные отложения. Причем верхнекембрийские отложения занимают подавляющую часть площади и играют чрезвычайно

большую роль в почвообразовании. Они представляют собой красноватые известковистые песчаники, переслаиваемые красными мергелями, глинами, аргиллитами и гипсом. Реже, в виде маломощных прослоек, встречаются зеленоватые песчаники и аргиллиты. Напластования всех этих пород располагаются почти горизонтально. Верхнекембрийские породы – это отложения мелководного моря или даже лагунные. В период их образования происходило временное осушение отдельных участков территории, обо всем этом свидетельствует солонцеватость, гипсоносность пород, наличие трещин усыхания, волноприбойных знаков, косой слоистости [4]. На соседней суше, откуда сносился материал, образовался осадок верхоленской свиты. Климат был жаркий и полусухой. Суша представляла собой пустыню, лишенную растительности. Вследствие этого кора выветривания была обогащена красными маловодными или совсем безводными окислами железа, что и обусловило красную окраску верхнекембрийских отложений, мощность которых в настоящее время в Иркутском амфитеатре (во внутреннем поле) составляет от 190 до 290 м. Наиболее богатые гипсом отложения расположены на левобережье Ангары, на территории, ограниченной с севера реками Унгой и Залари, а с юга падью Каменка (Ноты). Западная граница не очень ясна. К северу от реки Унги, за исключением западной окраины Нукутского района, и на правобережье Ангары гипсовые отложения уходят в глубину и прикрыты сверху породами, среди которых преобладают песчаники.

Коренные осадочные кембрийские породы прикрыты маломощными аллювиальными и элювиально-делювиальными четвертичными наносами, представляющие собой неслоистые суглинистые или слоистые песчано-супесчаные отложения, аналогичные современным пойменным. Большинство современных аллювиальных отложений содержит углекислую известь, гипс и воднорастворимые сульфаты и хлориды. На четвертичных аллювиальных наносах залегают «гажевые» отложения.

Общий характер рельефа холмисто-равнинный. Предельная высота водоразделов 700–750 м над уровнем моря, а абсолютная высота уреза воды в Ангаре около 370 м. Таким образом, падение высот колеблется в пределах 330–380 метров [5]. Холмисто-равнинное строение рельефа обусловлено, главным образом, водно-эрозийными процессами, создавшими расчленение поверхности многочисленными глубокими долинами и ложбинами. Долины имеют характер теснин, пойма нередко слабо выражена. Ширина водораздельных поверхностей между отдельными ложбинами иногда бывает очень незначительной, колеблясь в пределах 2–5 км [2].

Климатические условия района обусловлены его географическим положением в южной части Иркутской области и наличием сложного рельефа. Черты климата проявляются в континентальности, характеризующейся большими амплитудами годовой и суточной температуры, малыми осадками зимой и сравнительно обильным летом, при обширном распространении вечной мерзлоты. В температурном отношении зона является областью отрицательных годовых температур [2].

Как было указано выше, рельеф Приангарья представляет денудированную поверхность, характер которой определяется гидрологической сетью, образующую систему долин и падей, которые расчленяют равнину на невысокие возвышенности с пологими вершинами и сглаженными склонами. Основные водные ресурсы района сосредоточены в бассейне рек Ангары и Унги. Лесостепь же является одним из самых дефицитных районов Иркутской области.

Формирование почвенно-растительного покрова происходит в условиях значительной расчлененности рельефа, что обуславливает его большое разнообразие. На территории Приангарья имеют распространение горные темнохвойные леса из сосны и лиственницы, распространены пихтово-кедровые леса, в северной части исследуемой территории распространены массивы сосновых и лиственничных, березовых остепненных травяных лесов и сухих вострцовых и типчаковых степей, галофитных лугов. Степные участки приурочены к днищам широких безводных падей, пологим южным склонам, гривам пойменных и нижних надпойменных террас [2].

Почвенный покров территории довольно хорошо изучен. По склонам и водоразделам сформированы дерново-лесные, бурые почвы, развитые под сосновыми лесами на продуктах

разрушения юрских пород. Дерново-карбонатные почвы распространены по разным элементам рельефа под лесной, лугово-степной растительностью. На равнинах левобережья реки Ангары и Индинско-Кудинском междуречье развиты серые лесные деградированные почвы, а также серые темно- и светло-серые почвы. Материнской породой служит в основном делювий юрских песчаников. Подзолистые почвы развиваются на водоразделах и древних террасах, сложенных песчаным рыхлым покровом, со светло-хвойным моховым лесом. Черноземы, покрывают поверхность террас, придолинные пологие склоны со степной и лугово-степной растительностью. Почвообразующими являются лессовидные породы. Лугово-черноземные почвы расположены в днищах сухих ложбин под лесолуговой растительностью. Засоленные почвы приурочены в основном к поймам и надпойменным террасам рек Унги, Обусы, Осы, Куды и их притоков. Степень засоления в почвах от верховьев рек к низовьям постепенно нарастает, достигая максимума в средних и нижних частях речных долин и падей [1, 7].

Объектом исследования послужили пойменные почвы на «гажевых» отложениях на территории Южного Приангарья, имеющие в своем почвенном профиле гипс. Разрезы расположены в поймах левых притоков Ангары – Унга, Залари, Нукутка, Тангутка, Харётка.

В профилях почв, расположенных в поймах рек (P1X13 Светлогумусовая гидрометаморфическая, P5H09 Темногумусовая засоленная, P1H10 Чернозем текстурно-карбонатный) выявлены общие признаки: почва увлажнена, уплотнена, имеют слоистость в верхних горизонтах, по всему профилю наблюдается вскипание от 10% HCl. Все почвенные профили имеют новообразования в виде отмытых зерен минералов, а также присутствуют карбонатные и гипсовые новообразования, которые проявляются в виде кристаллов гипса, клеящим веществом служит гумус, корни трав, карбонаты и иловатые вещества, также имеются включения ракушек моллюсков разного размера. Все разрезы оглеены в нижней части профиля, кроме P1H10, он не оглеен и отличается окраской всего почвенного профиля.

В разрезах заложенных на береговом обнажении (P7Y13 Черноземовидная глеевая, P1T14 Светлогумусовая засоленная, P2T14 Солончак темный, P3T14 Аллювиальная серогумусовая глеевая засоленная) выявлены следующие общие признаки: присутствие погребенных гумусовых горизонтов; окраска профиля от светло-серой, до темно-серой в местах скопления новообразований карбонатов и гипса, и буроватые оттенки по остальным горизонтам; признаки оглеения в нижних слоях профиля; присутствие «гажевых» отложений в верхней части профиля различной мощности; и наличие в некоторых слоях ракушек моллюсков.

Реакция почвенного раствора по всем разрезам варьирует от слабощелочной до щелочной. Только в разрезе аллювиально серогумусовой глееватой засоленной почвы на глубине 90–120 см значение актуальной кислотности водной суспензии составляет 6,6.

Почти все исследуемые почвы можно отнести к среднегумусовым, так как процентное содержание гумуса колеблется от 1,26 до 6,64%. Содержание гумуса в верхних горизонтах максимально. И только почвенный профиль чернозема текстурно-карбонатного относится к малогумусному, об этом свидетельствует процентное содержание гумуса, значения которого варьируют от 0,4 до 3,0, с максимальным содержанием на глубине 10–20 см. Столь малое содержание органического вещества объясняется тем, что в 200 метрах от заложенного разреза находится сероводородный источник «Нукутская Мацеста». Негативное воздействие сероводорода ведёт к угнетению растительности, почвенной фауны, следовательно, накопление больших запасов гумуса невозможно.

Содержание карбонатов по профилю изучаемых почв варьирует от 2,12% до 22,75%. При таком значении происходит образование стабильных крупнопористых почвенных агрегатов белёсого цвета. Однако, в почвенном профиле разреза солончака темного по криогенной трещине процентное содержание карбонатов на глубине 100–120 см, 170–250 см, достигает нуля, а в промежутке 120–170 см от 1,6 до 0,45%, такое процентное содержание карбонатов, говорит о вымывании карбоната по криогенной трещине из-за рыхлости вмещающего субстрата.

Исходя, из результатов анализа водной вытяжки можно сделать вывод, что главную роль в засолении данных почв играет ион кальция и сульфат-ион, другие ионы содержатся в меньшем количестве, следовательно, преобладающий тип засоления в почвах Южного Приангарья – по

анионам сульфатный, по катионам – кальциевый. Исключением является чернозем текстурно-карбонатный, здесь главную роль в засолении играет ион натрия и сульфат-ион, это значит, что тип засоления по катионам – натриевый, по анионам – сульфатный. При сульфатном засолении, если ион кальция меньше, чем сульфат-ион, то засоление считается гипсовым. Так как сульфат-ион является преобладающим, можно сказать о том, что в почвах Южного Приангарья засоление имеет остаточный реликтовый характер. По величине сухого остатка почвы относятся к сильнозасоленным, до 2,75%.

Результаты статистической обработки массовых данных уровня рН водной суспензии в почвах дают нам представление о профильном распределении кислотности. Величина среднего содержания Ме для каждого слоя является обобщенной, она показывает, что уровень рН с глубиной не изменяется и остается постоянным.

Показатели Max и Min уровня рН обнаруживают ту же динамику. Самый высокий уровень рН характерен для горизонта, который находится на глубине 100–110 см. Самое большое стандартное отклонение от средней величины находится на той же глубине, соответственно среднее значение уровня рН не обладает изменчивостью ряда.

Из результатов статистической обработки массовых данных содержания карбонатов в почвах видно, что величина среднего содержания Ме карбонатов с глубиной уменьшается (от 12,30 до 6,50%). Самый высокий показатель содержания карбонатов характерен для горизонта, который находится на глубине 80–90 см (22,75%), а самый низкий показатель на глубине 100–120 см и 170–200 см, содержание карбонатов на этих глубинах достигает 0. Самое большое стандартное отклонение от средней величины находится на глубине 180–190 см. Можно сказать о том, что среднее значение карбонатов обладает сильной изменчивостью ряда.

Результаты статистической обработки массовых данных содержания гипса в почвах дают нам представление о профильном распределении гипса (табл.).

Таблица. Статистическая характеристика содержания гипса в почвах

<i>Горизонт</i>	<i>Среднее</i>	<i>Медиана</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>D</i>	<i>Стандартное отклонение</i>	<i>Вариационный коэффициент</i>
0–10	16,32	18,82	3,70	25,40	59,25	7,70	363,05
10–20	19,67	20,51	4,30	37,93	108,03	10,39	549,21
20–30	19,19	21,93	5,90	22,93	42,87	6,55	223,40
30–40	19,31	21,16	5,80	23,79	73,82	8,59	382,29
40–50	20,17	20,70	8,00	24,34	53,41	7,31	264,80
50–60	18,80	20,20	7,31	28,50	51,59	7,18	274,41
60–70	16,31	18,12	4,50	25,06	51,21	7,16	313,98
70–80	15,85	18,58	2,00	25,17	66,09	8,13	416,97
80–90	15,74	17,29	4,00	24,50	53,09	7,29	337,29
90–100	15,54	18,49	4,00	21,90	46,99	6,85	302,38
100–110	23,21	19,44	8,60	52,04	221,73	14,89	955,32
110–120	22,13	19,46	11,90	41,61	104,98	10,24	474,38
120–130	19,56	19,16	17,30	23,17	5,01	2,24	25,61
130–140	20,26	20,44	17,82	24,14	6,36	2,52	31,39
140–150	20,76	19,97	18,26	23,72	7,21	2,68	34,73

Величина среднего содержания Ме показывает, что содержание гипса достаточно высокое по всему усредненному профилю. Самый высокий показатель содержания гипса характерен для горизонта, который находится на глубине 100–110 см (52,04%), а самый низкий показатель на глубине 70–80 см (2,00%). Самое большое стандартное отклонение от средней величины находится на глубине 100–110 см. Можно сказать о том, что среднее значение гипса обладает наиболее сильной изменчивостью ряда.

Гипсоносные почвы Южного Приангарья располагаются в поймах левых притоков реки Ангары, сформированные на «гажевых» отложениях. Эти отложения образовались при



выветривании и переотложении верхнекембрийских осадочных пород в условиях засушливого климата в замкнутых слабопроточных водоемах. Формируются своеобразные почвы под влиянием засушливого климата, специфической особенностью которого является малое количество осадков и преобладание испаряемости над поступлением влаги с осадками, и как следствие господствующий тип водного режима непромывной, сменяющийся в сухой сезон года выпотным. Почвы обладают рядом одинаковых морфоаналитических признаков: по всему профилю почв наблюдается вскипание от 10% HCl, выявлены карбонатные и гипсовые новообразования, которые проявляются в виде кристаллов гипса; реакция почвенного раствора по всем разрезам варьирует от слабощелочной до щелочной. При изучении карбонатного профиля выявлено неравномерное распределение, с выделением горизонтов скопления карбонатов на различных глубинах, в зависимости от характера водного режима. Распределение солей подтверждается с показателями кислотности и содержанием карбонатов и гипса. К характерным признакам пойменных «гажевых» почв Южного Приангарья относятся наличие погребенного гумусового горизонта, гипсового горизонта с разными формами гипсовых новообразований и горизонта скопления карбонатов и наличие признаков обводненности территории в виде ракушек моллюсков.

#### Литература

1. Беркин Н.С., Филиппова С.А. Иркутская область (природные условия административных районов): Учеб. Пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1993. С. 185–195.
2. Бояркин В.М. География Иркутской области (природа, население, хозяйство, экология): Учеб. пособие / В.М. Бояркин, И.В. Бояркин. 6-е изд., перераб. и доп. Иркутск: Сарма, 2007. 262 с.
3. Минашина Н.Г. Гипсоносные почвы: распространение, генезис, классификация // Почвоведение. 2002. №3. С. 11–12.
4. Одинцов М.М. Геологическая экскурсия по Ангаре. Иркутск, 1947. 80 с.
5. Хисматулин Ш.Д. Засоленные почвы речных долин Южного Приангарья / Труды первой сибирской конференции почвоведов. Красноярск, 1962. С. 298–302.
6. Хисматуллин Ш.Д. Засоленные почвы речных долин лесостепных районов Верхнего Приангарья: Автореферат. дис. канд. биолог. Наук. Иркутск, 1962. С. 298–310.
7. Шишов Л.Л., Панкова Е.Н. Засоленные почвы России. ИКЦ «Академкнига», 2006. 854 с.

#### MORPHOGENETIC CHARACTERISTICS OF GYPSUM-BEARING SOILS OF THE SOUTHERN ANGARA REGION

N.D. Kiseleva

Irkutsk State University, Irkutsk, [nata\\_kis71@list.ru](mailto:nata_kis71@list.ru)

*Summary. A variety of soils are formed on the territory of the Southern Angara region. A special place among them is occupied by gypsum-bearing "gazhevye", located along the valleys of small rivers, tributaries of the Angara. The gypsum content of soils is mainly influenced by the peculiar Upper Cambrian rocks, and the features of the genesis of these soils. Morphogenetic properties of the studied sections of alluvial, hydrometamorphic saline soils and chernozems of the region were revealed.*

*Keywords: Southern Angara region, gypsum, floodplain soils, salinization.*

УДК 631.48

## ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА, ЭВОЛЮЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ПОДТАЕЖНЫХ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

А.А. Козлова, Д.В. Перфильев, У.И. Людвиг, А.В. Николаев

Иркутский государственный университет, Иркутск, allak2008@mail.ru

***Аннотация.** В почвенном покрове подтайги Южного Прибайкалья присутствуют дерново-подзолистые почвы и буроземы, которые объединяются в широкую группу почв с различными свойствами. Генезис этих почв не может быть истолкован однозначно, а специфика их свойств обусловлена своеобразием действия факторов почвообразования в регионе, что значительно затрудняет их диагностику и классификацию.*

***Ключевые слова:** подтайга, подзолообразование, буроземообразование, лессиваж, дерновый процесс, инерционность свойств почв.*

Подтайга или гемибореальный лес – природная зона, располагающаяся на переходе от южной тайги к широколиственным лесам или лесостепи и характеризующаяся господством хвойно-широколиственных, лиственничных, сосново-мелколиственных и мелколиственных лесов [1].

Подтаежные насаждения отличаются от таежных разреженностью, осветлённостью, густым травяным покровом из злаков и разнотравья. От лесостепи подтайга отличается безусловным преобладанием лесных сообществ, а от тайги – породным составом и преобладающими типами леса. Наибольшее распространение в подтайге имеют умеренно увлажнённые травянистые типы леса. Таёжным биоценозам свойственно значительное участие зеленомошных типов и других, которым свойственно значительное увлажнение, а лесным сообществам лесостепи – ксероморфных типов [2].

Сибирская подтайга представляет собой светлохвойно-мелколиственные травяные леса, в составе которых нет деревьев широколиственных пород, чем она отличается от европейской «подтайги», состоящей из широколиственно-еловых лесов. Статус подтайги в системе классификации зон не вполне ясен: или следует отнести ее к таежной зоне на правах четвертой подзоны после северной, средней и южной тайги, или же выделить ее в самостоятельную зону, поскольку в ее зональных позициях отсутствуют темнохвойные формации. Подтаежные леса в большей степени сближаются с сообществами лесостепной зоны, у них лесов много общего и, прежде всего, господство и в тех и в других лугово-лесных видов – мезофитов. Однако в лесостепи, как правило, несколько выше численность травянистых видов, а в древостое возрастает роль мелколиственных (главным образом березы) по сравнению с сосной [3].

Южное Предбайкалье представляет собой часть субконтинента Северной Азии [4], природный район суббореального пояса, расположенного внутри бореального [5]. Для его геоморфологических районов: Иркутско-Черемховской равнины с юрскими песчано-глинистыми отложениями, юга Предбайкальской впадины с чехлом палеозойских (нижне- и верхнекембрийских) отложений, Приольхонского плато с протерозойскими породами характерна высокая концентрация на ограниченной площади резкоконтрастных ландшафтов. Неоднократные смены потеплений и похолоданий в голоцене привели к периодическому смещению границ ландшафтов подтайги, лесостепи, степи на территории Южного Предбайкалья [6, 7], что обеспечило широкое разнообразие почв.

На территории Южного Предбайкалья почвы подтаежных ландшафтов, как правило, занимают вершины водоразделов, холмов и увалов. Они развиваются на рыхлых четвертичных отложениях, а также на элювии-делювии пород разного состава: от карбонатных до бескарбонатных. В почвенном покрове подтайги региона присутствуют дерново-подзолистые почвы и буроземы, объединяемые в широкую группу почв, обладающими различными свойствами. Генезис этих почв не может трактоваться однозначно, а специфика их свойств обусловлена своеобразием действия факторов почвообразования региона, в связи, с чем значительно затруднена их диагностика и классификация [8].

Дерново-подзолистые почвы Южного Предбайкалья занимают наветренные склоны, вершины водоразделов, наветренные склоны холмов и увалов северо-западной экспозиции Иркутско-Черемховской равнины и южной части Предбайкальской впадины, находящиеся в

условиях достаточного увлажнения. Они характеризуются значительным содержанием первичных минералов, сложным и разнообразным составом вторичных. В отличие от дерново-подзолистых почв Европейской части России, процессы подзолообразования в них заторможены. Этому способствует сухость климата, основность пород, периодически промывной тип водного режима. Оподзоливание господствовало в прошлом под темнохвойными лесами, обеспечивающими кислый характер опада. Затем дерновый процесс, наложился на предшествовавший ему подзолистый, и современный гумусовый горизонт сформировался на месте прежнего подзолистого горизонта. Для дерново-подзолистых почв Сибири характерна «останцовая» форма перехода от элювиального к текстурному горизонту: в нижней части осветленного и облегченного элювиального горизонта наблюдаются отдельные полуразрушенные фрагменты текстурного горизонта размером до 5–15 мм, размер и количество которых постепенно увеличивается с глубиной. По Классификации-2004 [9, 10] формула профиля: AY-EL-BEL-BT-C, название почвы: дерново-подзолистая типичная. По Классификации WRB-2006 название почвы *Umbric Albeluvisols Abruptic* [10, 11].

По своим физико-химическим показателям региональные дерново-подзолистые почвы в значительной степени отличаются от Европейских аналогов. Региональными особенностями этих почв являются: слабокислая реакция среды, насыщенность ППК обменными основаниями, высокое содержание гумуса в гумусовом горизонте, преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами. Утяжеление гранулометрического состава срединного горизонта в них вызвано процессом механического перемещения тонкодисперсных частиц из элювиальной толщи в иллювиальную. Причем процесс лессиважа преобладает над оподзоливанием.

Буроземы Южного Предбайкалья, находясь в пределах почвенного округа Суббореального пояса в центре Евразийского континента, развиваются в условиях резкоконтинентального климата. Локально на вершинах водоразделов создаются особые гумидные условия для их формирования. Невысокая теплообеспеченность почв препятствует промывке профиля, нисходящей миграции частиц, веществ. Своим происхождением буроземы оподзоленные региона обязаны свойствам материнских пород, а именно богатством их основаниями и первичными минералами. Особенности химико-петрографического состава пород, низкое содержание светлых устойчивых минералов в значительной степени определяют длительность стадии дернового процесса почвообразования [8]. Для их профиля характерно наличие дернового горизонта мощностью 2–6 см, под которым располагается темно-серый или серовато-бурый гумусовый горизонт мощностью 8–15 см, имеющий мелкокомковатую непрочную структуру. Нижняя часть горизонта А имеет светлую окраску, а переход в горизонт В постепенный и выражается в изменении окраски, плотности и гранулометрического состава. Иллювиально-метаморфический горизонт имеет бурую окраску, крупнозернисто-комковатую структуру и более тяжелый, чем в горизонте А, гранулометрический состав. Однако по валовому составу значительных изменений в профиле не наблюдается, что позволяет считать горизонт В метаморфическим, а не иллювиальным. При переходе к материнской породе окраска светлеет, а гранулометрический состав становится более легким. Наличие в профиле буроземов оподзоленных хорошо выраженного ореховатого с ярко бурый окраской горизонта В, часто более тяжелого по гранулометрическому составу, чем выше- и нижележащие горизонты, объясняется литологической неоднородностью отложений. По Классификации-2004 [9, 10] формула профиля: AYе-ВМ-С, название почвы – бурозем оподзоленный отдела структурно-метаморфических почв постлитогенного ствола. По Классификации WRB-2006 [10, 11] название почвы – *Haplic Cambisols Dystric*.

Формирование буроземов темных остаточно-карбонатных в Южном Предбайкалье обусловлено физико-географическими особенностями территории их распространения, в частности составом и свойствами почвообразующих пород. Ими служат палеозойские осадочные карбонатные породы – известняки и доломиты, преимущественно серо- и красноцветных карбонатно-силикатных песчаников, аргиллитов, алевролитов и мергелей нижне- и верхнекембрийского, ордовикского возраста (верхоленская и братская свиты). Этим они в корне отличаются от Европейских аналогов, сформированных, как правило, на постледниковых карбонатных моренах. Для них характерен полноразвитый профиль с

горизонтом В и включает лесную подстилку небольшой мощности (3–5 см), гумусовый горизонт (10–40 см) темно-серой или коричнево-серой окраски, в котором встречаются обломки карбонатных пород, переходный горизонт бурой или коричневой окраски, зернистой структуры, как правило, карбонатный с обломками пород [8]. По Классификации-2004 [9, 10] формула профиля: АУе-ВМ-С, название почвы – бурозем оподзоленный отдела структурно-метаморфических почв постлигитогенного ствола. По Классификации WRB-2006 [10, 11] название почвы – *Haplic Cambisols Calcaric*.

Большинство буроземов темных остаточно-карбонатных, развитых на продуктах разрушения и переотложения осадочных пород, имеет полноразвитый профиль с горизонтом В и включает лесную подстилку небольшой мощности (3–5 см); гумусовый горизонт (10–40 см) темно-серой или коричнево-серой окраски, в котором встречаются обломки карбонатных пород; переходный горизонт бурой или коричневой окраски, зернистой структуры, как правило, карбонатный с обломками пород [8]. Высокое содержание кальция в почвообразующей породе способствует нейтрализации кислых продуктов растительных остатков, подавляя развитие подзолистого процесса. Основное отличие их от Европейских аналогов заключается в малом (голоценовом) возрасте развития последних, сформированных на карбонатных моренах послеледникового времени.

Для буроземов темных остаточно-карбонатных характерна слабокислая или нейтральная реакция верхних горизонтов и слабощелочная нижних. Наблюдается относительно высокое содержание гумуса, в составе которого преобладают гуминовые кислоты, связанные с кальцием; высокая степень насыщенности основаниями при сравнительно высокой емкости обмена. Профиль почв по гранулометрическому и валовому химическому составу дифференцирован слабо. При этом некоторое утяжеление средней части их профиля обусловлено процессами внутripочвенного оглинивания.

В целом в связи с сухостью и суровостью климата, основностью пород, процессы выветривания и почвообразования в почвах подтайги Южного Предбайкалья заторможены, а оподзоливание слабо развито и имеет реликтовую природу. Наблюдаемое явное несоответствие строения почв с элювиально-иллювиальным профилем их свойствам, проявляемое в невысокой кислотности, насыщенности обменными основаниями верхних горизонтов почв, вызвано высокой инерционностью изменений свойств почв при смене биоклиматических условий. Профиль почв региона сформировался за счет наложения одних горизонтов на другие, характеризующиеся различиями в скорости и интенсивности, протекающих в них процессов выветривания и почвообразования, с дальнейшим их преобразованием или консервацией.

Характерной чертой, связанной с местными особенностями почвообразования является сосредоточенность основных запасов органического вещества в верхнем 0–15(20)-ти см слое профиля. Причина этому – поверхностное распространение корневых систем растений, сосредоточение основной их массы в небольшом по мощности слое почвы, более глубокому их проникновению препятствуют низкие температуры почв. Высокая концентрация органического вещества в гумусовом горизонте, разложившегося до стадии «грубого» гумуса, наличие большого количества гумина в его составе обусловлено резкой континентальностью климата, обеспечивающего кратковременность активных биохимических процессов.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ проект № 23-27-10013.

#### Литература

1. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Природа мира: Ландшафты. М.: Мысль, 1989. 504 с.
2. Дробушевская О.В., Назимова Д.И. Климатические варианты светлохвойной низкогорной подтайги Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 21–27.
3. Бессолицына Е.П., Какарека С.В., Крауклис А.А., Кремер Л.К. Геосистемы контакта тайги и степи: юг Центральной Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. 217 с.
4. Михеев В.С., Коновалова Т.И. Геосистемы Северной Азии // Региональный экологической атлас. Новосибирск: Наука, 1998. С. 169–185.



5. Козлова А.А., Белозерцева И.А., Лопатина Д.Н. Почвы Южного Предбайкалья: разнообразие и закономерности распространения // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 103114.
6. Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Кулагина Н.В. Отлик природной среды Ангаро-Ленского плато на глобальные изменения климата в голоцене // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 4. С. 594–604.
7. Белов А.В., Соколова Л.П. Геоботаническое прогнозирование в системе экологической оптимизации природопользования в Байкальской Сибири // География и природные ресурсы. 2017. №1. С. 45–54.
8. Козлова А.А. Почвы лесных ландшафтов Южного Предбайкалья. Saarbrucken, Germany: Lambert Academic Publishing, 2016. 186 с.
9. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 324 с.
10. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. С. 202–209.
11. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов (WRB): основа для международной классификации и корреляции почв. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. 278 с.

#### PROBLEMS OF THE GENESIS, EVOLUTION AND CLASSIFICATION OF SUBTAIGA SOILS OF THE SOUTHERN PREDBAIKALIA

A.A. Kozlova, D.V. Perfiliev, U.I. Ludwig, A.V. Nikolaev  
Irkutsk State University, Irkutsk, allak2008@mail.ru

*Summary.* Soddy-podzolic soils and burozems are present in the soil cover of the subtaiga of the Southern Cisbaikalia, which are combined into a wide group of soils with different properties. The genesis of these soils cannot be interpreted unambiguously, and the specificity of their properties is due to the peculiarity of the action of soil formation factors in the region, which makes their diagnosis and classification much more difficult.

*Keywords:* subtaiga, podzol formation, burozem formation, lessivage, soddy process, inertia of soil properties.

УДК 631.417

#### ОПОДЗОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ ГОРНОГО КРЫМА

**И.В. Костенко, М.Л. Новицкий**

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, ik\_64@bk.ru

*Аннотация.* Представлены результаты изучения оподзоленных почв, сформировавшихся на склонах ложбин и карстовых воронок восточной части Главной гряды Горного Крыма. Показано, что основным признаками оподзоленности горно-луговых почв является наличие кремнеземистой присыпки в нижней части гумусового горизонта, а горно-лесных – осветленного горизонта ЕL. Профильная дифференциация по илу, гидролитической кислотности и насыщенности основаниями подтверждает развитие подзолистого процесса в изученных почвах.

**Ключевые слова:** горные плато, дифференциация профиля, гумусное состояние.

Первые описания горно-лесных оподзоленных почв Крыма даны в монографии И.Н. Антипова-Каратаева и Л.И. Прасолова [1], где приводятся результаты изучения подзолистых, с их точки зрения, почв на различных почвообразующих породах. Как отмечают авторы, крымские подзолистые почвы отличаются от почв северных лесов комковатой структурой, более тяжелым гранулометрическим составом и желтоватой окраской оподзоленного горизонта. При этом ни в одном из описаний оподзоленных почв Горного Крыма не упомянуто накопление кремнеземистой присыпки.

По данным М.А. Кочкина [7] наличие кремнеземистой присыпки отмечено в оподзоленных почвах на глинистых сланцах и песчаниках, причем, только на поверхности обломков соответствующих горных пород. Почвы на продуктах выветривания кристаллических пород и известняков отнесены к оподзоленным по характеру окраски их профилей, иногда с учетом профильной дифференциации по гранулометрическому составу.

В отличие от горно-лесных, сведений о горно-луговых оподзоленных почвах Крыма в литературных источниках нет.

Наши исследования [5, 6] показали, что горно-лесные почвы (буроземы) с элювиально-иллювиально дифференцированным профилем типичны для буковых и буково-грабовых лесов верхних частей склонов и плато Главной гряды Горного Крыма. Основной причиной текстурной дифференциации буроземов, по нашему мнению, является лессиваж, который диагностируется по характеру профильного распределения ила и наличию глинистых кутан по граням структурных отдельностей в горизонте ВТ. В некоторых разрезах под гумусовым горизонтом отмечено осветление почвенного материала, содержащего мелкие (1–2 мм) марганцевые ортштейны, но без кремнеземистой присыпки.

В горно-луговых почвах крымских яйл (горных пастбищ), даже при наличии заметной дифференциации профиля по илу, никаких морфологических признаков оподзоленности по результатам предыдущих исследований не наблюдалось, что вполне очевидно, поскольку возможные изменения окраски минеральной части в результате лессиважа ила маскируются высоким содержанием темноокрашенного органического вещества.

Впервые горно-луговую оподзоленную почву нами диагностировано на склоне одной из многочисленных карстовых воронок Караби-яйлы по наличию кремнеземистой присыпки в нижней части гумусового горизонта. Исходя из этого, мы предположили, что зона карста благоприятна для развития процессов оподзоливания, возможно за счет специфического водного режима таких территорий.

Цель исследований – определить ареал распространения и изучить свойства оподзоленных горно-луговых и горно-лесных почв крымских яйл.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проводились на безлесых платообразных вершинах – яйлах Главной гряды Горного Крыма, условно разделенных на два массива – западный (Байдарская, Ай-Петринская, Ялтинская, Никитская и Бабуган яйлы) и восточный (Чатыр-Даг, Долгоруковская и Караби яйлы). Почвенные разрезы закладывались на склонах карстовых воронок и других понижений, почвы которых сформировались на мощном слое выщелоченных продуктов выветривания верхнеюрских известняков. Диапазон высот в местах закладки разрезов варьировал от 900 до 1400 м над ур. м.

В составе лугово-степной растительности понижений доминировали мезофиты: манжетка таврическая, трясушка средняя, овсяница Калье, змеевик большой, тимофеевка луговая, мятлик луговой. Лесная растительность яйл представлена либо чистыми буковыми насаждениями, либо смешанными лиственными в составе граба, дуба, клена и других пород.

Климат яйл характеризуется среднегодовым количеством осадков от 800 до 1200 мм и среднегодовой температурой от 4,5 до 6,5°C [11]. Годовое распределение осадков на западных яйлах соответствует средиземноморскому типу с максимумом в холодное время года, а на восточных – континентальному с преобладанием летних осадков.

В почвенных разрезах, заложенных под лугово-степной и под лесной растительностью на западных яйлах и на верхнем плато Чатыр-Дага, признаков оподзоливания не выявлено. В то же время, такие признаки в виде кремнеземистой присыпки по граням структурных отдельностей были обнаружены в горно-луговых черноземовидных почвах карстовых воронок и склонов ложбин с мощностью профиля от 90 см и более на нижнем Чатыр-Даге, Долгоруковской и Караби яйлах.

В образцах почв определяли  $rN_{KCl}$ , содержание общего органического углерода (Собщ), углерода гуминовых кислот (Сгк) [4], оптическую плотность раствора гуминовых кислот ( $E_{c}^{Mg/MCl}$ ) [8]. Степень гумификации органического вещества (СГОВ) рассчитывали как долю Сгк от Собщ [2]. Гранулометрический состав определяли методом пипетки с пирофосфатной диспергацией образцов, гидролитическую кислотность (Нг) – рН-метрическим методом по

Каппену [10], сумму обменных оснований (СО) – после вытеснения катионов 0,2 н раствором  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Оптические свойства почв изучали путем сканирования влажных образцов, нанесенных на прозрачную пленку [6]. Сканы анализировались с помощью специальной программы для расчета величин цветовой модели RGB. Связь между интенсивностью окраски и значениями RGB обратная, поэтому, чем темнее почва, тем меньше величины последних.

**Обсуждение результатов.** Все горно-луговые почвы сформировались под плотным покровом лугово-степной растительности со 100% проективным покрытием.

Разрез 1404 заложен на СЗ склоне карстовой воронки в южной части нижнего плато Чатыр-Дага на высоте 1003 м над ур. м., в координатах  $44.788222^\circ$  СШ и  $34.286858^\circ$  ВД. В его профиле (рис. 1) выделены темно-серый, ближе к черному, рыхлый, комковато-зернистый, легкоглинистый горизонта АН, буровато-серый, комковатый, легкоглинистый АВ, бурый, с обильной кремнеземистой присыпкой, более рыхлый по сравнению со смежными горизонтами, ореховато-призмовидный, легкоглинистый ВЕ1 и бурый, плотный, с кремнеземистой присыпкой в трещинах и глинистыми кутанами на гранях структурных отдельностей, ореховато-призмовидный, легкоглинистый ВТ.

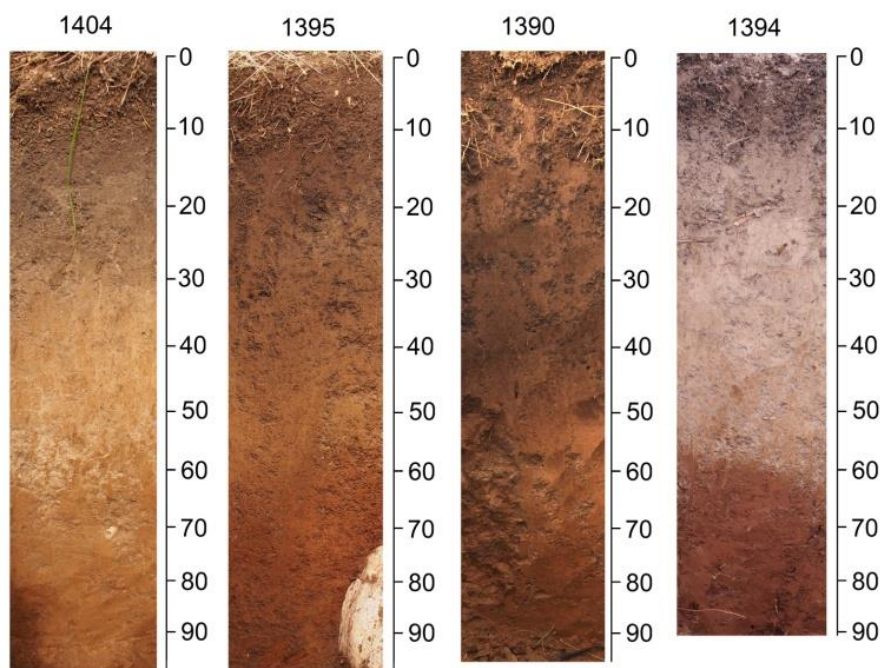


Рисунок 1. Разрезы оподзоленных почв восточных яйл Крыма.

Разрез 1395 заложен в средней части СВ склона ложбины, проходящей вдоль западной оконечности Долгоруковской яйлы. Высота закладки разреза 846 м, координаты –  $44.865306^\circ$  СШ и  $34.3657^\circ$  ВД. Профиль (рис. 1) состоял из темно-серого, почти черного, рыхлого, комковато-порошистого, легкоглинистого горизонта АН, серовато-бурого, рыхлого, зернисто-мелкоореховатого с кремнеземистой присыпкой по граням агрегатов, легкоглинистого АВел и бурого, плотного, мелкоореховатого с глинистыми кутанами по граням агрегатов, среднеглинистого ВТ.

Разрез 1390 приурочен к нижней части ЮЗ склона карстовой воронки на Караби-яйле. Высота закладки разреза 926 м, координаты –  $44.880517^\circ$  СШ и  $34.509397^\circ$  ВД. В его профиле (рис. 1) выделены темно-серый, ближе к черному, рыхлый, комковато-зернистый, легкоглинистый гор. АН, буровато-серый, осветленный кремнеземистой присыпкой, комковатый, легкоглинистый АВел и бурый, очень плотный, ореховато-глыбистый, легкоглинистый ВТ, переходящий в очень плотную почвообразующую породу.

Описанные выше горно-луговые оподзоленные почвы, судя по морфологическому строению их профилей, можно считать аналогами черноземов оподзоленных (черноземов глинисто-иллювиальных [3] лесостепи), но с более выраженной дифференциацией профиля, когда глинисто-иллювиальный горизонт В1 замещается текстурным ВТ. Последнее вполне закономерно, поскольку горно-луговые почвы формируются в более влажных условиях по

сравнению с черноземами. В связи с этим предполагалось, что по аналогии с лесными почвами лесостепи (серыми и темно-серыми) почвы яйл под лесными насаждениями также могут иметь признаки оподзоленности

Почва, близкая по морфологическим признакам к дерново-подзолистой, обнаружена на СВ склоне одной из карстовых воронок Караби-яйлы под пологом полидоминантного лиственного леса. В ее профиле (рис. 1) выделены темно-серый, рыхлый, комковато-порошистый, среднесуглинистый горизонт АН, светло-серый, рыхлый, комковатый, с обильной кремнеземистой присыпкой, тяжелосуглинистый ЕL, буровато-серый, уплотненный, ореховато-комковатый с кремнеземистой присыпкой и затеками гумуса по граням структурных отдельностей, легкоглинистый ВЕL и бурый, очень плотный, вязкий во влажном состоянии, среднесуглинистый ВТ.

Характер профильного распределения ила во всех разрезах горно-луговых почв сходен: плавное снижение количество мелкодисперсной фракции с глубиной до горизонта оподзоливания с последующим резким возрастанием в текстурном горизонте. В горно-лесной почве обезыливание наблюдалось с поверхности, что свидетельствует о совместном влиянии лессиважа и оподзоливания на текстурную дифференциацию профиля (рис. 2).

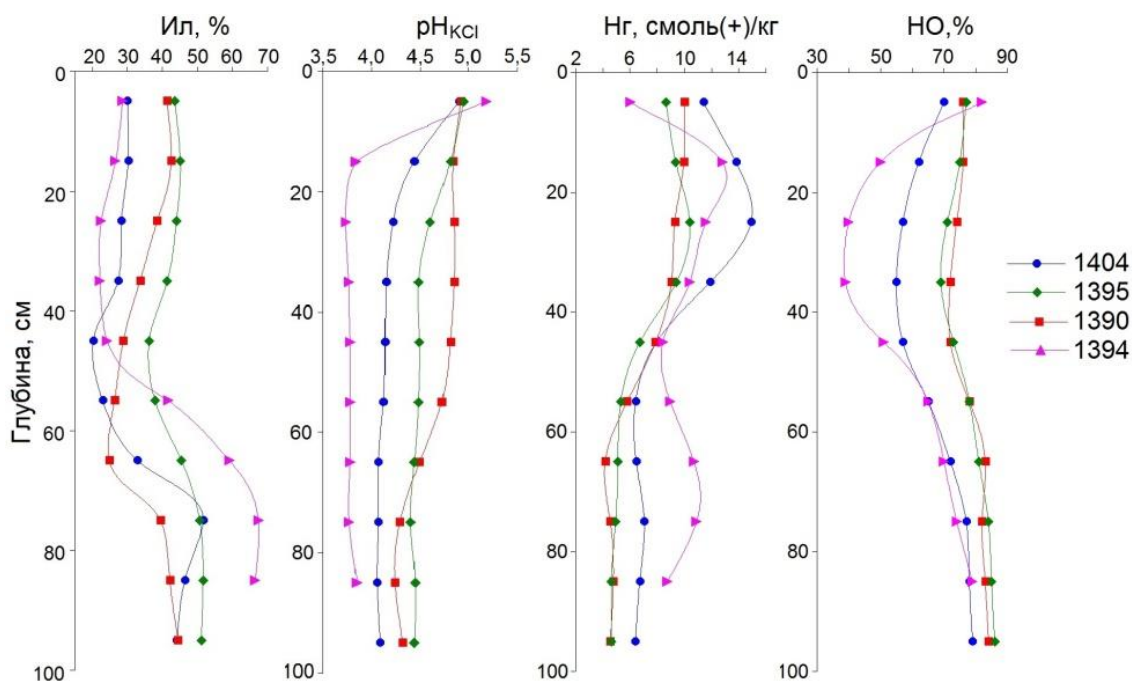


Рисунок 2. Профильное распределение почвенных показателей в оподзоленных почвах крымских яйл.

Значения рН в гумусовых горизонтах луговых почв близки к 5, плавно снижаясь с глубиной до 4,0–4,5. В лесной почве кислотность с глубиной увеличивалась более резко и по всему профилю за пределами горизонта АН величины рН не превышали 3,8 единиц (рис. 2).

Профильное распределение величин Нг существенно отличалось от распределения рН. Как видно на рис. 2, в верхней части профиля Нг луговой почвы 1404 заметно выше, чем в лесной с наибольшей актуальной кислотностью. В горизонтах оподзоливания Нг всех разрезов сближалась, несмотря на сильный разброс рН на этих глубинах.

Ниже горизонтов оподзоливания величины Нг луговых почв продолжали снижаться, а лесной – увеличиваться. Различный характер профильного распределения рН и Нг обусловлен отсутствием достоверной корреляционной связи между этими показателями ( $r = -0,16$ ;  $n = 39$ ), что свидетельствует о влиянии на Нг других факторов, кроме рН. По результатам множественного регрессионного анализа ( $R = 0,84$ ;  $r_{рН} = -0,79$ ;  $r_{Собщ} = 0,84$ ;  $n = 39$ ) таким фактором является органическое вещество, высокое содержание которого в гумусовых горизонтах почв препятствует полному экстрагированию кислотных компонентов раствором нейтральной соли при измерениях рН.



Насыщенность, как комплексный показатель, учитывающий характер профильного распределения обменных оснований и Нг, позволяет объективно оценить степень оподзоленности почв. На рис. 2 видно, что наиболее насыщенными (70–80%) являются луговые почвы 1390 и 1395 со слабовыраженными признаками оподзоленности. Но луговой почвы 1404, в профиле которой оподзоленность выражена сильнее (рис. 1), колебалась от 50 до 70%, а в лесной, с мощным подзолистым горизонтом находилась в пределах 35–90%.

В классификации 1977 г. прямых аналогов горно-луговых оподзоленных почв нет. По примеру близких по морфологии черноземов оподзоленных мы относим их к горно-луговым черноземовидным оподзоленным почвам с разделением на слабо- (разрезы 1390 и 1395) и сильнооподзоленные (разрез 1404) по степени насыщенности основаниями.

Горно-лесная почва по классификации 1977 г. [3, с. 24] соответствует дерново-подзолистой с иллювиальным горизонтом, обогащенным илом, на глинистых породах, которая по мощности гумусового горизонта отнесена к глубокодерновой (более 15 см), а по глубине нижней границы подзолистого горизонта – к глубокоподзолистой (более 30 см). По соотношению дернового и подзолистого горизонтов такая почва относится к сильноподзолистой (EL > AH) [9].

Величины показателей гумусного состояния горно-луговых черноземовидных оподзоленных почв вполне соответствуют неоподзоленным их разностям [6], поскольку все разрезы характеризовались высоким содержанием гумуса, высокими и очень высокими значениями СГОВ [2] и оптической плотности гуминовых кислот, что обеспечивает очень темную, близкую к черной окраску гумусовых горизонтов (табл.). Горно-лесная дерново-подзолистая почва по показателям гумусного состояния уступает горно-луговым, однако существенно превосходит типичные дерново-подзолистые почвы равнин [9].

Таблица. Показатели гумусного состояния и оптические характеристики оподзоленных почв Крымских яйл

Горизонт, глубина, см	С общ	СГОВ	Ес <sup>мг/мл</sup>	R	G	B	Окраска почвенных образцов
	%						
Разрез 1404. Горно-луговая черноземовидная сильнооподзоленная почва нижнего Чатыр-Дага							
AH, 0–10	8,34	27	19	22	15	3	
10–30	4,77	39	25	26	20	5	
AB 30–40	2,39	36	26	54	40	16	
BE <sub>L</sub> , 40–70	0,83	23	18	116	74	28	
BT, 70–100	0,65	7	5	120	75	28	
Разрез 1395. Горно-луговая черноземовидная слабооподзоленная почва Долгоруковской яйлы							
AH, 0–10	8,79	32	18	26	17	4	
10–40	4,82	46	22	30	21	6	
AB <sub>eL</sub> , 40–60	1,49	34	26	71	48	17	
BT, 60–100	0,78	29	11	105	67	26	
Разрез 1390. Горно-луговая черноземовидная слабооподзоленная почва Караби-яйлы							
AH, 0–10	6,88	34	22	27	17	5	
10–50	4,49	46	27	28	20	6	
AB <sub>eL</sub> , 50–70	1,38	45	27	71	51	21	
BT, 70–100	0,65	13	7	123	86	35	
Разрез 1394. Горно-лесная (дерново-подзолистая) почва Караби-яйлы							
AH, 0–10	6,11	25	15	46	31	10	
AEL, 10–20	3,02	27	19	62	44	18	
EL, 20–50	1,15	22	20	95	69	34	
BE <sub>L</sub> , 50–60	0,60	28	5	115	82	40	
BT, 60–90	0,61	–	–	112	72	27	

**Выводы.** Горно-луговые черноземовидные оподзоленные почвы обнаружены и изучены на восточных плато Главной гряды Горного Крыма – нижнем Чатыр-Даге, Долгоруковской и Караби яйлах, где они залегают на склонах ложбин и карстовых воронок.

Горно-лесная дерново-подзолистая почва сформировались на склоне карстовой воронки Караби-яйлы под пологом полидоминантного лиственного леса.

Морфологическим признаком оподзоленности горно-луговых почв является осветленность нижней части гумусового горизонта за счет накопления кремнеземистой присыпки, а горно-лесной – наличие хорошо выраженного подзолистого горизонта EL.

Среди аналитических характеристик оподзоленность подтверждают характер профильного распределения ила, величин гидролитической кислотности и степени насыщенности почв основаниями.

### Литература

1. Антипов-Каратаев И.Н., Прасолов Л.И. Почвы Крымского государственного лесного заповедника и прилегающих территорий. Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева. Л.: Изд. АН СССР, 1932. 280 с.
2. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
4. Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Ускоренные методы определения состава гумуса минеральных почв // Почвоведение. 1961. № 10. С. 75–87.
5. Костенко И.В. Атлас почв Горного Крыма. Київ: Аграрна наука, 2014. 184 с.
6. Костенко И.В., Опанасенко Н.Е. Сравнительная характеристика горно-лесных и горно-луговых почв Долгоруковской яйлы (горный Крым) // Почвоведение. 2020. №7.
7. Кочкин М.А. Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования // Труды Никит. ботан. сада. 1967. Т. 38. 368 с.
8. Плотникова Т.А., Пономарева В.В. Упрощенный вариант метода определения оптической плотности гумусовых веществ с одним светофильтром // Почвоведение. 1967. № 7. С. 73–85.
9. Почвы Московской области и повышение их плодородия. М.: Московский рабочий, 1974. 662 с.
10. Практикум по агрохимии / В.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др.; Под ред. В.А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
11. Справочник по Климату СССР. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. Вып. 10. Украинская ССР. Ч. IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. 696 с.

### PODZOLIZED SOILS OF MOUNTAIN CRIMEA

I.V. Kostenko, M.L. Novitsky

Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta,  
ik\_64@bk.ru

*Summary. The results of the study of podzolized soils formed on the slopes of hollows and karst funnels of the eastern part of the Main Ridge of the Crimean Mountains are presented. It is shown that the main signs of podzolization of mountain-meadow soils are the presence of silica powder in the lower part of the humus horizon, and the presence of a bleached EL horizon in the mountain-forest soil. The profile differentiation by silt, hydrolytic acidity, and saturation with bases confirms the development of the podzolic process in the studied soils.*

*Keywords: mountain plateaus, profile differentiation, humus state.*

УДК 631.471

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ПОЧВЕННОЙ КАРТОГРАФИИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПОЧВОВЕДОВ-АГРОХИМИКОВ

В.И. Кудинова, У.В. Еремина

Научный руководитель: К.А. Шмакова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.

Тимирязева, Москва, [kshmakova@rgau-msha.ru](mailto:kshmakova@rgau-msha.ru)

**Аннотация.** В современном научном обществе происходит всесторонняя цифровая трансформация агропромышленного комплекса (АПК). Безусловно, важным компонентом в становлении этого направления является полноценная, профессиональная подготовка кадров. В связи с этим, в сфере образования произошли значительные изменения, которые способствовали цифровизации многих учебных дисциплин. Ярким примером считается цифровая почвенная картография. В данной работе рассмотрены основные аспекты изучения данной дисциплины студентами почвоведов-агрохимиками.

**Ключевые слова:** почвенная картография, цифровизация, геоинформационные системы, QGIS Desktop.

Почвенное картографирование является важнейшей составной частью информации об окружающей среде и в первую очередь о почве как о главном средстве сельскохозяйственного производства [1].

Первые попытки картографии почв осуществлялись ещё в начале 18 века. Но первая карта-схема почв и грунтов Европейской России была составлена и опубликована в 1851 году академиком К.С. Веселовским на основе анкетных опросных данных землевладельцев [2]. Почвенная картография получила свое развитие благодаря таким ученым как: В.В. Докучаев, В.И. Чаславский, К.Д. Глинка, В.М. Фридланд и многие другие.

Цифровая почвенная картография, достаточно молодое ответвление от классической картографии почв. Она возникла благодаря усилиям международного коллектива почвоведов, программистов, математиков и оформилась как самостоятельное направление в XXI веке и по праву рассматривается как источник инноваций в пространственно-временном анализе почвенного покрова и окружающей среды [1].

На кафедре почвоведения, геологии и ландшафтоведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева дисциплина Цифровая почвенная картография является одной из первых цифровых дисциплин, с которой знакомятся студенты. Она изучается почвоведов-агрохимиками на 2 курсе. В процессе обучения студенты изучают теоретические вопросы картографии почв (понятия почвенной карты и картографии, факторы почвообразования, структура почвенного покрова и т.д.) и знакомятся с работой приложений QGIS Desktop и SAGA GIS. Итогом курса является написание курсовой работы, ее защита и экзамен по дисциплине.

Курсовая работа по дисциплине «Картография почв» для подготовки бакалавров по направлению 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение» предназначена для формирования практических навыков по крупномасштабным почвенным обследованиям [3]. В процессе подготовки курсовой работы студенты на примере полученного задания самостоятельно проводят полный комплекс почвенных работ подготовительного и камерального периодов и готовят комплект выходных документов крупномасштабных почвенных обследований.

Курсовая работа выполняется на основании индивидуального задания включающем:

- учебный топографический план с горизонталями и нанесенными опорными разрезами всех почв, формирующимися в пределах землепользования (размещение почв, характеризующихся опорными разрезами, отражает закономерности строения почвенного покрова на участке);
- опорных разрезов, отражающих состав и закономерности строения почвенного покрова землепользования;
- материалов анализа опорных разрезов.



На основании полученного индивидуального задания, студенты проводят анализ рельефа местности, составляя геоморфологическую карту (рис. 1). Все карты строятся в приложении QGIS Desktop.

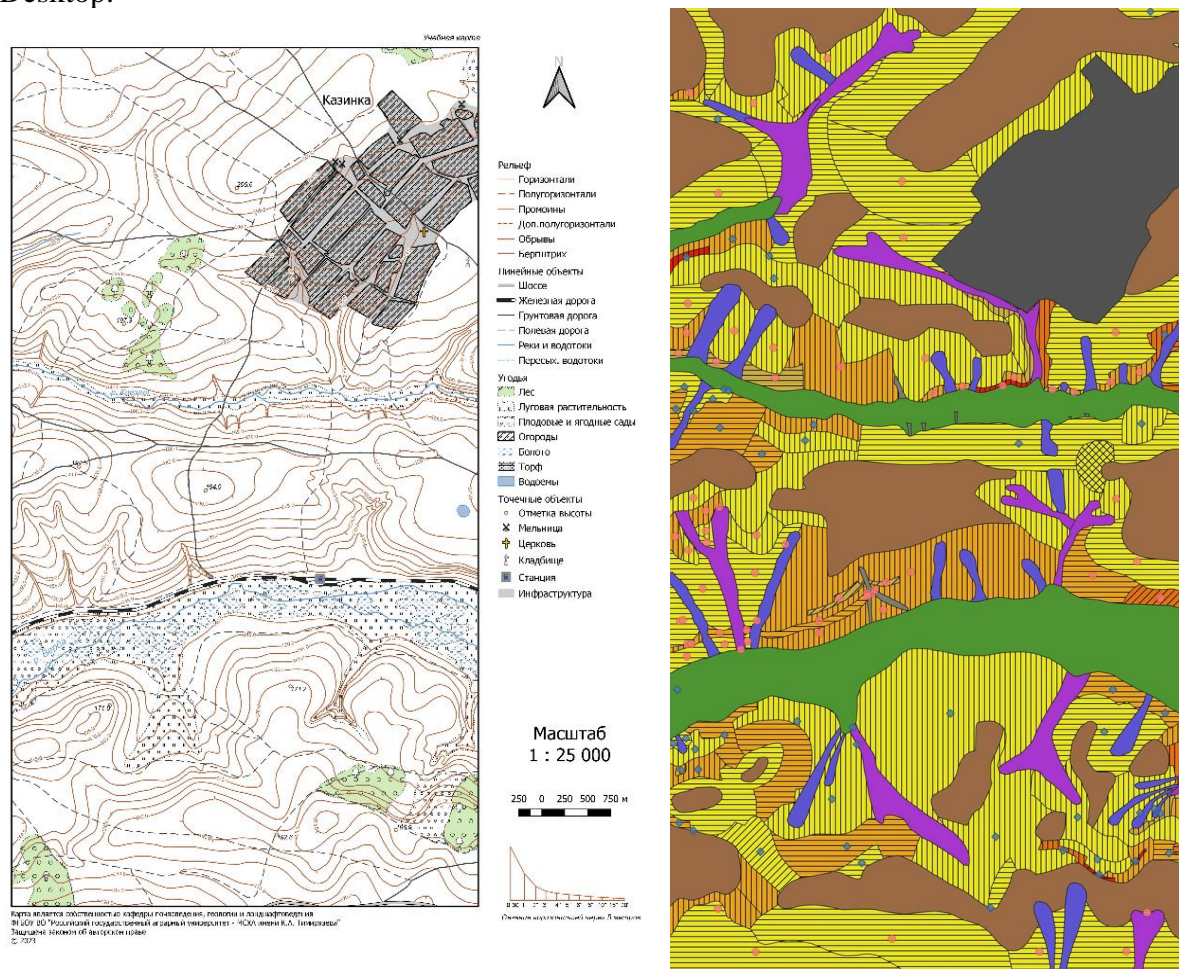


Рисунок 1. Топографическая основа и карта элементов рельефа.

К карте составляется описание с полным анализом рельефа местности. Данная работа позволяет уточнить категорию сложности почвенного обследования при сопоставлении с составом почвенного покрова области задания. Определяются точные территория и площадь почвенных обследований, путем выделения на плане участков сторонних землепользователей и последующего их исключения из общей площади. Также рассчитывается количество разрезов, полуразрезов, прикопок, которое необходимо заложить на участке при заданном масштабе обследования.

По полученным данным студенты могут провести ландшафтный анализ участка и, в соответствии с установленными закономерностями строения почвенного покрова, разместить на участке почвенные выработки. Все эти процедуры позволяют составить почвенную карту (рис. 2).

В завершении оформления работы составляется почвенный очерк, в котором описываются факторы почвообразования, расположение почв по рельефу, закономерности структуры почвенного покрова местности. В качестве прогноза использования участка студентами составляется агроэкологическая группировка и типизация земель. В данном разделе проводится практическая интерпретация выполненных почвенных обследований, проводится их общая сельскохозяйственная оценка и даются рекомендации по их использованию и охране.

Кроме операций в QGIS Desktop у студентов есть возможность проработать построение цифровых картограмм почвенных свойств и агрохимических показателей в программе SAGA GIS. Это задание знакомит с интерполяцией пространственно распределенных данных из точечных значений. На основании полученных результатов студенты могут анализировать и диагностировать содержание гумуса и кислотность почв.





Рисунок 2. Почвенная карта.

**Заключение.** Цифровая почвенная картография – необходимый элемент в обучении высококвалифицированных почвоведов-агрохимиков. По прохождении данной дисциплины студент обладает компетенциями, формирующими его профессиональные качества. Такой специалист способен осуществлять эффективный поиск необходимой информации в области почвоведения и картографии, проводить систематический мониторинг нормативно-правовой базы, может составить почвенную карту или картограмму сопровождая ее отчетом. Но самое главное, что обучающийся владеет навыками проведения ландшафтного анализа территории, определяя уровень плодородия почв, и может рекомендовать их использование для производства растениеводческой продукции.

### Литература

1. Спиридонова, И. Н. История развития картографирования почв / И. Н. Спиридонова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2018. – № 5(18). – С. 84-91. – EDN UWRJIE.
2. Национальный атлас почв Российской Федерации / под ред. С.А. Шобы. М.: АСТРЕЛЬ, 2011. 632 с.
3. Рабочая программа дисциплины Б1.О.26 Картография почв для подготовки бакалавров ФГОС ВО Разработчики Минаев Н.В., Чинилин А.В., Москва – 2021, 35 с.

## THE USE OF DIGITAL SOIL CARTOGRAPHY METHODS IN THE PROCESS OF TEACHING STUDENTS OF SOIL SCIENTISTS-AGROCHEMISTS

V.I. Kudinova, U.V. Eremina

Scientific supervisor: K.A. Shmakova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, kshmakova@rgau-msha.ru

*Summary. A comprehensive digital transformation of the agro-industrial complex (AIC) is taking place in the modern scientific society. Of course, an important component in the formation of this direction is a full-fledged, professional training of personnel. In this regard, significant changes have taken place in the field of education, which have contributed to the digitalization of many academic*

*disciplines. A striking example is digital soil cartography. In this paper, the main aspects of the study of this discipline by soil science students-agrochemists are considered.*

*Keywords: soil cartography, digitalization, geoinformation systems, QGIS Desktop.*

УДК 631.48

## СЛЕДЫ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧВАХ И ОТЛОЖЕНИЯХ ОАН «СТОЯНКА «МАЛЬТА-МОСТ - 3» (ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

С.Л. Куклина, Г.А. Воробьева, Н.А. Кокорин

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, [kukl\\_swet@mail.ru](mailto:kukl_swet@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены наиболее распространенные криогенные структуры, обнаруженные в почвах и отложениях ОАН «Стоянка «Мальта-Мост-3». Они образованы, в основном, в сартанское время в результате трещинообразования, пучения грунтов, инволюции и солифлюкции. Активному проявлению этих процессов способствовал тяжелый гранулометрический состав почв и отложений.

**Ключевые слова:** криогенез, трещинообразование, солифлюкция, инволюции, сартанское время.

Объект археологического наследия (ОАН) «Стоянка «Мальта-Мост-3», открыт археологами Иркутского государственного университета в 2015 году при исследовательских работах на территории проектируемой трассы автодороги Р-255 «Сибирь» (участок 1797–1842 км). Объект расположен в Усольском районе Иркутской области в 500 метрах от г. Усолье-Сибирское в северо-западном направлении на территории водораздельной поверхности между реками Белой и Мальтинкой на слабонаклонном склоне с относительными отметками 35–38 м от уреза р. Белой.

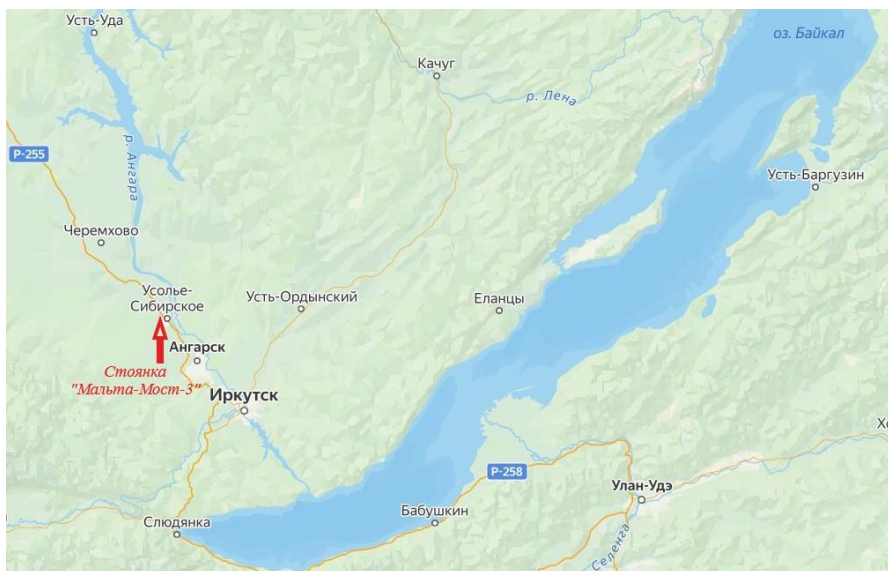


Рисунок 1. Место нахождения ОАН «Стоянка «Мальта-Мост 3».

В результате охранно-спасательных археологических работ общая площадь раскопок составила 211583 кв. м, с глубиной шурфов от 2,0 до 3,5 м. Большие площади вскрытых отложений способствовали выявлению различных форм и видов криогенных процессов, которые зачастую, в обычных почвенных разрезах вскрываются частично, либо остаются за их пределами.

На территории, где расположен ОАН «Стоянка «Мальта-Мост-3», наблюдается широкая амплитуда колебаний теплообеспеченности и увлажненности в течение года, наличие сезонной и островной многолетней мерзлоты. Глубокое сезонное промерзание грунтов в условиях резко континентального климата Иркутской области стимулируют развитие многих



криогенных процессов и проявление сопутствующих им образований. Например, в почвах региона активно развиваются современные сезонные криогенные процессы, криогенные процессы, связанные с существующей (функционирующей) многолетней мерзлотой и процессы, связанные с реликтовыми криогенными и посткриогенными структурами и явлениями. Для них свойственны неравномерная локализация на местности, активное проявление в современную эпоху, необратимость и дискретность развития [1].

В результате морфогенетических исследований были выявлены разные формы проявлений таких криогенных процессов как трещинообразование, пучение грунтов, инволюция и солифлюкция. Разнообразие процессов и их значительная морфологическая выраженность обусловлены, в том числе, тяжелым гранулометрическим составом отложений.

Криогенные трещины во вскрытых траншеях повторяются каждые 6–8 метров и вложены, в отложения голоценового (до 11,7 т. л. н.), сартанского (11,7–28 т. л. н.) и позднекаргинского (28–30 тыс. л. н.) возраста. Уровень заложения крупных морозобойных клиньев – кровля сартанских отложений (возраст криогенеза 12,9–11,7 тыс. л. н.). Помимо крупных морозобойных клиньев, чуть реже обнаруживаются более мелкие клинья, сформированные в голоценовое время.

Для примера, на рисунке 2А, приведено строение криогенной трещины 3-х генераций. Самая древняя генерация позднесартанского возраста имеет ширину 3,2 м и глубину 3,0 м. По краям трещины отмечаются инволюции, с левой части трещины они более выражены. Уровень заложения самого крупного клина – 60–80 см от дневной поверхности и приходится на горизонт  $S_{ca}$  современной агросерой метаморфической почвы. Вторая генерация трещины заполнена отложениями раннеголоценового возраста (горизонт  $VM_2$ ) имеет меньшие размеры – 1,3 м в ширину с глубиной 1,6 м и уровнем заложения 46 см. Трещины третьей генерации имеет ширину 80 см и глубину 1 м, заложена с глубины 30 см в среднеголоценовых отложениях (под горизонтом Р).

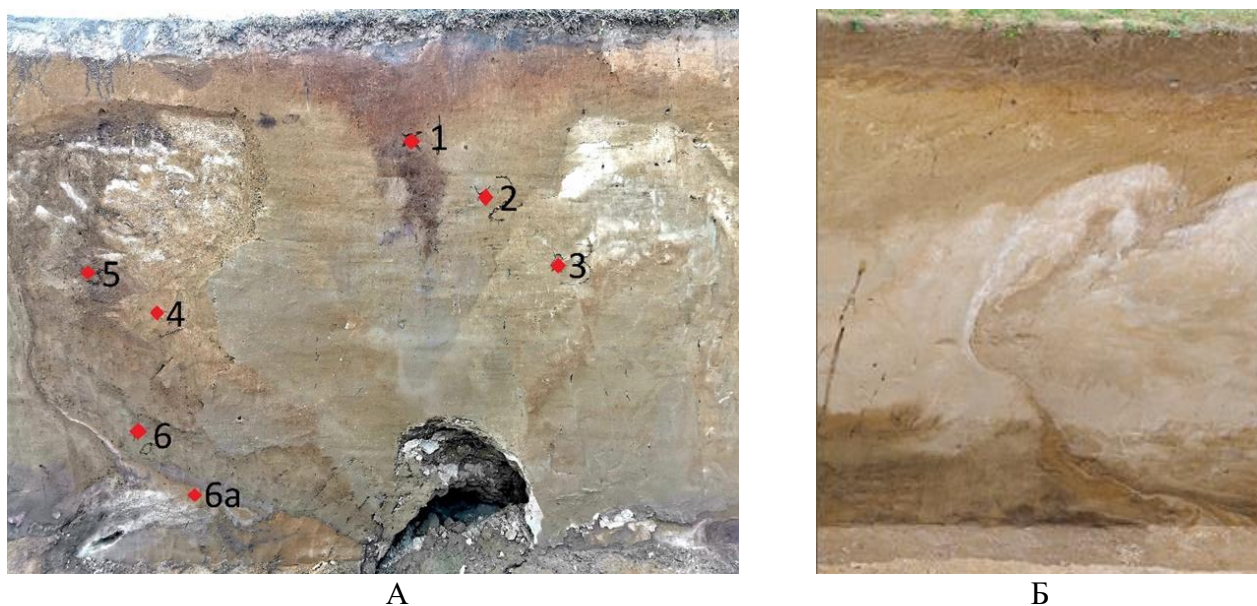


Рисунок 2. Криогенные структуры на ОАН «Стоянка «Мальта-Мост 3». 2А – криогенная трещина 3-х генераций, 2Б – «закрывающаяся» криогенная трещина.

Условные обозначения: 1 – трещина среднеголоценового возраста, 2 – трещина раннеголоценового возраста, 3 – трещина позднесартанского возраста, 4 – инволюции средне- и раннесартанских отложений, 5 – инволюции каргинской почвы, 6, 6а – инволюции негумусированных, возможно, сартанских отложений.

Генезис представленной трещины показывает, что образование морозобойных клиньев в позднесартанское время спровоцировало криогенное трещинообразование в местах их нахождения и при кратковременных похолоданиях в голоценовое время. Так как крупные клиновидные структуры являются коллекторами влаги, что ведет к дальнейшей активизации криогенных процессов. Инволюции каргинских, средне- и раннесартанских отложений в

результате их выжимания вверх и вбок по морозобойным клиньям указывают на движение криогенных блоков относительно друг друга

Во вскрытых отложениях встречаются своеобразные структуры в виде «закрывшихся» криогенных трещин (рис. 2, Б). Судя по выдавленному из них материалу, закрытие происходило, вероятнее всего, в позднесартанское время.

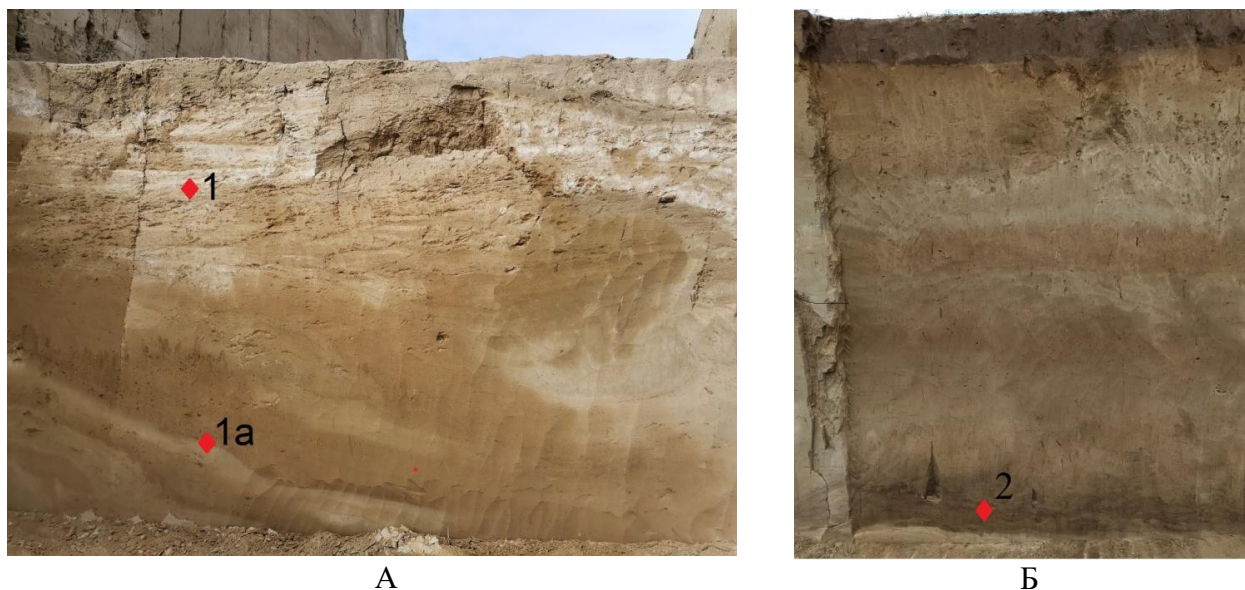


Рисунок 3. Криогенные структуры на ОАН «Стоянка «Мальта-Мост 3». 3А – солифлюцированные слоистые отложения, 3Б – криотурбированные отложения. Условные обозначения: 1 – отложения сартанского возраста, 1а – отложения каргинского возраста, 2 – каргинская почва.

Криогенная слоистая структура (рис. 3, А), часто имеющая полосчатую окраску, где в негумусированные раннесартанские отложения включены фрагменты нижележащих каргинских палеопочв, образовалась в результате вязкого течения оттаявших отложений по мерзлотному подстилающему слою вниз по склону. Ширина солифлюкционной толщи колеблется от 0,3 до 1,0 м и увеличивается к основанию склона. Эти процессы, вероятно, протекали в раннесартанское время (~ 28–25 тыс. л. н.). Тогда на склонах в регионе активно развивались солифлюкционные процессы, на равнинах – криотурбации (рис. 3, Б).

Все рассмотренные криогенные структуры являются реликтовыми, унаследованными от прошлых эпох, но они продолжают влиять на современное почвообразование. Так, например, криогенное трещинообразование в позднесартанское время способствовало формированию бугристо-западного рельефа, который создает микрокомбинации современного почвенного покрова.

### Литература

1. Воробьева Г. А. Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции: Учебное пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 149 с.

### VESTIGES OF CRYOGENIC PROCESSES IN SOILS AND SEDIMENTS OBJECT OF ARCHAEOLOGICAL HERITAGE «STOYANKA «MALTA-MOST - 3» (SOUTHERN BAIKALIE)

S.L. Kuklina, G.A. Vorobieva, N.A. Kokorin  
Irkutsk State University, Irkutsk, kukl\_swet@mail.ru

*Summary. The most common cryogenic structures found in soils and sediments object of archaeological heritage «Stoyanka «Malta-Most-3» are considered. They were formed mainly in the Sartan time as a result of crack formation, soil heaving, involution and solifluction. The active manifestation of these processes was facilitated by the heavy granulometric composition of soils and sediments.*

*Keywords: cryogenesis, fracturing, solifluction, involutions, Sartan time.*



УДК 631.42

## ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ КРИОЛИТОЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.А. Лигаева<sup>1</sup>, Т.В. Пономарева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, naligaeva@mail.ru

<sup>2</sup>Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, bashkova\_t@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены основные этапы и результаты изучения почвенного покрова криолитозоны Красноярского края. Особое внимание уделяется почвенно-генетическому направлению исследований антропогенно-нарушенных экосистем и состояния почв лесотундры в пределах влияния Норильского промышленного региона. Современные исследования направлены на разработку программы по организации многофакторного состояния экосистем криолитозоны Красноярского края и прогнозирования вероятных последствий деструктивного воздействия и восстановительной динамики трансформированных экосистем севера.

**Ключевые слова:** криолитозона, почва, лесотундра, мерзлота, ландшафт, техногенное воздействие, Красноярский край, Норильский промышленный регион.

Высокая чувствительность экологических систем Арктической зоны к внешним воздействиям, определяют специфику подходов к ее социально-экономическому освоению. В связи с этим, изучение состояния природных и антропогенно-нарушенных ландшафтов становится предметом пристального внимания ученых. В результате многолетних исследований почв криолитозоны в пределах Красноярского края к настоящему времени накоплены определенные фундаментальные сведения. Установлено, что почвенный покров региона, формирующийся в условиях сурового климата, многолетней мерзлоты, особенностей литолого-геоморфологического строения территории и арктических фитоценозов, обладает исключительным своеобразием и уникальностью.

Целью данного исследования явилась актуализация сведений по изученности почвенного покрова криолитозоны Красноярского края.

Регион относится к Полярному поясу Евразийской полярной области, зоне подбуров, грануземов, палевых почв, криоземов, тундровых глеевых и таежных глеевых почв и их комплексов субарктической тундры и лесотундры, почвенной подзоне подбуров, грануземов, криоземов, палевых и таежных глеевых почв субарктической лесотундры, провинции Западно-Путоранской горной вертикально- и экспозиционно-дифференцированных мезокомбинаций подбуров, грануземов, тундровых глеевых и таежных торфянисто-перегнойных высокогумусных неоглеенных почв [1].

Первые сведения о почвах Арктики бассейна Нижней Тунгуски (Туруханский район) с иллювиально-гумусовым горизонтом, располагающимся под подстилкой с характерной кофейно-шоколадной окраской и зернистой структурой описывались в работах Е.Н. Агафоновой (1934), Б.Д. Зайцева (1935), Л.Ф. Каплюк (1962), Б.Ф. Петрова (1939) [2]. Формирование этих почв приурочено к предгорным равнинам на моренных флювиогляциальных отложениях, сложенных дериватами диабазов, состоящих из валунов и гальки, и сверху перекрытых суглинистыми отложениями, под листовенничным редколесьем. Из-за отсутствия гумусового и оподзоленного горизонтов, эти почвы получили название скрытоподзолистых иллювиально-гумусовых тяжелосуглинистых. Исследования почв плато Путорана в 70-80-х годах XX века И.А. Соколовым, позволили выделить новый тип почвы – «грануземы» [3, 4].

Позднее, изучением генетико-географических особенностей грануземов лесотундры Норильской котловины, в долинах рек Тукаланда, Аккит, Хантайка, Нижняя Тунгуска занимался Ершов Ю.И. [5]. Почвы имеют сильноокислую и кислую реакцию среды, ненасыщенный поглощающий комплекс в верхних горизонтах и насыщенный - в нижних. Содержание гумуса в грануземах преимущественно фульватного состава и присутствие в почве оксалаторастворимого железа. Преобладающими почвообразовательными процессами являются современное внутрипочвенное выветривание и коагуляционно-криохемогенная грануляция [6]. В криолитозоне Красноярского края повсеместно развиты криомезоморфные

почвы – подбуры, формирующиеся на хорошо дренированных участках (нагорные и надпойменные террасы) и каменисто-мелкоземистых породах [7]. В результате криогенных процессов в профиле почв возникает комплекс механических деформаций, включающих пучение, криотурбацию, морозобойное растрескивание и криосолифлюкционные деформации. Мерзлотные нарушения явно видны в морфологическом строении почв: образование гумусовых и минеральных клиньев, языков, затеков, наличие мерзлотных трещин и полигональной поверхности почв, а также образование криогенной структуры, имеющей сланцеватую или плитчатую форму [8].

Почвенный и растительный покров криолитозоны Красноярского края в пределах Норильского промышленного региона испытывает воздействие металлургического комбината в форме газово-пылевых выбросов, в состав которых входят медь, никель, кобальт, железо, марганец и сера [9, 10].

Элементный состав почвы в условиях антропогенного воздействия на экосистемы представляет значимый показатель для оценки их экологического состояния.

Изучение пространственного и внутрипрофильного распределения тяжелых металлов (Cu, Ni, Co, Pb) и серы в почвах зоны техногенного влияния «ГМК «Норильский никель» показало, что тяжелые металлы и сера аккумулируются в органогенных и органоминеральных горизонтах почв (преимущественно на глубине 0–5 см) [11].

Распределение элементов по профилю связано с их воздушным путем поступления. Об этом свидетельствует аккумулятивный характер распределения с максимальной концентрацией веществ в надмерзлотном горизонте. Металлы прочно удерживаются в поверхностных органогенных горизонтах с нейтральной и слабокислой реакцией среды. Глеевые процессы способствуют увеличению подвижности соединений железа и связанных с ними тяжелых металлов [12]. Это, в свою очередь, создает угрозу их миграции в водоемы [13]. Загрязнение почв тяжелыми металлами отмечается на расстоянии до 40 км от источника эмиссии [14].

Наиболее интенсивное техногенное воздействие привело к коренному нарушению естественной структуры растительного и почвенного покрова криолитозоны Красноярского края, что вызвало развитие эрозионных процессов и криогенных явлений. В составе органогенных горизонтов почв зоны влияния обнаружены высокие концентрации элементов: Cu, Cd, Ni, Bi, Co, Cu, Mo, Nb, Pb, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Tl, W, Zn, что дает основание относить их к химически-преобразованным [15, 16].

Деграляция растительного покрова приводит к снижению накопления органических веществ в почве, падению интенсивности обмена веществом и энергией между компонентами экосистемы, изменению гидротермического режима, далее к смене типов почв и, как следствие, к увеличению глубины сезонного оттаивания многолетней мерзлоты и общему нарушению устойчивости экосистемы [17, 18].

Несмотря на определенную приспособляемость микроорганизмов к постоянному поступлению агрессивных поллютантов, структурно-функциональные нарушения почв ведут к замедлению круговорота биогенных элементов, а также снижают устойчивость почв к загрязнению [19].

Результаты многолетних исследований экологического состояния почв криолитозоны Красноярского края в зоне влияния зоны техногенного влияния «ГМК «Норильский никель», на основе результатов спутниковых (NDVI) и подспутниковых измерений, показали, что выявленные закономерности обладают определенной устойчивостью во времени. Это позволило выполнить экологическое картографирование почв региона [20].

Изучение состояния ландшафтов в бассейнах рек Енашимо, Панимбы, Норильской и Барги в период с 2000 по 2020 г с применением дистанционных методов позволило выявить в бассейнах рек Енашимо и Норильской увеличение площади нарушенной подстилающей поверхности. В границах бассейна р. Барги отмечена положительная динамика восстановления растительного и почвенного покрова [21].

В настоящее время продолжает активно развиваться почвенно-генетическое направление исследований почв криолитозоны Красноярского края. Особое внимание уделяется изучению гидротермических процессов в почвах в условиях трансформированных экосистем, с

использованием дистанционных данных и численных моделей физических процессов в почвах после природных и техногенных воздействий. На основе результатов исследования физических свойств криогенных почв разработана специализированная программа «ThermalSoil», моделирующая динамику тепломассопереноса и движения фронта растепления в почвах (в слое 0,0–2,0 м) для условий криолитозоны Сибири с учетом многомерного характера структуры почвенного профиля и теплофизических характеристик в почвенных горизонтах, фазовых переходов воды, динамики метеоусловий и потока солнечного излучения. Программа может быть использована для расчета и сравнения динамики полей температуры и фронта растепления (глубины сезонно-талого слоя) в условиях криолитозоны на участках с природными или техногенными нарушениями напочвенного покрова и ненарушенных (фоновых) участках [22]. На основе результатов численного моделирования была выдвинута гипотеза о влиянии изменения режима влагосодержания в нарушенных криогенных почвах на формирование тепловых аномалий поверхности [23]. Исследования направлены на разработку программы по организации многофакторного состояния экосистем криолитозоны Красноярского края и прогнозирования вероятных последствий деструктивного воздействия и восстановительной динамики трансформированных экосистем севера.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.

#### Литература

1. Ершов Ю. И. Почвы Среднесибирского плоскогорья. Ин-т леса им. В. Н. Сукачева Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2004. 85 с.
2. Ершов Ю. И. Генетико-географические особенности грануземов // Почвоведение. – 2021. № 5. С. 529–541.
3. Соколов И.А. Грануземы – таежные недифференцированные почвы на суглинистых отложениях основного состава // Тр. X Междунар. конгр. почвоведов. М.: Наука, 1974. Т. VI. С. 198–204.
4. Соколов И.А. О разнообразии форм гидроморфного неглеевого почвообразования // Почвоведение. 1980. № 2. С. 5–18.
5. Ершов Ю. И. Генетико-географические особенности грануземов // Почвоведение. – 2021. № 5. С. 529–541.
6. Ершов Ю. И. Почвенно-факторные сопряжения в Субарктике Средней Сибири // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове : Сборник материалов VII Международной научной конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ, Томск, 14–19 сентября 2020 года. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. С. 113–116.
7. Пономарева Т. В. Содержание и распределение серы в мерзлотно-таежных почвах плато Путорана // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 3–4. С. 290–293.
8. Ершов Ю.И. Основы теории почвообразования. Красноярск: РИО КГПУ, 1999. 383 с.
9. Корец М. А., Рыжкова В. А., Барталев С. А. Оценка состояния растительного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий с использованием данных ENVISAT MERIS и SPOT Vegetation // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Вып. 3. Т. 2. С. 330–334.
10. Яковлев А. С., Плеханова И. О., Кудряшов С. В., Аймалетдинов Р. А. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании «Норильский никель» // Почвоведение. 2008. № 6. С. 737–750.
11. Пономарева Т. В. Содержание и распределение серы в мерзлотно-таежных почвах плато Путорана // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 3–4. С. 290–293.
12. Яковлев А. С., Плеханова И. О., Кудряшов С. В., Аймалетдинов Р. А. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании "Норильский Никель" // Почвоведение. 2008. № 6. С. 737–750.

13. Базова М. М., Кошевой Д. В. Оценка современного состояния качества вод Норильского промышленного района // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 3(27). С. 49–60.
14. Шапченкова О.А., Ершов Ю.И., Цуканов А.А. Тяжелые металлы и сера в почвах техногенных ландшафтов Севера средней Сибири // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием (в четырех томах), Барнаул, 28 августа – 01 сентября 2017 года. Том III. – Барнаул: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, 2017. С. 115–118.
15. Пономарева Т. В., Удачин В. Н., Шишкин А. С. Особенности элементного состава криогенных почв Севера средней Сибири в условиях длительного техногенного воздействия // Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны : Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции, Белгород, 15–22 августа 2016 года / Ответственные редакторы: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. Том Часть II. – Белгород: Издательский дом "Белгород", 2016. С. 353–354.
16. Ершов Ю. И. Эколого-геохимическая оценка мерзлотных почв Среднесибирского плоскогорья // Сибирский экологический журнал. 2014. Т. 21, № 6. С. 975–986
17. Богородская А.В., Пономарева Т.В., Шапченкова О.А., Шишкин А.С. Оценка состояния микробных комплексов почв лесотундровой зоны в условиях аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 2012. № 5. С. 582–593.
18. Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В. Биогеохимическая оценка лесных экосистем в зоне влияния Норильского промышленного комплекса // Сибирский экологический журнал. – 2014. № 6. С. 933–944.
19. Юркевич Н. В., Ельцов И. Н., Гуреев В. Н., Мазов Н.А., А.В. Еделев Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 12. С. 230–249.
20. Евдокимова М. В., Глазунов Г. П., Яковлев А. С., Плеханова И.О., Аймалетдинов Р.А., Шестакова М.В. Оценка экологического состояния земель, загрязнённых комплексом тяжёлых металлов, в окрестностях города Норильска за период с 2004 по 2019 г. по материалам NDVI MODIS с сервера Vega-Science // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 149–165.
21. Краснощеков К. В., Дергунов А.В., Пономарева Т. В., Геопространственный анализ техногенно-нарушенных экосистем Средней Сибири по спутниковым данным в ИК-диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 3. С. 203–216.
22. Финников К.А., Литвинцев К.Ю., Пономарева Т.В., Сентябов А.В. «ThermalSoil», свидетельство №2021681690, 24.12.2021 г.
23. Ponomareva T. V., Litvintsev K. Yu., Finnikov, K. A., Yakimov N. D., Sentyabov A. V. and Ponomarev E. I. Soil Temperature in Disturbed Ecosystems of Central Siberia: Remote Sensing Data and Numerical Simulation // Forests. 2021 (12). 994. <https://doi.org/10.3390/f12080994>.

SOIL COVER OF THE CRYOLITHOZONE OF THE KRASNOYARSK REGION: STATUS  
AND PROSPECTS OF RESEARCH  
N.F. Ligaeva<sup>1</sup>, T.V. Ponomareva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal University, [naligaeva@mail.ru](mailto:naligaeva@mail.ru)

<sup>2</sup>Krasnoyarsk Science Center SB RAS, [Krasnoyarsk\\_bashkova\\_t@mail.ru](mailto:Krasnoyarsk_bashkova_t@mail.ru)

*Summary. The main stages and results of studying the soil cover of the permafrost zone of the Krasnoyarsk Territory are considered. Particular attention is paid to the soil-genetic direction of the studies of anthropogenically disturbed ecosystems and the state of the forest-tundra soils within the influence of the Norilsk industrial region. Modern research is aimed at developing a program for organizing the multifactorial state of ecosystems in the permafrost zone of the Krasnoyarsk Territory*



and predicting the likely consequences of the destructive impact and regenerative dynamics of the transformed ecosystems of the north.

**Keywords:** cryolithozone, soil, forest-tundra, permafrost, landscape, anthropogenic impact, Krasnoyarsk region, Norilsk industrial region.

УДК 631.4

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ И ОСНОВНЫЕ СТАБИЛИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Н.А. Мартынова, Ю.А. Гадалина

Иркутский государственный университет, Иркутск, [natamart-irk@yandex.ru](mailto:natamart-irk@yandex.ru)

**Аннотация.** Почвы и биогеоценозы районов исследования отличаются большим разнообразием, что связано с климатическими особенностями территорий, горным или холмисто-увалистым рельефом, высотной поясностью и экспозицией, выходом различных почвообразующих пород. Высокий уровень потенциала экологической устойчивости исследованных почв обусловлен высокой степенью гумуссированности, высокой ЕКО, средне- и тяжело-суглинистым составом мелкозема, его карбонатностью, промывным режимом почв.

**Ключевые слова:** Прибайкалье, потенциальная экологическая устойчивость почв.

Актуальность проведения данного исследования обусловлена ухудшением экологической ситуации на территории Байкальской Сибири и необходимостью принятия мер по нейтрализации негативного воздействия на почвенный покров, проведения мониторинга экологической ситуации и оценки потенциала экологической устойчивости почв.

Объектами исследования послужили почвы разных районов и различных биоценозов Байкальской Сибири: Тункинской долины республики Бурятия; Южного Прибайкалья в окрестностях пос. Листвянка и г. Иркутска; среднего Приангарья в окрестностях пос. Балаганск Иркутской области (рис. 1, 2).

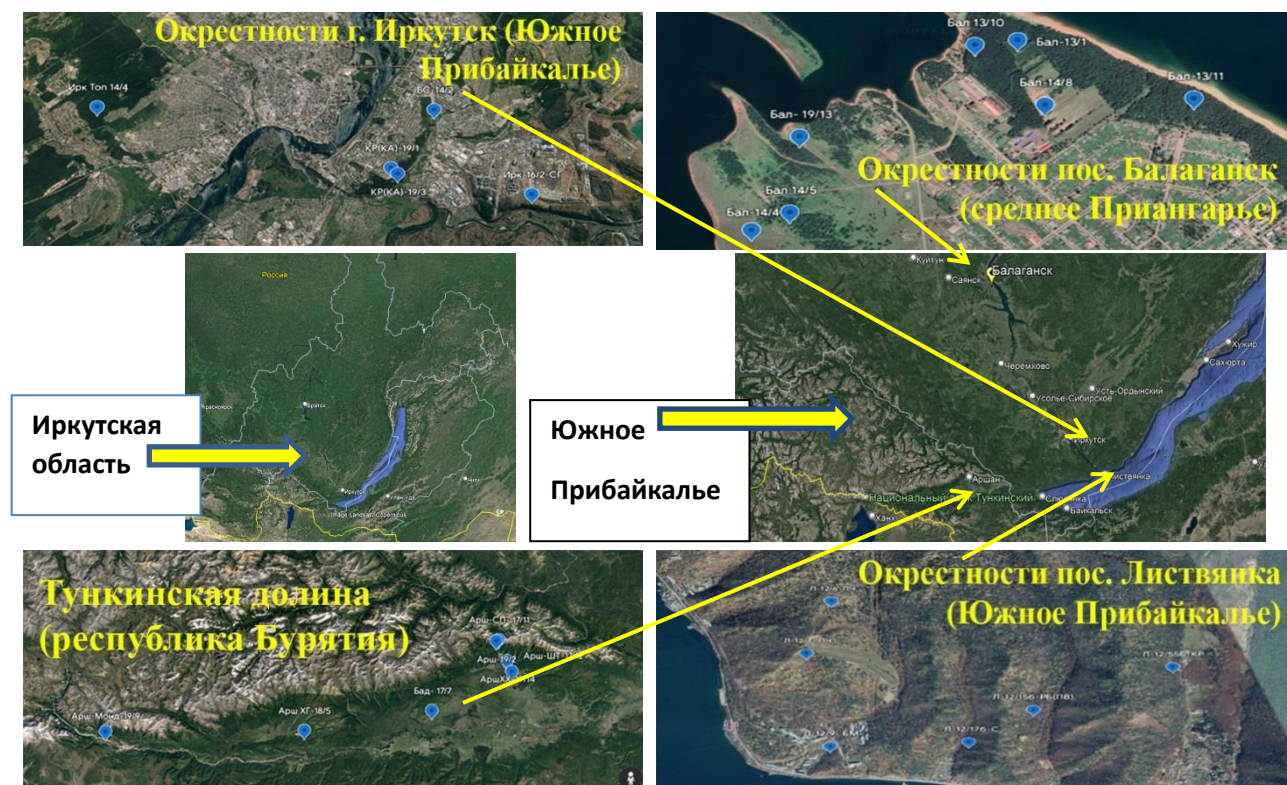


Рисунок 1. Расположение точек обследования по исследованным районам.



Экологическая устойчивость почв определяется их положением в ландшафте, крутизной склонов, характером почвообразующих пород, их выветрелостью, минералогическим, химическим и гранулометрическим составом, запасами гумуса, мощностью гумусовой толщи, и характером водного режима.



Рисунок 2. Исследованные типы почв по районам: а – Тункинская долина (Бурятия); Иркутская область, окрестности - б – пос. Листвянка; в – г. Иркутска; г – пос. Балаганска.



*Потенциальная устойчивость почв*, по обобщенному мнению многих авторов, – это свойство почвы сохранять свое нормальное функционирование и структуру, противостоять различным внешним воздействиям и возвращаться после них в исходное состояние. Выделяют 3 вида устойчивости природных экосистем, в основе которых лежат механизмы саморегулирования и самоорганизации: *структурно-статическая*, *функционально-динамическая* устойчивость и *буферность*.

*Потенциальная экологическая устойчивость почв* определяется на основе суммарной балльной оценки различных индикаторных свойств почв и элементарных ландшафтов, характеризующих: 1) способность почв противостоять негативным воздействиям и сохранять свои биосферные функции или *экологическую «упругость» почв* (запасы гумуса в 20 см, гранулометрический состав, кислотность, емкость катионного обмена (ЕКО), характер почвообразующих породы); 2) определяющих способность почв к восстановлению после нарушения через «сбрасывание» негативных воздействий или *экологическую «эластичность» почв* (водный режим; крутизна склона, положение в ландшафте и др.)

Для оценки потенциала экологической устойчивости почв мы использовали 8 индикаторных показателей свойств почв и ландшафтов: почвообразующие породы, кислотность ( $pH_{H_2O}$ ), гранулометрический состав, ЕКО (мг-экв/100 г), запасы гумуса в 20 см слое (т/га), водный режим, положение в ландшафте, крутизна склона. Влияние каждого из показателей оценивалось в рейтинговых баллах (от 1 до 5).

Условно рейтинговая шкала по сумме баллов была нами разделена на 7 категорий устойчивости почв: 36–40 баллов – почвы с очень высокой потенциальной устойчивостью; 31–35 баллов – почвы с высокой потенциальной устойчивостью; – 26–30 баллов – почвы со средней потенциальной устойчивостью; 21–25 баллов – почвы потенциально относительно устойчивые; 15–20 баллов – почвы слабой устойчивости; 10–15 баллов – почвы очень слабой устойчивости; < 10 баллов – почвы деградируемые.

Почвенный покров Тункинской долины довольно разнообразен. В котловинах формируются почвенно-растительные пояса с различными типами почв за счет вертикальной зональности. Дерново-подбуры располагаются на песчаных массивах под хвойной растительностью. Под долинными еловыми лесами формируются серогумусовые остаточнокarbonатные почвы. Буроземы и серые метаморфические почвы встречаются на горных склонах с покровом лессовидных карбонатных суглинков. На остепненных пологих равнинах и террасах рек подгорного шлейфа встречаются черноземы и (агро)черноземовидные почвы. В долинах рек распространены серо- и темногумусовые омергеленные квазиглеевые и аллювиальные серогумусовые почвы.

Исследованные типы почв Тункинской долины можно охарактеризовать по бально-рейтинговой шкале потенциальной экологической устойчивости как средне и высоко устойчивые. Это связано с распространением здесь выветрелых карбонатных пород, выходом минеральных источников, подщелачивающих грунтовые воды, что способствует процессам гумусонакопления. Потенциал устойчивости почв повышается также за счет их промывного режима, относительно высокого содержания гумуса, средней до высокой емкости катионного обмена, средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава.

Основные закономерности в распространении почв на склонах Приморского хребта в окрестностях пос. Ливствянка на берегу оз. Байкал связаны со строением поверхности, положением хребтов, экспозицией и крутизной склонов, относительным переносом воздушных масс солнечной инсоляцией и др. Водораздельные пространства, как правило, заняты, таежными биоценозами с дерново-подбурами и дерново-подзолами, дерново-подзолистыми и серогумусовыми почвами. В нижнем ярусе горно-таежного пояса распространены буроземы, серо- и темногумусовые, порой глееватые почвы. Остепненные склоны южной экспозиции заняты серогумусовыми метаморфизованными, темногумусовыми и, местами, черноземными и черноземовидными почвами.

Почвы окрестностей пос. Ливствянка характеризуются относительно низким потенциалом экологической устойчивости. Это связано с преимущественным распространением элюво-делювия эффузивов кислых почвообразующих пород (гранито-гнейсов, диоритов, сланцев и др.), с высоким углом наклона поверхности рельефа территории, с высокой щебнистостью

почв. За счет этого почвы характеризуются невысокими запасами гумуса, относительным и средним потенциалом их экологической устойчивости к загрязнению и деградации.

Почвенный покров Иркутска и его окрестностей также во многом зависит от рельефа и почвообразующих пород. Дерново-подзолистые почвы распространены в верхних частях склонов на выходах юрских суглинков и песчаников. Вниз по склону они сменяются на серые. К нижним частям склонов юго-западных экспозиций, часто с покровом лессовидных окарбонированных суглинков, в том числе и к высоким надпойменным террасам, приурочены темно-серые и серые метаморфические почвы. На правых бортах долин рек, имеющих большую крутизну, распространены буроземы и серогумусовые почвы. Темно-гумусовые почвы с высоким запасом гумуса приурочены к днищам остепненных падей и террасам рек.

Почвы г. Иркутска, формирующиеся на достаточно крутых склонах, обладают преимущественно средним потенциалом экологической устойчивости к внешним воздействиям, характеризуются невысокими запасами гумуса. На относительно пологих склонах с небольшим углом наклона поверхности формируются почвы с высоким плодородием, которые в совокупности с остаточной карбонатностью лессовидных суглинков создают достаточно высокий уровень их экологической устойчивости.

Наиболее распространёнными почвами в окрестностях пос. Балаганск являются буроземы остаточного-карбонатные, развивающиеся под травянистыми лиственнично-сосново-березовыми лесами на склонах и приводораздельных пространствах увалов на элюво-делювии карбонатных глинистых отложений верхнего кембрия и суглинистых лессовидных - плейстоцен-голоцена. Под сосновыми мохово-мертвопокровными лесами формируются слабо оподзоленные дерново-подзолистые почвы. Под редкостойными разнотравно-злаковыми лесами лесостепных пространств развиваются серые и темно-серые почвы. Для сосново-березовых лесов с хорошим бобово-злаковым разнотравьем, формирующихся на карбонатных породах, характерны серые и темно-серые метаморфические почвы. Черноземы распространены на остепненных древних поверхностях выравнивания пологих склонов юго-западных экспозиций на карбонатном элюво-делювии кембрийских алевролитов, лессов и лессовидных суглинков плейстоцена.

Экологическую устойчивость почвенного покрова поселка Балаганск можно охарактеризовать как средне- и высокоустойчивую. Благодаря остаточной карбонатности лессовых почвообразующих пород и кембрийских алевролитов, их пористости, высокой поглотительной способности и уровня обменных катионов, средне- и тяжелосуглинистого состава мелкозема, они накапливают гумусовые вещества и формируют хорошую структуру, что способствует созданию природных почв с хорошим плодородием и высокими показателями устойчивости и природно-ресурсного потенциала.

На территории окрестностей пос. Листвянка и Тункинской долины почвы преимущественно относительно и средне устойчивы. Почвы окрестностей г. Иркутск и пос. Балаганск более устойчивы к загрязнению и деградации, они обладают преимущественно высоким потенциалом экологической устойчивости.

Весьма значимо повышает экологическую устойчивость почв карбонатность почвообразующих пород или омергеление профиля через: 1) нейтрализацию кислотных продуктов в промывных почвенных растворах, а значит – снижение скорости выветривания; 2) через процессы более быстрой дезинтеграции горных пород и их оглинивание – т.е. формирование поглотительного комплекса почв; 3) через формирование прочных и малорастворимых органоминеральных (гумусо-глинистых) комплексов, способствующих их закреплению и накоплению гумуса.

В горно-долинных ландшафтах Байкальской рифтовой зоны более высокой степенью потенциальной устойчивости характеризуются почвы элювиальных автоморфных позиций и приводораздельных пространств (буроземы и серые метаморфические почвы). Они более устойчивы к техногенным нагрузкам, чем почвы аккумулятивных ландшафтов (темногумусо-глеевые, серогумусовые, серые метаморфизованные, агрочерноземовидные глеевые), куда в конечном счете сносятся и где оседают все загрязняющие вещества. Застой влаги, оглеение способствуют снижению устойчивости почв и аккумуляции загрязняющих веществ. Дерново-



подбуры характеризуются также снижением устойчивости вследствие их подкисления, способствующего разрушению и обеднению почв гумусовыми веществами.

Наибольшей потенциальной экологической устойчивостью на исследованной территории характеризуются темно-серые, и серые метаморфические почвы, а также – черноземы (рис. 3). Несколько меньшей устойчивостью обладают буроземы и серые метаморфические остаточнокarbonатные почвы, в которых карбонатная и глинистая составляющие способствуют формированию и накоплению гумуса, что обеспечивает среднюю до высокой степени устойчивость.

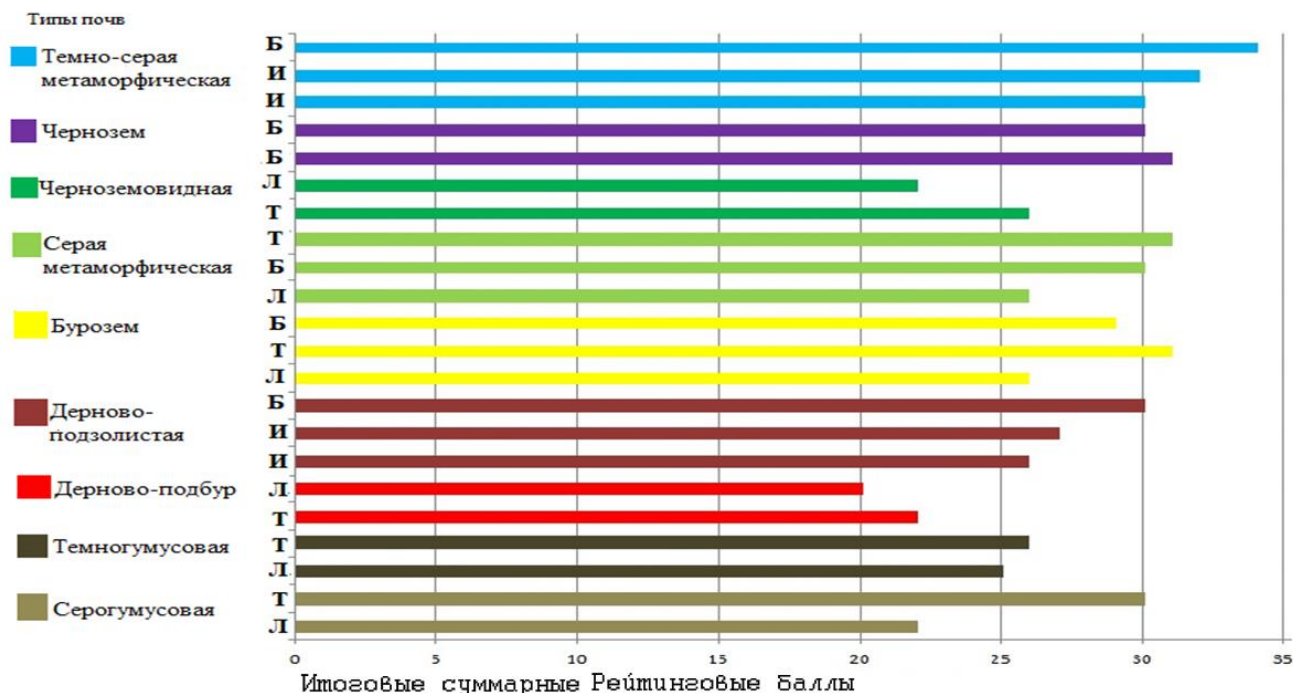


Рисунок 3. Сравнительные рейтинговые баллы потенциальной экологической устойчивости разных типов почв исследуемых районов: Т- Тункинская долина; Л – пос. Листвянка; И – г. Иркутск; Б – пос. Балаганск

Дерново-подзолистые почвы, формируясь в элювиальных позициях рельефа, характеризуются средней экологической устойчивостью. Черноземовидные почвы относительно устойчивы, вероятно, благодаря аккумуляции веществ из-за низинного положения по рельефу и снижения интенсивности промывного режима, а значит, и очищающей способности. Относительной и средней экологической устойчивостью обладают серогумусовые и темногумусовые глееватые и остаточнокarbonатные почвы аккумулятивных ландшафтов, характеризующихся малым содержанием гумуса, невысокой поглотительной способностью, для которых характерен снос и аккумуляция различных загрязняющих веществ. Наименьшая экологическая устойчивость характерна для подбуров, что связано преимущественно с их легким гранулометрическим составом, кислой реакцией среды, малой гумусированностью.

## ECOLOGICAL STABILITY OF SOILS OF BAIKAL SIBERIA AND THE MAIN STABILIZATION MECHANISMS OF THEIR FUNCTIONING

N.A. Martynova, Yu.A. Gadalina

Irkutsk State University, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

*Summary.* The soils and biogeocenoses of the study areas are very diverse, which is due to the climatic features of the territories, mountainous or hilly terrain, altitude zone and exposure, to the outcrops to the surface of various soil-forming rocks. The high level of environmental sustainability potential of the studied soils is due to a high degree of humus content, high ECO, medium and heavy loamy composition of fine-grained, its carbonate content, and the washing regime of soils.

*Keywords:* Baikal region, potential ecological stability of soils.

УДК 631.4

## ВЛИЯНИЕ ЛИТОГЕННОЙ ОСНОВЫ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГЕНЕЗИС ПОЧВ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Н.А. Мартынова<sup>1</sup>, Н.А. Жученко<sup>2</sup>, Д.О. Мартынова<sup>1</sup>, Е.А. Орхокова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, natamart-irk@yandex.ru

<sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, zhna@lin.irk.ru

**Аннотация.** Исследовано влияние на физико-химические свойства почв Прибайкалья литогенной минеральной основы почвообразующих пород Байкальской рифтовой зоны на примере некоторых типов почв и пород Тункинской долины: магматических (вулканических шлаков); метаморфических – (мраморов и гнейсов); осадочных (известняков, лессов и лессовидных суглинков, травертинов, делювиальных и аллювиально-пролювиально-селевых отложений). Особенно сильное влияние литогенной матрицы на свойства почв проявляется на ранних стадиях почвообразования и выветривания пород и для различных групп карбонатных пород, распространенных в Тункинской долине, способствующих затормаживанию процессов выщелачивания и оподзоливания, формированию и накоплению гумусовых веществ, увеличению почвенного плодородия и сохранению биологического разнообразия Тункинского национального парка.

**Ключевые слова:** Тункинская долина, почвообразующие породы, почвы горного Прибайкалья, литогенная основа почв.

Актуальность работы вызвана необходимостью выявления степени влияния (прямого и косвенного) различных почвообразующих пород на особенности и свойств почв, направленность и скорость почвообразовательных процессов, так как вопрос об уровне значимости литологического фактора в современной науке почвоведение остается еще открытым.

Горные породы характеризуются рядом ключевых физико-химических свойств, таких как химический и минералогический состав, пористость и трещиноватость, прочностные, упругие, плотностные, тепловые, магнитные и электрические, и др. свойства, от которых, наряду с климатическими условиями зависит их влияние на процессы почвообразования.

Объектами исследования послужили лесные почвы Тункинской долины республики Бурятия (рис. 1), сформированные на разных почвообразующих породах.

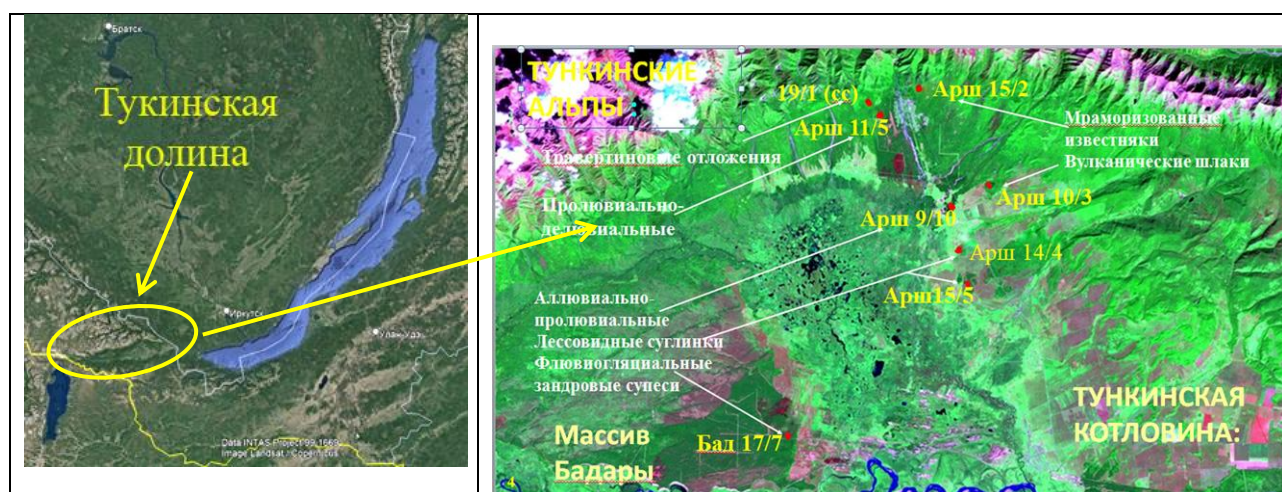


Рисунок 1. Расположение точек обследования Тункинской долины.

Территория Прибайкалья является зоной контакта Сибирской платформы и Саяно-Байкальской горной области, в которой распространены самые разнообразные горные породы возрастом от архея до протерозоя. Тункинская долина (ТД) расположена на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), входит в систему межгорных понижений гор Восточного Саяна и представляет собой кайнозойскую суходольную впадину длиной около 65 км, шириной – до 25 км. В результате геологической катастрофы несколько миллионов лет назад, согласно геологическим данным, вода гигантского озера прорвала перемычку и утекла

в Байкал и из ложа гигантского озера образовалась Тункинская долина. Доказательство этому служат девять вершин вулканов, возвышающихся над равнинным рельефом долины.

Резко континентальный климат Тункинской долины обуславливается расположением территории в глубине материка. Широтная природно-климатическая зональность нарушается горной поясностью. Контрастность климатических условий определяют вертикальная поясность, котловинный эффект, солярная и ветровая экспозиционности склонов. Климат района характеризуется большими суточными и годовыми амплитудами температур, небольшим количеством годовых осадков (300–500 мм на равнинах, до 1000 мм – в горах), господством зимнего сибирского антициклона

Тункинская система впадин сложена главным образом метаморфическими породами докембрия (гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами), прорванными архейскими и протерозойскими интрузиями преимущественно гранитного состава. Во впадинах и долинах рек древние суперкрупные толщи перекрыты кайнозойскими рыхлыми отложениями, а многие платообразные вершины хребтов венчаются покровами кайнозойских базальтов [1, 2]. Кайнозойский осадочный комплекс впадин характеризуется разнообразием литологического состава, резкой фациальной изменчивостью и пестротой генетических типов.

На элювии вулканических шлаков – основных магматических пород, под березово-сосново-лиственничным лесом сформировались литозёмы перегнойные иллювиально-железистые (рис. 2а) с нейтральной реакцией среды, высоким содержанием углерода, суммы обменных оснований в гумусовой толще и резким их снижением вниз по профилю. Почва, обладая высокой пористостью, хорошо аэрируется, подвергаясь процессам интенсивного выветривания, окисления и ожелезнения, проявляющимся в яркой красно-бурой окраске. Профиль характеризуется высокой скелетностью, легко-суглинисто-мелкопесчаным составом мелкозема с облегчением его в нижней части. Интенсивное выветривание основных вулканических пород, богатых первичными минералами, неустойчивыми к выветриванию, обогащает почву элементами питания и создает условия для развития растительности и формированию мощной гумусово-перегнойной толщи почвы.

На покровных лессовидных карбонатных суглинках, подстилаемых вулканическими шлаками вулкана Талая ТД под сосновым лесом сформировались мало гумусированные со слабо кисло-нейтральным профилем остаточно-(средне)-карбонатные буроземы (рис. 2, б). Об интенсивных процессах выветривания и выщелачивания свидетельствуют диаграммы рН, снижения карбонатов кальция вниз по почвенному профилю. Карбонаты, нейтрализуя кислотность при разложении опада, затормаживают процессы оподзоливания. Гранулометрический состав почвы (легкий суглинок крупнопылевато-мелкопесчаный) – обусловлен свойствами почвообразующей породы – лессовидных суглинков флювиогляциально-эолового генезиса. В подстилающей породе, на которую оказывают влияние вулканические шлаки, отмечается отличие в гранулометрическом составе. Лессовидные суглинки в процессе почвообразования и выветривания обогащают почву частицами пылеватой и илистой фракций, что при остаточной их насыщенности карбонатами, пористости, емкости поглощения, и насыщенности катионами, способствует накоплению гумуса и повышению плодородия почв.

Делювиально-пролювиальные отложения верхних частей подгорного шлейфа способствуют формированию под пологом сосново-березово-кедрового леса дерново-подбуров оподзоленных иллювиально-железистых глееватых остаточно карбонатных (рис. 2в) с нейтральной рН, с интенсивно идущими процессами выщелачивания, с высокой биофильностью и насыщенностью обменными катионами дерновых горизонтов. Гранулометрический состав (легко суглинистый мелкопылевато-мелкопесчаный) меняется в нижней части профиля, выявляя смену толщи почвообразующих пород на подстилающую.



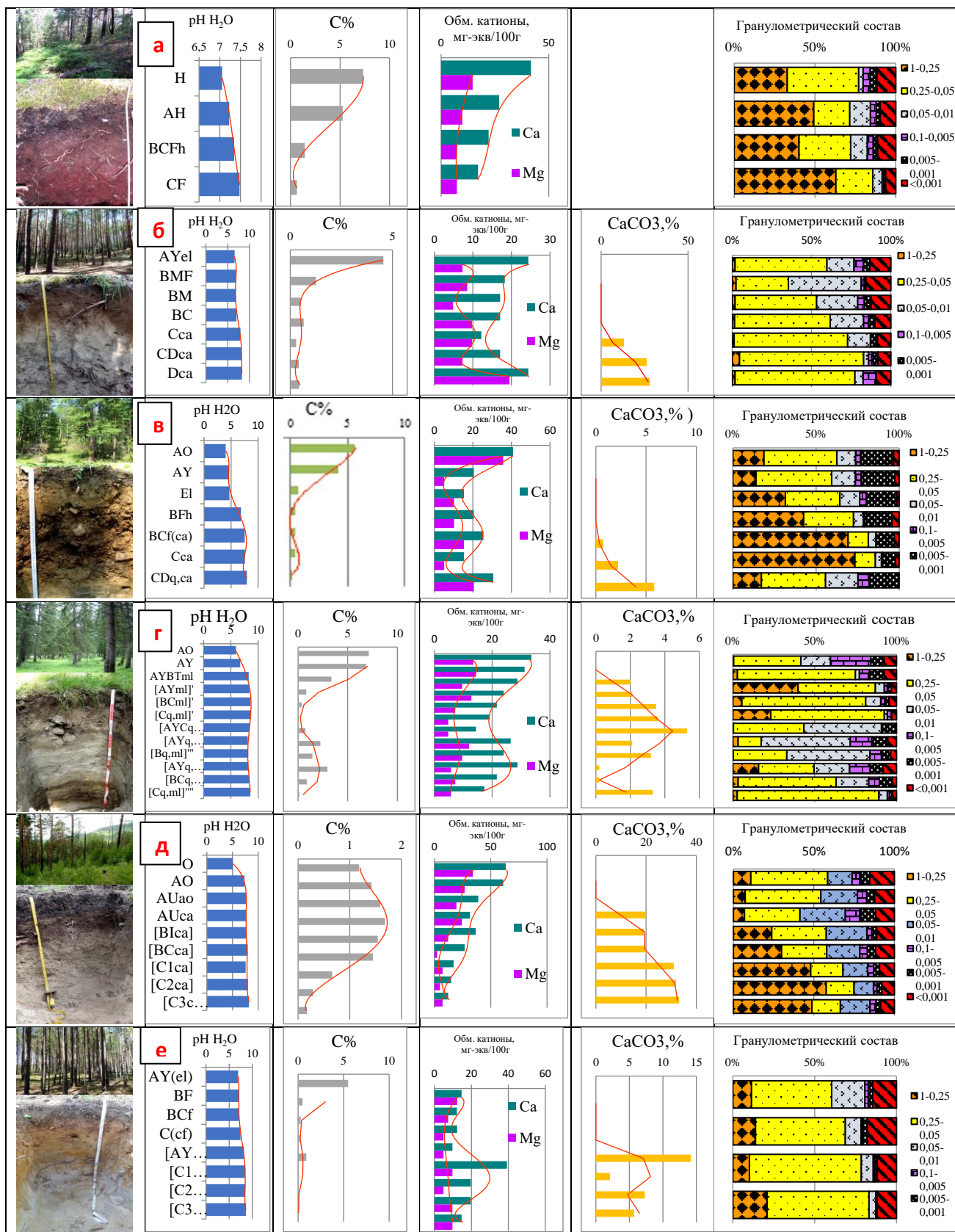


Рисунок 2. Физико-химические свойства исследуемых типов почв Тункинской долины: **а** – Литозём перегнойный иллювиально-железистый (Ар-10/3); **б** – Бурозем остаточно-карбонатный (Арш-15/5); **в** – Подбур оподзоленный иллювиально-железистый глееватый остаточно карбонатный (Арш-11/5); **г** – Серогумусовая грубогумусированная квазиглеевая остаточно-омергеленная (Арш-09/10); **д** – Карболитозем перегнойно-темногумусовый (Арш-15/2); **е** – Дерново-подбур иллювиально-железистый (Бад.17/7).



На флювиогляциальных зандровых омергеленных супесях массива Бадары под березово-лиственнично-сосновым лесом формируются дерново-подбуры иллювиально-железистые (рис. 2, е), характеризующиеся заторможенностью разложения растительных остатков, кислой рН в дерновой толще, переходящей в щелочную вниз по профилю, что связано с процессами омергеления почвообразующих пород щелочными грунтовыми водами. Низкое содержание обменных оснований связано с интенсивным альфегумусовым процессом, обуславливающим их снижение вниз по профилю. Почвы подвергаются промораживанию и криотурбициям, о чем свидетельствуют завихренные прослои погребенных серогумусовых горизонтов.

Гранулометрический состав почвы – супесь крупнопылевато-мелкопесчаная с его некоторым «утяжелением» в верхней части профиля, что обусловлено процессами выветривания и почвообразования, накопления частиц ила и пыли и их частичного переноса в нижележащий гор. ВР. Почва имеет двучленный профиль: погребенная аллювиальная серогумусовая почва отличается от вышележащей толщи более легким грансоставом, что говорит о смене условий осадконакопления синлитогенного почвообразования на постлитогенное. Таким образом, на флювиогляциальных супесчаных остаточных омергеленных отложениях по мере поднятия уровня грунтовых вод и выщелачивания карбонатов под воздействием кислого опада, сформировался почвенный профиль по типу подбура, чему способствовал промывной режим и легкий грансостав.

На аллювиально-пролювиальных отложениях речных долин подгорного шлейфа ТД под «островными» территориями еловых лесов формируются серогумусовые грубогумусированные, квазиглеевые остаточные-омергеленные почвы с погребенными гумусовыми горизонтами (рис. 2, г) нескольких почвенных генераций синлитогенного генезиса тяжелосуглинистого среднепылеватого-мелкопесчаного грансостава, вниз по профилю сменяющегося на более легкий, констатируя смену режимов осадконакопления.

На делювии мраморизованных известняков, распространенных на юго-западном склоне Тункинских Альп под лиственнично-сосновым лесом формируются карболитоземы серогумусовые гумусо-иллювированные остаточные-карбонатные (рис. 2, д) щелочные малогумусные, насыщенные обменными катионами, легкосуглинистые иловато-мелкопесчаные почвы. По мере почвообразования и развития профиля утяжеляется Щелочная среда, скелетность и промывной режим способствует миграции гумусовых веществ и пропитке ими карбонатного мелкозема. Гумусовые пленки на минеральных зернах затормаживают дальнейшее выветривание обломочного материала породы.

Таким образом, почвы, формирующиеся на песчано-супесчаных селевых отложениях, характеризуются слабо развитым или коротким бесструктурным и малогумусным профилем, карбонатной пропиткой, легким гранулометрическим составом с неблагоприятными водно-физическими свойствами, низкой емкостью поглощения и подвержены эрозии.

Долинные почвы, сформированные на аллювиально-пролювиальных, флювиогляциальных зандровых омергеленных и остаточных-карбонатных отложениях, характеризуются варьированием гранулометрического состава от супесчаного до тяжелосуглинистого, нейтральной или щелочной реакцией среды, высоким содержанием обменных катионов, достаточной гумусированностью и наличием погребенных гумусированных прослоев.

Почвы, формирующиеся на вулканических шлаках магматических пород, элюво-делювии гнейсов, подвергаясь интенсивным процессам выветривания, характеризуются выраженным ожелезнением и слабым оглиниванием профиля, нейтральной реакцией среды и накоплением почвенного перегнойного органического вещества.

Почвы, сформированные на различных карбонатных породах Тункинской котловины (мраморовидных известняках, лессах, лессовидных и травертиновых породах), существенно отличаются друг от друга в зависимости от плотности и состава пород, биоклиматической обстановки и времени почвообразования. Их влияние на почвы проявляется в затормаживании процессов выветривания, выщелачивания и оподзоливания. Наибольшим плодородием, гумусностью и поглотительной способностью отличаются почвы, формирующиеся на лессах и лессовых породах, чему способствует утяжеление их гранулометрического состава при выветривании и почвообразовании, остаточная карбонатность или омергеленность профиля и

образование, закрепление и накопление глинистыми минералами гумусовых веществ в виде гуматов Са и глино-гумусовых комплексов.

Особенно сильное влияние литогенной матрицы на свойства почв проявляется на ранних стадиях почвообразования и выветривания пород и для различных групп карбонатных пород, распространенных в Тункинской долине. Сложное геологическое строение района с большим разнообразием пород способствует развитию высокой комплексности и мозаичности почвенного покрова, формированию почвенного разнообразия, что, в свою очередь, способствует сохранению биологического разнообразия Тункинского национального парка.

#### Литература

1. Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Ред. В. П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1981. 169 с.
2. Михеев В. С., Ряшин В. А. Ландшафты юга Восточной Сибири: Карта м-ба 1:1 500 000. М.: ГУГК, 1977. 4 л.

### THE INFLUENCE OF THE LITHOGENIC BASIS OF SOIL-FORMING ROCKS ON THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND GENESIS OF SOILS OF BAIKAL REGION

N.A. Martynova<sup>1</sup>, N.A. Zhuchenko<sup>2</sup>, D.O. Martynova<sup>1</sup>, E.A. Orhokova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRKUT State University, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

<sup>2</sup>Limnological Institute of SB RAS, Irkutsk, zhna@lin.irk.ru

*Summary. The influence of the lithogenic mineral components of soil-forming rocks of Baikal rift zone on the soil's physico-chemical properties of the Baikal region have been studied on the example of some types of soils and rocks of the Tunka Valley: igneous (volcanic slags); metamorphic (marbles and gneiss); sedimentary (limestones, loess and loess-like loams, travertines, deluvial and alluvial-proluvial-mudflow deposits.). A particularly strong influence of the lithogenic matrix of rocks on soil properties had been identified in the early stages of soil formation and rocks' weathering and for various groups of carbonate rocks, common in Tunka Valley, which are contributing to inhibition of leaching and podzaling processes, to formation and accumulation of humus substances, to increasing of soil fertility and to preserving of the biological diversity of Tunka National Park.*

*Keywords: Tunka valley, soil-forming rocks, soils of mountain-valley Baikal region, lithogenic matrix of soils.*

УДК 631.4

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНЫ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЕМОДЕСТРУКЦИОННОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Н.А. Мартынова, А.Д. Ливанова

Иркутский государственный университет, Иркутск, [natamart-irk@yandex.ru](mailto:natamart-irk@yandex.ru)

**Аннотация.** *Исследованы физико-химические свойства и гумусное состояние различных типов горно-долинных почв Тункинской котловины юго-западного Прибайкалья Байкальской рифтовой зоны. Проведен анализ легко-, средне- и трудноокисляемых фракций почвенного органического вещества, полученных методом хемодеструкционного фракционирования. Выявлено влияние на показатели гумусного состояния и плодородия различных свойств почв и условий регионального почвообразования. Гумусное состояние исследуемых почв характеризуется преобладанием легкоокисляемых фракций в составе гумуса современных дневных почв и погребенных гумусовых горизонтов, однако в погребенных толщах почв возрастает доля средне- и сильно-окисляемых фракций гумуса, что может быть обусловлено остаточным накоплением более устойчивых к разложению глино-гумусовых комплексов, а также – другими условиями климатическими условиями гумусообразования.*

**Ключевые слова:** *почвенное органическое вещество, состав гумуса, хемодеструкционное фракционирование гумуса, Тункинская долина, Байкальская рифтовая зона.*

Одной из наиболее актуальных задач в почвоведении сегодня является разработка наиболее адекватных методов и подходов исследования и оценки почвенных органических веществ (ПОВ) и их влияния на гумусное и экологическое состояние разных типов почв. Изучению свойств гумуса и процессов биогеохимического круговорота углерода сегодня уделяется особо пристальное внимание, т.к. гумусовым веществам почвы принадлежит одна из ведущих ролей в регулировании глобального цикла углерода в биосфере.

Было проведено исследование гумусного состояния разных типов горно-долинных почв Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) на примере Тункинской котловины с использованием метода хемодеструкционного фракционирования [3]. Данный метод, основанный на определении компонентов ПОВ с разной устойчивостью к окислителю (бихромату калия  $K_2Cr_2O_7$  с разной концентрацией серной кислоты), позволяет определить легко-, средне- и трудно-окисляемые пулы почвенного гумуса и охарактеризовать качественный состав ПОВ.

Тункинская рифтовая долина БРЗ, состоящая из 6 котловин (рис. 1), окруженных с севера Тункинскими гольцами и с юга хребтом Хамар-Дабан, подвергалась горно-долинному оледенению с максимумом в сартанское время плейстоцена (среднего и позднего). Геологическое строение Тункинской долины достаточно разнообразно и разновозрастно с преобладанием пород докембрия и палеозоя. В котловинах, начиная с 70000 лет назад, накапливались осадки песчаного, валунно-галечного и покровного лессовидного комплексов.

Для территории исследования характерны резкая континентальность климата. Расчлененность рельефа обуславливает неравномерность распределения не только температуры, но и осадков (среднегодовое количество которых варьирует от 15,9° до 16,5°С и от 365 до 511 мм соответственно), большие амплитуды сезонных и суточных колебаний температуры воздуха, преобладание летних осадков, продолжительный морозный период, относительно высокую увлажненность, небольшой безморозный период (94–104 дня).

Важным показателем оценки гумусного состояния почв является углерод-секвестрирующая емкость почвы (*Carbon Protection Capacity*, CPC) или ее углероддепонирующий потенциал (количество стабилизированного и защищенного от разложения органического вещества в почве), характеризующий способность почвы переводить атмосферный C-CO<sub>2</sub> в органическое вещество почв (ОВП), стабилизировать и долговременно удерживать поступивший с органическими материалами углерод и сохранять C<sub>орг.в</sub> в резервуаре ОВП с минимальным риском немедленного возврата в атмосферу.



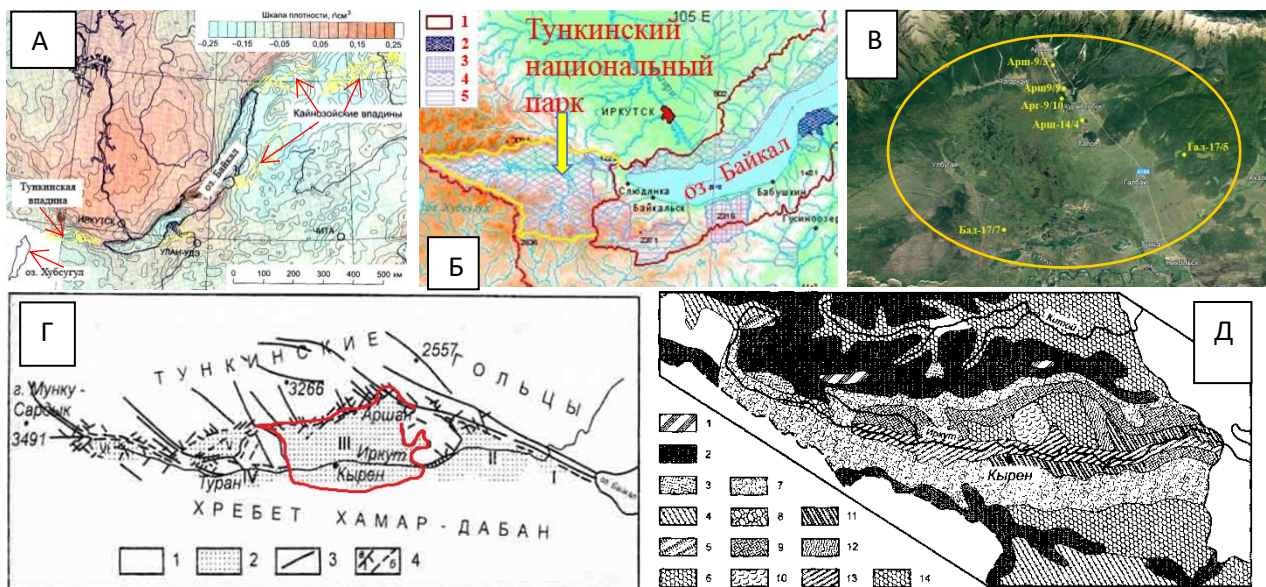


Рисунок 1. Характеристика Тункинской долины (ТД) Байкальской рифтовой зоны (БРЗ): **А** – Карта плотности верхней коры БРЗ (слоя 15 км) [2]; **Б** – территория Тункинского национального парка БРЗ; **В** – Тункинская котловина ТД; точки обследования; **Г** – впадины Тункинской долины: I – Быстринская; II – Торская; III – Тункинская; IV – Туранская; V – Хойтогорльская; VI – Мондинская; **Д** – почвенная карта Тункинской системы впадин и прилегающего горного обрамления [1]:

1–9 – почвы горных территорий (1 – петроземы гумусовые горно-(аркто)-тундрово-гольцовых пустошей, включая каменистые россыпи; 2 – литоземысерогумусовые горно-(аркто)-тундровых подгольцовыхценозов; 3 – (перегнойно)-темногумусовые (остаточно-карбонатные) горно-луговых (субальпийских) биотопов; 4 – подбурьиллювиально (гумусо)-железистые горных мерзлотно-таежных ландшафтов; 5 – подбуры глеевые и криоземы горных мерзлотно-таежных полугидроморфных западин; 6 – подзолистые глубокопромерзающие таежных лесов; 7 – подзолистые и дерново-подзолистые глубокопромерзающие смешанных лесов; 8 – каштановые мучнисто-карбонатные глубокопромерзающие степных ландшафтов горных плато; 9 – буроземы глубокопромерзающие подтаежных ландшафтов); 10–14 – почвы высоких равнин и межгорных понижений (10 – подзолистые и подбуры (иллювиально-железистые) глубоко-промерзающие зандровых увалов; 11 – серые (темно-серые) оподзоленные, метаморфические, глубокопромерзающие; 12 – черноземовидные и темногумусовые глеевые глубокопромерзающие лугово-степных пространств; 13 – аллювиальные серо-(темно)-гумусовые (глееватые) глубокопромерзающие луговых ценозов; 14 – глееземы и торфяно-(перегнойно)-глеевые мерзлотно болотных биотопов).

Наиболее прочную стабилизацию углерода и его длительную сохранность в почве в течение сотен и тысяч лет обеспечивают физико-химические взаимодействия органического вещества с минеральными частицами почвы (СРС можно оценивать по содержанию  $C_{org}$  в гранулометрических фракциях пыли и глины с размером частиц  $<0,02-0,01$  мм). Основой ПОВ являются гуминовые вещества – сложный гетерогенный континуум полимолекулярных высоко- и низкомолекулярных оксигенированных соединений с экстремально высокой степенью структурной гетерогенности, различающихся по стабильности, скорости оборачиваемости и продолжительности существования, что обеспечивает устойчивость системы к биоразложению. Среди концептуальных пулов ПОВ выделяют активный или легкоокисляемую часть (ЛОЧ,  $MRT < 3-10$  лет, 2–10% от  $C_{org}$ ); медленный (промежуточный) пул или среднеокисляемую часть (СОЧ,  $MRT = 10-100$  лет, 45–65% от  $C_{org}$ ); пассивный (стабильный) пул или трудноокисляемую часть (ТОЧ,  $MRT > 100$  лет, 40–50% от  $C_{org}$ ); а также – незащищенное (свободное) и защищенное (стабилизированное) ПОВ; новое (молодое,  $MRT < 14-40$  лет) и старое ( $MRT > 14-40$  лет); трансформируемое ( $C_{org}$  почвы с растениями); инертное ПОВ (бессменного чистого пара) [4]. Легко-окисляемая часть (ЛОЧ) гумуса является источником доступных для растений и микроорганизмов питательных веществ, и активно пополняется новообразованными гумусовыми соединениями; среднеокисляемая часть (СОЧ) гумуса – это динамический резерв гумуса почв; трудно окисляемые (ТОЧ) – это не обновляемые гуминовые вещества, закрепленные на минеральной основе почвы и поэтому – труднодоступные для растений и организмов.



Для характеристики гумусного состояния почв нами рассматривались следующие показатели: мощность подстилки для лесных типов почв, содержание гумуса (сравнение двух методик определения (по Тюрину и по Уолкли-Блэку)), запасы гумуса, профильное распределение гумуса в метровой толще, обогащенность гумуса азотом, степень гумификации, тип гумуса, содержание концептуальных пулов ПОВ. Фракционный и групповой состав почвенного органического вещества (ПОВ) отражает генетические особенности почвы и условия почвообразования. Одним из показателей гумусного состояния почв может выступать индекс углеродсеквестрирующей емкости почвы (SCSC) – т.е. соотношение стабилизированного и удерживаемого в устойчивом к минерализации состоянии углерода ПОВ к количеству углерода лабильной потенциально-минерализуемой части ПОВ, который может быть важной характеристикой при обосновании почвенных таксонов и их ранжирования, при выявлении антропогенного воздействия.

Исследуемые горно-долинные почвы Тункинской котловины характеризуются сложным полигенетическим сложением, что отражается в бимодальном распределении по профилю углерода, обменных катионов и карбонатов (рис. 2). Даже на приводораздельных участках склонов и долинных вулканических конусах отмечаются погребенные почвенные профили, что свидетельствует о смене климата, условий и режимов почвообразования.

Почвы пойм и низких террас рек часто подвержены процессам омергеления и оглеения, характеризуются лессовидностью почвообразующих пород и синлитогенным генезисом. Распространение в рифтовом районе исследования карбонатных пород, минеральных источников обуславливают процессы омергеления минерализованными грунтовыми водами, щелочную реакцию среды долинных почв (рН от 6–7 до 8–9 по профилю) с четко выраженным элювиальным процессом и насыщенностью их обменными катионами. Для исследуемых почв характерны высокие значения обменных Са и Mg (до 40–80 мг-экв/на 100 г в современных гумусовых горизонтах) с резким падением их содержания в минеральных слоях. Имеются скопления дисперсных карбонатов (от 1 до 8% CaCO<sub>3</sub>). Эти физико-химические свойства, наряду с гранулометрическим составом, значимо влияют на гумусное состояние почв, обуславливая достаточно высокое плодородие почв террас. Запасы гумуса оцениваются как средние и высокие. В лесных ценозах развит подстилочный горизонт с гумусом типа модер. В дерновой толще и погребенных гумусовых прослоях формируется гумус типа мюль с высокой обогащенностью азотом фульватно-гуматного состава, небольшой степенью гумификации с преобладанием фракций ГК2 и ГК3. Хемодеструкционное фракционирование выявило большое количество легкоокисляемых компонентов гумуса (ЛОЧ) в горизонтах АО, АУ с резким их снижением с глубиной. В погребенной толще относительная доля углерода ЛОЧ снижается, а доля ТОЧ увеличивается, возможно, закрепляясь, на суглинистой минеральной матрице аллювиально-пролювиальных отложений.

Гумусное состояние черноземных, черноземовидных, серых метаморфических, серо- и темногумусовых остаточно-карбонатных почв характеризуется достаточно высокой скоростью гумификации, что при насыщенности профиля карбонатами и при суглинистом грансоставе приводит к преобладающему формированию гуматно-фульватного и фульватно-гуматного типа гумуса, фракций гумусовых кислот с высокой оптической плотностью, связанных с Са и Mg и глинистой минеральной матрицей, что способствует накоплению гумуса и повышению естественного плодородия почв. Запасы гумуса оцениваются, как средние и выше среднего. Обогащенность гумуса азотом в гумусовых горизонтах современных почв – высокая, в погребенных – низкая, близкая к средней. В составе ПОВ гумусовой толщи дневных почв преобладают соединения легкоокисляемой части гумуса (ЛОЧ), но их доля, в сравнении с лесными почвами, снижается. В погребенных гумусовых горизонтах доля ТОЧ – преобладает, возможно, за счет закрепления ГК и ФК на глинисто-пылеватой матрице лессовидных суглинков в виде гумусово-минеральных комплексов и увеличивается доля среднеокисляемых соединений гумуса (СОЧ).

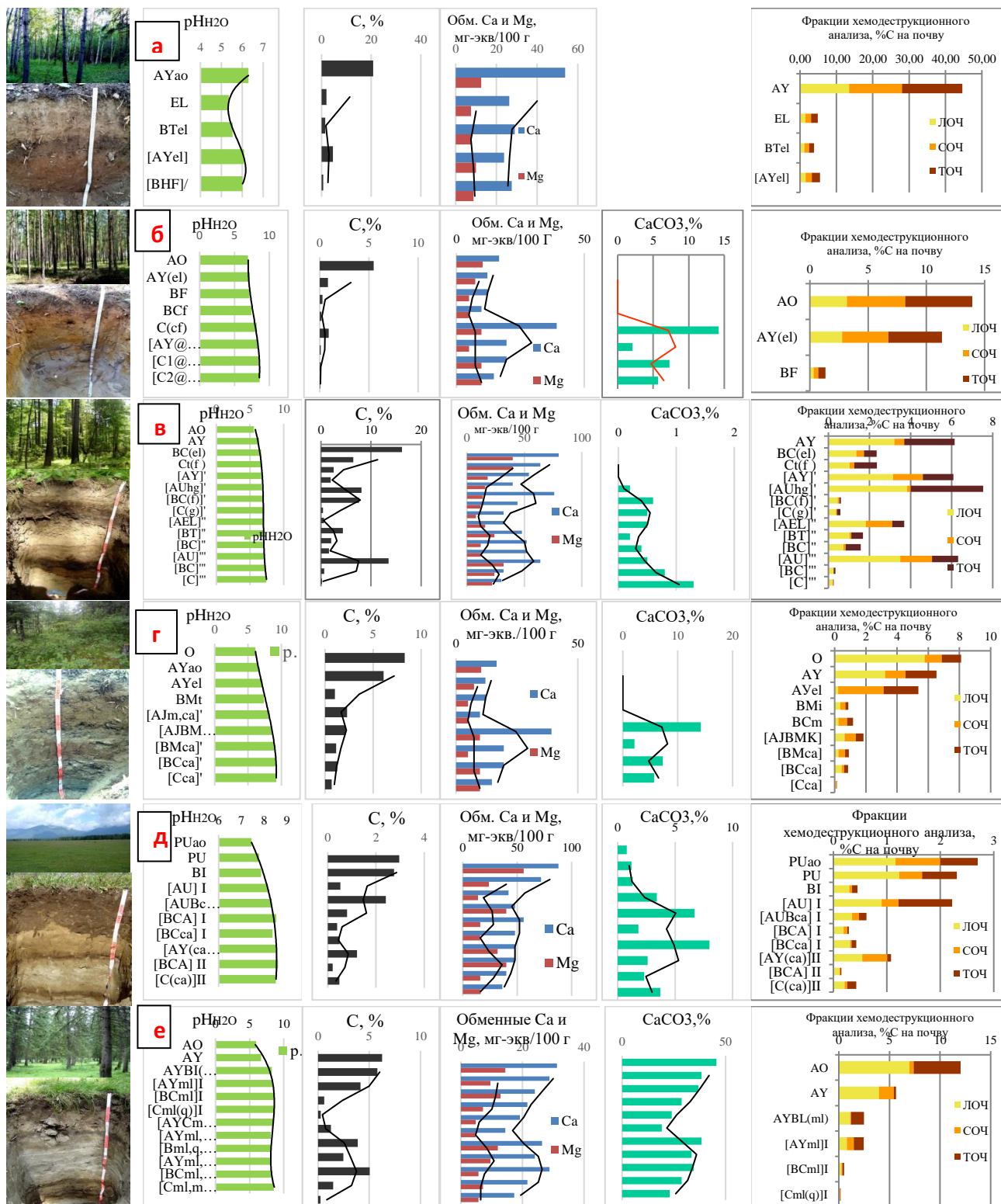


Рисунок 2. Физико-химические свойства исследуемых типов почв Тункинской долины:

**а** – Дерново-подзолистая грубогумусовая на погребенном дерново-подбуре, развитом на элюво-делювии базальтов (Гал-17/5), сосново-осиново-березовый лес; **б** – Дерново-подбур иллювиально-железистый на погребенной серогумусовой криотурбированной омергеленной почве, развитой на флювиогляциальных зандровых супесях (Бад-17/7), березово-лиственнично-сосновый лес; **в** – Серогумусовая элювирированная на толще погребенных почв, развитых на аллювиально-пролювиальных отложениях (Арш-09/3), березово-лиственнично-сосновый лес; **г** – Серая метаморфическая глинисто-иллювирированная остаточно-карбонатная на лессовидных с вулканическими шлаками отложениях (Арш-14/4), березово-елово-лиственничный лес; **д** – Агрочернозем глинисто-иллювиальный, развитый на серии серогумусовых почв, сформированных на пролювиальных отложениях (Арш-9/9), разнотравно-бобово-злаковая олуговелая степь; **е** – Серогумусовая омергеленная квазиглееватая с погребенными серогумусовыми горизонтами на аллювиально-пролювиальных отложениях (Арш-9/10), разнотравно-бобово-злаковый еловый лес.

Дерново-подбуры и дерново-подзолистые почвы ТД характеризуются слабым плодородием из-за процессов подкисления и элювирования, скелетности и более легкого гранулометрического состава профиля, фульватным типом гумуса и слабой степенью гумификации, преобладанием легкоокисляемых ПОВ и их интенсивной миграцией вниз по профилю. При этом, как в горизонтах дневной почвы, так и в погребенных горизонтах относительная доля ЛОЧ от  $S_{\text{общ}}$  резко снижается, что может быть обусловлено как большой долей опада хвойных деревьев, грубым характером гумуса (мор, модер), так и замедлением скорости гумификации ПОВ.

Высокая корреляционная зависимость (0,80–0,90) прослеживается между показателями фракций ФК1 и ГК1, их суммы и легко окисляемой части органического вещества (ЛОЧ). Это доказывает, что в составе ЛОЧ достаточно много компонентов, соответствующих фракциям ГК1 и ФК1 – наиболее подвижным компонентам ПОВ, представленных свободными в виде кислот и хелатными комплексами с полуторными окислами, а также – по-видимому – рядом других подвижных неспецифических соединений. Так же сильная связь прослеживается между среднеокисляемыми компонентами СОЧ и фракцией ФК2, что может быть обусловлено преобладанием в составе компонентов СОЧ ПОВ фульватов Са. Умеренная корреляция выявлена между трудноокисляемыми соединениями (ТОЧ) и всеми группами и фракциями ГК и ФК ПОВ. Полученные данные анализа коррелятивных связей между фракциями свидетельствует, что между щелочным и хемодеструкционным фракционированием гумусовых веществ прослеживается вполне определенная коррелятивная связь: достаточно умеренная для подвижных и легкоокисляемых фракций ПОВ, средне и слабо-умеренная между ГК2 и СОЧ, ГК3 и ТОЧ. Для получения более адекватной оценки наличия взаимосвязей между компонентами гумуса необходимо последовательное очищение фракций ПОВ от неспецифических, прогуминовых и др. органических веществ, а также - и последовательное фракционирование компонентов ПОВ.

Гумусное состояние исследуемых почв, проведенное методом хемодеструкционного фракционирования, характеризуется преобладанием легкоокисляемых фракций в составе гумуса современных дневных почв и погребенных гумусовых горизонтов, однако в минеральных горизонтах почв возрастает доля средне- и сильно-окисляемых фракций гумуса. Сравнительный анализ фракционного состава гумуса современных и погребенных гумусовых горизонтов дает возможность оценить изменение климатических условий в регионе. Относительное преобладание гуматов Са и Mg и смещение гумусовых веществ в сторону формирования ТОЧ в погребенных гумусовых горизонтах (возможно, за счет закрепления ГК и ФК на глинисто-пылевой матрице лессовидно-суглинистого состава) может свидетельствовать о более теплом и сухом климате при формировании погребенных гумусовых слоев. Для почв степных ценозов и травянистых лиственных лесов характерно более высокое содержание легкодоступных для организмов форм ЛОЧ ПОВ. Для почв хвойных (лиственнично-сосновых) лесов увеличивается доля СОЧ и ТОЧ в составе ПОВ.

#### Литература

1. Белоусов, В.М., Будэ И.Ю., Радзиминович Я.Б. Физико-географическая характеристика и проблемы экологии юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны: учебное пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2000. 160 с.
2. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. и др. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 252 с.
3. Попов А.И. Русаков А.В. Хемодеструкционное фракционирование органического вещества почв // Почвоведение. 2016. №6. С. 663–670.
4. Семенов В.М. Почвенное органическое вещество / В.М. Семенов, Б.М. Когут. М.: Геос, 2015. 233 с.

THE COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE HUMUS STATE OF THE TUNKA VALLEY  
SOILS OF THE SOUTHWESTERN PART OF BAIKAL REGION  
USING CHEMODESTRUCTIVE FRACTIONATION OF ORGANIC MATTER  
N.A. Martynova, A.D. Livanova

Irkutsk State University, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

*Summary. The physic-chemical properties and humus state of various types of mountain-valley soils of the Tunka basin of the southwestern part of Baikal rift zone have been studied. The analysis of easily-, medium- and difficult-oxidized fractions of soil organic matter, which has been obtained by chemodestructive fractionation, was carried out. The influence of various soil properties and conditions of regional soil formation on humus state and fertility has been revealed. The humus state of the studied soils is characterized by the predominance of easily oxidized humus of modern day soils and buried humus horizons, however, the proportion of medium and highly oxidized humus fractions increases in the buried soil strata, which may be due to the residual accumulation of more resistant to decomposition clay-humus complexes, as well as other conditions of humus formation.*

*Keywords: soil organic matter, humus composition, chemodestructive fractionation of humus, Tunka Valley, Baikal rift zone.*

УДК 631.41

## **СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА**

**Н.В. Митракова<sup>1</sup>, Е.А. Хайрулина<sup>2</sup>, Перевощикова А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь,  
mitrakovanatalya@mail.ru

<sup>2</sup>Естественнонаучный институт ПГНИУ, elenakhay@gmail.com, aaperevoshchikova@yandex.ru

***Аннотация.** Изучены почвы Кизеловского угольного бассейна. На рекультивированных отвалах образуются литостраты и эмбриоземы, свойства почв отвалов зависят от способа рекультивации. На участках водосброса, самоизлива кислых шахтных вод и территории стока с отвала образуются кислые сульфатные почвы: техногенно-трансформированные и химически-преобразованные. Они характеризуются сильнокислой реакцией, повышенным содержанием сульфатов, подвижных железа и серы относительно фоновых почв.*

***Ключевые слова:** кислые шахтные воды, угольные отвалы, литострат, эмбриозем, техногенно-преобразованные почвы.*

Добыча угля сопровождается негативными последствиями для окружающей среды, осуществляется изъятие территорий под хранение многотоннажных отходов [1], нарушаются гидрологические условия, происходит загрязнение поверхностных и подземных вод [2], почв [3]. Вследствие высокого содержания сульфидной серы в угленосных породах и во вскрышных породах отвалов при их взаимодействии с водой происходит образование ультракислых шахтных вод [4]. Шахтные воды обогащены тяжёлыми металлами и микроэлементами, что влечет высокую степень загрязнения компонентов окружающей среды [5]. Для снижения негативного влияния кислых шахтных вод и предотвращения их образования необходимо проводить рекультивационные мероприятия. Проведение рекультивации значительно снижает время восстановления почвенно-растительного покрова на нарушенных территориях [6].

Изучение почв выполнено на территории ликвидированного в конце XX века Кизеловского угольного бассейна. Характеристика месторождения и оценка влияния шахтных вод на поверхностные водные объекты детально приведена в [7]. Наша работа по изучению почв КУБа началась в 2021 году.

Объектами исследования являются почвы рекультивированных отвалов, почвы, сформировавшиеся на территории стоков с отвалов, почвы участков бывшего водосброса шахтных вод и территории самоизливов. Сформировавшиеся почвы имеют техногенное происхождение. В качестве фоновых отобраны серогумусовые и дерново-подзолистые почвы. География исследования включает территории Кизеловского, Губахинского и Гремячинского районов.

В почвенных образцах определяли актуальную и обменную кислотность потенциометрическим методом; определение кислотности почв в перекиси водорода



проведено для окисления сульфидных минералов, Brinkman and Pons [8] предложили предварительный предел  $pH-H_2O_2 = 2,5$  для опасных кислых сульфатных почв после обработки перекисью; содержание органического вещества определено спектрофотометрическим методом, содержание подвижной серы определяли турбидиметрическим методом, подвижное железо - спектрофотометрическим методом с о-фенантролином; сульфат-ионы в водной вытяжке определены турбидиметрическим методом, гранулометрический состав по ГОСТ 12536-2014. Глубина прикопок на отвалах около 30 см, на участках стока и водосброса 80–110 см, на территории самоизлива 40 см в связи с высоким обводнением. Пробы почв отобраны с шагом 10 см.

На отвалах, рекультивированных путем отсыпки на поверхность глинистого субстрата мощностью около 30–50 см, образовались литостраты глинистые. Кислотность литостратов колеблется от слабокислой до нейтральной (таблица). Содержание органического вещества в литостратах увеличивается с возрастом почвы. В более «старых» литостратах происходит смешивание нижнего слоя почвы и материала угольного отвала, в связи с чем почва приобретает сильноокислую реакцию ( $pH_{вод}=3,3$ ) и  $pH$  с перекисью водорода не превышает 2, также в них отмечено высокое содержание органического вещества за счет углистых частиц.

При разравнивании и измельчении материала отвала и внесения в верхний слой извести с течением времени (около 25 лет) сформировался эмбриозем дерновый. Верхний слой эмбриозема имеет слабощелочную среду, кислотность с глубиной незначительно уменьшается (таблица). Содержание органического вещества выше, чем в литостратах. Содержание подвижной серы и сульфатов в почвах отвалов увеличивается с глубиной и превышает фоновый уровень, количество подвижного железа также увеличивается с глубиной, но не превышает фоновые значения.

Таблица. Химические свойства почв Кизеловского угольного бассейна\*

Почва	$pH_{вод}$	$pH_{сол}$	$pH-H_2O_2$	$C_{орг}, \%$	$S_{подв},$	$\frac{Fe_{общ}^{**}}{Fe(III)/Fe(II)}$	$SO_4^{2-},$
						мг/кг	
Литострат	3,3–6,8	2,6–5,3	2–4,4	0,81–8,9	5–253	$\frac{70 - 260}{-}$	170–816
Эмбриозем дерновый	5,0–7,9	3,8–5,5	4,3–6,9	7,7–12,1	90–110	$\frac{54 - 211}{-}$	384–480
Дерново-подзолистая погребенная под техногенным слоем	3,0–4,2	2,8–3,6	2,0–3,6	1,36–8,2	43–724	$\frac{170 - 620}{-}$	380–816
Серогумусовая техногенно-трансформированная	2,3–4,6	2,2–3,7	1,2–2,5	1,9–4,6	456–3120	$\frac{280 - 13080}{/16 - 4470}$	90–2080
Серогумусовая химически-преобразованная	2,8–3,1	2,5–2,7	1,1–1,9	0,54–9,8	2360–6130	$\frac{380 - 2730}{/16 - 64}$	685–1800

Примечание. \* – показано варьирование показателей от минимальных до максимальных значений без привязки к глубине; \*\* – В числителе – содержание подвижного железа общего, в знаменателе – диапазон содержания подвижного железа: перед косой чертой – Fe(III), после – Fe(II).

В связи с воздействием кислых шахтных вод от отвалов, шахт и самоизливов на фоновые почвы территории КУБа образовались кислые сульфатные почвы. На участке водосброса диагностирована дерново-подзолистая почва погребенная, под техногенным слоем. Во время работы шахты происходил сброс кислых вод, содержащих дресву и другие материалы, некоторое время воды нейтрализовались известью, что приводило к возникновению большого количества взвесей. Гранулометрический анализ показал наличие гальки, щебня и дресвы до глубины 40 см, ниже залегает профиль дерново-подзолистой глинистой почвы, химические свойства которой соответствуют фоновой почве. Горизонт, состоящий из техногенных наносов, характеризовался низким  $pH$  ( $pH_{вод}=3,0$ ), максимальным содержанием органического вещества (8,2%), сульфатов (816 мг/кг), подвижных железа (620 мг/кг) и серы (724 мг/кг).

В результате самоизлива кислых шахтных вод на поверхности фоновой серогумусовой почвы образовались техногенные наносы, представленные дресвой и гидроксилами железа. В связи с этим содержание подвижного Fe (III) очень высоко – 13 г/кг (таблица), такая же тенденция наблюдается для сульфатов и подвижной серы. Содержание органического вещества увеличивается с глубиной. По сравнению с фоновой почва на изливе более кислая. Постоянное поступление шахтных вод привело к гидроморфизму почвы, о чем свидетельствует количество подвижного Fe(II) в нижнем слое – 4,5 г/кг. Почва на участке самоизлива классифицирована как серогумусовая техногенно-трансформированная.

У подножия породных отвалов также происходит образование кислых сульфатных почв. Однако воздействие на почвы ниже, что связано с периодичностью осадков и возрастанием количества рекультивированных отвалов. На территориях стока с отвала образуются как химически-преобразованные почвы, так и техногенно-трансформированные, т.е. кроме изменения химических свойств происходят морфологические трансформации. Химически-преобразованные почвы образуются при отсутствии наносов. Наличие и толщина наносов участках стоков связаны с крутизной склона породного отвала, рельефа, в котором он располагается, и метода ранее примененной рекультивации отвала. Нами изучена серогумусовая химически-преобразованная почва. Она сохранила морфологический профиль фоновой почвы, однако произошло ее подкисление, увеличение количества сульфатов и подвижной серы относительно фоновой почвы в сотни раз. Количество подвижных железа (II, III) превышает фоновый уровень. Гранулометрический анализ почвы на стоке показал увеличение содержания частиц размером 0,05–0,01 мм и снижение частиц 0,01–<0,002 мм относительно фоновой почвы.

Таким образом, на рекультивированных отвалах формируются литостраты и эмбриоземы, на территории стоков с отвалов, участках самоизливов и водосброса – кислые сульфатные почвы. Свойства почв отвалов зависят от способа рекультивации, времени и субстрата, который был использован. При воздействии кислых шахтных вод на почвы происходит увеличение кислотности почв, увеличение содержания сульфатов, подвижных серы и железа. Часто почвы претерпевают морфологические изменения в связи с возникновением техногенных слоев или изменением водного режима. Почвы, образованные на территориях стоков с отвалов и водосброса можно рекультивировать. Для участков самоизливов существует проблема нейтрализации или отведения кислых шахтных вод, постоянно поступающих на поверхность.

### Литература

1. Щелканов Н. С., Овешников Ю. М., Субботин Ю.В. Рекультивация отвалов вскрышных пород на угольных разрезах забайкальского края // Вестник ЗабГУ. 2012. № 11 (90). С 28–33.
2. Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Osovetsky B., Belkin P. Environmental Assessment Impact of Acid Mine Drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia) // Water. 2022. №14 (727). <https://doi.org/10.3390/w14050727>
3. Abliz A., Shi Q., Keyimu M., Sawut R. Spatial distribution, source, and risk assessment of soil toxic metals in the coal-mining region of northwestern China. Arabian Journal of Geosciences. 2018. № 11, 79324. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4152-8>
4. Akcil A., Koldas S. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies // Journal of Cleaner Production. 2006. Vol. 14. Is. 12–13. P. 1139–1145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006>.
5. Yan T., Zhao W., Yu X., Li H., Gao Z., Ding M., Yue J. Evaluating heavy metal pollution and potential risk of soil around a coal mining region of Tai'an City, China // Alexandria Engineering Journal. 2022. Vol. 61. Is. 3. P. 2156–2165. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.08.013>.
6. Zhang L., Wang J., Bai Z., Chunjuan Lv, Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area // Catena. 2015. Vol. 128. P. 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.016>.
7. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. 2018. 288 с.

8. Brinkman R., Pons L.J. Recognition and prediction of acid sulphate soil conditions. In Dost, H. (ed) (1973). Acid sulphate soils. Proceedings of an International Symposium. (Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication 18, 1973). pp. 169–203.

#### PROPERTIES AND CLASSIFICATION OF TECHNOGENIC SOILS IN THE TERRITORY OF THE KIZEL COAL BASIN

N.V. Mitrakova<sup>1</sup>, E.A. Khayrulina<sup>2</sup>, A.A. Perevoshchikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, mitrakovanatalya@mail.ru

<sup>2</sup>Natural Science Institute of Perm State University, Perm, elenakhay@gmail.com, aaperevoshchikova@yandex.ru

*Summary. The soils of the Kizel Coal Basin were studied. lithostrats and embryonic soil are formed on the reclaimed dumps; the properties of the dump soils depend on the method of reclamation. In the areas of discharge, outflow of acid mine water from the pit and the territory of runoff from the coal dump, acid sulfate soils are formed: technogenically transformed and chemically transformed. They are characterized by a strongly acidic reaction, an increased content of sulfates, mobile iron and sulfur relative to the background soils.*

*Keywords: acid mine water, coal dumps, lithostrat, embryonic soil, technogenically transformed soils.*

ДК 631.42:57.087.1

#### СИСТЕМНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**И.В. Михеева**

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mikheeva@issa-siberia.ru

*Аннотация. По архивным материалам созданы базы данных свойств каштановых почв юго-западной части Кулундинской равнины, черноземов южных правобережья Прииртышской равнины и Карасукской равнины и черноземов выщелоченных Краснозерской равнины. Определены вероятностно-статистические распределения и информационные характеристики свойств этих почв, на основе которых моделируются системно-информационные закономерности.*

*Ключевые слова: каштановые почвы, черноземы, вариабельность свойств, базы данных, вероятностные распределения, информационные характеристики.*

**Актуальность.** Оценка состояния и изменений почв под влиянием антропогенных воздействий и изменений климата является актуальной научной проблемой, важной для изучения утилитарных и экологических функций почв. С позиций фундаментальной науки почвы являются открытыми сложными системами, при этом их свойствам и процессам присуща природная вариабельность, что подтверждают результаты исследований многих авторов. Информация о почвах принципиально имеет вероятностный характер, поэтому для ее изучения нами предложены математические модели и характеристики вероятностно-статистического анализа, теории информации и динамики открытых сложных систем, которые позволяют рассматривать и использовать почвенную информацию в более широком мультидисциплинарном системно-теоретическом научном контексте. Цель данного исследования - изучить системно-информационные закономерности пространственной и временной изменчивости почв юга Западной Сибири с учетом их генезиса и современной динамики и эволюции под влиянием антропогенного использования и изменений климата. С практической точки зрения, оно направлено на развитие информационных и математических методологий в изучении и управлении природными ресурсами, основываясь на почвенной информации.

**Объекты и методы исследования.** Вероятностно-статистические и информационные исследования почв проведены на обширной территории равнинной части бассейна Иртыша, в

пределах Обь-Иртышского междуречья, на которой выделяются геоморфологические единицы, отличающиеся по физико-географическим условиям, геологическому строению, генезису, имеющие сложную геологическую историю. В пределах Кулундинской равнины вероятностными и информационными методами нами изучена вариабельность свойств каштановых почв южной и западной части равнины, и черноземов южных – в северной ее части (Карасукской равнины). В пределах правобережной Прииртышской слабоволнистой низменной равнины изучена изменчивость свойств черноземов южных, а в пределах Краснозерской равнины, которая в западной части стыкуется с Карасукской равниной, а в восточной – с Приобским плато, получены данные и рассчитаны информационные характеристики свойств черноземов выщелоченных. Изучаемые почвы использовались и используются в земледелии для выращивания зерновых и кормовых культур.

Работа по информационной оценке свойств почв включает основные этапы: 1) создание баз данных, сортировка, группирование данных с учетом типа (подтипа) почв и гранулометрического состава, территории и времени проведения исследований; 2) идентификация вероятностных распределений значений почвенных свойств в почвенных горизонтах (слоях) на определенный момент времени; 3) расчеты информационных характеристик; 4) анализ и интерпретация полученных результатов. Данными послужили материалы государственных почвенных исследований, проведенных на изучаемых территориях по стандартным методикам. Каждая статистическая выборка представляла собой данные по какому-либо почвенному свойству в отдельной почвенной литологической разновидности в каждом отдельном почвенном горизонте или слое. Объемы выборок различались, в зависимости от распространенности той или иной почвы и свойства почвы.

Взаимное действие всех факторов, влияющих на формирование почвенной вариабельности, суммарно отражается в вероятностях проявления тех или иных значений изучаемых показателей. Идентификация функций вероятностных распределений проводилась с целью подбора математических функций, наиболее близко (в соответствии с несколькими статистическими критериями) описывающие гистограммы почвенных свойств, которые получены на основе эмпирических значений из созданных баз данных. Использовано свободное программное обеспечение ISW, являющееся разработкой факультета прикладной математики и информатики НГТУ. Полезными для прикладного анализа данных свойствами этой программы являются большой набор функций; наборы функций для разных типов задач; набор методов группирования; набор методов оценки параметров; набор статистических критериев для проверки гипотез. Вычисление информационной энтропии, являющейся по существу, информационной характеристикой вариабельности свойства почвы проводилось по формуле:

$$h = -\int f(x) \ln f(x) dx \quad (1)$$

где  $f(x)$  – функция вероятностного распределения свойства почвы, полученная путем проведения статистических процедур, указанных выше. Вычисления и построение графиков проводилось в свободной программной среде R и Excel.

**Обсуждение результатов.** Проведенные ранее исследования [1–3] показали, что научно-практическое применение вероятностно-статистических и информационных характеристик почв широко: 1) хранение данных о варьировании свойств почв в виде функций вероятностно-статистических распределений, что позволяет сократить объемы хранящейся информации; 2) использование этих характеристик в качестве информационных стандартов для характеристики почв конкретной территории; 3) определение фактических информационных различий между почвами на определенной территории; 4) позволяют проводить необходимые вероятностные расчеты в технологических и экономических целях; 5) при проведении мониторинга позволяют дать наиболее полную целостную оценку трансформаций почв под действием антропогенных влияний и изменений климата; 6) позволяют количественно оценить процессы формирования и эволюции почвенного профиля.

В данной статье приведены результаты исследования информационных характеристик содержания гумуса в поверхностном горизонте почв различных геоморфологических районов,



отличающихся по физико-географическим условиям и генезису. Это дает возможность количественно оценить различия вариабельности изученных почв по содержанию гумуса в зональном аспекте в ряду: каштановые почвы - черноземы южные - черноземы выщелоченные. А также в почвах соседних территорий, различающихся по генезису и меридиональному расположению: черноземы южные Прииртышской и Карасукской равнин.

В таблице 1 для каждой разновидности почв приведен тип функции вероятностного распределения и параметры, полученные в результате статистической процедуры идентификации. Средняя достигнутая вероятность  $p$  по статистикам ряда параметрических и непараметрических критериев для всех почв довольно высока. Это означает, что: 1) набор функций вероятностных распределений, выбранных для моделирования изменчивости почвы, соответствует эмпирическим данным о содержании гумуса в почвах; 2) полученные функции могут рассматриваться как информационная вероятностно-статистическая модель содержания гумуса в поверхностном горизонте в изученных почвах (рис. 1). В таблице 1 также приведены значения энтропии  $h$ , вычисленной по формуле 1 (рис. 2).

Таблица 1. Вероятностно-статистические распределения содержания гумуса в поверхностном горизонте в почвах юга Западной Сибири

Год	Разновидность почвы	n	Тип распределения	Параметры распределения $\theta_0; \theta_1; \theta_2; \theta_3$	p	h
<b>Каштановые почвы (юго-запад Кулундинской равнины)</b>						
1965	Связнопечаная, дефл.+недефл.	315	Макс. значения	0,18; 0,77	0,8	0,4
1965	Связнопечаная, недефл.	72	Ln-нормальное	-0,04; 0,28	0,7	0,2
1965	Легкосупесчаная, дефл.	328	Дв. показательное	3,94; 84,56	0,6	0
1965	"-, недефл.	357	Su- Джонсона	-3,34; 3,21; 0,48; 0,59	0,7	0,2
1975	Легкосупесчаная	74	Макс. значения	0,23; 1,18	0,8	0,74
1965	Тяжелосупесчаная, дефл.	170	Логистическое	1,42; 0,3	0,4	0,17
1965	"-, недефл.	487	Su- Джонсона	-0,42; 1,64; 0,4; 1,42	0,5	0,16
1975	Тяжелосупесчаная	111	Накагами	0,63; 0,89; 0,98	0,5	0,15
1965	Легкосуглинистая, дефл.	48	Нормальное	1,66; 0,38	0,7	0,1
1965	"-, недефл.	419	Su- Джонсона	-1,43; 1,76; 0,48; 1,40	0,5	0,53
1975	Легкосуглинистая, недефл.	121	Макс. значения	0,38; 1,83	0,6	0,85
1975	Лугово-каштановая легкосуглинистая	24	Ln-нормальное	0,9; 0,21	0,8	0,6
1965	Среднесуглинистая, недефл.	40	Su- Джонсона	-0,61; 0,99; 0,38; 2,25	0,8	0,8
<b>Черноземы южные (правобережье Прииртышской равнины)</b>						
1989	Супесчаный	23	Логистическое	1,54; 0,12	0,6	0,72
1965	Легкосуглинистый	59	Ln-нормальное	0,85; 0,22	0,8	0,8
1989	"-	91	Дв. экспонен.	1,25; 0,34; 2,24	0,6	0,34
1965	Среднесуглинистый	38	Ln-нормальное	1,02; 0,21	0,5	0,75
1989	"-	127	Ln-нормальное	0,98; 0,15	0,2	0,48
1989	Тяжелосуглинистый	19	Бета 1-го рода	0,4; 0,4; 2,64; 1,29	0,3	1
<b>Черноземы южные (север Кулундинской равнины)</b>						
1965-2000	Супесчаный	36	Макс. значения	0,39; 1,67	0,9	0,5
"-	Легкосуглинистый	183	Su- Джонсона	-0,64; 1,56; 0,83; 2,00	0,6	1,02
"-	Среднесуглинистый	233	Ln-нормальное	1,22; 0,28	0,6	1,35
"-	Тяжелосуглинистый	31				1,7
<b>Черноземы выщелоченные (Краснозерская равнина)</b>						
1970-1980	Супесчаный	-	-	-	-	-
"-	Легкосуглинистый	43	Макс. значения	0,48; 2,54	0,9	0,84
"-	Среднесуглинистый	71	Лапласа	0,77; 3,96	0,6	1,41
"-	Тяжелосуглинистый	47	N	1,49; 6,95	0,9	1,80
"-	Легкоглинистый	46	Лапласа	1,04; 7,74	0,9	1,63

Примечание.  $p$  – достигнутая вероятность (средняя по 6 критериям);  $h$  – информационная энтропия.

При утяжелении гранулометрического состава и зональном изменении климата, с юга на север, соблюдается закономерность "волны" вероятностно-статистических распределений содержания гумуса (рис. 1). При этом вероятностно-статистические распределения содержания гумуса смещаются вправо по оси ОХ, однако в близких по факторам почвообразования почвах они существенно пересекаются. Изменения почв под влиянием дефляции, длительного сельскохозяйственного использования, на фоне климатических изменений, не приводят к значительным смещениям этих функций, но происходит перестройка вариабельности.

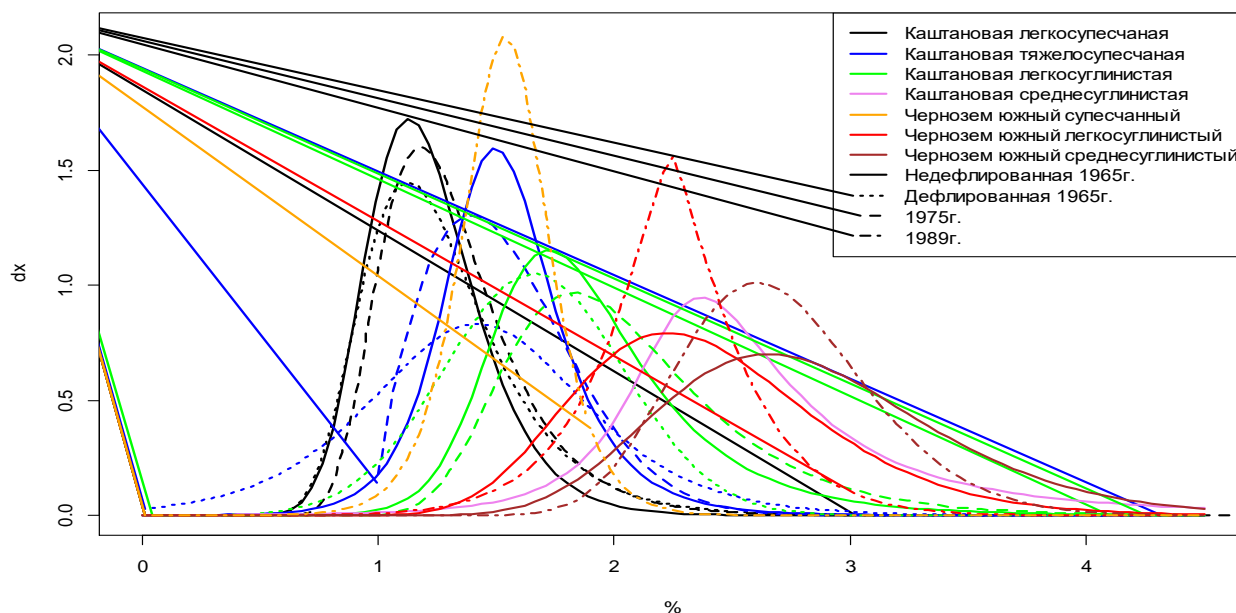


Рисунок 1. Вероятностно-статистические распределения содержания гумуса в пахотном горизонте почв юга Западной Сибири.

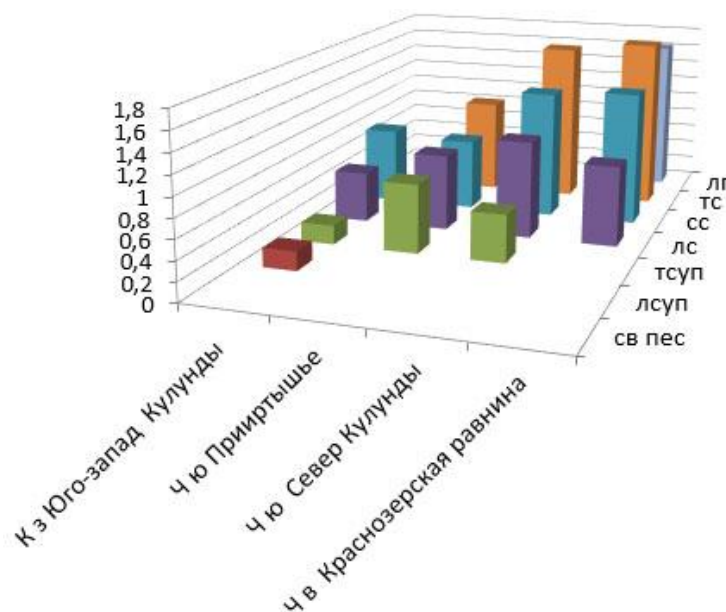


Рисунок 2. Информационная энтропия содержания гумуса в поверхностном горизонте почв юга Западной Сибири.

Обозначения. Литологические разновидности почв: св пес – песок связный, лсуп – легкая супесь, тсуп – тяжелая супесь, лс – легкий суглинок, сс – средний суглинок, тс – тяжелый суглинок, лг – легкая глина.

Информационная энтропия является, по-существу, информационной характеристикой природной вариабельности свойств почвы. На рисунке 2 показаны значения этого показателя для содержания гумуса в поверхностном горизонте почв разного гранулометрического состава

в различных геоморфологических районах и климатических зонах. При утяжелении гранулометрического состава и зональных климатических изменениях, с юга на север, информационная энтропия содержания гумуса существенно возрастает, что говорит об увеличении вариабельности содержания гумуса в почвах. В пределах одной зоны и подтипа почв, а именно черноземов южных, вариабельность содержания гумуса возрастает с запада на восток, за исключением супесчаной разновидности, в которой энтропия содержания гумуса уменьшается.

**Выводы.** По архивным материалам созданы базы данных свойств каштановых почв юго-западной части Кулундинской равнины, черноземов южных правобережья Прииртышской равнины и Карасукской равнины и черноземов выщелоченных Краснозерской равнины. Определены вероятностно-статистические распределения и информационные характеристики свойств этих почв, на основе которых моделируются системно-информационные закономерности.

При утяжелении гранулометрического состава и зональном изменении климата, с юга на север, соблюдается закономерность "волны" вероятностно-статистических распределений содержания гумуса. Информационная энтропия при этом существенно возрастает, что говорит об увеличении вариабельности содержания гумуса в почвах. В пределах одной зоны и подтипа почв, а именно черноземов южных, вариабельность содержания гумуса возрастает с запада на восток. Изменения почв под влиянием дефляции, длительного земледельческого использования, на фоне климатических изменений, не приводят к значительным смещениям этих функций, но происходит перестройка вариабельности и уменьшение информационной энтропии.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### Литература

1. Михеева И.В., Оплеухин А.А. Информационная оценка изменений содержания ила и физической глины в пахотных черноземах Прииртышской равнины // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 4. с186. doi: 10.31251/pos.v5i4.186.
2. Mikheeva I.V. 2021 Information standards of contemporary soil evolution in the south of Western Siberia // *IOP conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 862 012043 doi:10.1088/1755-1315/862/1/012043.
3. Mikheeva I.V. 2019 Information indicators of soil texture for holistic numerical assessment of soil evolution. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 368 012034 doi:10.1088/1755-1315/368/1/012034.

#### SYSTEM AND INFORMATION PATTERNS OF THE MAIN COMPONENTS OF THE SOIL COVER OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

I.V. Mikheeva

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, mikheeva@issa-siberia.ru

*Summary.* Based on archival materials, databases of the properties of chestnut soils of the southwestern part of the Kulundinsky plain, southern chernozems of the right bank of the Irtysh plain and the Karasuk plain and leached chernozems of the Krasnozersky plain have been created. Probability-statistical distributions and information characteristics of the properties of these soils are determined, on the basis of which system-information patterns are modeled.

*Keywords:* Kastanozems, Chernozems, property variability, databases, probabilistic distributions, information characteristics.

УДК 631.48

## ФОРМИРОВАНИЕ СОЛОНЧАКОВЫХ ПОЧВ В ДОЛИНАХ МАЛЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

И.В. Пахоруков, О.З. Еремченко

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,  
Ivan-psu@yandex.ru

**Аннотация.** В долинах малых рек Прикамья сформировались аллювиальные солончаковые почвы со слабощелочной и резкокислой реакцией среды. В слабощелочной почве в течение летне-осеннего периода преобладала восстановительная обстановка ( $Eh$  от +200 мВ до –250 мВ). В кислой почве наблюдались колебания  $Eh$  от окислительных (+540 мВ) до восстановительных (-50 мВ).

**Ключевые слова:** аллювиальные почвы, техногенное засоление,  $Eh$ , рН.

В настоящее время серьезную экологическую опасность представляет нарастающая засоленность почв, вызванная природно-антропогенными процессами. Тема влияния естественного засоления на почву хорошо изучена и отражена в монографиях и учебных пособиях, в то время как работ по техногенному засолению почв сравнительно немного. Большинство работ посвящено солевому загрязнению при нефтедобыче [1, 2], проблемам применения антигололедных покрытий [3–6]. Вторичное засоление почв также связано с производством солей, в частности соды [7, 8].

В Пермском крае, в связи с добычей калийных солей, происходит накопление большого количества отходов. При складировании отходов, содержащиеся в них техногенные соли, растворяются атмосферными осадками и участвуют в формировании грунтового стока. Разгрузка высокоминерализованных грунтовых вод в поверхностную гидросеть способствует образованию солончаковых почв в долинах малых рек Прикамья. Эти аллювиальные солончаковые почвы характеризуются как щелочной, так и резкокислой реакцией среды [9]. Известно, что в гидроморфных почвах рН имеет тенденцию увеличиваться при развитии биохимического восстановления и уменьшаться в окислительных условиях [10, 11].

Настоящая работа посвящена изучению реакции почвенной среды (рН) и окислительно-восстановительного потенциала ( $Eh$ ) в аллювиальных солончаковых почвах, сформировавшихся под влиянием минерализованных вод в долинах малых рек таежно-лесной зоны Прикамья.

**Объекты и методы исследования.** В долинах рек Черная и Лёнва выделены контрольные участки, в пределах которых закладывали ключевые почвенные разрезы. Контрольный участок в долине р. Черная находится под влиянием подземных минерализованных вод, формирующихся у солеотвала. В долине р. Ленвы контрольный участок расположен в зоне воздействия шламохранилища.

Морфологическая характеристика и свойства почв в ключевых разрезах, заложенных в долинах рек Черная и Лёнва опубликованы нами ранее [9, 12].

В летне-осенний период 2022 г на контрольных участках изучили динамику рН и  $Eh$  почв потенциометрическим методом с помощью портативного рН-метра HI-9025 (Hanna Instruments, Германия) оборудованного электродами редокс HI 3230, рН HI 1230, и термокомпенсатором на глубинах  $10 \pm 2$ ,  $20 \pm 2$ ,  $30 \pm 2$ ,  $40 \pm 2$  см в трехкратной повторности.

Результаты режимных наблюдений за величиной рН и  $Eh$  были обработаны методом регрессионного анализа; адекватность уравнений оценили при уровне значимости нулевой гипотезы  $P < 0,05$ .

Площади обследованных территорий долин рек Черная и Лёнва с аллювиальными солончаковыми почвами рассчитали при помощи программы ArcMap 10.5.

**Обсуждение результатов.** Отчетливые признаки развития солончакового процесса в аллювиальных почвах долины р. Черная прослежены на площади 17,3 га. В профиле аллювиальных серогумусовых глеевых почв присутствуют слои темного (вплоть до черного) цвета [12].

Наблюдения за рН и  $Eh$  проведены возле ключевого разреза с аллювиальной серогумусовой глеевой солончаковой почвой, которая на глубине 0–40 см содержала 0,9–1,5%



водорастворимых солей, химизм засоления в серогумусовом горизонте был сульфатно-хлоридный натриевый, а в средней и нижней части профиля – хлоридно-натриевый, количество водорастворимых сульфат-ионов составляло около 5,7–6,5 смоль(экв)/кг.

На глубине около 10–30 см в течение периода наблюдений реакция почвенной среды находилась в пределах нейтральных значений – 6,5–7,5 рН (рис. 1, А). В слое около 40 см в половине сроков наблюдений отмечали нейтральную реакцию почвенной среды, в остальное время – слабощелочную реакцию (7,7–7,8 рН).

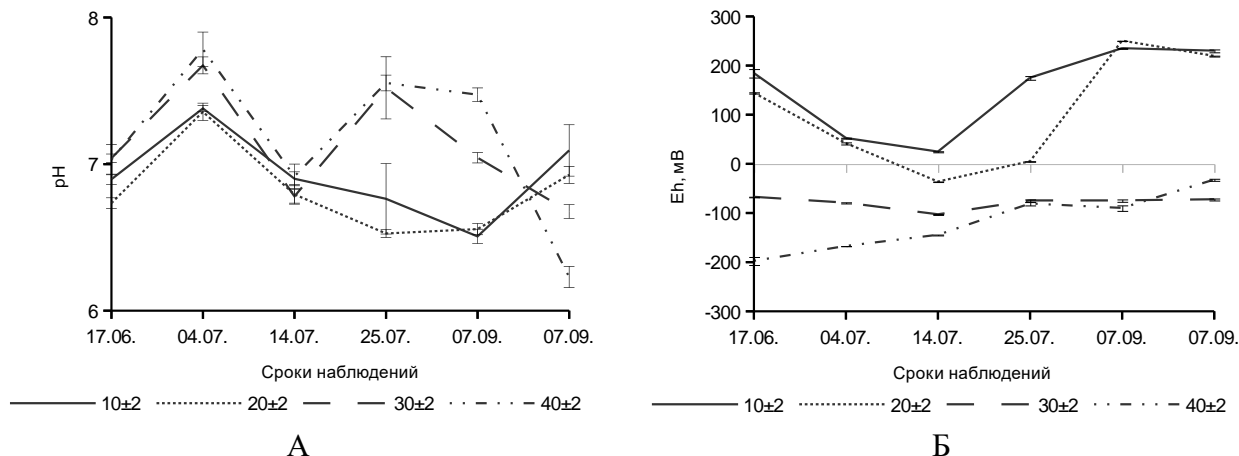


Рисунок 1. Динамика рН (А) и Eh (Б) в аллювиальной солончаковой почве из долины р. Черная

В первую половину периода наблюдений в почве на глубине около 10–20 см величина Eh, как правило, имела небольшие положительные значения – 5–185 мВ; а на глубине 30–40 см в этот период отмечены отрицательные значения Eh (от –70 до –200 мВ). В августе и сентябре в связи с уменьшением влажности во всех слоях почвы наблюдали относительно повышенные значения Eh: на глубине около 10–20 см – 220–250 мВ; на глубине около 30–40 см – от -30 до -90 мВ (рис. 1, Б).

По W.J. Mitsch и J.G. Gosselink [13] в почвах с нейтральной реакцией среды величина Eh от +100 до –100 мВ свидетельствует о развитии процессов восстановления железа Fe (III) → Fe (II), а SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> восстанавливается до S<sup>2-</sup> при величине Eh от -100 до -200 мВ.

В обследованной части долины р. Лёнва площадь аллювиальных солончаковых почв под изреженной растительностью составляет около 15 га. Режимные наблюдения за рН и Eh провели возле двух ключевых разрезов с аллювиальными серогумусовыми глеевыми солончаковыми ненасыщенными почвами, которые на глубине 0–40 см содержали 0,8–1,6% водорастворимых солей, имели хлоридный кальциевый и кальциево-натриевый химизм засоления; количество водорастворимых сульфат-ионов составляло 2,0–4,8 смоль(экв)/кг [9].

В период наблюдений верхние слои почвы долины р. Лёнва характеризовались резкокислой реакцией почвенной среды: на глубине около 10 см – рН менее 3, на глубине около 20 см – 3–4 рН (рис. 2, А).

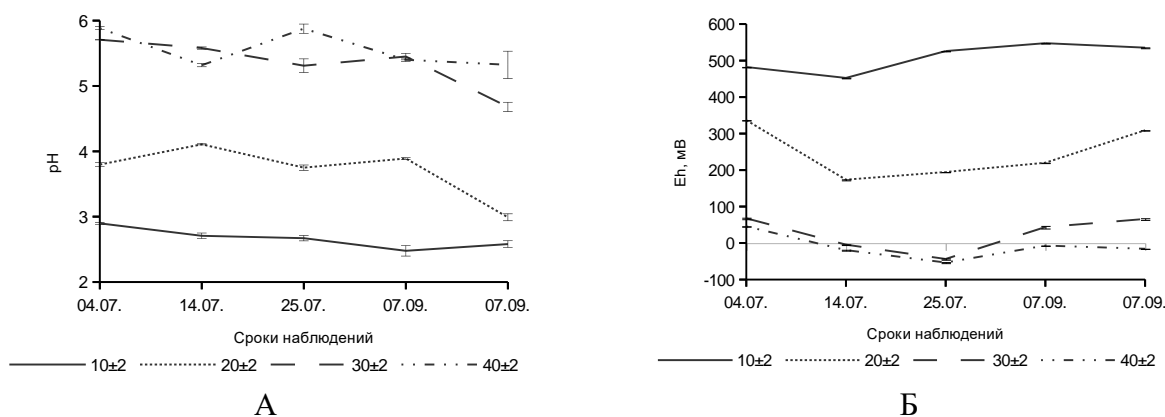


Рисунок 2. Динамика рН (А) и Eh (Б) в аллювиальной солончаковой почве из долины р. Лёнва

В нижерасположенных слоях почвы реакция среды колебалась от 5 рН до 6 рН. Резкоокислая реакция среды характерна для почв, в которых идут процессы окисления сульфидов с образованием серной кислоты [14–16].

На глубине около 10 см в почвах долины р. Лёнва отмечали окислительную обстановку (Eh 450–540 мВ); максимальные значения Eh более 500 мВ были в конце июля – начале сентября (рис. 2, Б). В почве на глубине около 10–20 см и 30–40 см была слабо восстановительная обстановка (Eh 170–340 мВ) и восстановительная обстановка (Eh от +70 до -50 мВ) соответственно.

В почвенном покрове долины р. Лёнва встречаются неокисленные солончаковые почвы с характерной почти черной окраской, указывающей на образование сульфидных минералов, а также сильноокисленные ненасыщенные основаниями солончаковые почвы [9]. Вероятно, пространственное и временное варьирование окислительно-восстановительных условий сопровождается существенной неоднородностью кислотно-щелочной обстановки с изменениями от 8,6 рН до 2,3 рН.

**Заключение.** В почвенном покрове долин малых рек Прикамья под воздействием техногенных вод сформировались аллювиальные солончаковые почвы, характеризующиеся как слабощелочной, так и резкоокислой реакцией среды.

В слабощелочной солончаковой аллювиальной почве из долины р. Черная в течение летне-осеннего периода преобладала восстановительная обстановка (Eh опускался до -200 мВ), при которой возможно развитие процессов восстановления серы (VI) и железа (III).

В серогумусовом горизонте солончаковой аллювиальной почвы из долины р. Ленва при окислительной обстановке (Eh около +500 мВ) реакция почвенной среды составляла около 3 рН. В переходных к породе горизонтах при снижении Eh до -50 мВ реакция среды составляла около 4–6 рН.

#### Литература

1. Соромотин А.В., Гашева С.Н., Казанцева М.Н. Солевое загрязнение таежных биоценозов при нефтедобыче // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Тюмень: ТГУ, 1996. 121–130 с.
2. Ронжина Т.В. Техногенная трансформация дерново-подзолистых почв в районах добычи углеводородного сырья при разливе сточных вод // Естественные и технические науки. 2009. № 6. С. 452–454.
3. Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования многоэтажных жилых районов городов Прикамья: дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2004. 213 с.
4. Никифорова Е. М., Касимов Н. С., Кошелева Н. Е. Многолетняя динамика антропогенной солонцеватости почв ВАО Москвы при использовании противо-гололедных реагентов // Почвоведение. 2017. № 1. С. 93–104.
5. Азовцева Н.А., Смагин А.В. Динамика физических и физико-химических свойств городских почв при использовании солевых противо-гололедных средств // Почвоведение. 2018. № 1. С. 118–128.
6. Ramakrishna D., Viraraghavan T. Environmental impact of chemical deicers – a review // Water Air Soil Pollut. 2005. Vol. 166. P. 49–63.
7. Grunewald G., Kaiser K., Jahn R. Alteration of secondary minerals along a time series in young alkaline soils derived from carbonatic wastes of soda production // Catena. 2007. Vol. 71. №3. P. 487–496.
8. Hulisz P., Charzyński P., Giani L. Application of the WRB classification to salt-affected soils in Poland and Germany // Polish Journal of Soil Science. 2010. Vol. 43. №1. P. 81–92.
9. Eremchenko O.Z., Pakhorukov I.V., Shestakov I.E. Development of the Solonchak Process in Soils of Small River Valleys in the Taiga-Forest Zone in Relation to the Production of Potassium Salts // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. №4. P. 512–522.
10. Van Breemen N. Effects of redox processes on soil acidity // Netherlands Journal of Agricultural Science. 1987. Vol. 35. №3. P. 271–279.
11. Bohrerova Z., Stralkova R., Podesvova J., Bohrer G., Pokorny E. The relationship between redox potential and nitrification under different sequences of crop rotations // Soil and Tillage Research. 2004. Vol. 77. №1. P. 25–33.

12. Пахоруков И.В., Еремченко О.З. Свойства вторично засоленных аллювиальных почв в таежно-лесной зоне Прикамья // Сибирский лесной журнал. 2021. № 3. С. 76–86.
13. Mitsch W.J, Gosselink J.G. Wetlands. 5th edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 752 pp.
14. Dent D.L. Bottom-up and top-down development of acid sulphate soils // Catena. 1993. Vol. 20. №4. P. 419–425.
15. Husson O., Verburg P.H, Phung M.T, Van Mensvoort M.E.F Spatial variability of acid sulphate soils in the Plain of Reeds, Mekong delta, Vietnam // Geoderma. 2000. Vol. 97. №12. P. 1-19.
16. Michael P.S. The Roles of Surface Soil Carbon and Nitrogen in Regulating the Surface Soil pH and Redox Potential of Sulfidic Soil Materials of Acid Sulfate Soils // Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 2018. Vol. 41. №4. P. 1627–1641.

## FORMATION OF SALINE SOILS IN THE VALLEYS OF SMALL RIVERS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN TAIGA

I.V. Pakhorukov, O.Z. Eremchenko

Perm State National Research University, Perm, Ivan-psu@yandex.ru

*Summary.* In the valleys of the small rivers of the Kama region, alluvial saline soils with a slightly alkaline and sharply acidic reaction of the medium were formed. In slightly alkaline soil during the summer-autumn period, the recovery situation prevailed ( $Eh$  from +200 mV to -250 mV). In acidic soil,  $Eh$  fluctuations were observed from oxidative (+540 mV) to reducing (-50 mV). The regression dependence of pH on the value of  $Eh$  was established with a correlation coefficient of  $R = -0.84$ .

*Keywords:* alluvial soils, technogenic salinization,  $Eh$ , pH.

УДК 631.42

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ

В.В. Попов, Н.В. Елизаров

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, popov@issa-siberia.ru

*Аннотация.* На основе изучения ионно-солевых профилей почв долины реки Баган, а также сопряженного анализа химического состава грунтовых вод и вод сопряженных с ними водных объектов, выявлены особенности пространственного распределения основных солеобразующих ионов в этих почвах и водах данной территории.

*Ключевые слова:* солевой профиль, почвенный раствор, Кулундинская равнина, Баган, солонец, чернозем, засоление.

Солевой режим почв является важным критерием экологических условий почвообразования. При высокой концентрации солей в корнеобитаемом слое они оказывают угнетающее действие на растения, повышая осмотическое давление почвенного раствора и вызывая явление физиологической сухости. По степени уменьшения токсичности легкорастворимые соли расположены в следующей последовательности:  $Na_2CO_3 > NaHCO_3 > NaCl > CaCl_2 > Na_2SO_4 > MgCl_2 > MgSO_4$ , при этом их токсичная для растений концентрация изменяется от 0,1 до 1,5% [1]. Поэтому, для оценки экологического состояния засоленных ландшафтов необходимо определять не только содержание солей в почве, но и их качественный состав. Засоление почв является одним из основных деградационных процессов аридных и семиаридных регионов, так как многие другие негативные показатели почв могут быть скорректированы агротехническими приемами в процессе ведения сельскохозяйственного производства [2].

Цель работы – изучение ионно-солевой системы почв долины реки Баган.

Для выявления закономерностей в распределении легкорастворимых солей почвенные разрезы заложены на основных типах элементарных ландшафтов [3, 4]. Для исследования процессов, происходящих в зоне аэрации в гидроморфных почвах взяты пробы почв до глубины уровня залегания грунтовых вод, проведены измерения уровня грунтовых вод с

отбором образцов воды для исследования свойств и химического состава. Так же произведен забор проб воды из прилегающих водоемов.

Ключевой участок расположен в северной части Кулундинской равнины, в долине реки Баган. На участке заложено 3 разреза: Чернозем южный деформированный, Солонец мелкий высокогипсовый, Луговая сильносолонцеватая маломощная почва (рис. 1).

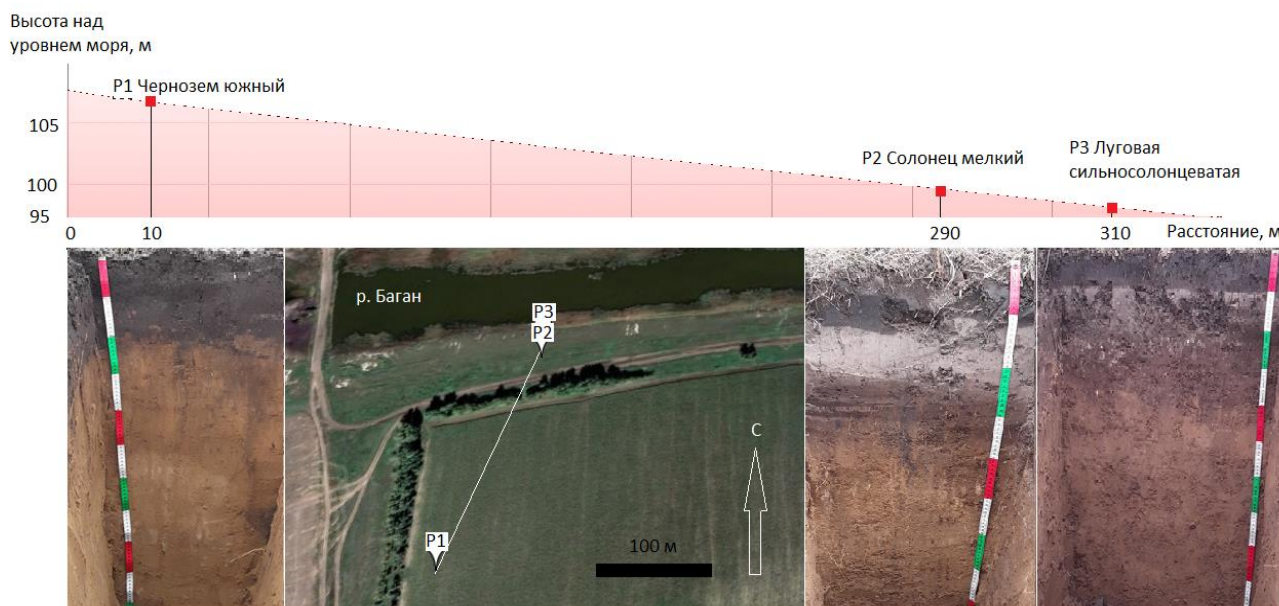


Рисунок 1. Ключевой участок в долине реки Баган.

Под солонцом и луговой почвой грунтовые воды залегают примерно на одном уровне (197 и 199 см соответственно), однако минерализация грунтовых вод под луговой почвой была больше почти в 1,5 раза (4,8 и 3,4 г/л соответственно). Отличался и качественный состав солей, в грунтовой воде под луговой почвой концентрация сульфатов почти в 3 раза больше, чем под солонцом (45,9 и 17,1 смоль(экв)/кг соответственно) (табл. 1).

Таблица 1. Гидрохимическая характеристика проб воды

Точка отбора	Минерализация, г/л	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Грунтовая вода под солонцом	3,4	2,2	15,9	19,3	17,1	3,2	10,0	27,4	0,3
Грунтовая вода под луговой почвой	4,8	2,1	16,3	12,7	45,9	3,2	8,3	40,0	0,3
Река Баган	21,0	0,9	6,0	265,6	98,6	12,0	103,3	213,0	2,5
Озеро Баган	350,3	0,0	42,0	4720,0	1358,9	15,8	1541,7	4130,4	29,5

Такая пестрота состава грунтовых вод объясняется промытостью профиля луговой почвы и восходящим движением солей с капиллярной влагой по профилю солонца и их концентрацией под солонцовым горизонтом. На химический состав грунтовых вод оказывает влияние микрорельеф поверхности, в частности небольшие западины и так называемые «блюдца», через которые осуществляется питание грунтовых вод атмосферными осадками, попутно участвуя в реакциях катионного обмена с ионно-солевым комплексом почв и вымывая соли из почвы. Распределение солей по профилю почв в долине р. Баган представлено на рис. 2.



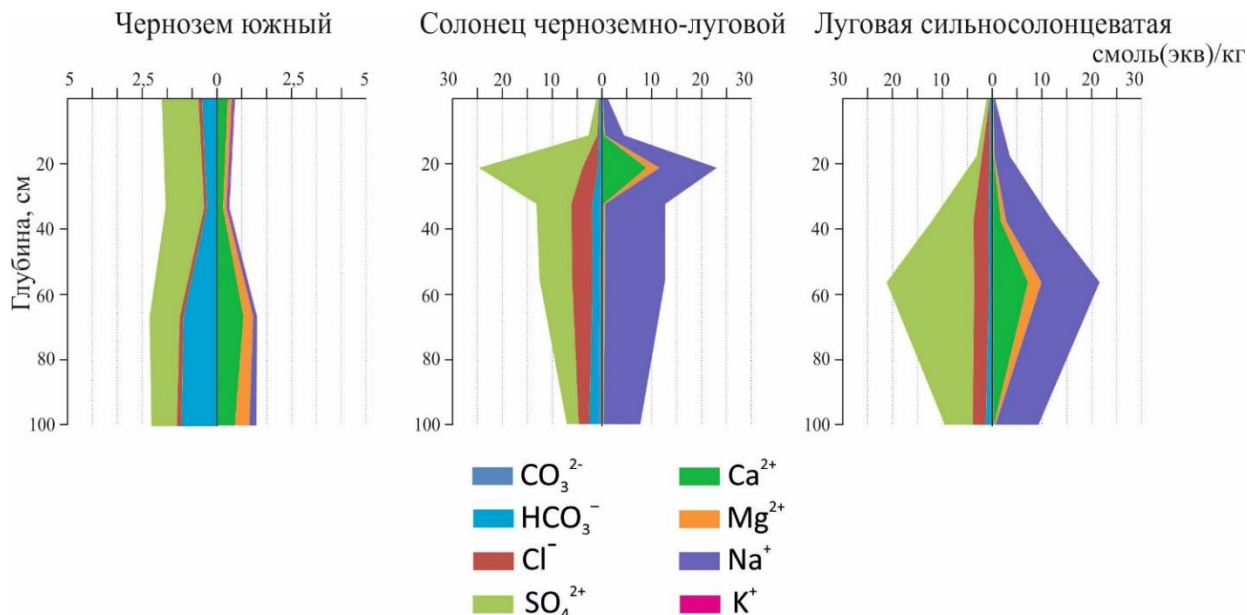


Рисунок 2. Солевые профили почв долины реки Баган.

Чернозем южный сформировался в отрыве от зеркала грунтовых вод, поэтому его профиль не засолен (сумма солей в метровом профиле менее 0,3%). Профиль солонца мелкого имеет максимум солей на глубине 20–30 см (1,5%). Луговая сильносолонцеватая, расположенная в аккумулятивной позиции, имеет такое же натриевое хлоридно-сульфатное засоление, но максимум его приходится на 45–55 см (1,4%).

Исходя из анализа ионно-солевых профилей почв данной катены, а так же химического состава грунтовых вод и вод сопряженных с ними водных объектов (рис. 3), установлено, что соли, попадая в почвенные растворы, а затем и в грунтовые воды претерпевают сложные реакции обмена с грунтом, в результате которого данные растворы обогащаются хлоридами, вследствие их высокой растворимости. В то время, как сульфаты задерживаются почвой, как в виде гипса, так и в виде  $MgSO_4$  и  $Na_2SO_4$ . Карбонаты кальция и магния еще сильнее задерживаются почвенно-грунтовой толщей по причине низкой их растворимости. Хлорид-ионы вместе с почвенно-грунтовым потоком мигрируют в пониженные элементы рельефа с дальнейшей разгрузкой в реку, а затем и в озеро.

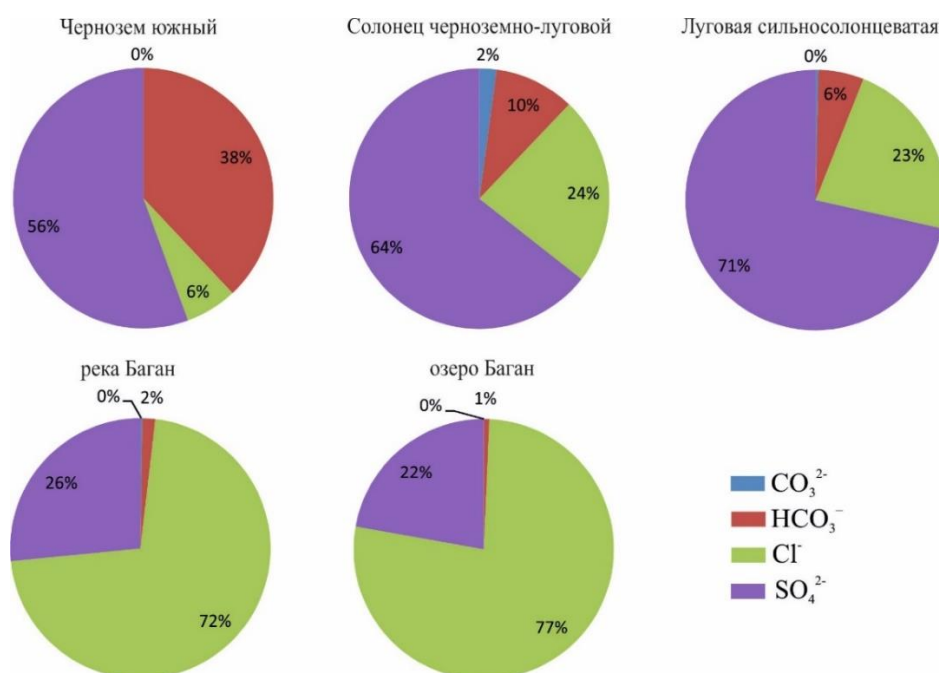


Рис. 3. Соотношение анионов в почвенных растворах и в водных объектах.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и при поддержке РФФИ (грант № 21-55-75002).

#### Литература

1. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1946. 576 с.
2. Докучаева, Л. М. Приемы, исключаящие негативные процессы в почвах орошаемых агроландшафтов черноземной зоны Юга России / Л. М. Докучаева, Е. В. Долина, Р. Е. Юркова, Э. Н. Стратинская, О. Ю. Шалашова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 1. С. 4.
3. Перельман А.И. Засоление и рассоление ландшафтов // Геохимия ландшафтов: теория миграции химических элементов в природных ландшафтах. М., 1975. С. 6–26.
4. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964, 230 с. 2-е изд. Смоленск Москва: Ойкумена, 2002. 288 с.

#### GEOCHEMICAL FEATURES OF SOIL SALINATION IN THE NORTHERN PART OF THE KULUNDA PLAIN

V.V. Popov, N.V. Elizarov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [popov@issa-siberia.ru](mailto:popov@issa-siberia.ru)

*Summary.* Based on the study of the ion-salt profiles of the soils of the Bagan River valley, as well as the conjugate analysis of the chemical composition of groundwater and the waters of water bodies associated with them, the features of the spatial distribution of the main salt-forming ions in these soils and waters of this territory were revealed.

*Keywords:* salt profile, soil solution, Kulunda Plain, Bagan, solonetz, chernozem, salinization.

УДК 631.4

#### СТРАТИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЧВЫ СКЛОНОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ТОМСКА (ЛОСКУТОВО)

А.В. Родикова, С.П. Кулижский, Е.А. Шипко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
[rodikovaav@mail.ru](mailto:rodikovaav@mail.ru)

*Аннотация.* На основе полевых и лабораторно-аналитических исследований изучены свойства стратифицированных почв окрестностей Томска (Лоскутово). Формирование их связано с проявлением различных склоновых процессов неодинаковой интенсивности, что прослеживается в морфологии почвенных профилей. Материал, слагающий горизонты (слои), как сформирован на месте (дневные гумусовые горизонты), так и перераспределен в пределах изучаемого водосбора и характеризуется свойствами близкими к зональным почвам.

*Ключевые слова:* почвы подтайги, стратоземы, педоседименты, циклиты, погребенные горизонты, намытые почвы.

**Актуальность.** Эрозионно-аккумулятивные процессы, результатами которых являются латеральный смыв и (пере)отложение намытого материала в подчиненных позициях ландшафтов, достаточно широко распространены, особенно это касается районов сельскохозяйственного освоения. Однако, данный процесс характерен и для целинных земель с выраженным рельефом. Опубликованных сведений, посвященных этой теме, как отмечают исследователи, недостаточно [1–5], Интерес к этим объектам, тем не менее, отмечен начиная с работ В.В. Докучаева и прослеживается в трудах ученых прошлого столетия [6, 7 и др.]. С появлением новых методических подходов и технических возможностей, постепенно он возрастает, что определяет актуальность подобных работ, и не только в области почвоведения [8 и др.].

**Объекты и методы исследования.** Объектами изучения послужили специфические стратифицированные природные почвенные тела, сформированные в подтаежной зоне (южная

граница городского округа Томск, Лоскутово). В целом, территория относится к району распространения серых почв, формирующихся на границе лесостепи и подтаежных предгорий под смешанными лесами, на увалистых и пологоволнистых элементах рельефа, где почвообразующими породами выступают тяжелые суглинки и глины.

Стратоземы сформированы в нижней части сложного крутого склона в подчиненной позиции, сопряженно вдоль линии тальвега, под березово-сосновым травяным ценозом. Перепад высот между вскрытыми разрезами около 3 м, расстояние между ними – примерно 10 м., угол склона ~15°.

Изучение почв базировалось на полевом морфологическом и лабораторно-аналитическом анализе почвенных профилей по общепринятым в почвоведении методам и методикам. Профиль стратозема темногумусового на погребенной почве, вскрытой разрезом 3-2021 (рис. А), отражает четкие цветовые изменения, обусловленные ее генезисом, связанным, как с почвообразованием, так и, возможно, с оползанием значительного объема поверхностной толщи по склону. Монотонная цветовая гамма профиля стратозема темногумусового, вскрытого разрезом 4-2021 (рис. Б), свидетельствует об его вероятно водно-аккумулятивном намывном происхождении. Окраска не позволила произвести полевые визуальные разграничения горизонтов (слоев), поэтому для точности и правильности последующего исследования образцы были взяты сплошной колонкой, что позволило в лабораторных условиях более детально исследовать наслоения седиментов.



А (разрез 3-2021)



Б (разрез 4-2021)

Рисунок. Профили исследуемых почв (фото Е. Шипко)

А – стратозём тёмногумусовый на погребенной почве; Б – стратозём тёмногумусовый.

**Обсуждение результатов.** На изучаемом участке стратоземы сложены, по большей части, материалом гумусовых горизонтов окружающих их серых почв, на что указывают как прямые (морфологические) так и косвенные признаки (агенты почвообразования, свойства). Изучаемые почвы своеобразны по локальным условиям формирования: относительно неглубоко залегают грунтовые воды, характер дневной поверхности имеет значительный уклон, транзитно-аккумулятивная позиция в ландшафте, – все это находит отражение в морфологии профилей и свойствах почв, как «зеркале ландшафта».

Четко выражены переходы между слоями/горизонтами только в почвенном теле разреза 3-2021 (рис. А), ровная граница (скольжения?) между ВТ (68–84 см) и [АУ] (84–100 см) вероятно указывает на быстро текущие во времени склоновые экзогенные процессы смещения



материала, тогда как в профиле, вскрытом разрезом 4-2021 (рис. Б) горизонтальная слоистость, формируемая, видимо, постепенным и медленным процессом намыва, определенным локальным местоположением, не прослеживается. Переходы между намывным материалом смазаны и неявны, более или менее видны только на фотоматериалах, но не в полевых условиях.

По данным лабораторного изучения количественного содержания фракций разного размера для объектов исследования характерна слоистость с заметным увеличением фракции физической глины вниз по профилю (от 25,60 в поверхностном горизонте до 50,40% на глубине 150–160 см в почве р. 3-2021 и от 29,42 до 49,06% (150–170 см) в стратоземе р. 4-2021). Распределение отдельных фракций с глубиной сложное, закономерности выявить достаточно проблематично, что напрямую связано с генезисом изучаемых объектов, однако можно отметить преобладание фракции крупной пыли в большей части седиментов (до 70,13%, р. 3-2021 и 56,80%, р. 4-2021), что связано, видимо с составом пород, слагающих водораздел и служащих материнской основой почв. Несколько максимумов по содержанию ила выделяется в профиле стратозема темногумусового на погребенной почве (р. 3-2021). Так, в горизонтах ВТ (70–80 см) и [ВТ] (115–125 см) его содержание составляет около 27%, что характерно для иллювиальных горизонтов; еще ниже по профилю содержание этой фракции варьирует от 27 до 33%, с тенденцией увеличения значений с глубиной. Для стратозема темногумусового (р. 4-2021) общий тренд с небольшими вариациями в отдельных слоях также сохранен. Дневные горизонты охарактеризованы как легкосуглинистые, что, вероятно, может быть связано с работой временных водотоков.

В общих чертах объекты исследования имеют поверхностно-аккумулятивный характер распределения гумуса с максимальным накоплением в верхней толще, где его содержится 13,11% и 12,91%, и уменьшением вниз по профилю с вариативными колебаниями в слоях (р. 4-2021) и погребенном горизонте (р. 3-2021). На глубинах около 180 см его уже менее 1%: до 0,24% (р. 3-2021) и 0,86% (р. 4-2021). Особенностью стратозема, вскрытого разрезом 4-2021, является наличие мощной гумусированной толщи (до 140 см), содержащей это специфическое почвенное вещество в количествах более 1%. Даже на глубине 180 см его около 0,8%, что говорит о длительности процесса аккумуляции педоседиментов.

Реакция среды (водн.) в изучаемых почвах близкая к нейтральной и нейтральная, и составляет 5,4–6,9 ед., увеличиваясь с глубиной. Это может быть обусловлено как с относительно неглубоким залеганием карбонатных пород на данной территории, так и близостью грунтовых вод, которые несут в себе вещественные составляющие не только природных соединений, но и, весьма вероятно, антропогенных, поскольку территория фактически является окраиной крупной урбоэкосистемы.

Одной из основных характеристик, определяющих химико-физические свойства является содержание и состав обменных оснований. В целом тенденции их содержания и варьирования по профилю соответствует характеристикам окружающих зональных почв. Содержание обменного кальция преобладает над магнием, максимальное его количество приурочено к верхним горизонтам почв и составляет 40,8 (р. 3-2021) и 30,8 мг·экв/100 г. п. (р. 4-2021), что свидетельствует о его биогенной аккумуляции. Содержание магния колеблется в пределах 2,5–7,2 мг·экв/100 г. п.

**Заключение.** Вследствие сочетания аккумулятивно-денудационных и почвенных процессов, меняющихся в пространстве и времени стратифицированные почвы «записывают» в себе события, происходящие в ландшафте. Их профили, в отличие от зональных почв, всегда уникальны и непредсказуемы, что требует от исследователей определенных навыков работы, сопряженных с комплексным подходом к изучению. Именно этим и интересны подобные объекты, способные отражать в себе как черты почв водоразделов, так и транслировать неповторимые собственные. Генезис изученных стратоземов неразрывно связан с проявлением экзогенных склоновых процессов. Несмотря на близкое пространственное расположение почв друг относительно друга проявление этих процессов, прослеживающихся в морфологии профилей, весьма неравнозначно как по скорости, так и по масштабам воздействия. Ключевые свойства представленных стратоземов близки к зональным почвам.



## Литература

1. Сычева С.А. Морфолитопедогенез в аккумулятивных и трансаккумулятивных ландшафтах как особый механизм почвенно-литогенной памяти // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 128–161.
2. Чербарь В. В. Классификация кумуликовых (намытых) почв черноземной зоны Молдовы / В. В. Чербарь, Е. Б. Варламов // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 2(45). С. 33–39. EDN YAJGVV.
3. Варламов Е. В. Кумуликовые (намытые) почвы черноземной зоны Молдовы // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 2(45). С. 25–33. EDN YAJGVN.
4. Диагностика, генезис и локализация педоседиментов в пределах малого водосбора (Среднерусская возвышенность) [Электронный ресурс] / Т. С. Кошовский, А. П. Жидкин, А. Н. Геннадиев, Н. Н. Иванова // Почвоведение. 2019. № 5. С. 529–543. URL: <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=pochved&y=2019&v=0&n=5> (дата обращения 01.05.2023)
5. Почвенный покров и свойства почв малых водосборов Придонского мелового лесостепного района Среднерусской возвышенности / Т. А. Девятова, С. Н. Божко, Ю. С. Горбунова, Л. А. Яблонских // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12, № 4(48). С. 153–168. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.4/11. EDN XKNHYQ.
6. Докучаев В.В. Естественно-историческая классификация русских почв / Избранные сочинения. Т. 3. Картография, генезис и классификация почв. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. С. 241–270.
7. Глазовская М.А. Денудационно-аккумулятивные структуры почвенного покрова как формы проявления педолитогенеза // Почвоведение. 2000. №2. С. 134–147.
8. Голубцов В. А. Почвообразование и осадконакопление в Селенгинском среднегорье в позднеледниковье и голоцене: специальность 25.00.25 "Геоморфология и эволюционная география": автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. географ. наук. Москва, 2016. 26 с. EDN WIA YUF.

### STRATIFIED SLOPE SOILS SURROUNDINGS OF TOMSK (LOSKUTOVO)

A.V. Rodikova, S. P. Kulizhskiy, E.A. Shipko

National Research Tomsk State University, Tomsk, rodikovaav@mail.ru

*Summary. On the basis of field and laboratory-analytical studies, the properties of stratified soils in the vicinity of Tomsk (Loskutovo) were studied. Their formation is associated with the manifestation of various slope processes of unequal intensity, which can be traced in the morphology of soil profiles. The material composing the horizons (layers) is both formed in situ (daytime humus horizons) and redistributed within the studied watershed and is characterized by properties close to those of zonal soils.*

*Keywords: subtaiga soils, stratozems, pedosediments, cyclites, buried horizons, reclaimed soils.*

УДК 631.445.11

## ПОЧВЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ТУНДРОВЫХ И ГОЛЬЦОВЫХ ЛАНДШАФТОВ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

И.А. Самофалова

Пермский государственный аграрно-технологический университет, г. Пермь,  
samofalovairaida@mail.ru

**Аннотация.** *Определены особенности морфологического строения почв горной тундры, классификационная принадлежность к отделу, типу, подтипу. Профили горных почв тундрового пояса хорошо различимы на минеральные и органогенные горизонты. По классификации 2004 года почвы относятся к первичному почвообразованию и постлитогенному. Определены почвы отделов: слаборазвитые, литоземы, альфегумусовые, органо-аккумулятивные. Высотный ряд почв образуют типы: перегнойно-темногумусовая элювирированная – дерново-подзол грубогумусированный – подбур грубогумусированный.*

**Ключевые слова:** *литоземы, альфегумусовые почвы, петроземы, органо-аккумулятивные почвы, почвенный покров, горная тундра, почвообразование.*

**Введение.** В современных условиях в мировом почвоведении наблюдается интерес к географии, генезису и классификации почв в связи с новыми международными проектами Глобальной почвенной карты (GlobalSoilmap.net) и Всеобщей классификации почв (Universal soil classification) [1–3]. Это требует обновления знаний о почвах и почвенном покрове многих регионов, и в том числе малоизученных в почвенном отношении.

Почвы тундровой зоны представляют интерес с точки зрения их уникальности, а также почвообразования, которое осложняется пестротой пород, постоянным проявлением и смыва, и накопления мелкозема, обломочного материала, а также вовлечением свежих не выветрелых горных пород в почвообразование, интенсивным проявлением латерального и внутрипочвенного стока [4–9]. Почвы находятся в стадии не только формирования (первичное почвообразование), но и в стадии разрушения (постоянного «омолаживания»).

Горная тундра в границах Пермского края занимает площадь более 200 тыс. га [10] и не изучена в почвенном отношении. Цель исследования – изучить почвенное разнообразие горной тундры и гольцовых ландшафтов на Среднем Урале в пределах Пермского края.

**Объекты и методы исследования.** Горно-тундровый пояс занимает небольшие территории и представляет собой узкую полосу, проходящую по высоким отметкам хребта, нагорным террасам верхних уступов, находящиеся в безлесных пространствах. Физико-географические и климатические условия на высоте более 830 м над уровнем моря обуславливают формирование тундровой растительности и холодных гольцовых ландшафтов [8, 9]. Характерные черты тундровой растительности: преобладание многолетних цветковых растений, мхов, лишайников; микроярусность, комплексность и мозаичность в распределении растительности. В условиях сурового климата основными рельефообразующими факторами являются процессы морозного выветривания и солифлюкции, которые формируют своеобразный «гольцовый» рельеф. На плоских вершинах гольцов и на гольцовых террасах развиты различные формы микрорельефа (каменные моря или реки с участками мелкозема, пятнистые и бугристые тундры). Такой гольцовый рельеф является зональным для горных хребтов с суровым континентальным климатом. Почвообразование в горной тундре происходит в условиях сурового климата, наличия сильных ветров, отсутствия снежного покрова и резких колебаний температур.

Почвенный покров горной тундры изучали на 24 профилях почв. Почвенные разрезы были заложены на склонах различных экспозиций и на выровненных платообразных участках на высоте 823–950 м н.у.м.. Классификационное название почв определяли по полевому определителю почв [11].

**Результаты исследования.** Профили горных почв тундрового пояса хорошо различимы на минеральные и органогенные горизонты по цвету. Почвы развиваются под очесом мощностью от 2 до 10 см. Гумусовый горизонт в данных условиях формируется не всегда. Для почв тундры характерно накопление мертвых корней и, соответственно грубого гумуса, что обусловлено низкими температурами и преобладанием осадков над испарением, которые

ограничивают биохимические процессы. Основная часть корневой массы растений сосредоточена в торфянистых подстилках. Мощные торфяные горизонты также не образуются. В связи с этим, выделяются различные разновидности органогенных горизонтов: подстилочно-торфяной, перегнойно-торфяной, перегнойный. Органогенные горизонты присутствуют практически во всех почвах различной мощности (от 3 до 15 см).

Основными особенностями морфологического строения почв горно-тундрового пояса являются: темная окраска горизонтов, много грубых растительных остатков; наличие органогенных горизонтов; мощности органогенных горизонтов больше, чем минеральных гумусовых; органогенный поверхностный горизонт состоит как минимум из 2 слоев, различающихся разной степенью разложённости; наличие в окраске горизонтов красноватого оттенка диагностирует промерзание и наличие мерзлоты при отсутствии морфологических признаков оглеения, то есть глубину промерзания профиля; профиль маломощный (27–40 см), рыхлый, мягкий; различное содержание щебня.

Генезис почв в суровых условиях на высоте более 800 м происходит в двух противоположных направлениях: с развитием профиля вглубь при преобладании процессов выветривания и высоком содержании щебнистого материала; с нарастанием профиля вверх за счет аэрального наноса частиц, где щебень почти отсутствует в профиле или с максимумом в почво-элювии. Наличие щебня влияет на формирование свойств органогенных и минеральных горизонтов.

Определена зависимость цветовой характеристики горизонтов от экспозиции нагорной террасы. Условная вероятность данной связи выше для почв нагорной террасы северной экспозиции ( $P_{aj}=0,846$ ), чем для южной экспозиции. Степень варьирования окраски горизонтов выше также для почв северной экспозиции. Наиболее вероятное состояние цвета горизонтов для почв нагорной террасы северной экспозиции – охристо-бурые и бурые с темными оттенками, а для почв южной экспозиции – бурые с темными оттенками. Теснота взаимосвязи оценивается как средняя ( $K=0,174$ ).

Логический анализ информационных связей показал, что в почвах нагорных террас в тундровых и гольцовых ландшафтах преобладают различные процессы почвообразования в зависимости от экспозиции террас на вершине. В почвах северной экспозиции в большей степени проявляется альфегумусовый процесс, приводящий к иллювиально-железистой дифференциации профиля и окрашивающий горизонты в охристые тона. Альфегумусовое иллювиирование осуществляется за счет разрушения наиболее неустойчивых алюмо- и ферросиликатов под воздействием агрессивных фульвокислот, частичного биологического поглощения, альфегумусовой миграции и аккумуляции подвижных форм оксидов железа и алюминия. Процесс наиболее характерен для подбуров, формирующихся на породах, способных к активному выветриванию и не испытывающих поверхностное переувлажнение. На более высоких позициях выположенной части нагорной террасы, где возможно поверхностно-проточное переувлажнение, проявляются процессы формирования грубогумусовых, перегнойных, торфяных аккумуляций органического вещества, которые присущи грубогумусовым, перегнойным, торфяным литоземам.

В почвах нагорной террасы южной экспозиции по преобладающей окраске горизонтов можно диагностировать доминирование процессов сухоторфяной и серогумусовой аккумуляций, выражающиеся в наличии сухоторфяных и серогумусовых горизонтов в профиле почв. Процессы формирования сухоторфяных аккумуляций происходят в результате «сухого» торфонакопления, не связанного с грунтовыми водами и заболачиванием в условиях холодного и влажного климата. Серогумусовые аккумуляции представлены гумусовыми веществами фульватного состава, которые связаны с минеральной частью почвы, окрашивая ее в серый цвет.

На склоне восточной экспозиции на высоте 927–925 м почвенный покров представлен подбурами: иллювиально-гумусовыми при проективном покрытии мхами 50% и лишайниками 20%; иллювиально-железистыми при проективном покрытии мхами 30% и лишайниками 30% и несколько большей доли произрастающей древесной растительности. Подбуры формируются с разным режимом увлажнения: в более влажных условиях под более мощным органогенным напочвенным покровом – подтип иллювиально-гумусовые; в менее

увлажненных условиях – подтип иллювиально-железистые. На выположенных участках склона (менее 5°) за счет бокового стока и аэрального приноса пылеватых частиц на поверхность формируются дерново-подбуры иллювиально-железистые. Почвы на высоте 905–871 м формируются в микропонижениях, или на плоских или вогнутых поверхностях с близким залеганием мерзлоты под еловым мелколесьем с мохово-лишайниковым напочвенным покровом и в профилях почв проявляются признаки слабой глееватости: в сизоватой окраске и потечности гумуса, железистой цементации. В еловом мелколесье на крутых склонах при явно промывном водном режиме с хорошо развитым боковым внутрипочвенным стоком проявляется подзолистый и альфегумусовый процессы. Таким образом, почвенный покров представлен разными типами почв, входящих в отдел *альфегумусовые*. При преобладании тундровой растительности формируются дерново-подбур иллювиально-гумусовый (в более влажных условиях) и подбур иллювиально-железистый (что соответствует меньшему увлажнению). При возрастании в доле древесной растительности можжевельника, березы, ели в сочетании с возрастающей долей лишайников (70%) образовался подзол иллювиально-гумусовый глееватый. Почвы на высоте 823–840 м расположены на платообразной поверхности, резко сменяющейся крутым склоном и формированием курумников. Отмечается первичное почвообразование на заросших курумниках и формирование литозёмов. Изменение в составе тундровой растительности (появление мелколиственных пород и развитие травяно-кустарникового яруса) приводит к замене свойственного подбурам органогенного горизонта с заторможенными процессами гумификации серогумусовым (дерновым) горизонтом, и соответственно, формированию дерново-подбура. Окраска минеральных горизонтов имеет красноватые оттенки согласно цветовой шкале, что указывает на наличие мерзлоты в профиле почв.

По классификации 2004 года исследуемые почвы относятся к первичному почвообразованию и постлитогенному. В ствол первичного почвообразования включен отдел слаборазвитых почв, петрозем сухоторфяный и гумусовый (табл. 1). Первичный почвообразовательный процесс способствует накоплению мелкозема между камней, который не выдувается ветром. В таких условиях формируются примитивные почвы, расположенные на участках между камней.

Таблица 1. Таксономическое разнообразие почв горной тундры

Ствол	Отдел	Тип	Подтип	
Первичного почвообразования	Слаборазвитые	Петрозем	Типичный	
		Петрозём	Гумусовый	
Постлитогенный	Литоземы	Сухоторфяный	-	
		Переговойный	Типичный	
		Переговойный	Переговойно-торфяный	
		Торфяно-литозем	Переговойно-торфяный	
		Серогумусовый	Глинисто-иллювирированный	
		Грубогумусовый	Потечно-гумусовый	
	Органо-аккумулятивные	Переговойно-темногумусовые	Элювирированный	
	Альфегумусовые	Дерново-подбур		Иллювиально-железистый
				Иллювиально-гумусово-железистый
		Дерново-подзол		Иллювиально-железистый
				Иллювиально-железистый
		Подбур		Иллювиально-гумусово-железистый
		Иллювиально-железистый потечно-гумусовый		
Подзол		Иллювиально-гумусово-железистый		

Педогенез постлитогенных почв не нарушается и не прерывается отложением свежего седиментационного материала. Постлитогенное почвообразование в тундровых ландшафтах представлено почвами отделов: литоземы, органо-аккумулятивные, альфегумусовые (подбуры, подзолы, дерново-подбуры). Таким образом, в суровых условиях горной тундры и гольцового пояса формируются почвы различного генезиса.



Почвенный покров является достаточно пестрым для таких небольших ареалов тундр среди каменистых россыпей и останцев. Это может указывать на то, что в тундровой зоне, среди гольцов, резко выражены микроклиматические (гидротермические) различия, создающиеся за счет местоположения тундровой поляны по отношению к преобладающим ветрам и близости расположения ее к россыпям и гольцам. Можно предположить, что почвы в горной тундре могут формироваться за счет надувания-навевания пылеватых частиц и отложения их с наветренной стороны и, соответственно ростом мощности профиля вверх. С подветренной стороны, напротив, можно предположить, что профиль почвы будет развиваться вглубь и накапливать мелкозем при активном физическом и морозном выветривании скальных пород *in situ* на высоте более 900 м н.у.м. Установлено, что дифференциация почвенного покрова в тундровых и гольцовых ландшафтах определяется пространственной вариабельностью геологических компонентов – поверхностных седиментов и рельефом. Вертикальная смена типов почвообразования внутри горно-тундрового пояса отражает изменение с высотой, прежде всего климата и растительности.

На нагорной террасе южной экспозиции под мохово-кустарничковой растительностью на высоте 950–910 м н.у.м. почвенный покров образует топографический ряд (сверху вниз): *петрозем сухоторфяный* (950 м) → *литозем сухоторфяный* (930 м) → *дерново-подбур иллювиально-железистый* (910 м). Нагорные террасы северной экспозиции характеризуются более сложными сочетаниями почв под мохово-лишайниковой растительностью. Компонентный состав ПП для нагорной террасы Северного Басега представлен следующим рядом сопряженных почв: *перегнойно-темногумусовая элювиированная* (940 м) → *литозем перегнойный* (937–939 м) → *литозем грубогумусовый* (896 м) → *подзол иллювиально-гумусово-железистый* (854 м) → *дерново-подзол иллювиально-железистый* (836 м). На восточном склоне почвенный покров представлен *подбурами* и *дерново-подбурами* до высоты 840 м. Ниже, на высоте 832–823 м встречаются *петроземы* и *подзолы* (соответственно).

Компонентный состав сочетания почв для нагорной террасы Среднего Басега образует несколько иной ряд сопряженных почв: *торфяно-литозем перегнойно-торфяный* (936 м) → *литозем серогумусовый* (920 м).

Таким образом, в тундровых ландшафтах формируются в основном литоземы с органогенными горизонтами различной природы (перегнойные, торфяные) и подбуры. В гольцовых ландшафтах на камнях и останцах под моховой «подушкой» формируются петроземы и литоземы, состоящие, в основном, из сухоторфяного горизонта различной мощности и степени разложенности.

В пределах исследуемых биоценозов встречаются простые и сложные профили. Простые профили (моногогенетические) развиваются в суровых условиях горной тундры. Полигенез почв встречается в переходных экотонах тундра-криволесье (еловое мелколесье). Таким образом, почвы горной тундры можно считать уникальными объектами, формирующимися в специфических экологических условиях, которые хранят в своих свойствах различную информацию и находятся одновременно и в стадии первичного почвообразования, и в стадии разрушения (постоянного «омолаживания»).

**Заключение.** Тундровые биотопы характеризуются в основном фрагментарным ПП (мозаика из каменистых россыпей и тундр) и представлены петроземами, подбурами, перегнойно-темногумусовыми, литоземами (сухоторфяными, грубогумусовыми, серогумусовыми). Образование почв в горной тундре происходит при обильном промывании профиля осадками до плотной породы, что приводит к значительному выносу оснований. Каждый горизонт в почвах является геохимическим барьером (сорбционным, физико-химическим, биологическим и др.). Основными процессами почвообразования являются: аккумуляция и разложение растительных остатков, торфообразование, гумусообразование, кислотный гидролиз минеральных компонентов, выщелачивание, элювирование. Высотный ряд почв тундрового пояса образуют типы: *перегнойно-темногумусовая элювиированная* – *дерново-подзол грубогумусированный* – *подбур грубогумусированный*.

#### Литература

1. Broll G., Keplin B. Mountain ecosystems: studies in treeline ecology. Berlin; Heidelberg: Springer, 2005. 354 p.

- Sanchez P.A., Ahamed S.F., Carre A.E., Hartemink J., Hempel J., Huising P., Lagacherie A.B., McBratney N.J., McKenzie M.L. de Mendonca-Santos et al. Digital soil map of the World // Science. 2009. Vol 325. № 5941. P. 680–681.
- Старцев В.В., Жангуров Е.В., Дымов А.А. Характеристика почв высотных поясов хребта Яптикнырд (Приполярный Урал) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 38. С. 6–27.
- Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. М.: Наука, 1998. 190 с.
- Карпачевский Л.О. Почвообразование в горах Сихотэ-Алиня. М.: ГЕОС, 2012. 138 с.
- Самофалова И.А., Лузянина О.А. Горные почвы Среднего Урала (на примере ГПЗ «Басеги»): монография. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2014а. 154 с.
- Самофалова И.А., Лузянина О.А. Почвы заповедника «Басеги» и их классификация // Пермский аграрный вестник. 2014б. №1 (5). С. 50–60.
- Самофалова И.А. Информационно-логический анализ дифференциации почвенного покрова высотных геосистем на Среднем Урале // Вестник Алтайского ГАУ. 2017. № 11 (157). С. 105–114.
- Самофалова И.А. Почвенное разнообразие тундровых и гольцовых ландшафтов в заповеднике «Басеги» // Географический вестник. 2018. № 1. С. 16–28.
- Почвенная карта Пермской области. М 1:700 000 / Комитет по геодезии и картографии министерства экологии и природных ресурсов РФ. Москва, 1989.
- Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

## SOIL DIVERSITY OF TUNDRA AND GOLTZ LANDSCAPE IN THE MIDDLE URALS

I.A. Samofalova

Perm State Agrarian and Technological University, Perm, samofalovairaida@mail.ru

*Summary. The features of the morphological structure of the soils of the mountain tundra, classification belonging to the department, type, subtype are determined. The profiles of mountain soils of the tundra zone are clearly distinguishable between mineral and organogenic horizons. According to the 2004 classification, soils are classified as primary soil formation and postlithogenic. The soils of the departments were determined: underdeveloped, lithozems, alpha-humus, organic-accumulative. The altitudinal range of soils is formed by the following types: humus-dark-humus eluvial – coarsely humus soddy-podzol – coarsely humus podbur.*

*Keywords: lithozems, alpha-humus soils, petrozems, organic-accumulative soils, soil cover, mountain tundra, soil formation.*

УДК 631.452:631.472:631.485

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ПОЧВ В СВЯЗИ С ВОВЛЕЧЕНИЕМ В ПАШНЮ

О.И. Сапрыкин, Н.А. Соколова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [nsokolova@issa-siberia.ru](mailto:nsokolova@issa-siberia.ru)

*Аннотация.* В результате вовлечения в сельскохозяйственный оборот текстурно-дифференцированных почв микрозападин лесостепи Новосибирской области происходит трансформация верхней части их профиля. В отношении содержания органического углерода, физической глины, обменных катионов наблюдается приближение свойств пахотного слоя агрогенно-трансформированных почв к таковым фоновых почв пашни.

*Ключевые слова:* текстурно-дифференцированные почвы, микрозападины, подбелы, агрогенная трансформация.

Сельскохозяйственное использование почвенного покрова во многом определяется его составом и пространственным строением [1]. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия предполагает максимальное использование всех компонентов природной среды таким образом, чтобы минимизировать ущерб, наносимый деятельностью человека [2]. В то же время, экономическая эффективность часто достигается минимизацией затрат на механизацию производства за счет вовлечения в пашню земель с малоплодородными почвами, для упрощения конфигурации полей. Так, в лесостепи в пашню вовлекаются текстурно-дифференцированные почвы микрозападин (размером от 0,1 до 10 га), занятых лесными колками. Как правило, в таких почвенных комбинациях ареалы текстурно-дифференцированных почв встречаются в виде пятен на фоне автоморфных почв (преимущественно, черноземов). Подобные почвенные комбинации являются высококонтрастными [3], поскольку их компоненты относятся к разным отделам (аккумулятивно-гумусовых и текстурно-дифференцированных) и характеризуются разными режимами и строением профиля.

Изменения свойств автоморфных текстурно-дифференцированных почв (серых лесных, дерново-подзолистых) при длительном сельскохозяйственном использовании разносторонне исследованы как для европейской территории России [4–7] и сопредельных стран [8], так и для юга Сибири [9, 10]. В случае распашки без дополнительного внесения удобрений происходит резкое снижение запасов органического вещества и изменение его распределения по профилю. При длительном многолетнем внесении органических удобрений, напротив, повышается окультуренность, улучшаются водно-физические и агрохимические свойства пахотного слоя даже по сравнению с целинными аналогами [11].

Для текстурно-дифференцированных почв геохимически подчиненных позиций (подбелы, солоды) данных об изменении их свойств при вовлечении в пашню крайне мало [12, 13]. При сведении леса и распашке почв микропонижений происходит постепенная трансформация морфологического строения их профилей [14]. Вследствие одновременной обработки в западины привносится почвенный материал с прилегающих фоновых почв и формируются педоны, не характерные для исходных почвенных комбинаций. В связи с этим, целью данного исследования было выявление изменений свойств текстурно-дифференцированных почв геохимически подчиненных позиций (подбелов темногумусовых).

**Материалы и методы исследования.** Для достижения поставленной цели изучены почвы агроландшафта, расположенного в Кожевниковском районе Томской области, к востоку от с. Базой (рис.1). Объектами исследования послужили текстурно-дифференцированные почвы микрозападин, с разной длительностью агрогенной трансформации: подбел темногумусовый поверхностно-турбированный (через 3 года после распашки) и агрозем текстурно-дифференцированный агрогетерогенный (около 10 лет после вовлечения в пашню). Длительность агрогенной трансформации определена по разновременным космическим снимкам Google Earth. Для сравнения заложены почвенные разрезы в западине под лесом (подбел темногумусовый сверхглубокоэлювиальный) и на пашне под посевами рапса (агрочернозем глинисто-иллювиальный).





Рисунок 1. Карта-схема расположения объектов исследования. Условные обозначения: 1 – агрозем текстурно-дифференцированный агрогетерогенный; 2 – подбел темногумусовый поверхностно-турбированный; 3 – подбел темногумусовый сверхглубокоэлювиальный; 4 – агрочернозем глинисто-иллювиальный.

Лабораторные исследования проводились общепринятыми в почвоведении методами. Определение органического углерода проводилось мокрым окислением бихроматом калия по методу Тюрина; гранулометрический состав – методом пипетки с обработкой пирофосфатом; рН водной суспензии ( $pH_{\text{вод}}$ ) – потенциометрическим методом при соотношении почва : вода равным 1 : 2,5; содержание обменных катионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) в вытяжке уксуснокислым аммонием по Шолленбергеру. Все данные приведены из расчета на воздушно-сухую почву. Статистическая обработка проведена в пакете программ Microsoft Office Excel 2007 и Past v2.17.

Названия почв и их классификационная принадлежность приведены в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» [15], «Полевым определителем почв» [16], а также рекомендациями по классификации агрогенных горизонтов почв [17].

**Результаты исследования.** Агрогенная трансформация профилей текстурно-дифференцированных почв затрагивает в основном верхнюю часть профиля. В течение первых 3–5 лет подстильно-торфяной, темногумусовый и элювиальный горизонты перемешиваются, однако почвенная масса остается неоднородной. Привнос материала в западину с прилегающей фоновой почвы происходит вначале по краям. Постепенно этот процесс усиливается и в верхней части профиля подбела формируется более темный и однородный пахотный горизонт (Сапрыкин, Соколова, 2021).

В верхней части агрогенно-преобразованных текстурно-дифференцированных почв наблюдается перераспределение органического вещества, особенно в первые 3–5 лет: снижение содержания  $C_{\text{орг}}$  в слое 0–20 см и увеличение в слое 30–60 см. Это свидетельствует об увеличении подвижности гумуса и перемещении его вниз по профилю. В то же время впоследствии снижение содержания  $C_{\text{орг}}$  стабилизируется и остается на одном уровне в пределах пахотного горизонта, что, вероятно, связано с изменением гранулометрического состава (рис. 2).

Анализ содержания физической глины распаханых почв микрозападин относительно нераспаханых показывает выравнивание значений в верхней части профиля и утяжеление в текстурных горизонтах (рис. 2, б), что вызвано разрушением агрегатов при распашке и привнесением суспендированных тонких частиц, не связанных органическим веществом, с осадками в понижения микрорельефа.



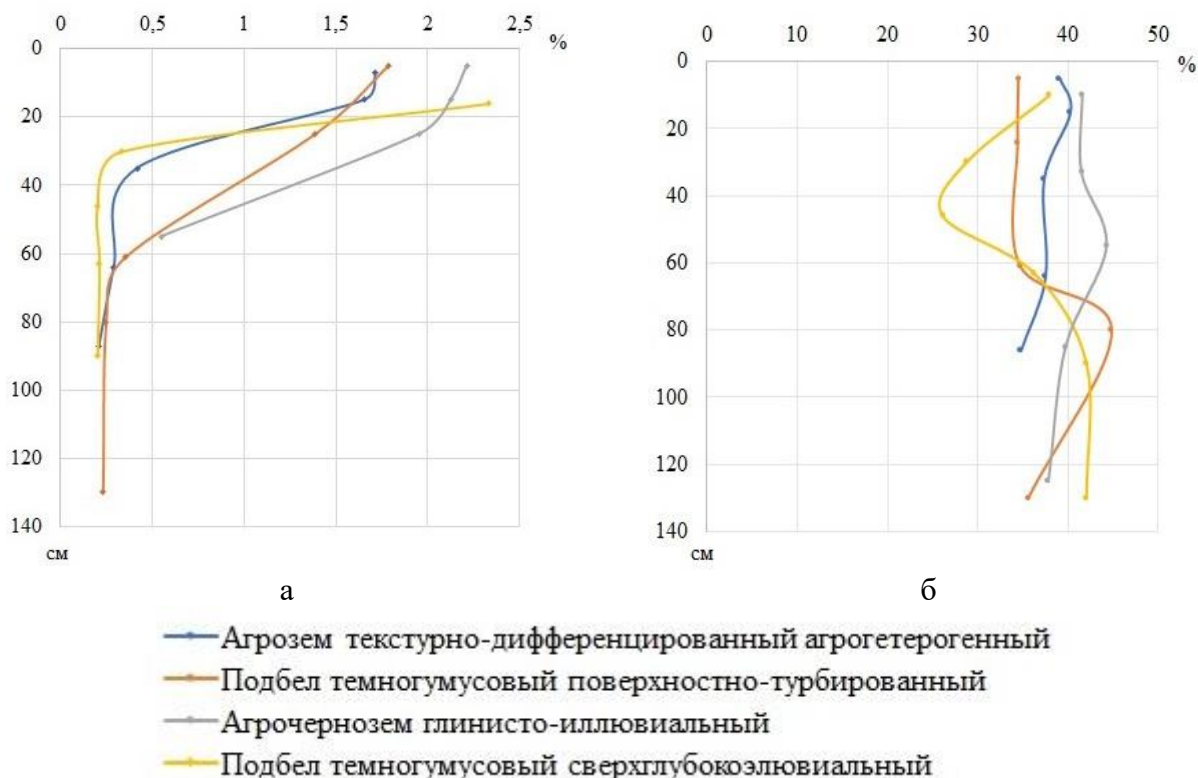


Рисунок 2. Содержание (%) органического углерода (а) и физической глины (б) в профилях агрогенно-трансформированных почв.

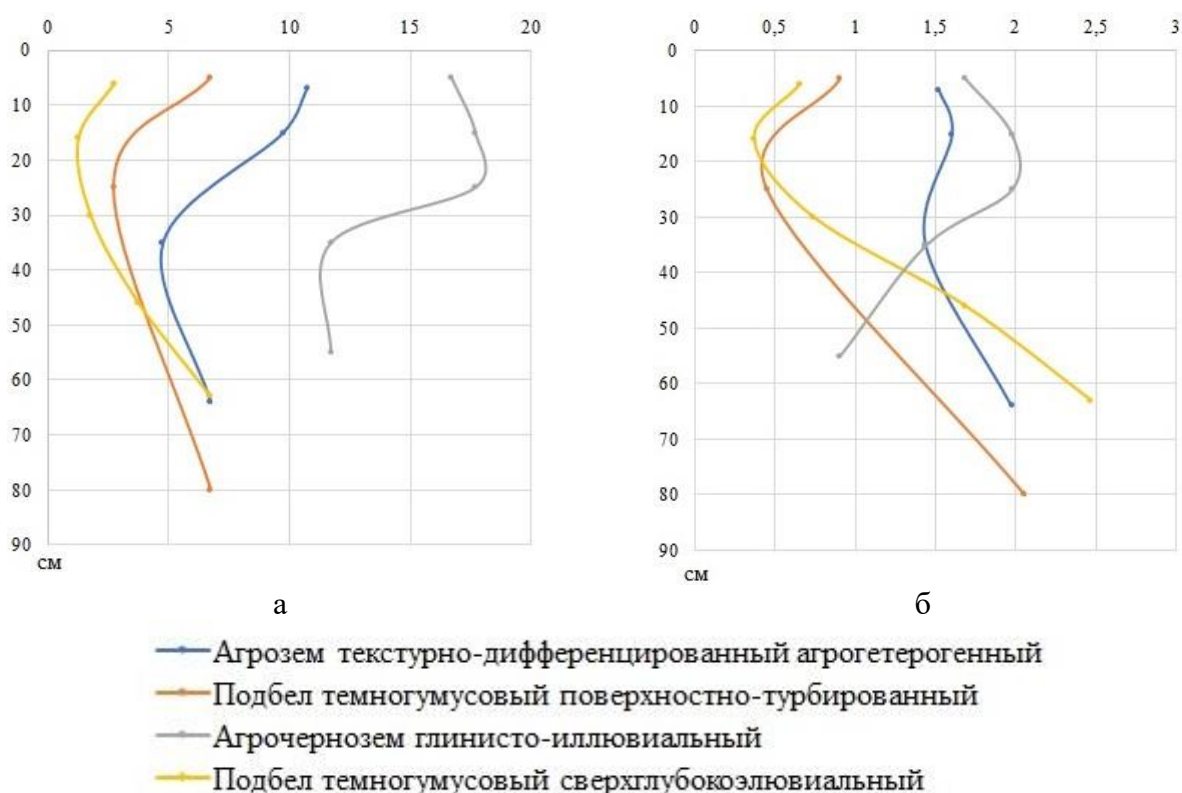


Рисунок 3. Содержание обменных кальция (а) и магния (б), ммоль/100 г почвы в профилях агрогенно-трансформированных почв.

Распределение содержания обменных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ) в профиле изменяется сообразно трансформации распределения как органического углерода, так и тонких минеральных частиц. По мере увеличения длительности сельскохозяйственного освоения увеличивается и содержание обменных Са и Mg в верхней части профиля (рис. 3).

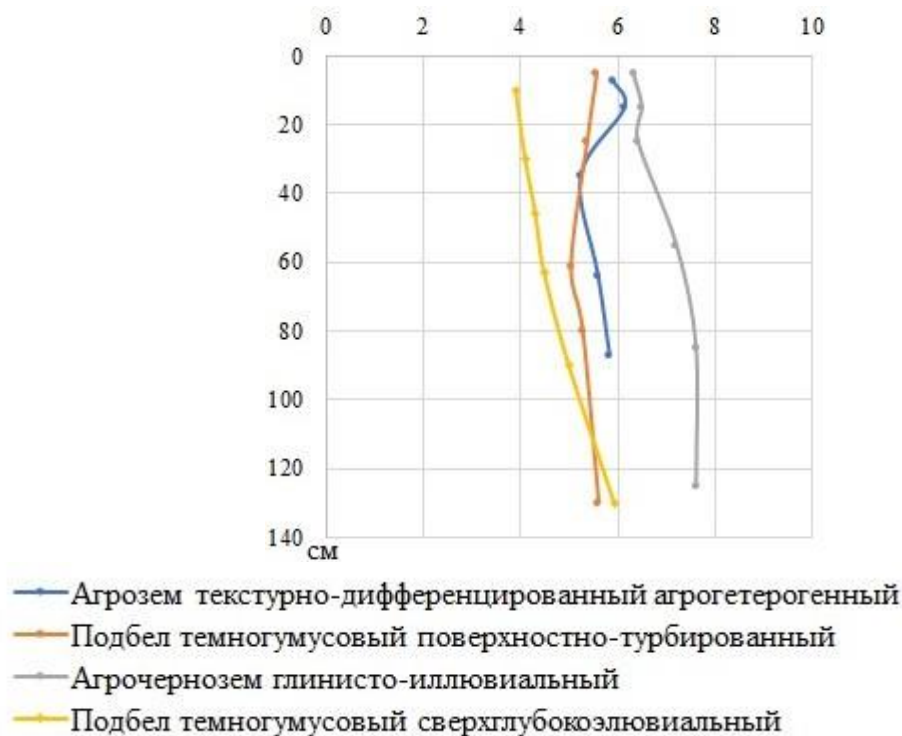


Рисунок 4. Реакция среды (рН) почвенной суспензии в профилях агрогенно-трансформированных почв.

Реакция среды (рН) водной суспензии с увеличением продолжительности агрогенной трансформации в верхней части профиля текстурно-дифференцированных почв изменяется от кислой к слабокислой, приближаясь к нейтральной (рис. 4).

Кластерный анализ свойств почв проведен по ряду показателей: содержание органического углерода в слое 0–20 см и 20–50 см, коэффициент профильной дифференциации по илу и физглине, содержанию катионов кальция и магния в слое 0–20, реакция среды в слое 0–20 см, в слое 40–50 см. Результаты кластерного анализа методом парных групп показывают, что несмотря на приближение свойств верхней части профиля агрогенно-преобразованных почв к таковым фоновых (рис. 5), незатронутая агрогенной трансформацией часть профиля меняется слабо.

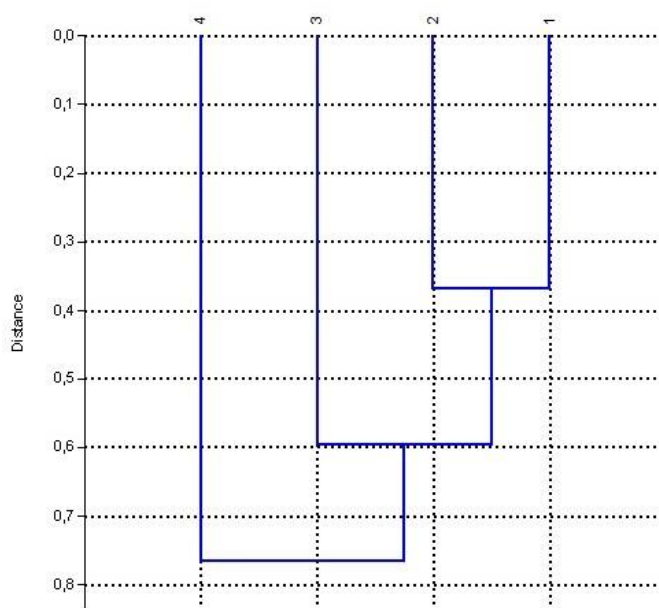


Рисунок 5. Результаты кластерного анализа свойств агрогенно-трансформированных почв. Условные обозначения почв те же, что на рисунке 1.

**Заключение.** Учитывая изменения всех вышеперечисленных параметров, можно заключить, что при вовлечении в пашню свойства текстурно-дифференцированных почв геохимически подчиненных позиций сдвигаются в более благоприятную для сельскохозяйственных культур сторону. При этом важно учитывать, что происходит это за счет перераспределения почвенного материала с фоновых почв в микропонижения. Таким образом, в подобных агроландшафтах важно учитывать изменение состояния плодородия не только вновь вовлеченных в оборот почв, но и фоновых, во избежание снижения их качества.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### Литература

1. Булгаков Д.С., Сорокина Н.П., Карманов И.И. Об оценке территории землепользования с неоднородным почвенным покровом // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение. Минск: Изд-во Центр БГУ, 2012. С. 41–43.
2. Кирюшин В.И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. СПб: Квадро, 2018. 567 с.
3. Смоленцев Б. А. Влияние почв микрозападин на структуру агроландшафтов лесостепной зоны Западной Сибири / Смоленцев Б. А., Сапрыкин О. И., Соколова Н. А., Елизаров Н. В. // Сиб. Вест. Сельск. Науки. – 2017. – Т. 47, № 6(259). – С. 11-18.
4. Кухарук, Н. С. Микроморфологические особенности органического вещества при агрогенной трансформации почв лесостепной зоны / Н. С. Кухарук, Ю. Г. Чендев, А. Н. Петин // Науч. вед. Белг. Гос. ун. Серия: Естественные науки. 2011. № 15(110). С. 168-179.
5. Авдеева Т.Н. Содержание органического углерода структурных отдельностей дерново-подзолистой почвы при различных системах земледелия/ Авдеева Т.Н., Яшин М.А., Когут Б.М., Маркина Л.Г., Тарасов С.И. // Плодородие. 2014. №2 (77). С. 32-36.
6. Володарская, И. В. Агрогенная трансформация гумуса дерново-подзолистых почв на основе исследования информации длительных опытов: дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук / Володарская И. В. Москва, 2001. 180 с.
7. Редькин, Ф. Б. Агротехногенная трансформация почвенного покрова широколиственных лесов Среднерусской возвышенности и лесостепи Зауральского плато: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук / Редькин Ф.Б. Москва, 2001. 28 с.
8. Азаренок Т.Н. Трансформация гумусного состояния дерново-подзолистых легкосуглинистых почв под влиянием агрогенных воздействий / Т.Н. Азаренок, С.В. Шульгина, О.В. Матыченкова, Л.И. Шибут, С.В. Дыдышко // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения: мат-лы межд. науч.-пр. конф. Нижний Новгород, 2017. С. 209-212.
9. Сорокина, О. А. Оценка трансформации плодородия серых почв по степени гумусированности / О. А. Сорокина // Вестник КрасГАУ. 2018. № 3(138). С. 240-246.
10. Черкашина, А. А. Изучение и картографирование агрогенной трансформации почвенного покрова Тункинской котловины / А. А. Черкашина, А. В. Силаев // Успехи Совр. Естествозн. 2016. № 5. С. 168-173.
11. Лисецкий, Ф. Н. Тренды агрогенной трансформации почв лесостепной зоны при разной длительности их сельскохозяйственного использования / Ф. Н. Лисецкий, М. Е. Замураева, М. А. Данильченко // Вест. Харьк. Нац. Агр. Ун. 2010. № 4. С. 23-27.
12. Капустянчик С.Ю. Влияние микрорельефа на распределения нитратного азота удобрений и продуктивность яровой пшеницы в лесостепи Приобья / Капустянчик С.Ю., Добротворская Н.И. // Вест. Новосиб. Гос. Агр. Ун. 2012. Т. 2. № 23. С. 12–16.
13. Сапрыкин О.И. Сравнительная характеристика агрохимических свойств почв в агроландшафтах с западным микрорельефом/ Сапрыкин О.И., Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А. // Агрохимия. 2020. № 10. С. 15–19.
14. Сапрыкин, О. И. Агрогенная трансформация профилей текстурно-дифференцированных почв микрозападин / О. И. Сапрыкин, Н. А. Соколова // Почвы и окружающая среда. – 2022. – Т. 5, № 1.

15. Классификация и диагностика почв России / Сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
16. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
17. Герасимова М.И. Индексация почвенных горизонтов: состояние вопроса, проблемы и предложения / Герасимова М.И., Лебедева И.И., Хитров Н.Б. // Почвоведение. 2013. № 5. С. 627–638.

## CHANGES IN THE PROPERTIES OF TEXTURALLY DIFFERENTIATED SOILS DUE TO INVOLVEMENT IN ARABLE LAND

O.I. Saprykin, N.A. Sokolova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, nsokolova@issa-siberia.ru

*Summary.* As a result of the involvement of texturally differentiated soils of the micro-depressions of the forest-steppe in the agricultural turnover in the Novosibirsk region, the upper part of their profile is transformed. In relation to the content of organic carbon, physical clay, exchange cations, the properties of the arable layer of agrogenically transformed soils are approaching those of the background soils of arable land.

*Keywords:* texturally differentiated soils, micro-depressions, luvisols, agrogenic transformation.

УДК 631.445

## МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИТАЗОВСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ

Б.А. Смоленцев

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, smolentsev.b@issa-siberia.ru

*Аннотация.* Приведен компонентный состав почвенного покрова Притазовского Заполярья. Дана характеристика морфометрических особенностей элементарных почвенных ареалов, составляющих почвенный покров. Определены основные типы структур почвенного покрова и в количественных показателях выражена степень их сложности, контрастности и неоднородности.

*Ключевые слова:* структура почвенного покрова, Притазовское Заполярье.

Изучение природных комплексов северных территорий России, в т.ч. Западной Сибири, всегда связано с определенными сложностями, которые обусловлены трудной их доступностью и значительными финансовыми издержками на эти изучение, в т.ч. на исследование почвенного покрова. Поэтому почвенный покров заполярной территории Западной Сибири изучен фрагментарно и крайне слабо. Все современные исследования по изучению почвенного покрова сводятся к определению и описанию его компонентного состава [1] и генетических особенностей составляющих его типов почв [2]. До настоящего времени остается опубликованной единственная монография о почвах лесотундровой и тундровой зон Западной Сибири [3]. Публикаций о количественной оценке неоднородности структуры почвенного покрова заполярных территорий Западной Сибири нет.

Цель работы – дать морфогенетическую характеристику структуры почвенного покрова Притазовского Заполярья.

Исследования проводились в зоне южной тундры Западной Сибири в левобережной части р. Таз, в нижнем ее течении. Территория расположена в области ледниковых и водноледниковых пониженных равнин. Абсолютные высоты колеблются в пределах 25–35 м над уровнем моря.

Согласно новейшей схеме почвенно-географического районирования [4], территория исследований входит в состав Полярного географического пояса Евразийской полярной почвенно-биоклиматической области почвенной зоны тундровых глеевых почв и подбуров Субарктики Ямало-Гыданской провинции. Почвообразующие породы представлены флювиогляциальными отложениями легко-и среднесуглинистого гранулометрического состава.



Глубина залегания многолетне-мерзлых пород в середине августа колеблется от 20 см до 2-х метров.

Исследования проводились на двух ключевых участках с различными ландшафтами. Первый ключевой участок имеет наиболее расчлененный холмистый рельеф и растительность характерную для южной тундры. Второй участок расположен на плоском заболоченном водоразделе с большим количеством полигонально-валиковых болот.

В результате проведенных исследований установлено, что почвенный покров южной тундры Западной Сибири характеризуется значительной мелкоконтурностью. Размеры элементарных почвенных ареалов, имеющих профиль с полным набором типодиагностирующих горизонтов, колеблются от нескольких десятков сантиметров до 2-х – 3-х метров по наибольшей стороне. Соответственно, даже при детальном почвенном обследовании невозможно выделить однородные контуры ЭПА. На это же указывает В.Д. Васильевская с соавторами, характеризуя структуру почвенного покрова (СПП) полярных территорий: «Однородные (некомплексные) ареалы скорее представляют собой исключение в СПП» [5]. Поэтому в качестве элементарных единиц выделов на почвенной карте использовались двух-трёх-компонентные почвенные комбинации.

Компонентный состав почвенного покрова Притазовского заполярья представлен в таблице 1. Всего на обследованной территории выделено 4 отдела, 9 типов и 15 подтипов почв.

Названия почв даны в соответствии с [6, 7].

В.М. Фридланд, при проведении почвенно-географического деления структур почвенного покрова континентов [8], включил исследуемую территорию в состав страны с господством микроструктур – криогенных почвенных комплексов севера Евразии.

Таблица 1. Классификационная схема почв Притазовского заполярья

Ствол	Отдел	Тип	Подтип	Формула профиля	
Постлито-генные	Глеевые почвы	Глееземы	криогенно-ожелезненные	O-G <sub>cf</sub> -G-CG	
			грубогумусированные	Oao-G-CG	
			грубогумусированные криотурбированные	Oao-G <sub>ctr</sub> -CG	
			грубогумусированные криогенно-ожелезненные	Oao-G <sub>cf</sub> -G-CG	
		Глееземы криометаморфические	криотурбированные	O-G-CRM <sub>ctr</sub> -CG	
			грубогумусированные	Oao-G-CRM-CG	
		Торфяно-глееземы	криотурбированные	T-G-G <sub>ctr</sub> -CG	
	Криотурбированные почвы	Криоземы	типичные	O-CR-C <sub>⊥</sub>	
			типичные	AO-CR-C <sub>⊥</sub>	
		Криоземы грубогумусовые	глееватые	AO-CR <sub>(g)</sub> -C <sub>g⊥</sub>	
			типичные	T-CR-C <sub>⊥</sub>	
		Торфяно-криоземы	глееватые	T-CR <sub>(g)</sub> -C <sub>g⊥</sub>	
	Синлито-генные	Аллювиальные	Аллювиальные торфянисто-глеевые	типичные	T-G-CG ~~
			Аллювиальные торфяно-глеевые	типичные	T-G-CG ~~
	Органо-генные	Торфяные	Торфяные олиготрофные мерзлотные	типичные	TO-TT-TT <sub>⊥</sub>

На территории Притазовского Заполярья микроструктуры представлены комплексами и пятнистостями. Разные подтипы глееземов с пятнами (медальонами) криогенных извержений образуют регулярно-циклические пучинно-бугорковатые наноконтакты. Основным фактором дифференциации почв в этой комбинации служит криогенез, обуславливающий контрастное различие их морфологических профилей. Характер границ между компонентами комплексов резкий. Почвенный покров полигонально-валиковых болот, часто встречающихся на плоских водоразделах, представлен регулярно-циклическими комплексами торфяно-криоземов на полигонах с торфяными олиготрофными мерзлотными почвами на валиках. Глееземы криогенно-ожелезненные с криотурбированными и (или) грубогумусированными подтипами образуют пространственно неупорядоченные пятнистости. Различия почв в пятнистостях наблюдаются по степени разложения органического материала, проявлению криогенного ожелезнения и криотурбаций. Данные микроструктуры формируются на холмистых повышениях.

Структура почвенного покрова южной тундры, образованная почвенными комбинациями с ведущей ролью микроструктур, занимает около 30% изученной территории. На большей части территории, в условиях расчлененного рельефа, формируются почвенные комбинации с ведущей ролью мезоструктур (с учетом микроструктур входящих в состав сложных сочетаний). Почвенный покров здесь образован многократным пространственным повторением мозаик, вариаций, простых и сложных сочетаний, образуемых отделами криоземов, глеевых и аллювиальных почв. Мозаики распространены в трансупераквальных ландшафтах долин ручьев. Это двухкомпонентные почвенные комбинации. Они представлены торфяно-глееземами и аллювиальными торфянисто- или торфяно-глеевыми почвами. Фактор дифференциации почв – различие почвообразующих пород.

Вариации образованы криоземами грубогумусовыми с их полугидроморфными аналогами, а также с торфяно-криоземами глееватыми. Эти почвенные комбинации формируются по нижним частям склонов к речным долинам и ложбинам стока. Основной фактор дифференциации почв в таких комбинациях – глубина залегания мерзлотного слоя, мощность его оттаивания в летнее время с образованием (или без нее) надмерзлотной верховодки, приводящей к гидрометаморфизации почвенного профиля.

Почвы простых сочетаний представлены глееземами, криоземами грубогумусовыми глееватыми и торфяно-криоземами. Пятнистости и пучинно-медальонные наноконтакты внутри сочетаний усложняют их геометрическое строение. Основными генетико-геометрическими формами данных почвенных комбинаций являются линейно-древовидные с нанопятнистыми включениями.

По площади наиболее крупных контуров все ЭПА и почвенные комбинации относятся к мелко- и среднеарейным (< 30 га). Для сравнения, почвенные комбинации северо-таежной подзоны по этому показателю – мегамассивные (более 200 га) [9].

Наибольшее количество выделенных контуров (93,5%) имеют очень мелкие размеры (< 5 га). Наименьшие размеры имеют ареалы торфяно-криоземов полигонально-валиковых болот, у которых средняя площадь контура 350 м<sup>2</sup>. Мелкими размерами (5,1–10,0 га) характеризуются около 5% контуров. Всего два почвенных контура: аллювиальных торфяно-глеевых почв и мозаики этих почв с торфяно-глееземами, имеющие площадь 11,7 и 10,1 га, относятся к среднеарейным. Вариабельность размеров ЭПА и почвенных комбинаций средняя. Наибольшие различия в размерах наблюдаются у торфяно-криоземов и у глееземов. Высокие значения отношений максимальной площади к минимальной у глееземов связано с их приуроченностью к холмистым повышениям, имеющим разные размеры. У торфяно-криоземов высокие значения свидетельствуют об отсутствии препятствий для увеличения их размеров. Эти почвы формируются на плоских водоразделах. Они эволюционируют из окружающих их глееземов и криоземов в результате процессов торфообразования и торфонакопления.

Определено, что большая часть почвенных контуров исследуемой территории имеют округлую или вытянутую форму со слабоизвилистыми границами и небольшой длиной внешнего периметра (по отношению к площади). Все это послужило причиной низкой величины коэффициента расчленения (КР) почвенных контуров: 83% имеют монолитное и слаборасчлененное строение (КР < 2,5), 11% – расчленены в средней степени (КР 2,6–3,5) и

только 6% имеют сильнорасчлененное (3,6–4,5) и изрезанное (> 4,5) строение. Наименьшей внешней расчлененностью характеризуются контуры ЭПА глееземов криогенно-ожезненных и почвенные комбинации с их фоном. Это связано с местоположением этих почв в рельефе: они занимают вершины холмообразных повышений, имеющих округлую форму. Ареалы данных почв и их комбинаций с другими почвами относятся к замкнутым слаборасчлененно-ареальным: средний КР – 1,4–1,8, что ниже среднего исследованной территории.

Сильнорасчлененное и изрезанное строение имеют ареалы почв, развивающихся узкими извилистыми полосами, окаймляющими подножия увалов, а также в сильно изрезанных ложбинах стока, в т.ч. в долинах рек и ручьев. К подножию увалов приурочены глееземы криометаморфические криотурбированные, некоторые ареалы которых имеют один из самых высоких коэффициентов расчлененности – 6,6.

Контур вариаций криоземов грубогумусовых с их полугидроморфными аналогами характеризуются высокими средними значениями коэффициента расчленения, которые почти в 2 раза превышают средний показатель всех контуров исследуемой территории. Почвы долин рек: торфяно-глееземы и аллювиальные торфяно-и торфянисто-глеевые характеризуются наивысшей степенью расчлененности контуров.

Таблица 2. Морфогенетические показатели неоднородности почвенного покрова Притазовского Заполярья

S, га	P, м	КР	КС	КК	КН
общая	194,06	115398			
средняя	1,58	931	2,03	1,2	16,8
минимум	0,13	141	1,05		
максимум	11,68	10160	8,40		

S – площадь, P – периметр, КР – коэффициент расчленения, КС – коэффициент сложности, КК – коэффициент контрастности, КН – коэффициент неоднородности

В целом, почвенный покров исследованной территории с точки зрения сложности геометрического строения характеризуется как мелкоареальный вытянуто-округлый слаборасчлененный, местами ветвистый изрезанный. Высокое значение коэффициента сложности обусловлено большим количеством почвенных выделов на единицу площади – в среднем 63 контура на 100 га. Это в несколько раз больше, чем у всех ранее изученных территорий [10, 11].

Контрастность почв или их классификационная неоднородность, рассчитывалась по четырём показателям: степени выраженности криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта. По величине суммарного коэффициента контрастности (табл. 2) почвенный покров исследованной территории характеризуется как полуконтрастный. Относительно невысокий показатель контрастности почвенного покрова обусловлен низким классификационным разнообразием постлитогенных почв: всего два отдела этого ствола занимают 90,8% территории. Коэффициент неоднородности (табл. 2), как интегральный показатель уровня дробности, расчлененность и контрастности почвенного покрова Притазовского Заполярья характеризует его как монотонно-гетерогенный.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### Литература

1. Гербер А.А., Кулижский С.П., Лойко С.В. Почвы криометаморфического отдела лесотундры Западной Сибири в пределах правобережной части р. Пур // материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Почвы Сибири: вызовы XXI века». 4–7 декабря 2017г., г. Новосибирск. Томск: Изд-во ТГУ, 2017. Ч.1. С. 42–46.

2. Заров Е.А., Голубятников Л.Л., Лапшина Е.Д., Лойко С.В. Растительность и почвы тундровых ландшафтов пур-тазовского междуречья // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 1. С. 82–92.
3. Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы севера Западной Сибири. М: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 227 с.
4. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / Науч. ред.: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. М.: “Талка+”, 2013.
5. Васильевская В.Д., Караваяева Н.А., Наумов Е.М. Формирование структуры почвенного покрова полярных областей // Почвоведение, 1993, № 7. С.44–55.
6. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
8. Фридланд В. М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 240 с.
9. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских увалов. Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2002. 118 с.
10. Смоленцев Б.А., Вологжина О.В. Пространственная и функционально-генетическая характеристика почвенных комбинаций Барабинской равнины // Сибирский экологический журнал. 2004. № 3. С. 355–366.
11. Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Особенности структуры почвенного покрова Сокурской возвышенности // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 809–821.

#### MORPHOGENETIC FEATURES OF THE STRUCTURE OF THE SOIL COVER IN THE PRITAZOVSKAYA POLAR

B.A. Smolentsev

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [smolentsev.b@issa-siberia.ru](mailto:smolentsev.b@issa-siberia.ru)

*Summary. The component composition of the soil cover of the Pritazovsky Polar region is given. The characteristic of morphometric features of elementary soil areas that make up the soil cover is given. The main types of soil cover structures are determined and the degree of their complexity, contrast and heterogeneity is expressed in quantitative indicators.*

*Keywords: soil cover structure, Pritazovskoye polar region, soils inhomogeneity.*



УДК 631.48

## СУХОТОРФЯНО-ЛИТОЗЁМЫ ОСТРОВНЫХ БАРОВ ТАУЙСКОЙ ГУБЫ

Н.С. Соболев<sup>1</sup>, М.И. Герасимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия, kolyhome2000@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия, maria.i.gerasimova@gmail.com

**Аннотация.** Почвообразование на островных барах Тауйской губы носит особый характер, связи с суровым климатом, динамичностью почвообразующих пород и рельефа, влиянием морских колониальных птиц. Почвы были определены, как сухоторфяно-литозёмы, различающиеся мощностью сухоторфяного горизонта Т<sub>1</sub> и скелетностью. Их главной особенностью является почвообразующая порода – галечник, не предусмотренная в классификации почв России. Горизонт Т<sub>1</sub> состоит из остатков мезофильных растений и тёмного тонкодисперсного вещества.

**Ключевые слова:** Северное Охотоморье, классификация почв, диагностика сухоторфяного горизонта, мезофильная растительность, динамичность ландшафтов, галечник, морские колониальные птицы.

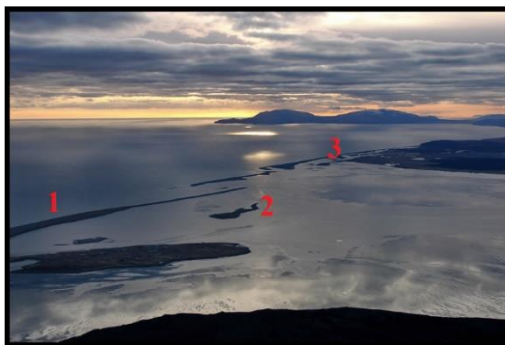


Рисунок 1. Ольская лагуна. Вид на Юго-Запад. Островные бары: 1 – Уратамлян, 2 – Сиякал, 3 – Сикулун. Источник: Иллюстрация Ольской лагуны [Электронный ресурс] // URL: <https://primamedia.ru/f/big/958/957567.jpg> (дата обращения: 11.07.2023)

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являются почвы островных баров Ольской лагуны (рис. 1). Ольская лагуна представляет собой водоём площадью около 30 км<sup>2</sup>, являющийся частью Тауйской губы. Часть берегов, как и бары, сложены современными морскими галечниками, реже песками [3]; островные бары имеют слабопологоволнистый рельеф (рис. 2). Высота над уровнем моря не превышает 5 м. Островные бары являются крайне динамичными системами, что проявляется в постоянно происходящих процессах смыва, намыва и штормовых набросов песчано-галечного субстрата. Процессы смыва нарушают почвенный покров, унося части верхних горизонтов или всю почву в море, набросы выбрасывают такие фрагменты и новый песчано-галечниковый материал на побережье. Наиболее сильные набросы полностью погребают и консервируют почвы, образуя пятна и полосы белой гальки на поверхности бара (рис. 2).

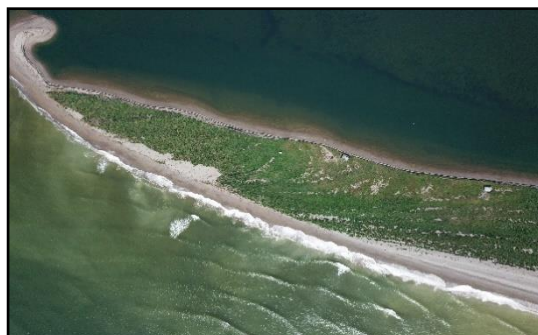


Рисунок 2. Западная часть бара Уратамлян. Юго-Запад – смыв почвенного покрова; Восток – светлые набросы гальки. Фотография М.Г. Хоревой.

Климат оценивается как холодный временами избыточно влажный, субарктический морской по Б.П. Алисову [4]. Средняя температура июля составляет +12 °С, января – -17 °С. Среднегодовая температура воздуха составляет -2,5 °С. Годовая сумма осадков – 376 мм. Акватория Охотского моря оказывает сглаживающее воздействие на ход годовых температур; влажность воздуха остается высокой и составляет 77%. В Ольской лагуне имеет место выхолаживающий эффект [5]. Средняя скорость ветра – 4,3 м/с.

На островных барах преобладают мезофильные злаковые луга из колосняка мягкого (*Leymus mollis*) и вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis Langsdorfii*), по побережьям – галофитный луг с бескильницей (*Puccinellia phryganoides*); на наиболее старых частях баров встречается разнотравно-шикшиевая (*Empetrum androgynum*) тундра [6].

На мелкомасштабных почвенных картах почвы побережья Тауйской губы и островов названы сухоторфяными подбурами и подзолами [7, 8] в соответствии с общими почвенно-географическими закономерностями. Формирование сухоторфяного горизонта вполне соответствует как климатическим условиям, так и характеру лугов с неторфообразующей растительностью [2]. Развитие же альфегумусового процесса, судя по проведенным наблюдениям, ограничено временем: динамикой баров, следовательно, молодостью почв.

Методы исследования включали маршрутные наблюдения с описанием почвенных профилей, мезоморфологические в лаборатории ИГ РАН. Химические анализы проводились в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. Величины pH измерялись потенциометрическим методом на pH-метре «ЭКСПЕРТ-pH»; электропроводность, как показатель количества легкорастворимых солей, кондуктометром «SevenEasy S30» фирмы MettlerToledo при соотношении почва:вода 1:25 для органических горизонтов и 1:5 для минеральных. Потери при прокаливании в сухоторфяных горизонтах определялись в соответствии с ГОСТ 11306-2013.

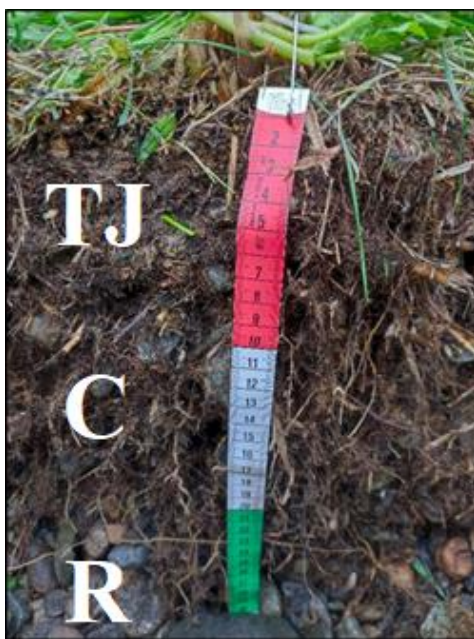


Рисунок 3. Сухоторфяно-литозём на галечнике. Разрез Ур-4. Фотография автора.

**Обсуждение результатов.** Почвы баров были определены как литозёмы сухоторфяные с профилем: сухоторфяный горизонт TJ, переходный C и почвообразующая порода R на глубине не больше 30 см [1, 2]. К характерным чертам профиля объектов исследования, кроме диагностического горизонта TJ, относятся: особая почвообразующая порода и наличие переходного к ней горизонта. Порода – хорошо окатанная морская галька с малой примесью песка, залегающая плотными слоями; размер гальки варьирует от 1 до 10 см, в среднем – 5 см. Переходный к породе горизонт C в литоземах обычно представляет собой щебнисто-мелкоземистый элювий плотных пород [1, 2]. В нашем случае горизонт C состоит из умеренно плотной массы корней, сгустков тёмного тонкодисперсного материала и гальки, занимающей более 50% массы горизонта (рис. 3). Он является результатом проникновения корней злаков в галечник и обычно имеет ясную нижнюю границу.

Динамичность островных баров, выражающаяся в процессах смыва, намыва и набросов песчано-галечного материала, обуславливает особые черты почвообразования: смывы разрушают почву, намывы, напротив, создают площадь «потенциальных» почв. Набросы увеличивают скелетность верхних горизонтов и, при большой интенсивности, приводят к погребению почв галечным материалом, который может стать почвообразующей породой для новой почвы. Сравнение конфигурации островных баров по спутниковым снимкам разных лет позволяет сделать вывод об их динамичности, а также о примерно одинаковой интенсивности процессов смыва и намыва. Они не позволяют барам, как полностью разрушиться, так и достигнуть внушительных размеров, что приводит к короткому «времени жизни» почв на них.



Даже в центрах островных баров редко встречаются относительно развитые почвы. Очевидно, что побережья наиболее динамичны.

Мезоморфологическими исследованиями на поверхности гальки изредка обнаруживались фрагментарные аллохтонные гумусовые (в Т<sub>1</sub> и С) и железистые (в С и R) кутаны. Они



Рисунок 4. Сухоторфяной горизонт под микроскопом. Разрез Ур-1. Фотография автора.

свидетельствуют о минимальных проявлениях альфегумусового процесса, ограниченного не только «временем жизни» почвы, но и значениями рН: в среднем 6,4, и до 7,8.

Сухоторфяные горизонты представляют собой органический материал, состоящий из остатков мезофильных видов растений, формирующийся в условиях влажного холодного климата [2], что полностью соответствует факторам почвообразования в Тауйской губе. Сухой торф состоит из остатков колосняка и вейника, в основном их корней, слабо- и среднеразложившихся, иногда заполненных мелкими минеральными зёрнами. Диаметр наиболее крупных остатков, вероятно, корневищ, достигает 3 мм (рис. 4). Мелкие растительные остатки (1–50 мкм) имеют нитевидную форму и пронизывают тонкодисперсный материал темного цвета в виде отдельных сгустков и их скоплений с минеральными зёрнами в них. По-видимому, сгустки представляют собой остатки разнотравья и листьев злаков лучшей степенью разложения, по сравнению с корнями, среди которых есть и живые. На некоторых остатках корней находятся такие же почти чёрные гумусовые сгустки. Средняя мощность сухоторфяного горизонта составляет 12 см. Потери при прокаливании составляют в среднем 70%. Отмечается наличие почвенной мезофауны – при полевом обследовании были обнаружены сороконожки и личинки жуков.

Морские колониальные птицы, чьи колонии находятся на барах, оказывают определённое влияние на сухоторфяной горизонт. Поведенческой особенностью чайки является постоянное хождение по гнездовой территории по определённым маршрутам [9]. В результате, образуются тропы, пропадает растительность и переуплотняется сухоторфяной горизонт. Растения между тропами собираются в органогенную кочку благодаря подкормке биофильными элементами из помёта чаек (рис. 5).

Орнитогенное влияние на почвы проявляется в изменении химических свойств сухоторфяных горизонтов, которые подщелачиваются помётом чаек. Среднее значение рН в горизонтах почв колоний птиц составляет 6,4, по сравнению с фоновыми участками со средней величиной рН – 4,9. В местах колоний увеличиваются значения TDS в 3–6 раз, достигая 1000–1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

На некоторых барах отмечены проявления криогенных процессов в сухоторфяно-литозёмах, в виде каменных колец из гальки диаметром в среднем 10–15 см.

**Выводы.** Холодный влажный климат и мезофильная растительность определяет преобладание в почвенном покрове островных баров сухоторфяно-литозёмов на морских галечниках; они различаются мощностью профилей и количеством включений гальки. Динамичность условий почвообразования – смывы и набросы гальки определяет молодость почв. Признаков альфегумусового процесса, предполагавшегося на



Рисунок 5. Вытопанные чайками участки и органогенные кочки. Остров Уратамлян. Фотография автора.

основе информации с мелкомасштабных карт, в профилях почв баров не было обнаружено, хотя его минимальные проявления отмечались при мезоморфологических исследованиях. Особенностью сухоторфяно-литоземов баров является их почвообразующая порода – галечник, не предусмотренная в КиДПР.

Сухоторфяные горизонты состоят из остатков мезофильных видов растений и густо пронизаны корнями злаков. Процесс гумификации органического материала проявляется в формировании отдельных сгустков темного тонкодисперсного материала, частично вблизи корневых остатков. Горизонты имеют высокую степень скелетности из-за гальки, которая поступает в почвенный профиль посредством набросов с моря во время штормов. Близкие к нейтральным значения  $pH_{водн}$  могут объясняться подщелачиванием почвы за счет помета чаек в местах их колоний, а также импультверизацией солей с моря.

Влияние морских колониальных птиц на почвы проявляется в уплотнении верхних горизонтов и формировании органогенных кочек, а также в изменениях химических свойств почв. Птицы вносят большое количество биофильных элементов, подщелачивают верхние горизонты на 1-2 единицы рН и увеличивают значения TDS в 3–6 раз по сравнению с фоном.

Авторы выражают благодарность Ю.В. Конопляниковой за помощь в проведении мезоморфологического анализа и сотрудникам ИБПС ДВО РАН М.Г. Хоревой и Л.А. Зеленской за помощь в проведении полевых работ и предоставлении фотографий с дрона.

#### Литература

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Полевой определитель почв России. Москва: Почв.ин-т, 2008. 182 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации, Лист О-56-II, 2016.
4. Алисов Б.П. Климаты СССР. М.: Изд-во МГУ, 1956. 128 с.
5. Ушаков М.В. Продолжительность ледового сезона на реках Тауйской губы в условиях климатических // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2022. Т. 8. №. 2. С. 236–245.
6. Хорева М.Г., Зеленская Л.А., Андриянова Е.А. Формирование растительного покрова на островных барах Ольской лагуны (Охотское море) в условиях быстрорастущей численности морских птиц // Сибирский экологический журнал. 2016. Т. 23. №. 3. С. 299–312.
7. Почвенная карта РСФСР. М-6 1:2500000/ Ред. В.М. Фридланд. М: ГУГК, 1988.
8. Почвенная карта Магаданской области. 1:2500000/ Ред. Е.М. Наумов М: ВАСХНИЛ, 1996.
9. Зеленская Л.А. Экология тихоокеанской чайки (*Larus schistisagus*), гнездящейся на озере Кроноцкое (Камчатка) // Зоологический журнал. 2017. Т. 96. №. 1. С. 67–82.

#### DRY-PEAT LITHOZEMS OF ISLAND BARS IN THE TAU I BAY

N.S. Sobolev<sup>1</sup>, M.I. Gerasimova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, kolyhome2000@yandex.ru

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, maria.i.gerasimova

*Summary. Soil formation on the island bars in the Tau I Bay is rather specific due to the severe climate, dynamic parent material and the influence of marine colonial birds. The soils were classified as dry-peat lithozems (Fibric Mawic Histosols (Orhithic)), differing in the thickness of the dry-peat horizon and content of pebbles. Their particular property is their parent material - compact pebbles, which is not provided for in the Russian soil classification system. The dry-peat horizon is composed of mesophilic plants residues and few clots of dark fine matter.*

*Keywords: Sea of Okhotsk coastal areas, soil classification, dry-peat horizon, mesophilic plants, dynamic landscapes, pebble parent rock, marine colonial birds.*



УДК 631.4

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЕГОРЛЫКСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**В.З. Спирина, Д.В. Малимон**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
Spirina.pochva@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены условия формирования обыкновенных карбонатных сверхмощных малогумусных черноземов Егорлыкского района Ростовской области, находящихся вблизи лесных насаждений. Выявлены особенности морфологического строения профиля и свойств черноземов. Мощность гумусового горизонта большая и составляет 130–140 см, горизонта максимального скопления карбонатов в профиле не выявлено. Гранулометрический состав легкоглинистый с высоким содержанием илистых частиц (36–41%) и крупной пыли (31–32%), почти при полном отсутствии крупного песка (0,2%). Вследствие благоприятных условий для минерализации органических веществ гумуса накапливается мало (5%). В силу высокой интенсивности биологического круговорота веществ подвижные элементы питания не накапливаются, а быстро поглощаются растениями и микроорганизмами. Легкогидролизуемого азота содержится 8–9 мг/100 г почвы, подвижного фосфора – 12–13 мг/100 г почвы. Результаты исследований свидетельствуют, что наличие лесных полос способствует сохранению плодородия черноземов степных территорий.

**Ключевые слова:** черноземы обыкновенные, почвенный профиль, свойства, плодородие, подвижные элементы, гумус, горизонты, структура, карбонаты, крупная пыль, ил.

Важной стороной общего влияния человека на окружающую среду является воздействие на почвы как на связующий компонент наземных биоценозов в экосистеме. Влияние антропогенных и природных факторов на почвенный покров определяет устойчивость экосистемы. Каждая почва, как известно, представляет собой сложную систему с характерными свойствами, определяющими ее плодородие. Одна из важных проблем дальнейшего развития человеческого общества заключается в сохранении почвенного покрова, подверженного процессам деградации в результате неправильного использования почв, а также изменяющихся климатических условий, что нарушает естественную динамику почвообразовательных процессов, приводит к постепенной перестройке их развития, трансформирует свойства и изменяет почвенное плодородие [1]. Большое значение в функционировании и эволюции биоценозов степных ландшафтов Ростовской области имеют черноземы разных подтипов, обладающие природным совершенством. Все почвы неизбежно подвергаются воздействию эволюционных процессов под воздействием природных и антропогенных факторов, что, вероятно, приведет к качественным и количественным изменениям свойств не только почв, но и природы в целом. Однако широкая экологическая пластичность черноземов обеспечивает их адаптацию к изменяющимся условиям дальнейшего функционирования. В связи с этим изучение современного состояния черноземов Ростовской области, занимающих наибольшие площади степных территорий, является весьма актуальным.

Цель данного исследования – изучить состояние черноземов степных ландшафтов южной части Ростовской области в пределах территории Егорлыкского района.

Территория района исследования – слабо волнистая равнина, расчлененная долинами степных рек. Микрорельеф выражен незначительно и представлен главным образом небольшими замкнутыми понижениями [2]. Материнскими породами в основном являются карбонатные лессовидные глины и суглинки мощностью от 6 до 50 м. Обычно они имеют палево-бурую или палево-желтую окраску и тонкопористое сложение. Содержание CaCO<sub>3</sub> составляет от 4 до 16%, причем наиболее высокая карбонатность почвообразующих пород приурочена непосредственно к району исследования [3]. Особенностью климата территории является его засушливость, которая связана с высокими температурами летом, небольшим количеством осадков и сильными ветрами. Обилие тепла и продолжительный вегетационный период способствуют значительной интенсивности биологического круговорота и почти

круглосуточному течению почвенных процессов, что проявляется в специфике гумусообразования и миграции веществ. Именно с особенностями климата связано развитие на данной территории черноземов обыкновенных карбонатных сверхмощных, что позволяет выращивать большинство сельскохозяйственных культур. Вся территория Егорлыкского района относится к богато-разнотравно-типчаково-ковыльной приазовской степи. Однако естественная растительность не сохранилась в первозданном виде, так как степные пространства сильно изменены хозяйственной деятельностью человека [4].

Объектами исследования послужили черноземы обыкновенные карбонатные сверхмощные малогумусные легкоглинистые. Почвенные профили были изучены на слабопологом склоне северной экспозиции под разнотравно-типчаково-ковыльной степной растительностью высотой 25–30 см вблизи (60–70 м) от ветрозащитной лесополосы. Лесные насаждения в данных условиях играют исключительно важную роль в системе степных агроценозов, предотвращают эрозию и дефляцию. Они формируют агроландшафт и являются одним из основных средообразующих компонентов.

Из каждого генетического горизонта сплошной колонкой по 10 см были отобраны образцы почв. Наиболее важными процессами образования обыкновенных черноземов являются дерновый процесс и миграция гидрокарбонатов кальция в профиле. Именно эти процессы привели к формированию черноземов в целинных степях и остаются ведущими, однако в распаханых почвах значительно изменяются [5]. Карбонаты в исследованных черноземах отмечаются с поверхности в виде пропитки и с глубиной их количество увеличивается, но максимального скопления и наличие иллювиально-карбонатного горизонта не отмечается. Характерной чертой также является появление карбонатных скоплений в виде белоглазки в нижней части гумусового горизонта. Последний имеет менее интенсивную окраску по сравнению с другими черноземами. Интенсивность окраски гумусового горизонта, мощность которого составляет 130–140 см, изменяется от темно-серой в слое 0–30 см до серо-бурой у нижней границы. Структура также изменяется от комковато-зернисто-пылеватой до комковато-пылеватой в конце гумусового горизонта (115–135 см). Влияние изменяющихся природных и антропогенных факторов определяет особенности исследованных черноземов обыкновенных карбонатных, которые проявляются, прежде всего, в большой мощности гумусового горизонта при сравнительно низком содержании гумуса.

При изучении почв использовались общепринятые в почвоведении методы и методики для определения химических и физико-химических свойств почв [6].

Гранулометрический состав характеризует состояние минеральной основы почв и отражает этапы длительной истории их формирования. Обыкновенные карбонатные сверхмощные черноземы являются легкоглинистыми крупно-пылевато-иловатыми. По почвенному профилю гранулометрический состав не изменяется, отражая черноземный тип почвообразования. Среди гранулометрических фракций резко преобладает ил и его содержание колеблется в пределах 36–41%. Почвы имеют равномерный тип распределения илистой фракции и отсутствие дифференциации профиля. Количество крупной пыли составляет 31–32%, средней пыли содержится немного меньше, на долю частиц размером 0,005–0,001 мм приходится 4–5%. Содержание физической глины варьирует от 65 до 70%. Гранулометрический состав данных почв характеризуется почти полным отсутствием крупного песка, количество этих частиц не превышает 0,2%, что свидетельствует об интенсивности процессов выветривания. Мелкого и среднего песка также содержится немного – ниже 2%. Все частицы по профилю распределяются равномерно. Подобное содержание и распределение частиц гранулометрического состава в черноземах данного региона отмечают многие исследователи [4, 5, 7]. Следует отметить, что для изученных обыкновенных черноземов в качестве диагностического признака выявлено преобладание лессовой фракции, унаследованной от материнской породы. Характер равномерного распределения частиц по профилю свидетельствует о формировании данных почв в пределах одного типа отложений, а именно лессовидных суглинков. Как известно, территория исследования находится в районе периодического проявления пыльных бурь, вследствие чего большая часть почв подвержена ветровой эрозии [7]. Однако характер содержания и распределения гранулометрических частиц в данных почвах говорит об отсутствии эрозионных процессов, что, в свою очередь,

по-видимому, связано с близким расположением ветрозащитной полосы, сдерживающей движение воздушных масс и препятствующей выносу тонких фракций из верхних горизонтов.

Условия почвообразования в Ростовской области одни из самых благоприятных. Это способствует практически непрерывному протеканию в обыкновенных черноземах процессов гумусообразования с особым биохимическим составом гумуса и его минерализацией, а также прочному закреплению части гумусовых веществ глинистыми минералами. По содержанию гумуса исследованные почвы относятся к малогумусным видам, а по мощности гумусового горизонта к сверхмощным. Гумусовый горизонт черноземов обыкновенных карбонатных сверхмощных отличается от всех других подтипов черноземов. Наиболее яркими особенностями данных почв являются малогумусность при значительной мощности гумусового горизонта (130–140 см) и очень плавном уменьшении содержания гумуса с глубиной. Профиль исследованных почв можно разделить по содержанию гумуса на три части. Первая включает толщу от 0 до 65 см. В слое 0–5 см содержится немного больше (4,9–5,1%) гумуса, чем на глубине 5–10 см (4,7–4,9%). Дальнейшее снижение гумуса носит плавный характер и в целом в слое 0–65 см гумуса содержится в пределах 5%. Вторая гумусовая часть касается глубины 65–85 см, где уменьшение гумуса происходит постепенно в пределах 3–4%, что, вероятно, связано с меньшей долей корней по сравнению с вышележащей толщей, однако почвенные животные способствуют перемещению гумуса из верхних частей профиля. В третьей гумусовой части с 85 см до 134 см гумуса содержится 2,6–2,8%. Некоторые исследователи считают, что гумусообразование в черноземах нельзя рассматривать только как процесс гумификации отмирающих корней степных трав. Вероятно, корни верхнего слоя служат источником гумуса для всего почвенного профиля [8]. Следует отметить, что черноземы Ростовской области, как отмечают исследователи, подвержены воздействию ветровой эрозии, которая приводит к потере содержания гумуса [5, 9]. Однако в исследованных черноземах снижения количества гумуса в самой верхней части (0–10 см) не наблюдается, что связано с близким расположением лесополосы, защищающей от эрозионных процессов почвы и способствующей накоплению гумуса. В слое 0–5 см гумуса содержится несколько больше, чем на глубине 5–10 см, что связано с поступлением на поверхность почвы ежегодного опада степной растительности.

Исследованные черноземы относятся к роду карбонатных, содержащие углекислые соли с поверхности (2–3%). По профилю количество карбонатов постепенно увеличивается и на глубине 190 см составляет 11–13%. Величина суммы обменных катионов в данных почвах варьирует от 28–29 до 37–39 мг-экв/100 г почвы. Наибольшее содержание обменных катионов обнаруживается в самом верхнем слое почвы, заключающим максимум гумуса и продуктов жизнедеятельности животных; к низу эти значения постепенно уменьшаются аналогично снижению гумуса. Состав обменных катионов способствует закреплению гумусовых веществ и стабилизации гумусового профиля почв с характеристиками, соответствующими определенному типу почвообразования. В связи с отсутствием дифференциации почвенного профиля по гранулометрическому составу и количеству карбонатов распределение суммы обменных катионов связано прежде всего с содержанием гумуса. Такое распределение обменных катионов по профилю обуславливает благоприятный характер почвенной структуры, водно-физических и физико-механических свойств обыкновенных карбонатных черноземов. В составе ППК преобладает кальций, и в наиболее гумусированной части профиля его величина составляет 32–35 мг-экв/100 г почвы, что свидетельствует о богатстве растительного опада данным элементом и его биогенном характере накопления. При наличии степной растительности количество поглощенного кальция пополняется за счет продуктов разложения надземных и корневых растительных остатков. Такое наличие кальция обеспечивает высокую коагуляцию коллоидных систем, следовательно, способствует высокому структурообразованию при участии корней травяной растительности и достаточного содержания гумуса. Биогенное накопление обменного магния выражено значительно слабее, вследствие этого его роль в обменных процессах при черноземообразовании проявляется значительно меньше. Величина поглощенного магния в слое 0–125 см колеблется в пределах 4,9–5,5 мг-экв/100 г почвы, затем постепенно увеличивается по профилю к породе и на глубине 130–190 см составляет 6,2–6,5 мг-экв/100 г

почвы. Особенность черноземов обыкновенных карбонатных заключается в их высокой карбонатности и в содержании карбонатов кальция начиная с поверхности профиля, что несомненно влияет на кислотно-щелочной баланс, который является важным показателем плодородия почв. Высокая насыщенность ППК поглощенными основаниями в исследованных черноземах наряду с повышенным содержанием карбонатов по всему профилю обуславливает щелочную реакцию почвенного раствора, которая изменяется от слабощелочной в гумусовых горизонтах (рН 8,0–8,3) до среднещелочной (рН 8,5–8,7) вследствие увеличения карбонатности почвообразующей породы. Общее содержание элементов питания в почвах соответствует прежде всего количеству гумуса и определяет высокое естественное плодородие черноземов. Однако обеспеченность растений подвижными элементами питания недостаточная, поскольку в основном они представлены органическими соединениями. Большое влияние на мобилизацию почвенного плодородия, на переход элементов питания в доступную форму оказывают многие факторы.

Азот зачастую является лимитирующим элементом для растений. Однако основная часть азота находится в труднодоступной форме и сосредоточена в органическом веществе, прежде всего в гумусе. На долю минеральных форм приходится 1–5% общего содержания азота [8]. В гумусовых горизонтах исследованных обыкновенных карбонатных черноземах легкогидролизуемого азота содержится немного – в верхнем слое 8–9 мг/100г почвы. По профилю азот постепенно снижается аналогично величине гумуса.

Содержание доступного фосфора колеблется от 12–13 мг/100г почвы в верхней части гумусового горизонта до 2–2,5 мг/100г почвы на глубине 130–140 см. Количество фосфора довольно тесно коррелирует с гумусом и постепенно уменьшается вниз по профилю. По обеспеченности подвижным фосфором исследованные черноземы характеризуются как низкообеспеченные. В естественных биоценозах почвы как известно имеют ограниченное количество источников пополнения запасов фосфора, а высокое содержание кальция и щелочная среда в данных черноземах способствуют образованию нерастворимых фосфатов кальция, снижая количество доступных для растений форм.

Ростовская область расположена в степной и сухостепной зонах, поэтому сельскохозяйственное производство находится в сложных природных условиях. Как отмечают многие исследователи [5, 6, 9], высокая интенсивность использования черноземов в сочетании с сильным антропогенным воздействием и сложными природными факторами изменяют направленность естественных процессов почвообразования, приводят к деградации почв. Изменяются условия формирования водного, температурного режимов и характер биологического круговорота. Особую тревогу вызывают процессы дегумификации, снижение количества гумуса, что связано с меньшим поступлением органического вещества и усилением процесса минерализации [10, 11]. Эрозионные процессы, которые характерны для данной территории, проявляются в виде пыльных бурь и являются одной из основных причин изменения содержания гумуса в почвах, о чем свидетельствуют данные многих исследователей.

Таким образом, на свойства изученных обыкновенных карбонатных сверхмощных малогумусных черноземов оказали влияние близко расположенные ветрозащитные полосы. Эффективность их воздействия отразилась на мощности гумусового горизонта, количестве гумуса, гранулометрическом составе, катионно-обменных свойствах и содержании элементов питания. Ростовская область обладает уникальными природными территориями с высоким потенциалом почвенных ресурсов и при рациональном их использовании с учетом защиты от эрозионных процессов должна занимать одно из первых мест по производству широкого спектра сельскохозяйственной продукции.

#### Литература

1. Спирина В.З., Каллас Е.В. Трансформация свойств черноземов казахского мелкосопочника при сельскохозяйственном использовании // Труды Института геологии ДНЦ РАН. 2016. Т. 67. С. 185–188.
2. Чашев А.С. Основы землеустройства и землепользования. Ростов-на-Дону, 2002. 504 с.
3. Королюк Т.В. Факторы почвообразования: их роль в формировании засоленных почв на равнинах западного и Центрального Предкавказья // Почвоведение. 2015. № 7. 791–803 с.



4. Чашев А.С., Сухомлинова Н.Б. Земельные ресурсы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2005. 200 с.
5. Безуглова О.С. Гумусовое состояние почв юга России. Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский научный центр высшей школы федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Южный федеральный университет, 2001. 228 с.
6. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
7. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 с.
8. Афанасьева Е.А. Солевой профиль черноземов и пути его формирования // Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974. С. 145–156.
9. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2008. 418 с.
10. Александрова Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации. М., 1980. 286 с.
11. Александровская Л.А., Чашев А.С. и др. Использование и охрана мелиоративных земель в системе агроландшафтов. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2003. 262 с.

#### CURRENT STATE OF ORDINARY CHERNOZEM EGORLYK DISTRICT, ROSTOV REGION V.Z. Spirina, D.V. Malimon

National Research Tomsk State University, Tomsk, Spirina.pochva@mail.ru

*Summary. The conditions for the formation of ordinary carbonate heavy-duty low-humus chernozems of the Yegorlyksky district of the Rostov region, located near forest plantations, are considered. Features of the morphological structure of the profile and properties of chernozems are revealed. The thickness of the humus horizon is large and amounts to 130–140 cm, the horizon of the maximum accumulation of carbonates in the profile has not been identified. The granulometric composition is light clayey with a high content of silt particles (36–41% and coarse dust (31–32%), with an almost complete absence of coarse sand (0,2%). Due to favorable conditions for the mineralization of organic matter, humus accumulates little (5%).*

*Due to the high intensity of the biological cycle of substances, mobile nutrients do not accumulate, but are quickly absorbed by plants and microorganisms. Easily hydrolysable nitrogen contains 8-9 mg/100 g of soil, mobile phosphorus – 12–13 mg/100 g of soil. The results of the research indicate that the presence of forest belts contributes to the preservation of the fertility of the chernozems of the steppe territories.*

*Keywords: ordinary chernozems, soil profile, properties, fertility, mobile elements, humus, horizons, structure, carbonates, coarse dust, silt.*

УДК 631.42

## ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДЕЙСТВИЯ ФАКТОРА ПОТОКА ЭНДОГЕННОГО ВОДОРОДА НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

Н.И. Суханова, А.В. Кирюшин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва,  
vogudin@yandex.ru

***Аннотация.** Показано, что изучение действия глубинного водорода, как фактора почвообразования, сопряжено с трудностями, связанными, во-первых, с изменчивостью его глубинных источников, во-вторых, с высокой подвижностью и изменчивостью активности водородного газа в различных средах. На основании обзора сведений о водороде из разных смежных разделов науки сформулированы рекомендации, которые могут помочь исследователям на начальных стадиях работы.*

***Ключевые слова:** водородная дегазация, западины.*

Научно-исследовательские работы последнего времени показали наличие водорода в виде свободного газа в различных природных средах: в виде включений в различных типах горных пород, в виде растворенного газа в грунтовых водах, в почвах территорий повышенной дегазации земли. Как правило, это явление наблюдается в районах глубинных разломов, стыков кристаллических плит и пр. Концентрация молекулярного водорода в таких местах иногда превышает атмосферную в миллионы раз [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Многочисленная геологическая литература по дегазации Земли (она доступна в научных базах и нет смысла приводить ее из-за ограниченности объема данной работы) показывает, что глубинное происхождение водорода является наиболее вероятным объяснением его встречающихся высоких концентраций в природной среде. Наиболее интенсивные выделения водорода реализуются в вулканах. Однако оказалось, что территорий с диффузным выделением водородного газа на планете много и подчас это явление охватывает большие площади. Почвы в местах выходов глубинного водорода резко отличаются от окружающих [9, 10, 11]

В литературе по изучению почвенного воздуха водородному газу практически не уделялось внимания по нескольким причинам. Во-первых, считалось, что содержание водорода в атмосфере и почвенном воздухе практически одинаково и определяется эмиссией его из почв. Ранее в некоторых немногочисленных почвенных исследованиях утверждалось, что водород образуется в почве, где микробиота регулирует его содержание в почвенном и атмосферном воздухе [12, 13, 14]. Глубинные потоки водорода не рассматривались. Кроме того, среди почвоведов существовала уверенность, что молекулярный водород малоактивен или неактивен вовсе при встрече с компонентами среды, поскольку для перевода его в активные формы необходима большая кинетическая энергия, 436 кДж/моль.

Конечно, водород – это ценный строительный материал для микрофлоры. Поэтому в почве с использованием ферментов молекулярный водород переводится в активную форму. В этой среде работает целый ансамбль микроорганизмов, в числе которых присутствуют те, которые производят водород, и те, которые его потребляют. Мало того, с одной стороны производители водорода в почве не могут существовать без его потребителей, с другой происходит конкурентная борьба за водород. В то же время известно, что в условиях избытка водорода некоторые микроорганизмы снижают свою активность. Наши исследования показали, что в черноземных почвах, подвергающихся воздействию водорода, наблюдается существенное ингибирование микрофлоры, меняется структура микробной биомассы [15]. По некоторым расчетам, оказалось, что в почве в целом скорость производства водорода по сравнению с его потреблением незначительна, то есть почва является скорее поглотителем водорода [16, 19]. То есть в мире почвенной микрофлоры водород далеко не инертная составляющая почвенной среды.

Некую малоактивность молекулярного водорода в атмосферном воздухе можно допустить, хотя это все-таки требует более глубоких исследований. В других средах водород также далеко не инертен. Так, например, экспериментально показано, что при насыщении очищенной воды водородом меняется ее окислительно-восстановительный потенциал до крайне низких значений (минус 500 – минус 700 мВ). Вода при этом приобретает иные

свойства. Процесс этот не быстрый, такой потенциал устанавливается только через сутки, при этом величина рН не меняется. Величина потенциала зависит от увеличения объема водорода, вводимого в емкость с водой, но практически не зависит от наличия в воде добавок при условии, что эти добавки не восстанавливаются водородом [20].

Нужно отметить высокую диффузионную способность водорода. Он с той или иной скоростью даже при комнатной температуре довольно интенсивно проходит через многие среды: металлы, каучук, стекло, горные породы и др. [21, 22, 23, 24]. Скорость прохождения через кристаллическую решетку металлов зависит от многих факторов – каков металл, каковы условия и т.д. Модель механизма этого процесса, по некоторым представлениям, следующая. Молекула водорода на поверхности металла диссоциирует, атомарный водород преодолевает энергетический барьер и диффундирует в объем металла, теряет единственный электрон и существует в виде протона с исключительно высокой подвижностью в кристаллической решетке. Выяснилось, что некоторые металлы способны растворять в одном своем объеме сотни и даже тысячи объемов водорода. При этом характер решетки может оставаться прежним, что свидетельствует об отсутствии химического взаимодействия. Поведение водорода зависит от того, какая решетка – есть ли в ней деформации, есть ли в веществе нанотрещины. В случае дефектов решетки ион водорода, выходя в пространство трещины молизуется. В результате в трещине может накапливаться водородный газ и создавать давление, приводя к охрупчиванию и разрушению металла. Такое явление водородного охрупчивания труб при транспортировке нефти и газа давно известно.

Геологи неоднократно указывали на необычное разрушение горных пород (даже гранитов, гранитогайсов) там, где наблюдаются потоки водорода. В работе Левшуновой на модельных опытах показано активное вхождение водорода в структуру карбонатных минералов, в результате чего менялись их механические свойства (прочность и др.) [25, 26]. Особая роль водорода отмечается в изменении физических свойств горных пород в связи с его внутрискелетной диффузией (без химического взаимодействия с материалом). В результате низкоэнергетического воздействия в твердом скелете минералов образуются поля напряжений, структурные перестройки, текстуры деформаций, развивается общая пористость [3, 27, 28].

В лабораторных экспериментах при имплантации гелия и водорода (оливин, пироксен, кварцит и др.) показано формирование дополнительной пористости различного радиуса с высоким внутренним давлением газа, приводящим к образованию трещин вокруг пор. В то же время в горных материалах были обнаружены и проявления процессов релаксации [29].

На основании научных данных, полученных в последнее время, можно сказать, что молекулярный водород в многокомпонентной, многофазной и динамичной природной среде может под воздействием различных факторов менять свою активность от инертной (молекулы  $H_2$ ) до очень активных (атома  $H$ ) и протона ( $p^+$ ).

Многочисленные наблюдения проявлений водорода показывают, что водород диффундирует через земную кору, чтобы достичь поверхности, и играет большую роль в формировании структуры оболочек планеты [30]. Пространственные проявления водорода на поверхности Земли является отражением дегазации планеты через геологические структуры и образования [31, 32]. На пути следования поток водородного флюида изменяет породу вдоль путей миграции, нарушает однородность геологического фундамента, формирует некое вертикальное более рыхлое пространство [33, 34].

С водородом нелегко работать, он очень неуловим. Поэтому изучение такого неизученного ранее, но важного фактора почвообразования (ландшафтообразования) требует разработки методологии, то есть общей стратегии исследования, которая определяет методы, средства и способы сбора данных и то, как должен быть рассчитан и осознан конкретный результат для разработки моделей механизма влияния этого фактора на почвы.

В первую очередь нужно оценить проблемы, с которыми может столкнуться исследователь при изучении влияния глубинного водорода на почвы. Здесь следует отметить трудности, связанные с поведением потока глубинного водорода из недр Земли и связанные с поведением водорода в различных средах.

Общим является факт, что интенсивность потока неравномерна в пространстве и времени. Понятно, что, коль скоро поток водорода имеет глубинную природу, то не вызывает сомнений его приуроченность к глубинным разломам. Но это наблюдается не на всем протяжении разломов, а только в отдельных местах, например на их пересечениях, там, где наиболее выражена сейсмическая активность, либо повышен тепловой поток Земли. Оценить интенсивность потока глубинного водорода в очагах его разгрузки довольно затруднительно. В конкретный момент, например, содержание его в подпочвенном профиле может быть несколько ppm, а через некоторое (может быть довольно короткое) время оно увеличивается в миллионы раз и так же быстро уменьшается. При полевых обследованиях территорий выходов водорода мы сталкивались с этим неоднократно. Будучи самым легким из всех газов, он быстро диффундирует в поровом пространстве, не может долго удерживаться в геологических ловушках и в почвенной массе и стремительно улетает [33, 34]. Это важно учитывать при измерении его концентраций в полевых условиях, при отборе газовых проб, при закладке модельных опытов в лабораториях и т.п. Конечно, примерно оценить интенсивность потока водорода можно, если, например, установить в местах его разгрузки датчики с непрерывным измерением водорода. На основании таких измерений можно получить интегральную величину – сколько водорода прошло через, например, толщу почвы в заданный период времени [1]. Но в этом случае период измерения должен быть длительный, поскольку потоки в большой степени зависят от изменения гравитационного поля Земли, а, значит, подчиняются космическим циклам (лунным, солнечным и др.). Технически эта оценка трудна и неточна, не говоря уже о том, что непонятно, сколько водорода утилизировалось микробиотой, сколько было потрачено на взаимодействие с минеральной и органической массой почвы и пр.

Поэтому на данном этапе рассмотрения результатов мы ограничиваемся положением – «если в данном месте эксгаляция водорода из недр зафиксирована сейчас, то она была ранее, и, вероятно, будет существовать и далее». Оценить какое время существовал этот поток водорода из недр затруднительно из-за его переменчивости. Поэтому для диагностики и исследования влияния выходов водорода на почвенный покров мы ограничиваемся местами, где водород оставил свой след воздействия на поверхность почвы. Таковые могут быть идентифицированы по топографически круглым и субкруглым неглубоким понижениям рельефа. Образование этих круглых углублений (западин) рассматривается как результат процесса химического растворения (диагенез) породы водородом. Образование водородных западин процесс динамичный, существовавший ранее и реализуется сейчас. Есть западины погребенные, отмирающие, стабильные, активно развивающиеся, что связано с динамикой внутриземных процессов. Но нужно отметить, что форма западин с выходами водорода отличается правильной круглой или слегка овальной формой, в то время как форма западин, образованных водой, связана с особенностями форм рельефа [4, 35, 36].

Второй диагностический показатель действия водорода – это осветление верхнего гумусового горизонта. В результате наших исследований выходов водорода на черноземных почвах выяснилось, что водород как сильный восстановитель меняет состав и свойства гумуса, содержание которого определяет темную окраску верхнего горизонта почв. Гумус в таких условиях разбивается по двойным углерод-углеродным связям на более мелкие фрагменты, что приводит к сильному превышению группы ФК в составе гумуса, а это, в свою очередь, ведет к изменению его окраски и в результате к осветлению гумусового горизонта. Кроме того, резко увеличивается кислотность почвенного профиля, исчезают полностью карбонатные новообразования, увеличивается содержание подвижного железа, снижается прочность агрономически ценных агрегатов. В морфологическом профиле наблюдаются яркие признаки элювиального процесса – потеки гумуса, гумусовые кутаны, формирование осветленного элювиального горизонта и оглеения [9, 10, 11]. То есть реализуются процессы интенсивного выноса наиболее подвижных компонентов почвы.

Следует отметить, что в условиях выраженных в рельефе водородных западин действует еще один фактор – временное переувлажнение, которое действует примерно в ту же сторону, что и водород, то есть создает в почве восстановительные условия, ведущие к изменению подвижности почвенных компонентов. Однако модельные опыты показали, что



переувлажнение черноземов, конечно, снижает величину окислительно-восстановительного потенциала, но до значений не ниже минус 250 мВ. А модельные опыты по одновременному переувлажнению и воздействию водорода показали, что ОВП в этом случае снижается до минус 700 мВ. То есть в почве создаются такие жесткие восстановительные условия, которые приводят к более глубокому изменению почвенных свойств [37, 38].

До сего времени глубинные водородные потоки не изучались, и все особенности всех встречающихся западин относили к действию фактора переувлажнения. Однако западины, сформированные водой, и западины, сформированные водородным потоком, имеют разный генезис и поэтому свойства почв в них (при условии одного и того же почвенного типа окружения) совершенно различны.

Западины, сформированные водой, всегда имеют некий водоупор, препятствующий интенсивному удалению подвижных почвенных компонентов вниз. Поэтому такие почвы несут признаки аккумулятивного процесса, результатом которого, например, в черноземных почвах наблюдается в верхнем горизонте, кроме резкого накопления гумуса, его очень темная окраска, наличие ярко выраженных карбонатных новообразований, резкого увеличения прочности агрегатов, подщелачивания, засоления, иногда значительного, и др.

Необходимо отметить, что для формирования западины потоком водорода требуется время. Часто встречаются места выхода водорода на начальных стадиях этого процесса, когда западина еще не сформировалась, переувлажнения нет. Тем не менее, заметное осветление верхнего горизонта почв уже наблюдается, карбонатные новообразования исчезают, химические свойства начинают меняться, хотя остальные элювиальные признаки визуально не выражены. Кроме того, на сельскохозяйственных посевах с монокультурой посевы гибнут или сильно угнетаются. Поэтому на космических снимках такие структуры достаточно хорошо видны как светлые пятна очень правильной формы.

На основании вышесказанного следует помнить, что при полевых обследованиях и отборе проб, если в конкретный момент поток водорода в полевых условиях не регистрируется, то следует обращать внимание на следующие признаки:

- 1) приуроченность объекта к геологическим разломным структурам;
- 2) осветленность верхнего гумусового горизонта;
- 3) правильная круглая форма западины, это хорошо видно на космических снимках;
- 4) выраженность в морфологическом профиле процессов выноса почвенных компонентов.

Все это важно учитывать, так как уже появляются статьи, в которых все западины рассматриваются без учета их генезиса.

При трактовке результатов необходимо понимать, что результаты действия водородного потока на почвы по отдельным показателям почвенных свойств могут казаться разными, иногда даже противоположными. Это реализуется в том случае, когда в игру вступает какой-либо иной сильный фактор, например, климат, склоновые процессы в крупных западинах и др.

### Литература.

1. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
2. Ларин В.Н. Наша Земля. М.: Агар, 2005. 247 с.
3. Летников Ф. А., Дорогокупец П. И. К вопросу о роли суперглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // Доклады академии наук. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия наук». 2001. Т. 378. №. 4. С. 535–537.
4. Larin N., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., Larin V. Natural molecular hydrogen seepage associated with surficial, rounded depressions on the European Craton in Russia // Natural Resources Research. 2014. № 5. pp. 1–15.
5. Wakita, H., Nakamura, Y., Kita, I., Fujii, N., Notsu, K. Hydrogen release: new indicator of fault activity. Science, 1980. № 210. pp.188–190.
6. Sugisaki, R., Ido, M., Takeda, H., Isobe, Y., Hayashi, Y., Nakamura, N., et al. Origin of hydrogen and carbon dioxide in fault gases and its relation to fault activity. J. Geol. 1983. № 91. pp. 239–258.

7. Ware, R.H., Roesken, C., Wyss, M. The detection and interpretation of hydrogen in fault gases. *Pure Appl. Geophys.* 1985 № 122. pp.392–402.
8. Щербаков А.В., Козлова Н.Д. Наличие водорода в подповерхностных флюидах и связь аномальных концентраций с глубинными разломами в СССР. *Геотектоника.* 1986. № 20. С.120–128.
9. Суханова Н.И., Трофимов С.Я., Степанов А.Л., Кирюшин А.В. Особенности черноземных почв района Хоперского глубинного разлома Земной коры // *Почвоведение.* 2020. № 2. С. 199–209. DOI: [10.31857/S0032180X20020124](https://doi.org/10.31857/S0032180X20020124).
10. Sukhanova N.I., Zubkova T.A. State of organic matter and particularities of physicochemical properties of soils in the endogenous hydrogen seepage zones // *Open Journal of Soil Science.* 2018. No. 8. pp. 186–196.
11. Суханова Н.И., Кирюшин А.В. Особенности гумусного состояния черноземных почв, формирующихся в условиях выхода глубинного водорода в различных условиях увлажнения // *Почвы и окружающая среда.* 2022. Том 5. №3. С. 1-15.
12. Минько О.И. Планетарная газовая функция почвенного покрова // *Почвоведение.* 1988. №7. С. 59–75.
13. Минько О.И., Каспаров С.В., Амосова Я.М. Газообразные вещества – продукты метаболизма микробных ценозов переувлажненных почв // *Ж. общей биологии.* 1987. Т.ХIVII. 2. С. 182–193.
14. Смагин А.В. Газовая фаза почв, М., Издательство Московского университета, 1999, 200 с.
15. Суханова, Н. И., Трофимов, С. Я., Полянская, Л. М., Ларин, Н. В., Ларин, В. Н. Изменение гумусного состояния и структуры микробной биомассы в местах водородной эксгаляции // *Почвоведение.* 2013. №2. С. 152–152.
16. Gregory, S., Barnett, M., Field, L., Milodowski, A. Subsurface microbial hydrogen cycling: natural occurrence and implications for industry // *Microorganisms.* 2019. Т.7. №2. С. 53.
17. Nealson, K.H., Inagaki, F., Takai, K. Hydrogen-driven subsurface lithoautotrophic microbial ecosystems (SLiMEs): do they exist and why should we care? // *Trends Microbiol.* 2005. №13, pp. 405–410.
18. Conrad, R., Seiler, W., Decomposition of atmospheric hydrogen by soil microorganisms and soil enzymes // *Soil Biol. Biochem.* 1981. № 13. pp. 43–49.
19. Conrad, R., Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, OCS, N<sub>2</sub>O, and NO). // *Microbiol. Rev.* 1996. № 60, pp. 609–640.
20. Пискарев И.М., Ушканов В.А., Аристова Н.А., Лихачев П.П., Мысливец Т.С. Установление окислительно-восстановительного потенциала воды, насыщенной водородом // *Биофизика.* 2010. Т. 55. Вып. 1. С. 19–24.
21. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация водорода в металлы. *Металлургия,* 1990, 216 с.
22. И.Н.Яницкий. Состав и свойства вещества в недрах Земли. Центр инструментальных наблюдений за окружающей средой и прогноза геофизических процессов. 2005. 53 с.
23. Товбин Ю.К., Вотяков Е.В. Оценка влияния растворенного водорода на механические свойства палладия // *Физика твердого тела.* 2000. Т. 42. №7. С. 1158–1160.
24. Кашлев Ю.А. Три режима диффузионной миграции атомов водорода в металлах // *Теоретическая и математическая физика.* 2005. Т. 145. №2. С. 256–271.
25. Левшунова С.П. "Водород и его биогеохимическая роль в образовании углеводородных газов в осадочных породах земной коры". Автореф. Дисс. на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Москва. 1994. 200 с.
26. Левшунова С.П. О распространении сорбированного водорода в осадочных породах // *Геология нефти и газа.* №9. 1982. С. 53–55.
27. Заводинский В.Г., Гниденко А.А., Мисюк А., Бак-Мисюк Я. Влияние давления и водорода на образование вакансий и дивакансий в кристаллическом кремнии. // *Физика и химия полупроводников.* 2004. том 38. вып.11. С. 1281–1284.
28. Гниденко А.А. Исследование влияния давления на поведение гелия и водорода в кристаллическом кремнии. Автореф. Дисс. на соискание кандидата физико-математических наук. Хабаровск, 2005. 98 с.

29. Gufeld I.L., Matveeva M.I., Novoselov O.N. Why we cannot predict strong earthquakes in the Earth's crust // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2011. V. 2. № 4. pp. 378–415.
30. Перевозчиков Г.В. Поле водорода на месторождении ГАЗЛИ по данным геохимических исследований в нефтегазоносном регионе Средней Азии // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2012. Т. 7. С. 1–13.
31. Гумен, А., Гусев, А. Газогеохимические индикаторы геодинамической активности глубинных разломов на юго-востоке Беларуси. *Литасфера*, 1997. С. 140–149.
32. Гумен, А., Гусев, А., Рудаков, В. Подпочвенный водород – индикатор изменений напряженно-деформированного состояния земной коры сейсмичных районов. Доклады РАН. 1998. Т. 359. С. 390–393.
33. Войтов, Г., Осика, Д., Водородное дыхание Земли как отражение особенностей геологического строения и тектонического развития ее мегаструктур. // *Труды Геологического Института Махачкалы*. 1982. С. 7–29.
34. Онохин Ф. Горючие газы Хибинского щелочного массива // *Советская Геология*. 1959. № 5.
35. Шестопалов В.М., Бублясь В.Н. О формировании западинно-канальных структур миграции // *Геологический журнал*, 2016, №3 (356). С. 73–88.
36. Шестопалов В.М., Макаренко А.Н. Поверхностные и приповерхностные проявления аномальной дегазации // *Геологический журнал*. 2013. № 3. С. 7–25.
37. Зайдельман Ф.Р., Давыдова И.Ю. Причины ухудшения химических и физических свойств черноземов при орошении неминерализованными водами // *Почвоведение*, 1989. №11. С.101-108.
38. В.Н. Канивец В.И. Взаимодействие водорода, метана и сероводорода с минеральной частью почвы // *Почвоведение*. 1970. № 5. С. 52–59.

#### PROBLEMS ARISING IN THE STUDY OF THE EFFECT OF THE ENDOGENOUS HYDROGEN FLOW FACTOR ON THE SOIL COVER

N. I. Sukhanova, A. V. Kiryushin

Moscow Lomonosov University, vogudin@yandex.ru

*Summary. It is shown that the study of the action of endogenous hydrogen as a factor of soil formation is fraught with difficulties associated, firstly, with the variability of its deep sources, and secondly, with the high mobility and variability of the activity of hydrogen gas in various media. Based on a review of information about hydrogen from various related branches of science, recommendations are formulated that can help researchers at the initial stages of work.*

*Keywords: hydrogen degasing, circular relief depressions.*

УДК 631.4

## ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОЧВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ В ЛАНДШАФТНОМ ЭКОТОНЕ ТАЙГА-СТЕПЬ В СЕЛЕНГИНСКОМ СРЕДНЕГОРЬЕ

Д.П. Сымпилова

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, [darimasp@mail.ru](mailto:darimasp@mail.ru)

**Аннотация.** Темногумусовые почвы, ранее изученные как черноземы «забайкальского» подтипа, характеризуются небольшой мощностью почвенных профилей, низким или средним содержанием гумуса с резким падением вниз по профилю, слабой оструктуренностью и слабой проработанностью педогенными процессами в условиях горного рельефа и континентального климата. Темногумусовые почвы Селенгинского среднегорья отражены на обновленной Почвенной карте РФ масштаба 1:2.5 млн.

**Ключевые слова:** ландшафтный экотон тайга-степь, темногумусовые почвы, лессовидные суглинки, физические и химические свойства.

Согласно представлениям генетического почвоведения прошлого века, почвообразование в пределах горных территорий считалось специфическим, почвы выделялись в особые типы – горные. Почвы подгорных равнин изучались по аналогии с равнинными в рамках зональных типов и подтипов [3]. В частности, почвы ландшафтного экотона тайга-степь в Селенгинском среднегорье рассматривались как черноземы мучнистокарбонатные.

Исследования черноземов Западного Забайкалья имеют вековую историю, от работ Переселенченского управления во главе с Л.И. Прасоловым [8], далее продолженными К.А. Уфимцевой [9], Н.А. Ногиной [5], Ц.Х. Цыбжитовым [12] и другими. Согласно авторам, в группу почв на лессовых породах Западного Забайкалья входят черноземы мало- и среднегумусные мучнистокарбонатные, которые переходят в темно-серые лесные почвы.

Поскольку свойства изученных черноземов не вполне соответствуют их названиям, согласно принципам субстантивной классификации почв России, они были переведены в тип темногумусовых почв [2, 6]. Наличие темногумусового горизонта и отсутствие срединных диагностических горизонтов послужило критерием выделения этого типа. В настоящее время, тип темногумусовых почв включен в состав обновленной легенды Почвенной карты РФ масштаба 1:2.5 млн, которая представлена в системе Классификации почв России (2004 г.) [1].

Цель работы – изучение особенностей и условий формирования темногумусовых почв на лессовидных суглинках в Селенгинском среднегорье, ранее исследованных как черноземы «забайкальского» подтипа.

Межгорные депрессии Западного Забайкалья относятся к аридным областям Внутренней Азии, где вертикальная поясность осложняется склоновой экспозиционностью, литологической неоднородностью и процессами гипергенеза, оказывающие влияние на пространственное распределение почвенного покрова [4, 7].

Распределение темногумусовых почв на территории исследования в значительной мере определяется характером рельефа, который представлен среднегорной частью с высотами от 700 до 1600 м над уровнем моря. Хребты и межгорные впадины Западного Забайкалья ориентированы с запада-юго-запада на восток-северо-восток. Основные хребты представлены куполообразными формами, сглаженные денудацией.

Климат Западного Забайкалья резкоконтинентальный, среднее годовое количество осадков не превышает 250 мм, большая часть (50–55%) выпадает летом, отсутствие устойчивого снежного покрова способствует глубокому промерзанию почв. Склоны разных экспозиций сильно различаются по солярно-энергетическим ресурсам.

Лессовые породы широко распространены в Западном Забайкалье. Формирование темногумусовых почв на лессовых породах происходит в зоне контакта тайги и степи – экосистеме переходного (экотонного) типа с Центральноазиатскими степными и Североазиатскими таежными ландшафтами. Это зона неустойчивого климатического равновесия между южной тайгой и степью. В условиях резкоконтинентального климата и расчлененного рельефа Западного Забайкалья наблюдается проникновение как теплых сухих



воздушных течений из степной зоны в таежную, так и холодных влажных с вершин хребтов в степную, что обуславливает широкое развитие остепненных лесных биогеоценозов.

Темногумусовые почвы в Селенгинском среднегорье формируются в нижних частях делювиальных шлейфов на высотах 670–750 м над ур. моря под злаково-разнотравными сообществами [10, 11]. В разнотравье присутствуют представители как таежной, так и степной флоры. Почвообразующей породой служат лессовидные суглинки.

Почвенный профиль состоит из горизонтов: AU-AC-Cca1-Cca2. Почвы характеризуются темно-серым темногумусовым (до 40 см) горизонтом, постепенно сменяющейся малоизмененной почвообразующей породой, глыбисто-комковатой с элементами зернистости структурой. Переходные горизонты желтовато-бурого цвета, структура пластинчато-комковатая. Далее чередуются серии горизонтов Cca, которые различаются по цвету и плотности. Карбонаты в рассматриваемых почвах – вторичные, состоят преимущественно из криптокристаллического кальцита. Глубина залегания карбонатов варьирует в зависимости от циклов увлажнения.

В настоящее время эти почвы практически все распаханы и преобразованы в агротемногумусовые. Исследованные агротемногумусовые почвы характеризуются следующими показателями. Содержание гумуса в агрогумусовых горизонтах – 2,57–2,69%, в темногумусовых – колеблется в диапазоне 2,76–5,60% и резко снижается с глубиной. Для всех горизонтов характерна щелочная среда. Среди обменных катионов преобладает кальций. Тип гумуса – фульватно-гуматный, преобладает вторая фракция гуминовых кислот. Гранулометрический состав в целом легкосуглинистый, может изменяться от супесчано- до легкосуглинистого. В лессовидных суглинках фракции крупного и среднего песка отсутствуют, мелкого песка составляют – 6–42%, преобладает фракция крупной пыли – 35–67%, илистая фракция варьирует от 6 до 13%. По валовому химическому составу не обнаруживается дифференциации почвенного профиля. Содержание SiO<sub>2</sub> составляет 64–71%, полуторных оксидов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – от 12 до 14%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до 5%. Содержание оксида кальция варьирует от 2,21% в горизонте PU и 4,94% в горизонте Cca. Во всех горизонтах наблюдается повышенное содержание MgO, что связано с особенностями почвообразующих пород. Содержание TiO<sub>2</sub> во всех горизонтах стабильное, составляет 0,3–0,4%; MnO – 0,13–0,15%. В горизонте AU наблюдается сужение отношения Si<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Исследования агрофизических свойств темногумусовых почв выявили следующее. Данные мокрого просеивания указывают, что содержание фракций (<0,25 мм) доминируют и составляют 48% в агротемногумусовом и 54% в темногумусовом горизонтах, увеличиваясь вниз по профилю. Почти полностью разрушаются фракции диаметром > 3 и 3–2 мм в горизонтах AUC и Cca.

При сухом просеивании во всех горизонтах почвенного профиля присутствуют все типы структурных агрегатов. Преобладающими являются агрегаты диаметром > 10, 10–5, < 0,25. По содержанию агрономически ценных агрегатов, рассматриваемая почва классифицируется как удовлетворительная. Оценка структуры почвы в отношении ее водоустойчивости указывает в целом на удовлетворительное состояние.

Величина плотности почвы увеличивается с 1,16 до 1,47 г/см<sup>3</sup>, характеризуется как сильно уплотненная, требующая рыхления. Плотность твердой фазы увеличивается от 2,67 до 2,75 г/см<sup>3</sup>, что указывает на преобладании суглинистых минералов (полевые шпаты). Полевая влажность характеризуется низкими значениями – 14,56% в темногумусовом горизонте, далее постепенно уменьшается к почвообразующей породе; общая порозность составляет 57% в темногумусовом горизонте и постепенно уменьшается вниз по профилю, что в целом характеризует удовлетворительное состояние почвы.

Таким образом, темногумусовые почвы, ранее исследованные как черноземы «забайкальского» подтипа, формируются в континентальном аридном климате Западного Забайкалья. Почвообразующей породой этих почв являются как щебнистые отложения, так и лессовидные суглинки. В морфологическом строении этих почв обнаруживается некоторое несоответствие типу черноземов, которое заключается в слабой оструктуренности и слабом развитии почвообразовательных процессов в минеральных горизонтах. Что касается карбонатности средних и нижних частей профиля, то это обусловлено геохимическим

сопряжением кор выветривания в склоновых ландшафтах. Накопление карбонатов в нижних частях геохимических ландшафтов происходит за счет разрушения обызвесткованных кор выветривания, которые образуются в засушливом климате Селенгинского среднегорья.

Работа выполнена в рамках финансирования бюджетной темы: FWSM-2021-0004.

### Литература

1. Ананко Т.В., Герасимова М.И. Темногумусовые почвы на обновленной почвенной карте Российской Федерации масштаба 1:2.5 млн. // Бюллетень Почвенного Института им. В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 31–54.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
4. Корсунов В.М., Гынинова А.Б., Сымпилова Д.П., Балсанова Л.Д., Корсунов А.В. О свойствах почв подтайги Селенгинского среднегорья // Почвоведение. 2002. № 5. С. 545–551.
5. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
6. Полевой определитель почв России. М.: Наука, 2008. 182 с.
7. Польшов Б.Б. Кора выветривания. Избранные работы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 256–283.
8. Прасолов Л.И. Южное Забайкалье (почвенно-географический очерк). Л.: Изд-во АН СССР, 1927. 422 с.
9. Степные и лесостепные почвы Бурятской АССР и их производительная характеристика / Под ред. Е.Н. Иванова. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 151 с.
10. Сымпилова Д.П., Бадмаев Н.Б. Почвообразование в ландшафтах контакта тайги и степи Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 140–151.
11. Сымпилова Д.П., Гынинова А.Б., Куликов А.И., Шахматова Е.Ю., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.-М.Н., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Хаптухаева Н.Н., Мангатаев А.Ц., Бадмаев Н.Б. Особенности почвообразования на лессовых породах северного макросклона хр. Цаган-Дабан Западного Забайкалья // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 1. С. 98–110.
12. Цыбжитов Ц.Х. Почвы лесостепи Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бур. кн. изд-во, 1971. 108 с.

### FEATURES OF SOIL FORMATION OF DARK-HUMUS SOILS AND THEIR CLASSIFICATION IN THE TAIGA-STEPPE LANDSCAPE ECOTONE IN THE SELENGA MIDDLE MOUNTAIN

D.P. Sympilova

Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, darimasp@mail.ru

*Summary.* Dark-humus soils previously studied as chernozems of the "Transbaikalian" subtype are characterized by a small thickness of soil profiles, low or medium humus content with a sharp drop down the profile, weak structure and poor development of pedogenic processes in mountainous terrain and continental climate. The dark-humus soils of the Selenga middle mountains are shown on the updated Soil Map of the Russian Federation at a scale of 1:2.5 million.

*Keywords:* taiga-steppe landscape ecotone, dark-humus soils, loess-like loams, physical and chemical properties.

УДК 631.48 (571.55)

## СТЕПНЫЕ ПОЧВЫ ТОРЕЙСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.И. Убугунова<sup>1</sup>, Л.Л. Убугунов<sup>1</sup>, Е.И. Ласточкин<sup>2</sup>, Т.А. Аюшина<sup>1</sup>, А.Д. Жамбалова<sup>1</sup>  
Т.Е. Ткачук<sup>3,4</sup>, О.В. Вишнякова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия  
ubuganova57@mail.ru

<sup>2</sup>Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ "Государственный природный биосферный заповедник "Даурский", Ононский р-н, с. Нижний Цасучей, Забайкальский край, Россия

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО "Забайкальский государственный университет", Забайкальский край, Чита, Россия

**Аннотация.** Изучены степные почвы, формирующиеся в пределах Торейского вулканического поля. Установлено, что основными горными породами являются оливин-плагиоклаз-хлоритовые базальты, кальцит-полевошпат-кварцевые сланцы и травертины. Маломощные скелетные почвы легкого гранулометрического состава (AJ-AC-C) характеризуются щелочной и сильнощелочной реакцией, окарбонаты, средне- и низкогумусные, не засолены. По морфологическому строению и физико-химическим свойствам почвы классифицируются как светлогумусовые.

**Ключевые слова:** светлогумусовые почвы, вулканические породы, Торейская котловина.

**Актуальность.** Почвы, формирующиеся на основных породах в экстроконтинентальных условиях Восточной Сибири до настоящего времени не интегрированы в единое научное направление. Это связано с тем, что по ряду районов этой обширной территории имеются малоинформативные сведения. Это касается и степных почв, формирующихся на Торейском вулканическом поле [1]. В его пределах расположены участки Торейский, Чехалан, Куку-Хадан, Эрельджи государственного Даурского заповедника, буферная зона и частично заказник «Долина Дзерена». В экосистемных исследованиях недоучет почвенного ключевого компонента экосистем не позволяет объективно оценить многие природные процессы. Цель исследований – изучение минералогического и геохимического состава преобладающих пород, а также морфологических и физико-химических свойств степных почв, формирующихся в пределах Торейского вулканического поля.

**Объекты и методы исследования.** Торейская котловина расположена в пределах сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса. В интервале от 119 до 129 млн. лет назад в северной части впадины происходило излияние базальтовых лав, которые занимают обширную территорию от западного побережья оз. Барун-Торей до восточного оз. Зун-Торей [2]. Климат района исследования резко континентальный [3].

Почвенные разрезы были заложены на 4 (разр. 1), 3 (разр. 2) и 1 террасах (разр. 3) межозерного базальтового возвышения. Для всех объектов фиксировали географические координаты с помощью приемника GPS. (разр. 1: N 50,00130, E 115,72230, H 603 м над ур.м; разр. 2: N 50,00029, E 115,71874, H 601 м над ур.м; разр. 3: N 50,00226. E 115,72440, H 597 м над ур.м) Степная флора представляет собой однотипный эколого-топологический комплекс, основу которого составляют зональные флористические виды растений с участием в нем видов луговой группы. Основу растений змеевково-холоднопопынно-ковыльной (разр. 1) и разнотравно-холоднопопынно-ковыльной степи (разр. 2) составляют ксерофиты (63%) и гликофиты (63%). В видовом составе разнотравно-вострещовой степи (разр. 3), наряду с ксерофитными появляются мезофитные, олигогалофитные и даже галофитные виды.

Минералогический состав горных пород изучался на электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy-300. Количественное определение валовых содержаний 26 пороодообразующих элементов в горных породах выполнялось в аккредитованной испытательной лаборатории «Республиканского аналитического центра» атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP), спектрометром «SPECTROARCOS». Были рассчитаны коэффициенты концентрации и коэффициенты рассеяния по отношению к литосфере по [4].

При изучении почв использовались морфологические [5] и физико-химические методы исследования [6]. Почвы классифицировали по диагностическим критериям по [7, 8]. Активность фторидов, хлоридов, ионов натрия и кальция определяли ионоселективными электродами ЭЛИС на регистрирующем иономере Экотест-120 в пастах из образцов почв и грунтов, увлажненных до нижней границы текучести.

**Результаты.** Степные почвы формируются на различных террасах возвышения между озерами Зун- и Барун-Торей. Как показали проведенные исследования, в профиле почв 4 террасы встречаются только окатанные валуны и галька базальтов (разр. 1). Текстура их трахитоидная, характерная для полнокристаллических изверженных пород, обусловленная субпараллельным расположением кристаллов плагиоклаза (Pl<sub>30-50</sub>). Количество оливина не превышает 8–10% от объема породы. Основную массу этой породы составляет хлорит (45–50%) и андезин (35–40%), акцессорные минералы присутствуют в количестве не более 1–2%. По химическому составу они соответствуют породам основного ряда (49,80% SiO<sub>2</sub>). Химический состав состоит из ассоциации следующих породообразующих элементов: P<sub>6,8</sub>Ti<sub>3,3</sub>Co<sub>2,7</sub>Sr<sub>2,0</sub>Ca<sub>1,9</sub>ZnCeFe<sub>1,7</sub>BaMnNi<sub>1,6</sub>As<sub>1,3</sub>Mg<sub>1,2</sub>LaAl<sub>1,1</sub>NaBeV,Y<sub>1,0</sub>K<sub>0,9</sub>CuPbNi<sub>0,6</sub>LiScCr<sub>0,4</sub>.

В почвах, расположенных на 3 террасе (разр. 2), наряду с базальтами в средней и нижней частях профиля встречается достаточно много слабо окатанных плоских массивных тонкозернистых со слабой сланцеватостью, участками трещиноватых обломков кальцит-полевошпат-кварцевой породы. Основная масса ее сложена кварцем темного, до серого цвета (80–90%), остальное приходится на калиевый полевой шпат (10–15%) и кальцит (5–10%). Под электронным микроскопом видна слабая полосчатость, обусловленная прожилками и полосами кальцита. Химический состав состоит из геохимической ассоциации следующих породообразующих элементов:

Mn<sub>17,7</sub>Sr<sub>7,0</sub>Ca<sub>5,8</sub>Cu<sub>2,4</sub>As<sub>0,9</sub>P<sub>0,8</sub>Zn<sub>0,7</sub>Pb<sub>0,5</sub>SCeCo<sub>0,3</sub>FeNaBaLaLiAlCrBeNaKNiTi<sub>0,1</sub>.

В почвах, формирующихся на 1 террасе, встречаются базальты, сланцы и травертины. Базальты и сланцы рассмотрены выше. Травертины представляют собой кальцитовую тонкозернистую рыхлую породу. Химический состав состоит из геохимической ассоциации следующих породообразующих элементов:

Ca<sub>5,8</sub>Sr<sub>4,2</sub>As<sub>2,1</sub>P<sub>1,8</sub>MgMnNi<sub>1,0</sub>Ba<sub>0,7</sub>PbS<sub>0,6</sub>Ce<sub>0,4</sub>LaCu<sub>0,3</sub>LiBeCo<sub>0,2</sub>FeNaToZnK<sub>0,1</sub>.

Изученные степные почвы южной части Торейской котловины характеризуется маломощностью профиля. Особенностью их является сильная каменистость всего профиля (табл. 1).

Таблица 1. Каменистость светлогумусовых почв Торейского вулканического поля

Глубина, см	Содержание фракций (мм), %						
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	<1
Разрез 1							
AJ 0–10	28	2	5	9	4	7	45
AJC 10–20	42	3	8	13	5	10	20
C 20–49	42	2	8	11	5	12	20
Разрез 2							
AJ 0–10	4	1	3	4	2	9	79
AJC 10–20	9	1	3	8	4	13	63
C 20–70	7	1	3	7	3	11	68
Разрез 3							
AJ 0–20(25)	7	1	4	10	5	11	62
AJC 20(25)–37	25	2	9	18	6	11	29
C 37–68	14	3	8	15	6	14	40

В переходном горизонте (глубже 20 см) резко увеличивается количество крупных обломков пород. В почвах, формирующихся на 4 террасе, они представлены очень хорошо окатанными базальтами (разр. 1). На 3 террасе в профиле почв кроме валунов базальтов присутствуют и слабоокатанные и остроугольные сланцы (разр. 2). В почвах 1 террасы практически



отсутствуют крупные обломки пород, но увеличивается их разнообразие. В основном они представлены базальтами, сланцами и травертинами. По каменистости почв можно констатировать, что условия осадконакопления в них разные. Близкое залегание от поверхности (20–30 см) хорошо окатанных валунов свидетельствует о длительном нахождении межозерного пространства в воде. Процесс почвообразования по аналогии с [9] имеет возраст 1400–2160 кал.л. В настоящее время почвы 1 террасы (разр. 3) находятся в зоне непосредственного влияния озера.

Морфологическое строение изученных почв представлено однотипной системой генетических горизонтов: АJ–АJС–С и диагностирует тип светлогумусовых почв органо-аккумулятивного отдела. Светлогумусовые горизонты (во влажном состоянии, 10YR 4/2; в сухом, 10YR 3/1) имеют супесчаный гранулометрический состав, отмечается незначительное преобладание частиц размером 1–0,25 мм и относительно высокое содержание фракции крупной пыли (табл. 2). Мелкозем горизонта С во всех изученных почвах связнопесчаный. Содержание фракций физического песка очень высокое (83–90 %).

Таблица 2. Гранулометрический состав светлогумусовых почв Торейского вулканического поля

Глубина (см)	Размеры частиц, мм; содержание фракций, %							
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	>0,01	<0,01
Разрез 1								
АJ 0–10	34	21	27	5	6	7	82	18
АJС 10–20	71	5	10	3	5	7	85	15
С 20–49	84	2	4	1	2	6	90	10
Разрез 2								
АJ 0–10	45	28	14	3	4	6	87	13
АJС 10–20	71	13	5	1	3	7	89	11
С 20–70	74	12	4	1	2	6	90	10
Разрез 3								
АJ 0–20(25)	44	26	14	4	5	6	85	15
АJС 20(25)–37	50	18	16	4	7	6	83	17
С 37–68	61	18	7	3	5	6	86	14

В 0–20 см слое сосредоточена основная масса корней травянистой растительности. В нем находится и максимальное количество гумуса (табл. 3). Показатели рН изменяются от слабощелочных до щелочных значений. Профиль почв окарбонанен. В почвах, формирующейся на 3 террасе под разнотравно-вострещовой степью, отмечается высокое содержание  $\text{CO}_2$ карб. (3,37–8, 16%) и относительно равномерное распределение по профилю. Эти данные косвенно свидетельствует о современном процессе гидрогенного карбонатообразования.

Показатели  $\text{aCa}^{+2}$ ,  $\text{aNa}^+$ ,  $\text{aF}^-$ , а также содержание легкорастворимых солей в изученных почвах очень низкое. По имеющимся грациям они диагностируют отсутствие засоления почв 4 и 3 террас и очень слабое засоление нижних горизонтов почвы, формирующейся в зоне влияния озерных вод (табл. 3).

Таблица 3. Некоторые физико-химические свойства светлогумусовых почв Торейского вулканического поля

Глубина, см	рН	СО <sub>2</sub> карб.	Гумус	Обменные основания, смоль(экв)/кг почвы	Сумма легкорастворимых солей, %
		%			
Разрез 1					
AJ 0–10	7,6	0,93	4,92	13,7	0,090
AJC 10–20	7,6	3,28	2,14	10,6	0,082
C 20–49	7,8	4,51	2,10	7,2	0,073
Разрез 2					
AJ 0–10	7,8	0,75	2,90	8,5	0,061
AJC 10–20	8,0	4,22	0,95	7,3	0,073
C 20–70	8,4	5,16	0,65	6,8	0,059
Разрез 3					
AJ 0–20(25)	8,1	3,37	1,48	9,6	0,068
AJC 20(25)–37	8,4	7,79	1,16	10,7	0,168
C 37–68	7,7	8,16	0,75	10,8	0,197

**Заключение.** Основными горными породами в пределах Торейского вулканического поля являются оливин-плагноклаз-хлоритовые базальты, кальцит-полевошпат-кварцевые сланцы и травертины. На них произрастают змеевково-холоднопопынно-ковыльные (разр. 1), разнотравно-холоднопопынно-ковыльные (разр. 2) и разнотравно-вострецовые степи. Маломощные сильнокаменистые почвы легкого гранулометрического состава (AJ–AC–C) характеризуются щелочной и сильнощелочной реакцией, окарбонаты, средне- и низгумусные, не засолены. По морфологическому строению и физико-химическим свойствам почвы классифицируются как светлогумусовые. В настоящее время в них выражены процессы окарбонативания и светлогумусовой аккумуляции.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках бюджетного проекта № АААА–А17–117011810038–7.

#### Литература

1. Хадеева Е. Р. Галогенез почв Забайкалья и Предбайкалья. Автореф. дис... канд. биол. наук. Иркутск, 2021. 20 с.
2. Ступак Ф.М. Гиалокластиты юго-восточного Забайкалья // Записки РГО. Вып. 131. 2012. С. 118–130.
3. Климатический справочник СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1958. Вып. 23, Ч. 1. 288 с
4. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия: География. 2015. № 2. С. 7–17.
5. Корнблюм Э.А., Михайлов И.С., Ногина Н.А., Таргульян В.О. Базовые шкалы свойств морфологических элементов почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1982. 55 с.
6. Воробьева Л.А. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
7. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
8. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
9. Баженова О.И., Черкашина А.А. Голоценовый морфолитогенез в озерных котловинах юго-восточного Забайкалья // Геоморфология. 2018. № 2. С.4–19.

#### STEPPE SOILS OF THE TOREI VOLCANIC FIELD

V.I. Ubugunova<sup>1</sup>, L.L. Ubugunov<sup>1</sup>, E.I. Lastochkin<sup>2</sup>, T.A. Ayushina<sup>1</sup>, A.D. Zhambalova<sup>1</sup>  
T.E. Tkachuk<sup>3,4</sup>, O.V. Vishnyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, ubugunova57@mail.ru

<sup>2</sup>Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

<sup>3</sup>FGBU "State Natural Biosphere Reserve "Daurisky", Trans-Baikal Region, Ononsky district, Nizhny Tsasuchey, Komsomolskaya str., 76, 674480, Russia

<sup>4</sup>FGBOU VO "Zabaikal'sky State University", Alexandro-Zavodskaya str., 30, Chita, Russia

*Summary. Steppe soils formed within the Torey volcanic field have been studied. The main rocks have been established to be an olivine-plagioclase-chlorite basalts, calcite-feldspar-quartz schists and travertines. Small thickness, skeletal soils of light texture (AJ-AC-C) are characterized by alkaline and strongly alkaline reaction, carbonated, not saline, of medium and low humus content. According to the morphological structure and physicochemical properties, these soils are classified as light-humus.*

*Keywords: light-humus soils, volcanic rocks, Torey depression.*

УДК 631.474

## **ОБОСНОВАНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРОГЕННЫХ ПОЧВ УМЕРЕННО ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ**

**Л.А. Федченко<sup>1</sup>, Е.Г. Пивоварова<sup>2</sup>**

ФГБОУ ВО Алтайский Государственный Аграрный Университет, Барнаул,  
fedtschenko.leonid.1999@mail.ru

ФГБОУ ВО Алтайский Государственный Аграрный Университет, Барнаул, elena  
pivovarova

*Аннотация. На основе моделей урожайности сельскохозяйственных культур и региональных эталонов почв (в соответствии с субстантивно-генетической классификацией) дана оценка уровня экологического состояния агрогенных почв. Разработаны картограммы уровня экологического состояния почв для различных агроценозов в ГИС «Аксиома 5.0». На основе выделенных уровней экологического состояния почв предложены мероприятия по их эффективному использованию.*

*Ключевые слова: оценка уровня экологического состояния, агрогенный, почвы, региональная классификация почв, плодородие.*

**Актуальность.** Получение одинакового количества урожая с разных подтипов агрогенных почв не говорит о том, что они имеют одинаковый экологический уровень.

Оценка экологического уровня почв должна основываться на региональной классификации почв, которая содержит информацию об их генезисе, особенностях состояния в данном регионе. Это позволит более точно оценить экологическое состояние почв и разработать более эффективные методы повышения их плодородия и улучшения экологического состояния.

Использование ГИС-технологий позволит более эффективно обрабатывать и анализировать данные о состоянии почвы, что позволит более точно оценивать её экологический уровень.

*Объекты исследования:* почвы пахотных угодий 12-го почвенного района (района чернозёмов обыкновенных малогумусных, чернозёмов маломощных карбонатных и смытых) умеренно засушливой степи Алтайского края.

*Предмет исследования:* экологическое состояние пахотных почв хозяйства ОАО «Красная звезда» Шелаболихинского района Алтайского края.

*Цель исследования:* оценка уровня экологического состояния почв пахотных угодий на основе региональных эталонов почв.

*Задачи исследования:*

1) разработать региональные эталоны подтипов почв для 12-го почвенного района Алтайского края;

2) определить действительно-возможную урожайность (ДВУ) для региональных эталонов почв и дифференцировать ее на биоклиматическую и почвенную составляющие;

3) на основании прогнозных урожайностей рассматриваемых сельскохозяйственных культур определить уровни экологического состояния почв исследуемой территории;

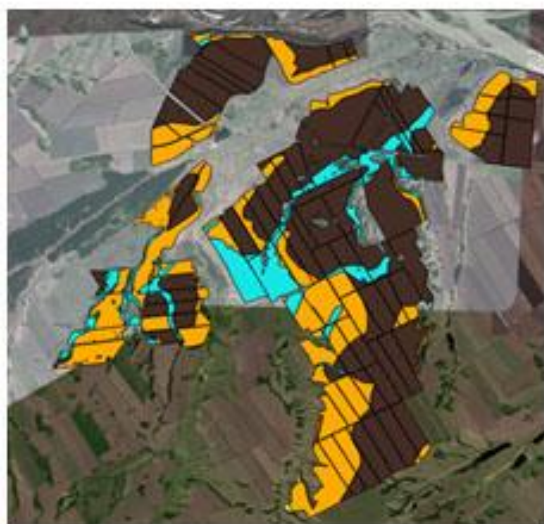
**Методы исследования:** для разработки математических моделей региональных эталонов (количественных моделей) агрогенных почв 12-го почвенного района Алтайского края (района чернозёмов обыкновенных малогумусных маломощных, чернозёмов карбонатных и смытых) использован метод информационно-логического анализа [1]. Материалом для создания региональных эталонов стали данные о свойствах почв прошлых туров обследования НИИ «ЗАПСИБГИПРОЗЕМ» более 50 хозяйств за 1990–1996 года (в сумме в выборке данные примерно 360 почвенных разрезах).

Однофакторный информационно-логический анализ позволил разработать количественную модель для идентификации почв по субстантивно-генетической классификации почв России [2].

Определение действительно возможной урожайности (ДВУ), обусловленной современным состоянием почвенных свойств и биоклиматическим потенциалом территории, определили на основе информационно-логических моделей ДВУ, разработанных Бурлаковой Л.М. для следующих с/х культур: яровая пшеница, сахарная свекла, люцерна, кукуруза на силос [3].

Выделение уровней экологического состояния почв осуществлялось на основе сопоставления БКР и ПР, а также в соответствии с принципами оценки экологического состояния [4], категорий земель [5]. Визуализация результатов оценки экологического состояния почв пашни, расположенных вблизи села Кучук, Шелаболихинского района осуществлялось с помощью картографических материалов (АлтайНИИГипрозем) и современных ГИС «Аксиома 5.0».

**Результаты.** В качестве базовой почвенной классификации в данной работе использовали субстантивно-генетическую классификацию почв России [6]. Для 12-го почвенного района эталонами агрогенных почв являются: АСт – агротёмно-серые типичные; АГ<sub>мг</sub> – агрогумусово-гидрометаморфические типичные; АЧ<sup>ГМ</sup> – агрочернозёмы гидрометаморфизированные; АЧ<sup>ДК</sup> – агрочернозёмы дисперсно-карбонатные; АЗ<sup>ТАК<sup>ДК</sup></sup> – агрозёмы тёмные аккумулятивно-дисперсно-карбонатные; АА<sup>БАК<sup>ДК</sup></sup> – агроаброзёмы аккумулятивно-дисперсно-карбонатные (рис. 1).



- Агроаброзём аккумулятивно-дисперсно-карбонатный
- Агрозём тёмный аккумулятивно-дисперсно-карбонатный
- Агрочернозём аккумулятивно-дисперсно-карбонатный
- Агрочернозём гидрометаморфизированный

Рис. 1. Почвенная карта-схема исследуемого района.

Полученные математические модели региональных эталонов почв 12-го почвенного района Алтайского края (специфичные состояния их агрохимических свойств) были использованы для расчета биоклиматического (БКР) и почвенного (ПР) ранга. Вкларамазановад свойств почв в ДВУ оценивался через почвенный ранг (ПР), влияние биоклиматического ранга на ДВУ – через биоклиматический ранг (БКР). БКР и ПР – это производные от информационно-логической модели ДВУ Бурлаковой Л.М., так БКР – включает в себя гидротермический коэффициент, сумму осадков и активных температур за вегетационный период, а ПР – такие факторы ДВУ как рН, содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, и т.п.

Согласно моделям ДВУ Бурлаковой Л.М. – наибольший удельный вес влияния на потенциальную урожайность имеет биоклиматический ранг: он стоит на первом месте в



моделях ДВУ. Именно поэтому на разных подтипах агрогенных почв, имеющих неодинаковый экологический уровень, наблюдается одинаковая потенциальная урожайность культур (ДВУ) на разных подтипах почв, имеющих неодинаковый экологический уровень – биоклиматические условия территории сглаживают неоднородность почвенного покрова. Как видно из таблицы 1, совершенно разные по степени агроистощения, степени эродированности агрогенные почвы имеют одинаковую ДВУ, следовательно, потенциальная урожайность агроценозов, обоснованная в совокупности своей в основном, биоклиматическим потенциалом территории некоторых культур (пшеницы яровой, сахарной свёклы), не является абсолютным индексом уровня экологического состояния почв.

Таблица 1. Действительно-возможная урожайность (ДВУ) пшеницы яровой, сахарной свёклы, кукурузы (на силос), люцерны (на сено) для региональных эталонов почв исследуемого почвенного района

Региональный эталон*	ДВУ яровой пшеницы		ДВУ сахарной свеклы		ДВУ кукурузы на силос		ДВУ люцерны на сено	
	т/га	ранг	т/га	ранг	т/га	ранг	т/га	ранг
АС <sub>Т</sub>	1,3–1,5	3	18,1–22,0	4	30,1–36,0	6	2,3–3,3	3
АЧ <sup>ДК</sup>	1,75–1,95	4	18,1–22,0	4	36,1–48,0	7	2,3–3,3	3
АЗ <sub>ТАК</sub> <sup>ДК</sup>	1,3–1,5	3	14,1–22,0	3,5	30,1–36,0	6	2,3–3,3	3
АА <sub>БАК</sub> <sup>ДК</sup>	1,3–1,5	3	14,1–18,0	3	30,1–36,0	6	1,3–2,3	2
АГ <sub>Мгу</sub>	1,3–1,5	3	14,1–18,0	3	36,1–48,0	7	2,3–3,3	3
АЧ <sup>ГМ</sup>	1,3–1,5	3	18,1–22,0	4	30,1–36,0	6	2,3–3,3	3

За основу выделения уровней экологического состояния почв приняты степень агрогенной деградации почв (таксономический тип) и уровень потенциальной урожайности (ДВУ). Для оценки потенциальной урожайности агрогенных почв были использованы информационно-логические модели ДВУ Бурлаковой Л.М. по культурам: пшеницы яровой, сахарной свёклы, люцерны, кукурузы (на силос). Снижение урожайности ниже биоклиматического потенциала (БКР) является индикатором снижения экологической устойчивости агроценоза. В качестве экологической нормы принимается зональный тип почвы с минимальными морфологическими изменениями (агрочернозем, агросерая почва) и потенциальной урожайностью не ниже биоклиматического потенциала. Агроземы (слабоэродированные почвы) и агрообраземы (средне- и сильноэродированные почвы) соответствуют уровню риска или даже кризиса в зависимости от степени снижения урожайности ниже биоклиматического потенциала (на 1–2 ранга).

Результатом сопоставления БКР и ПР, а также принадлежности диагностируемой почвы к одному из подтипов почвы (региональному эталону), особенностей агротехники возделываемой культуры стало определение уровня экологического состояния почв ОАО «Красная звезда» (табл. 2).

Таблица 2. Оценка уровня экологического состояния региональных эталонов почв 12-го почвенного района Алтайского края

Подтип почвы (региональный эталон 12-го почвенного района Алтайского края)	Яровая пшеница	Сахарная свёкла	Кукуруза на силос	Люцерна на сено
АС <sub>Т</sub>	Норма	Норма	Риск 2	Норма
АЧ <sup>ДК</sup>	Норма	Норма	Норма	Норма
АЗ <sub>ТАК</sub> <sup>ДК</sup>	Риск 1	Риск 2	Кризис 2	Норма
АА <sub>БАК</sub> <sup>ДК</sup>	Кризис 2	Кризис 2	Кризис 2	Норма
АГ <sub>Мгу</sub>	Норма	Норма	Норма	Норма
АЧ <sup>ГМ</sup>	Норма	Норма	Риск 2	Норма

Как видно из таблицы 2, несмотря на схожие значения ДВУ, региональные эталоны имеют разные экологические уровни. Выявленные уровни экологического состояния региональных эталонов можно использовать для построения картограмм экологического состояния агрогенных почв (рис. 2, рис. 3, рис. 4).

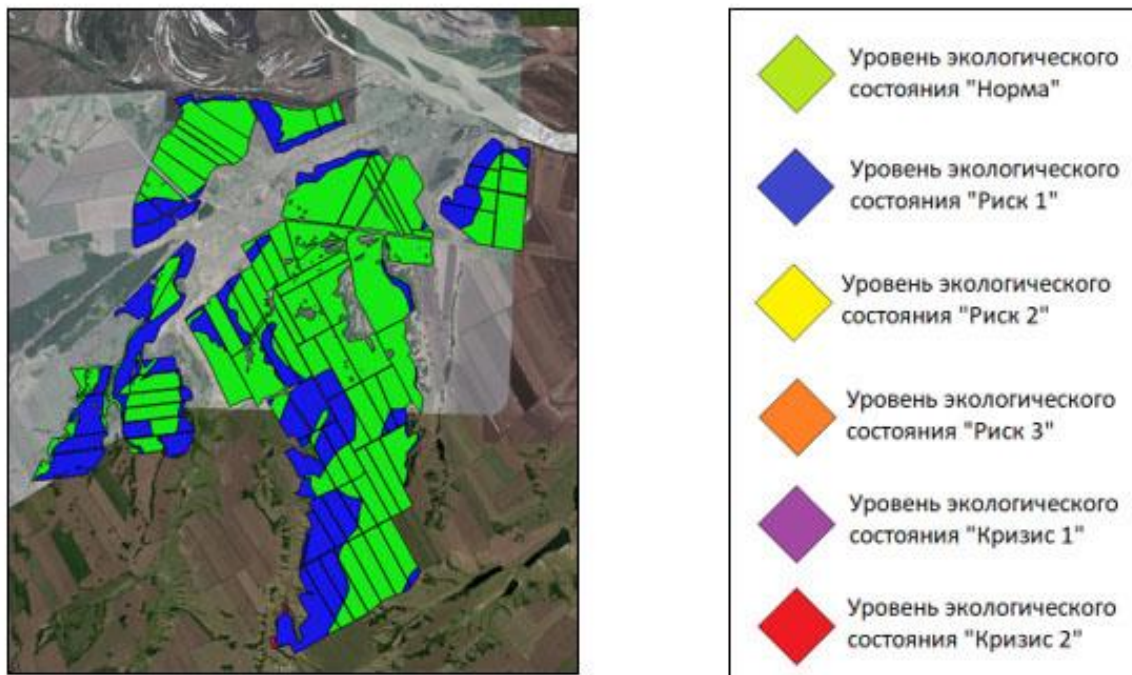


Рисунок 2. Картограмма экологического состояния почв пахотных угодий при возделывании на них яровой пшеницы.

Таким образом, несмотря на одинаковые значения, ДВУ у таких подтипов как агрозёмы и агрочернозёмы, их экологический уровень разный, а значит и требуется разная агротехника, структура посевных площадей, дифференцированное внесение удобрений для получения высоких урожаев культур без ущерба экологии почв.

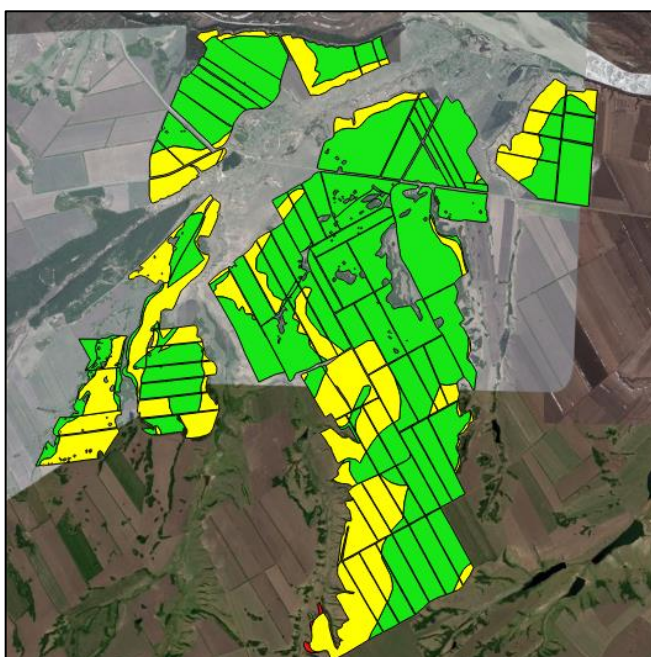


Рисунок 3. Картограмма экологического состояния почв пахотных угодий при возделывании на них сахарной свёклы.

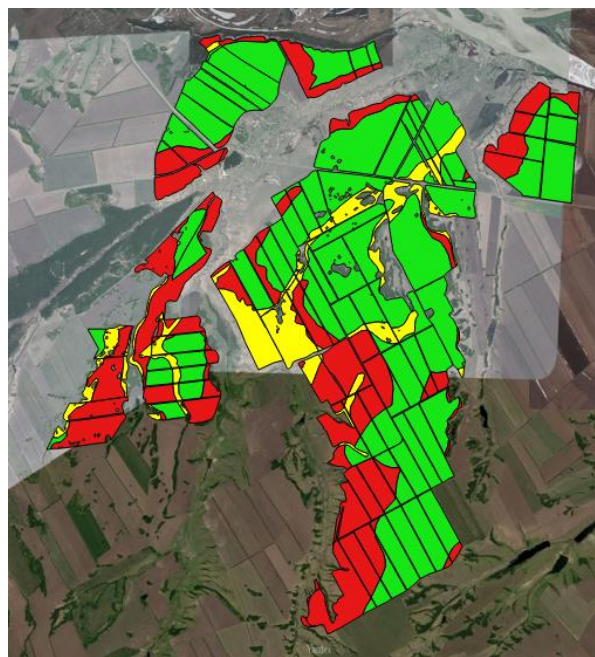


Рисунок 4. Картограмма экологического состояния почв пахотных угодий при возделывании на них кукуруза (на силос).

Детальность полученных картосхем допускает их использование в сельскохозяйственной практике, а именно при планировании структуры посевных площадей и разработке севооборотов. Поскольку выделение уровней экологического состояния учитывает группировку земель по степени их эродированности [5], это позволяет перенести рекомендации противозерозионных мероприятий в зависимости от интенсивности их использования на почвы соответствующего уровня. Так для почв, соответствующих уровню Риск для прекращения эрозии и регулирования поверхностного стока (задержания талых и ливневых вод на полях) достаточно применять простейшие агротехнические мероприятия: вспашку и рядовой сев поперек склона, более глубокую вспашку, лункование, снегозадержание, регулирование снеготаяния (с учетом рельефа) и другие агротехнические приемы. Почвы, отнесенные к уровню экологического состояния Кризис пригодны для ограниченной обработки (непригодные для постоянного возделывания ценных однолетних сельскохозяйственных культур даже при условии применения полного комплекса противозерозионных мероприятий).

#### Литература

1. Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. // Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере её влажности / Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М: Наука 1970. С. 103–121.
2. Пивоварова Е.Г., Федченко Л.А. Региональные эталоны почв как индикаторы агрогенной трансформации их агрохимических свойств // Аграрная наука сельскому хозяйству: сборник материалов в 2 книгах / XV Международная научно-практическая конференция (12–13 марта 2020 г.). Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2020. Кн. 1. С. 282–284.
3. Антонова О.И., Жандарова С.В., Комякова Е.М. Применение удобрений в Алтайском крае: учебное пособие. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017. 92 с.
4. Петров К.М. Общая экология: взаимодействие общества и природы: Учебное пособие для вузов. СПб: Химия, 1997. 352 с.
5. Соболев С.С. Современное состояние и задачи борьбы с эрозией почв в СССР: Материалы Сес. по вопр. борьбы с вод. и ветровой эрозией почв / ВАСХНИЛ. М.: Сельхозиздат, 1963. С. 42.
6. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л.Шишов, В.Д. Тонконогов. И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.

#### SUBSTANTIATION OF THE ECOLOGICAL CONDITION LEVEL OF AGROGENIC SOILS OF THE MODERATELY ARID STEPPE OF THE ALTAI KRAY ON THE BASIS OF REGIONAL ETALONS

L.A. Fedchenko, E.G. Pivovarova

Altai State Agrarian University, Barnaul, fedtschenko.leonid.1999@mail.ru

*Summary.* It was given the assessment of the level of ecological condition of agrogenic soils, based on crop yield models and regional soil etalons (in accordance with the substantive-genetic classification). It have been developed cartograms of the level of the ecological state of soils for various agrocenoses in the GIS "Axiom 5.0". There are proposed measures for effective use of soils based on the received levels of the ecological state.

*Keywords:* assessment of the level of ecological condition, agrogenic, soils, regional classification of soils, fertility.



УДК 631.413.3

## ЭВОЛЮЦИЯ ЗАСОЛЕННОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ПОД ДРЕВЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ РАЗЛИЧНОГО ПОРОДНОГО СОСТАВА

Ю.И. Чевердин, В.А. Беспалов, Т.В. Титова

Воронежский федеральный аграрный научный центр им.В.В. Докучаева, Воронеж  
cheverdin62@mail.ru

***Аннотация.** Проведены исследования изменения засоленности черноземов под старовозрастными лесными полосами. Отмечены различия активности иона натрия под древесными культурами в зависимости от состава пород. Более высокие значения засоленности отмечаются под лиственными культурами. Черноземы под хвойным древостоем характеризуются меньшей степенью засоления.*

***Ключевые слова:** чернозем, активность натрия, лесная полоса, породный состав, клен, лиственница.*

Естественные степные ландшафты степной части России в течение последних 100–150 лет претерпели существенное изменение. В результате хозяйственной деятельности они преобразованы в высокоинтенсивные агролесомелиоративные ценозы. Посадка лесных полос существенным образом изменила направленность почвенных процессов исходных черноземных фоновых почв. Многочисленными исследованиями показана положительная роль искусственных лесных насаждений в изменении свойств почв [1–3].

Лесные полосы в значительной степени оказывают воздействие на гидрологический режим агроландшафтов. И в первую очередь изменяются водно-солевые характеристики почв. Изменение уровня грунтовых в ландшафте обуславливает миграцию солей по почвенному профилю. На накопления солей в почвенном профиле может оказывать влияние почвообразующие породы, опад растений, осадки и др. [4]. Засоленность почв зависит от произрастающей на ней растительности, отмечаются различия между степным и луговым разнотравьем [5].

**Цель исследований** – изучить засоленность чернозема типичного под старовозрастной лесной полосой различного породного состава.

**Методика исследований.** Исследования проведены в Воронежском ФАНЦ (Каменная Степь). Объект – полезащитная лесная полоса №211. Год закладки – 1961 г., проведения наблюдений – 2021 г. Ширина при посадке 22м. В настоящее время за счет разросшихся опушек ширина составляет 30 м. Опыты заложены в двух секция лесной полосы. Первая представлена растительностью лиственницы с формулой древостоя 10Лс. Вторая кленом с формулой 10Кл [6]. Почвенные образцы отбирались до глубины 300 см из буровых скважин. Скважины закладывались в пространстве по регулярной сетке с шагом 15х25м. Засоленность оценивали в почвенной пасте по активности иона натрия.

**Результаты исследований.** Проведенными нами исследованиями был выявлен процесс формирования глубокозасоленных почвенных горизонтов под старовозрастной дубовой полосой посадки 1903 г. [7]. Активность иона натрия на глубине 170–200 см составила в центре лесной полосы 37–42 ммоль/л. На западной заветренной опушке этот показатель равнялся в среднем 18–20 ммоль/л, на восточной существенно выше – 33–36 ммоль/л. На прилегающем к лесной полосе участка залежи косимой концентрация натрия не превышала 1 ммоль/л. Таким образом, было установлено заметное повышение засоленности под дубовым длительно произрастающим древостоем.

В связи с выявленными закономерностями необходимо выявить роль отдельных древесных пород в изменении концентрации натрия под старовозрастными насаждениями. Наблюдения проведены в лесной полосе 1961 года закладки. Ее особенность - посадка древесных культур разного породного состава отдельными разграниченными блоками. Исследования проведены в секциях занятых, в первом случае, кленом остролистным и. во втором, лиственницей сибирской.

По результатам наблюдений можно отметить ярко выраженную закономерность повышения содержания натрия в черноземах под лесной полосой. Наиболее существенное увеличение отмечается в горизонтах почвы ниже 100 см. Так, на глубине 70–100 см



концентрация натрия не превышала  $0,57 \pm 0,06 - 0,90 \pm 0,12$  ммоль/л (см. табл.). Затем постепенно в нижележащих почвенных горизонтах отмечается закономерное повышение концентрации натрия. При этом необходимо отметить важную особенность. Более высокие показатели характерны для черноземов под листовенным насаждением (кленом). Эти различия начинают проявляться с глубины 120–150 см. Под насаждениями клена содержание натрия было на уровне  $2,50 \pm 0,93$  ммоль/л, под хвойным древостоем  $2,00 \pm 0,35$  ммоль/л. Максимальных значений концентрация натрия достигает на глубине 220–240 см и составляет  $34,30 \pm 4,54 - 35,20 \pm 4,37$  ммоль/л под кленом. Под лиственницей при этом существенно ниже –  $18,70 \pm 3,72 - 20,00 \pm 3,77$  ммоль/л.

Таблица. Содержание натрия по профилю почвы, ммоль/л

Горизонт, см	Клен	Лиственница
0–20	$0,86 \pm 0,12$	$0,86 \pm 0,15$
20–30	$0,74 \pm 0,13$	$0,81 \pm 0,07$
30–50	$0,75 \pm 0,15$	$0,81 \pm 0,06$
50–70	$0,49 \pm 0,06$	$0,82 \pm 0,09$
70–100	$0,57 \pm 0,06$	$0,90 \pm 0,12$
100–120	$0,87 \pm 0,13$	$1,08 \pm 0,09$
120–150	$2,50 \pm 0,93$	$2,00 \pm 0,35$
150–170	$6,22 \pm 1,43$	$4,88 \pm 1,10$
170–200	$16,90 \pm 1,96$	$9,52 \pm 1,56$
200–220	$26,60 \pm 3,76$	$16,00 \pm 3,09$
220–240	$34,30 \pm 4,54$	$18,80 \pm 3,77$
240–260	$35,20 \pm 4,37$	$18,70 \pm 3,72$
260–280	$34,60 \pm 5,10$	$20,00 \pm 3,77$
280–300	$34,60 \pm 6,31$	$19,30 \pm 2,96$

Важной частью наших исследований служит оценка пространственной изменчивости содержания натрия в зависимости от особенностей расположения древостоя. Лесная полоса, в которой проведены наблюдения, расположена с запада на восток. Роза ветров в месте проведения исследований имеет формулу ЮЮ-В. В зимний период основная масса снега, в связи с этим, концентрируется на южной части опушки. Оценка изменения засоленности в разных частях лесной полосы (южная опушка, центральная часть и северная опушка) показали на заметные различия в засоленности почвы. Начин с глубины 150–170 см более высокие значения засоленности характерны для южной опушки и центра лесной полосы. В количественном выражении величина Na равнялась в среднем 6,50 и 6,70 ммоль/л. Северная опушка существенно отличалась меньшей концентрацией натрия – 3,40 ммоль/л. Максимальных значений различия достигают на глубине 260–300 см. С южной стороны количество натрия отмечено на уровне 32,3 ммоль/л, в центре – 30,0 и на северной опушке снижается до 19,6 ммоль/л.

Таким образом, проведенные исследования засоленности черноземов под старовозрастными лесными полосами позволяют констатировать формирование глубоководнозасоленных почвенных горизонтов. Концентрация натрия соответствует средней степени засоления – более 30 ммоль/л. Увеличение его содержания отмечается, начиная с глубины 120–150 см. Максимальные величины свойственны почвенным горизонтам от 220 см и ниже. Большей степенью засоления характеризуются южная опушка лесной полосы и ее центральная осевая часть – 30,0–32,2 ммоль/л против 19,6 ммоль/л на северной опушке.

#### Литература

1. Петелько А.И., Выпова А.В. Влияние стокорегулирующей лесной полосы комбинированной конструкции с низкорослым кустарником на эрозионно-

- гидрологические процессы // Земледелие. 2019. № 5. С. 3–7. DOI: 10.24411/0044-39132019-10501.
2. Ивонин В.М. Стокорегулирующая способность лесных полос в связи их таксационными характеристиками // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. №11. С.81-96. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-1-81-96
  3. Zuazo V.H.D., Pleguezuelo C.R.R Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review // *Agronomy for Sustainable Development*. 2008. Vol. 28(1). P. 65–86. DOI: 10.1051/agro:2007062
  4. Спирина В.З. Солевой состав водной вытяжки и свойства южных черноземов Ширинской степи // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования; Сборник материалов научной конференции, посвященной 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории Воронежского государственного университета. 2017. Издательство: Воронежский государственный университет (Воронеж). С. 149–153.
  5. Морга Б.Э., Патрина А.С., Николаева Д.В. Свойства почв под различными типами растительности в Торейской котловине // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование. Материалы II международной научно-практической конференции. Керчь, 27–30 мая 2020 года. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал» (Симферополь). - С.153–156.
  6. Вавин В.С., Рымарь В.Т., Ахтямов А.Г., Свиридов Л.Т. Создание долговечных защитных лесных насаждений в условиях Каменной Степи // Федеральное агентство по образованию, ГНУ «НИИСХ ЦЧП им.В.В. Докучаева», ГОУ ВПО «ВГЛТА». Воронеж, 2007. 240с.

#### SALINITY OF CHERNOZEM UNDER TREE CROPS OF VARIOUS SPECIES COMPOSITION

Yu.I. Cheverdin, V.A. Bepalov, T.V. Titova

Voronezh FASC named after V.V. Dokuchaev, Voronezh, [cheverdin62@mail.ru](mailto:cheverdin62@mail.ru)

*Summary. Studies of changes in the salinity of chernozems under old-age forest strips have been carried out. Differences in the activity of sodium ion under tree crops depending on the composition of rocks are noted. Higher salinity values are observed under deciduous crops. Chernozems under coniferous stands are characterized by a lower degree of salinity.*

*Keywords: chernozem, sodium activity, forest strip, rock composition, maple, larch.*

УДК 631.48

## ГЕОГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И РАЗНООБРАЗИЕ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

А.П. Чевычелов, П.И. Собакин, Л.И. Кузнецова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, chev.soil@list.ru

*Аннотация.* Криогенные почвы Центральной Якутии формируются в условиях криоаридного климата, сплошного распространения многолетней мерзлоты, под таежно-лесной и лугово-степной растительностью, в основном на рыхлых и легких аллювиальных отложениях различного возраста, в пределах различных геоморфологических уровней Центрально-Якутской аллювиальной равнины. Систематический список мерзлотных почв данного региона включает 17 типов и 21 подтип почв, что указывает на высокое биологическое разнообразие этой территории.

*Ключевые слова:* криолитозона, Центральная Якутия, мерзлотные почвы, география, генезис, разнообразие.

Центральная Якутия является уникальным регионом криолитозоны, в котором мерзлотные почвы формируются в условиях криоаридного климата, сплошного распространения многолетней мерзлоты, в основном на рыхлых аллювиальных отложениях различного возраста, под лесной и лугово-степной растительностью [1–7].

При проведении исследований использовали общепринятые почвенные методы: сравнительно-географический, профильно-генетический и сравнительно-аналитический [8, 9], при этом химический состав, а также свойства почв определяли по стандартным методикам, принятым в почвоведении [10]. Диагностику и классификацию исследуемых почв проводили в соответствии с классификацией мерзлотных почв Якутии [3].

Согласно классификации типов воздействия макрорельефа, на изменение климата, Центрально-Якутская равнина относится к депрессионным ороклиматогенным комплексам [11]. Депрессионное воздействие макрорельефа на климат проявляется во влиянии обширных понижений, расположенных среди больших равнин. В пределах Центрально-Якутской депрессии с передвижением от центра днища вверх по склонам бортов прилегающих водоразделов уменьшаются испаряемость ( $E$ ), сумма активных температур ( $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ ) и коэффициент континентальности ( $K_k$ ), и в то же время увеличиваются среднегодовая температура воздуха ( $t_r$ ), среднегодовое количество осадков и коэффициент увлажнения. Причем средние изменения данных показателей на 100 м подъёма высоты составляют для  $t_r$  – (+0,7 $^\circ\text{C}$ ),  $Q_r$  – (+27 мм),  $E$  – (-30 мм),  $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$  – (-85 $^\circ\text{C}$ ),  $K_k$  – (-15),  $K_y$  – (+0,06). Своеобразие состава и строения почвенно-растительного покрова Центрально-Якутской равнины обусловлено влиянием котловинно-депресссионной зональности в условиях сплошного распространения многолетней мерзлоты. При этом в пределах исследованной почвенной катены наблюдается закономерная смена (сверху вниз) типов почвообразования от таежного к дерново-лесному (лесостепному) и дерновому (лугово-степному) [5].

В аспекте зональности на территории Центральной Якутии выделяются три почвенные зоны с соответствующими типами зональных почв [12]:

- таёжная зона мерзлотно-таёжных типичных и мерзлотных дерново-карбонатных (остаточно-карбонатных почв от 250–300 м);
- таёжно-аласная зона мерзлотных таёжных палевых осолоделых и мерзлотных черноземно-луговых почв (от 140 до 250–270 м);
- степная зона мерзлотных черноземов низких надпойменных террас рек (100–140 м). При этом по современной терминологии мерзлотно-таёжные почвы определяются как мерзлотные палево-бурые [3].

Основными типами изучаемых мерзлотных лесных почв Центральной Якутии являлись: мерзлотные подзолы, мерзлотные палево-бурые, мерзлотные палевые, мерзлотные дерново- и перегнойно-карбонатные почвы, распространенные в пределах различных геоморфологических ярусов Центрально-Якутской равнины. Основными типами изучаемых мерзлотных лугово-степных почв данной территории Якутии являлись мерзлотные черноземы, мерзлотные лугово-черноземные, мерзлотные черноземно-луговые, мерзлотные

дерново-луговые и мерзлотные лугово-болотные почвы, формирующиеся на низких надпойменных террасах (I и II) Средней Лены на наиболее низком (0–140 м) высотном уровне Центрально-Якутской равнины. Среди интразональных типов почв здесь выделяются мерзлотные аллювиальные, мерзлотные болотные и мерзлотные засоленные почвы. Систематический список мерзлотных почв Центральной Якутии включает 17 типов и 21 подтип почв (табл. 1).

Таблица 1. Систематический список мерзлотных почв Центральной Якутии

№ п/п	Тип почв	№ п/п	Подтип почв
Лесные			
1.	Подзолы	1.	Иллювиально-железистые
2.	Солоди	2.	Иллювиально-гумусовые
3.	Палево-бурые	-	Без разделения
		3.	Типичные
4.	Палевые	4.	Оподзоленные
		5.	Типичные
		6.	Осолоделые
		7.	Выщелоченные
		8.	Серые
		9.	Турбированные
5.	Дерново-карбонатные	-	Без разделения
6.	Перегноино-карбонатные	-	Без разделения
Лугово-степные			
7.	Чернозёмы	10.	Обыкновенные
		11.	Выщелоченные
8.	Лугово-чернозёмные	12.	Типичные
		13.	Солонцеватые
9.	Чернозёмно-луговые	14.	Типичные
		15.	Глееватые
10.	Дерново-луговые	16.	Типичные
		17.	Глееватые
11.	Лугово-болотные	-	Без разделения
Интразональные			
12.	Аллювиальные слоистые	-	Без разделения
13.	Аллювиальные темногумусовые	18.	Типичные
		19.	Глееватые
14.	Болотные низинные	-	Без разделения
15.	Сапропели	20.	Типичные
		21.	Торфянистые
16.	Солончаки	-	Без разделения
17.	Солонцы	-	Без разделения

Морфологические характеристики и физико-химические свойства исследуемых мерзлотных почв значительно различаются как на типовом, так и на подтиповом уровнях (табл. 2, 3). При этом в составе 6 типов мерзлотных лесных почв данного региона, 2 типа, то есть дерново-карбонатные и перегноино-карбонатные являются азональными и формируются на элюво-делювии осадочных карбонатных пород (доломитов и известняков).

Среди 5 типов мерзлотных лугово-степных почв на данной территории выделяются мерзлотные чернозёмы, которые являются уникальными почвами, формирующимися в мерзлотной области на северной границе ареала чернозёмных почв России. Кроме чернозёмов в данной группе почв также выделяются мерзлотные чернозёмовидные почвы, а именно мерзлотные лугово-чернозёмные и мерзлотные чернозёмно-луговые, а также мерзлотные дерново-луговые и мерзлотные лугово-болотные почвы.



Таблица 2. Физико-химические свойства мерзлотных лесных почв Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	pH <sub>H2O</sub>	Гумус, % (ППП)	Обменные катионы, ммоль(экв)/100 г почвы				Фракции, %		CO <sub>2</sub> карбонатов, %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм	
Подзол иллювиально-гумусово-железистый, разрез 2БС-18										
О	0–4	5,7	88,7*	-	-	-	-	-	-	-
A0	4–12	5,1	46,4*	23,1	10,9	-	2,8	-	-	-
A2	12–18	4,7	3,4	3,8	1,2	-	2,6	4,8	12,5	-
Bf	20–30	5,6	0,8	2,2	1,7	-	0,2	3,2	5,3	-
Bh,f	38–48	6,0	1,6	8,7	1,7	-	0,7	5,7	19,3	-
BCf	48–58	6,3	0,3	3,5	1,6	-	0,2	4,0	7,7	-
Солодь, разрез 1БС-18										
О	0–4	5,6	86,3*	47,7	12,2	-	-	-	-	Н.о.
A0A2	4–8	4,9	33,2*	45,0	11,8	0,3	-	-	-	-/-
A2	14–24	5,2	4,7	15,3	7,2	0,2	-	11,5	35,6	-/-
B1s,ca	28–38	8,5	4,4	19,3	6,4	0,7	-	25,7	47,9	5,1
B2ca	44–54	8,9	2,9	13,3	7,1	0,6	-	14,7	34,3	4,4
BCca	70–80	8,7	1,6	10,2	6,1	1,5	-	16,9	33,0	4,5
Cca	90–100	8,8	0,8	12,2	5,1	-	-	18,0	40,0	4,4
Палево-бурая оподзоленная, разрез 3ЧТ-03										
A0A1	0–4	5,0	40,6*	36,2	14,3	2,5	Н.о.	-	-	-
A1A2	4–9	4,8	6,2	5,0	3,0	0,9	0,8	10,7	8,5	-
A2B	10–20	4,8	1,3	1,9	1,6	0,4	1,1	8,7	24,2	-
B	30–40	4,1	0,7	5,7	3,0	0,6	1,0	18,5	36,0	-
BC	60–70	5,0	0,5	2,1	1,5	0,3	0,1	4,6	17,6	-
C	120–130	6,4	0,1	2,1	1,2	0,3	0,1	3,3	5,0	-
Палевая осолодевшая, разрез 6Т-05										
A1A2	2–10	5,9	6,2	14,2	5,0	1,5	-	7,7	15,7	Н.о.
A2	10–22	6,0	0,4	6,3	1,6	1,3	-	7,5	14,8	-/-
B	30–40	6,1	0,6	11,4	7,0	1,3	-	22,6	30,8	-/-
Bca	45–55	6,3	0,6	9,5	5,7	1,3	-	18,5	26,2	4,6
BCca	70–80	8,8	0,5	25,2	11,4	1,7	-	17,8	25,6	4,6
Cca	110–120	8,9	-	-	-	-	-	-	-	2,4
Палевая серая, разрез 8БС-18										
A0	3–8	6,1	51,6*	52,4	22,4	-	-	-	-	Н.о.
A	10–20	5,9	13,9	15,8	7,9	-	-	11,7	25,5	-/-
ABca	25–35	8,9	1,1	11,2	8,1	-	-	18,0	40,0	4,3
Bca	45–55	9,0	0,5	9,1	6,1	-	-	16,3	34,7	4,2
BC	75–85	8,6	0,3	11,4	8,1	-	-	13,3	26,4	Н.о.
C	100–110	9,2	0,2	4,0	1,7	-	-	3,3	6,4	-/-
Перегнойно-карбонатная, разрез 5БС-18										
О	0–5	6,0	-	68,2	39,6	-	-	-	-	-
A0	5–8	6,4	46,8*	60,0	34,1	-	-	-	-	Н.о.
A	10–20	8,0	4,6	15,7	13,6	1,1	-	8,5	20,7	-/-
ABca	26–36	8,6	3,8	12,3	11,3	1,0	-	10,5	22,4	2,3
Bca	50–60	9,1	0,5	9,1	3,0	0,7	-	12,8	24,6	5,3
BC	75–85	8,8	0,4	7,1	3,0	0,4	-	8,2	14,9	-/-
Cca	90–100	9,1	0,1	5,0	2,0	0,1	-	4,6	5,6	2,5

Примечание. Здесь и далее: \* – приведено значение потери при прокаливании, н.о. – не обнаружено, прочерк – не определено.

Таблица 3. Физико-химические свойства мерзлотных лугово-степных почв Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	pH <sub>H2O</sub>	Гумус, % (ППП)	Обменные катионы, ммоль(экв)/100 г почвы			Фракции, %		Сумма солей, %	CO <sub>2</sub> карбонатов, %
				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм		
<b>Чернозём обыкновенный, разрез 2ЧТ-03</b>										
A	1–11	6,3	5,4	15,4	2,4	1,8	6,6	14,4	0,077	Н.о.
A	12–22	6,9	4,4	20,0	2,9	1,6	10,7	21,7	0,088	-/-
AB	25–35	7,5	2,9	18,0	5,3	3,0	10,3	29,5	0,120	-/-
Bca	40–50	7,8	1,4	18,7	11,1	2,3	11,5	28,2	0,874	3,2
BCca	60–70	8,2	0,6	8,3	6,3	0,7	6,6	14,4	0,160	2,8
C	90–100	7,5	0,1	3,3	2,6	0,3	3,5	4,5	0,028	Н.о.
<b>Чернозём выщелоченный, разрез 1Г-07</b>										
Av	0–1	6,9	5,9	22,7	7,7	1,8	7,4	12,0	-	Н.о.
A	2–12	6,6	4,3	18,5	7,2	1,2	11,3	19,3	-	-/-
A	20–30	6,7	2,1	19,6	9,3	1,1	13,0	23,0	-	-/-
AB	40–50	7,0	1,9	17,5	10,0	1,3	14,6	24,3	-	-/-
B	55–65	7,5	1,7	15,1	10,2	1,3	15,3	23,9	-	-/-
BCca	70–80	8,1	1,6	13,9	10,8	1,2	16,0	23,5	-	1,4
Cca	120–130	8,1	-	-	-	-	15,0	25,4	-	2,7
<b>Лугово-чернозёмная, разрез 10БС-18</b>										
A	5–15	7,5	7,4	22,5	8,2	0,3	8,7	28,1	0,107	Н.о.
AB	17–27	8,7	5,2	12,3	10,3	0,2	21,9	44,8	0,438	-/-
Bca	35–45	9,1	1,5	11,1	8,1	0,1	20,5	41,0	0,610	5,6
BCca	70–80	9,7	0,6	7,1	6,0	0,1	10,7	22,9	0,366	3,2
C	92–102	9,4	0,4	6,0	5,0	0,1	10,4	21,5	0,285	Н.о.
<b>Чернозёмно-луговая, разрез 3БС-18</b>										
Av	0–3	8,0	29,0*	58,1	33,2	-	7,9	17,0	-	Н.о.
A	10–20	8,1	9,2	21,5	17,2	-	10,2	24,8	-	-/-
AB	40–50	8,5	3,7	9,5	10,5	-	13,7	29,1	-	-/-
BC	60–70	8,6	1,2	7,9	9,9	-	17,5	37,2	-	-/-
C	80–90	8,4	1,9	7,3	9,4	-	17,3	36,1	-	-/-
<b>Аллювиальная темногумусовая, разрез 5ЧТ-04</b>										
A	2–5	8,3	6,7	29,7	14,3	3,8	6,6	16,4	-	-
ABca	5–15	8,9	1,7	25,2	10,5	4,6	8,7	19,7	-	-
BCca	30–40	8,2	1,5	35,2	9,6	2,8	9,9	22,9	-	-
C1	70–80	8,0	1,4	14,3	3,3	1,7	6,2	16,4	-	-
C2	120–130	7,9	-	7,5	1,9	1,1	3,8	6,6	-	-
<b>Солончак солонцеватый, разрез 7БС-18</b>										
Aca,s	0–5	9,3	8,5	7,2	21,6	31,2	19,7	38,7	4,042	2,7
Aca,s	5–15	9,3	5,9	10,3	11,4	16,8	23,7	44,4	2,440	3,7
Bca	23–33	9,2	3,4	8,1	7,1	1,2	18,1	41,3	1,527	6,6
BCca	45–55	9,5	0,6	3,0	2,8	0,8	7,0	13,3	0,562	3,2
C	80–90	9,1	0,6	5,0	4,9	0,7	7,2	12,8	0,593	Н.о.

В составе интразональных почв исследуемой территории выделяются 5 типов мерзлотных почв, которые представлены аллювиальными, болотными и засоленными почвами (табл. 1).

В условиях криоаридного климата Центральной Якутии, когда многолетняя мерзлота согласно О.В. Макееву [13] является субфактором почвообразования, незначительные изменения факторов-почвообразователей приводят к существенной смене направлений и темпов течения почвообразовательных процессов. Последнее приводит к значительному разнообразию почв и пестроте почвенного покрова данного региона криолитозоны.

### Выводы

1. Криогенные почвообразовательные процессы имеют решающее значение для формирования свойств, состава и режимов данных мерзлотных почв, обуславливая их высокое разнообразие и пестроту почвенного покрова Центральной Якутии.

2. Систематический список мерзлотных почв исследуемой территории включает 17 типов и 21 подтип почв и будет расширяться по мере углубления изучения почвенного покрова этого уникального региона криолитозоны.

### Литература

1. Зольников В.Г. Почвы восточной половины Центральной Якутии и их использование // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 55–221.
2. Еловская Л.Г., Коноровский А.К. Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1978. 176 с.
3. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
4. Десяткин Р.В. Почвообразование в термокарстовых котловинах–аласах криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. 324 с.
5. Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
6. Саввинов Д.Д. Физика мерзлотных почв: Избранные труды. Новосибирск: Наука, 2013. 504 с.
7. Скрыбыкина В.П. Подзолы Центральной Якутии // Наука и образование. 2017. № 2. С. 8390.
8. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
9. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.
10. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
11. Оленев А.М. Воздействие макрорельефа на климат и ландшафтные комплексы. Свердловск, 1987. 88 с.
12. Коноровский А.К. Зональность и мерзлотность почв Якутии. Якутск, 1990. 43 с.
13. Макеев О.В. Криология почв. М.: РАН, 2019. 464 с.

### GEOGRAPHICAL AND GENETIC FEATURES OF SOIL FORMATION AND DIVERSITY OF PERMAFROST SOILS OF CENTRAL YAKUTIA

A.P. Chevychelov, P.I. Sobakin, L.I. Kuznetsova

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, chev.soil@list.ru

*Summary.* Cryogenic soils of Central Yakutia are formed under conditions of cryoarid climate, continuous permafrost distribution, under taiga-forest and meadow-steppe vegetation, mainly on loose and light alluvial deposits of various ages within various geomorphological levels of the Central Yakut alluvial plain. The systematic list of permafrost soils of this region includes 17 types and 21 subtypes of soils, which indicates the high biological diversity of this territory.

*Keywords:* cryolithozone, Central Yakutia, frozen soils, geography, genesis, diversity.

УДК 631.48

## ТРАНСФОРМАЦИЯ СВОЙСТВ АРЕНОСОЛЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОЖАРОВ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО

### ЗАБАЙКАЛЬЯ

Е.Ю. Шахматова

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, ekashakhmat@mail.ru

***Аннотация.** Приведен анализ свойств почв в сосновых лесах Западного Забайкалья, которые подвергались воздействию низовых пожаров различной интенсивности. Исследованные на пробных площадях, заложенных в нижнем течении реки Воровка Eutric Arenosols при пирогенном воздействии становятся аккумуляторами продуктов горения и хранят в своем профиле послепожарные признаки, выраженные дифференциацией морфологических, химических и физических свойств. Выявленные различия в показателях плотности сложения, плотности твердой фазы, общей порозности, водопроницаемости, а также реакции среды, содержанию углерода органических соединений, обменных оснований и оксалаторастворимого железа определяются интенсивностью воздействия огня и могут учитываться при проведении мониторинговых исследований постпирогенной индикации почв и почвенного покрова в аридных регионах.*

***Ключевые слова:** Западное Забайкалье, остепненные сосновые леса, Ареносоли, интенсивность пожара, послепожарные трансформации.*

В последние десятилетия усиление аридизации климата в Сибири вызвало рост числа пожаров, являющихся причиной трансформации и деградации лесов, а также уменьшения их площади во многих регионах [1, 2].

В Западном Забайкалье активное воздействие пирогенного фактора обусловлено климатическими условиями и антропогенным влиянием [3]. Территория исследований характеризуется резкой континентальностью климата, чередованием среднегорных хребтов и котловин, доминированием в растительном покрове сосновых типов леса, разнообразием длительно сезонно-мерзлотных почв. Среднегодовые температуры воздуха в регионе составляют  $-4.2...-5.0$  °С, среднегодовое количество осадков не превышает 250 мм. Весной и в начале лета в связи с незначительной долей осадков, а также сильными ветрами, отмечается высокая сухость воздуха и почв [4]. Сложившиеся условия являются одной из важных причин возникновения и распространения лесных пожаров на больших площадях.

Преобладающие в районе исследований низовые пожары различной интенсивности вызывают нарушения компонентов лесных экосистем [5]. Разнообразные последствия от сгорания биомассы живого напочвенного покрова, травянисто-кустарниковой растительности, накопленного хвойного опада и прогорания лесной подстилки, вносят весомый вклад в изменение морфологического строения почв и определяют степень проявления послепожарных признаков в их свойствах в зависимости от силы влияния огня.

Целью работы было выявить трансформации и их различия в свойствах почв остепненных сосновых лесов Западного Забайкалья, пройденных пожарами различной интенсивности для оценки состояния почв и почвенного покрова на измененных территориях в условиях аридного климата региона.

Территория исследований расположена горно-лесостепных сосновых лесах Селенгинского среднегорья (северо-западный склон хребта Цаган-Дабан), в бассейне реки Воровка (левый приток реки Уда). На горях в нижних частях склона было заложено 4 пробных площади. Три площади располагались на свежих горях, образованных низовыми пожарами слабой, средней и сильной интенсивности. Четвертая площадка была расположена на старой (10-летней гари). Она характеризовалась сравнительной утратой признаков пожаров в компонентах экосистемы. На исследуемых участках леса устанавливалась давность и сила пожаров [6], исследовалась растительность, изучались характеристики подстилки, морфология и свойства почв [7–9].

Было выявлено, что лесная подстилка после пожаров подвергалась сильным трансформациям. В результате ее сгорания снижались мощность и запасы, а также изменялся



фракционный состав (табл. 1). Особенно заметные изменения ее свойств установлены после пожара сильной интенсивности.

Таблица 1. Мощность, запасы и фракционный состав подстилки на пробных площадях

Возраст гари, интенсивность пожара	Мощность, см	Запасы, т/га	Фракции подстилки, %					
			труха	угли	шишки	ветки	кора	хвоя
Старая, средняя	2,1	10,4	68	3	5	11	7	6
Свежая, слабая	1,3	4,8	58	9	7	13	8	6
Свежая, средняя	0,9	2,5	55	20	1	3	6	15
Свежая, сильная	0,7	2,1	41	39	-	2	1	17

При пирогежном воздействии почва накапливает продукты горения биомассы, которые прямо или косвенно изменяют ее свойства.

В почвенном покрове территорий распространены Ареносоли (Eutric Arenosols), развитые на песчаных полигенетических отложениях. Они характеризуются супесчаным гранулометрическим составом. Формула организации профиля имеет следующий вид: O–Ah–Bw1–Bw2–C. В морфологическом строении почв на пробных площадях выражена четкая дифференциация верхних горизонтов профилей, которая связана с силой воздействия огня. На старой гари окрашенная в серый цвет и содержащая в своем составе слабообразованные растительные остатки, обгорелые ветки, кору и хвою, подстилка сменяется серовато-бурым гумусово-аккумулятивным горизонтом (мощностью до 10 см), а ниже – переходным и минеральными горизонтами, неоднородно окрашенными в буроватые и буровато-охристые тона с вкраплениями, пятнами, примазками веществ, являющихся продуктами пожаров прошлых лет (табл. 2).

Таблица 2. Основные морфологические, физические и химические параметры горизонта Ah Ареносолей на гаях

Параметры	Возраст гари, интенсивность пожара			
	Старая, средняя	Свежая, слабая	Свежая, средняя	Свежая, сильная
Окраска по шкале Манселла	10YR 5/2	10YR 4/2	10YR 3/2	10YR 2/2
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	1,22	1,32	1,43	1,50
Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	2,53	2,55	2,57	2,63
Общая порозность, %	51	48	44	43
Коэффициент фильтрации воды, K <sub>10</sub> , мм/мин	7,25	6,47	4,93	4,52
Содержание частиц <0,001 мм, %	5,43	2,47	2,93	3,21
pH водный	6,1	6,2	6,5	6,7
Сорг., г/кг	13	11	15	22
∑ обменных Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , смолс/кг	19,3	13,7	20,2	22,7
Fe <sub>ox</sub> , %	0,48	0,52	0,64	0,65

В верхних органо-аккумулятивных горизонтах Ареносолей сразу после пожаров появляются следующие пирогежные признаки: гумусовый горизонт имеет очень темную окраску, приобретенную в результате затеков пирогежного органического вещества и

включений многочисленных углей и углистой пыли, варьирующую по интенсивности в зависимости от силы воздействия огня. Переход в минеральный горизонт отчетливо выражен по цвету, а граница перехода сразу после пожара становится волнистой или кармановидной. Минеральный горизонт также неоднородно окрашен, в верхней его части уплотнен и содержит мелкие угли. В почвах на пробных площадях выявлены различия в физических и химических свойствах.

В результате анализа физических параметров гумусово-аккумулятивных Ah горизонтов установлена дифференциация показателей плотности сложения, плотности твердой фазы, общей порозности и водопроницаемости, связанная с силой пожара. В зависимости от интенсивности температуры горения на поверхности почвы и концентрации, поступающих в органо-аккумулятивные горизонты продуктов пиролиза, происходит их послепожарная слабая или сильная уплотненность, большее или меньшее ухудшение аэрации и водопроницаемости.

Установленные различия в содержании углерода органических соединений, обменных оснований, железа, извлекаемого оксалатной вытяжкой Тамма и значений pH демонстрируют интенсивность воздействия пожаров на химические свойства почв. Можно заключить, что сильных трансформаций в свойствах почв на свежей гари, где влияние огня было слабым, не происходит, а полученные показатели исследуемых параметров близки к таковым в почвах на старой гари. Заметное увеличение pH и сравнительно высокое содержание углерода органических соединений, обменного кальция и подвижного железа, выявленные после прохождения низовых пожаров средней и сильной интенсивности обусловлены выделением и аккумуляцией значительных концентраций щелочных ионов при образовании золы в процессе пиролиза, а также быстрым разложением сгоревшей растительной биомассы и активным высвобождением железа при высоких температурах.

Таким образом, представленные выше результаты, проведенных исследований в почвах на гаях, позволяют сделать следующие выводы:

1. В Ареносолях, развитых в Западном Забайкалье под остепненными пирогенно-трансформированными сосновыми лесами, выявлены черты различий в морфологическом строении профилей, их физических и химических свойствах, обусловленные воздействием на почвенный покров низовых пожаров различной интенсивности.
2. Степень прогорания подстилки, выраженная в показателях ее свойств, определяет концентрации продуктов пиролиза, поступающих в верхние горизонты почв и являющихся причиной трансформации морфологических, физических и химических свойств почв.
3. Более заметные следы пирогенного воздействия были выявлены в первый год на гари, образованной пожаром сильной интенсивности. Трансформации основных параметров свойств почв проявлялись в малой мощности, очень темной окраске органогенных горизонтов, наличии в них послепожарных включений, в большей уплотненности, низкой порозности и в ухудшении водопроницаемости. pH, содержание углерода органических соединений, обменных кальция и магния также были заметно выше в почве после высокоинтенсивного пожара.
4. Установленная дифференциация, представленных выше показателей свойств, может учитываться при индикации воздействия интенсивности пожаров на почвы и почвенный покров при проведении мониторинговых исследований в регионах с засушливым климатом.

#### Литература

1. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61
2. Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.D. Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio*. 2021. Vol. 50. P. 1953–1974.
3. Иванов В.В., Евдокименко М.Д. Роль рубок и пожаров в динамике лесов бассейна озера Байкал // Лесоведение. 2017. № 4. С. 256–269.
4. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во ин-та географии В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.

5. Шахматова Е.Ю., Убугунов Л.Л., Сымпилова Д.П. Послепожарные трансформации в сосновых лесах Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 65–72.
6. Цветков П.А. Нагар как диагностический признак // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23, № 3. С. 132–137.
7. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
8. Теории и методы физики почв: коллективная монография / отв. ред. Е.В. Шейн, Л.О. Карпачевский. М.: Гриф и К°, 2007. 616 с.
9. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. Rome: FAO, 2014. No. 106. 181 p.

#### TRANSFORMATION OF ARENOSOLS PROPERTIES BY DIFFERENT INTENSITY FIRE EFFECT IN PINE FORESTS OF WESTERN TRANSBAIKALIA

E.Yu. Shakhmatova

Institute General and Experimental Biology, Ulan-Ude, ekashakhmat@mail.ru

*Summary. The analysis of soil properties in the mountain-forest-steppe pine forests of Western Transbaikalia which were exposed to ground fires of varying intensity is given. Eutric Arenosols were studied at four sample plots located in the lower reaches of the Vorovka River. After pyrogenic exposure these soils accumulated pyrolysis products and stored in their profile post-fire signs expressed by differentiation of morphological, chemical and physical properties. It was revealed that differences in the indicators of bulk density, solid phase density, total porosity, water penetrability, as well as pH, the content of organic carbon, exchange cations and oxalate-extractable iron are determined by the fire intensity and can be taken into account during monitoring studies of post-pyrogenic indication of soils and soil cover in arid regions.*

*Keywords: Western Transbaikalia, mountain-forest-steppe pine forests, fire intensity, Eutric Arenosols, post fire transformations.*

## СЕКЦИЯ 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

УДК 631.452

### СОСТОЯНИЕ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИХ ПОВТОРНОГО ВВЕДЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Ю.В. Аксенова

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск,  
[yuv.aksenova@omgau.org](mailto:yuv.aksenova@omgau.org)

**Аннотация.** Проведена оценка плодородия почв на залежных участках, расположенных в северной и южной лесостепной и степной зонах Омской области. Основными причинами неиспользования почв под пашню являются отсутствие собственника на участок и низкий уровень почвенного плодородия. На обследованной территории южной лесостепной и степной зон повторное введение залежных полей в пашню нецелесообразно в связи с «пестротой» почвенного покрова и неблагоприятными свойствами формирующих его почв, связанных с их засолением, осолонцеванием и переувлажнением. В северной лесостепной зоне, находящиеся под залежью поля рационально использовать для производства растениеводческой продукции.

**Ключевые слова:** залежь, плодородие, засоление, гумус, агрегатный состав, реакция почвенной среды.

В настоящее время неиспользуемые в сельскохозяйственном производстве территории представлены почвами, которые изначально имели низкий уровень плодородия или утратили его вследствие развития деградационных процессов под влиянием нерационального и интенсивного их использования [1–3]. Реорганизация коллективных хозяйств привела к увеличению площади неиспользуемых земель в результате появления большого количества невостребованных земельных долей и выбытию из сельскохозяйственного оборота [4]. Повторное введение в оборот неиспользуемых площадей сельхозугодий приведет к увеличению производства и экспорта растениеводческой продукции, при условии удовлетворительного эколого-мелиоративного и культуртехнического состояния почвенного покрова. На сегодняшний день во многих областях и регионах России значительные площади пашни выведены в залежь в связи с отсутствием возможности их рентабельного использования и большими экономическими затратами на восстановление утраченного плодородия.

Для выполнения «Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» [4] требуется выявить неиспользуемые или используемые не по целевому назначению сельскохозяйственные угодья, провести оценку их современного состояния, установить эффективность повторного вовлечения таких земель в пашню и предусмотреть приемы по предотвращению от выбытия из сельскохозяйственного оборота.

Цель исследований – выявить поля, неиспользуемые под пашню или используемые не по целевому назначению, провести оценку уровня почвенного плодородия и установить возможность их повторного введения в пашню.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проведены в 2020–2022 гг. на залежных полях землепользователей, расположенных в северной (Муромцевский район) и южной лесостепной (Саргатский район), а также степной (Черлакский район) зонах Омской области.

В Муромцевском районе обследовано 2 поля. На поле №1 растительность представлена пыреем ползучим, почвенный покров – лугово-черноземной среднесуглинистой почвой. На поле №2 в растительном покрове выделен молочай лозный, пырей ползучий, полынь обыкновенная, звездчатка злчаная, клевер луговой, лапчатка гусиная, тысячелистник обыкновенный. Возраст залежи 3 года. Почвенный покров поля сформирован следующими почвами: лугово-черноземной мало- и среднесуглинистой, серой и темно-серой лесной грунтово-глеевой среднесуглинистой, серой и темно-серой лесной грунтово-глеевой среднесуглинистой.



В Саргатском районе исследовано поле, расположенное на черноземно-луговой и луговой мало- и среднемощных мало- и среднегумусных карбонатных и засоленных почвах. В пределах поля выделены переувлажненные участки, на которых луговые почвы находились на стадии эволюции в лугово-болотные. Растительность представлена пыреем ползучим и кострцом безостым, в местах избыточного увлажнения – осоками, тростником обыкновенным. Возраст залежи 6 лет.

В Черлакском районе обследованы два поля, возраст залежи составлял 24 года. Почвенный покров полей сформирован черноземно-луговыми солонцеватыми и солончаковатыми маломощными мало- и среднегумусными глинистыми почвами, солончаком вторичным и луговым поверхностным тяжелосуглинистым хлоридно-сульфатного натриевого и сульфатного кальциево-натриевого типа засоления, солонцами черноземно-луговыми средними и мелкими малонатриевыми столбчатыми глинистыми хлоридно-сульфатного натриевого типа засоления, солодями луговыми обычными и остаточно-солонцеватыми мелко-, средне- и глубокодерновыми мало- и многогумусными глинистыми. Из растений в растительном покрове преобладали типчак, пырей ползучий, полынь селитряная и мелколестник канадский.

На ключевых участках полей закладывали основные разрезы (1,2–2,0 м) и прикопки (50–60 см) для подробного описания морфологических признаков почв, проводили отбор почвенных проб из каждого генетического горизонта. Координаты точек заложения разрезов и прикопок зафиксированы навигационным приемником GPS с привязкой к местности в региональной системе координат EPSG:4326–WGS 84.

Состояние плодородия почв оценивали по мощности гумусового горизонта и содержанию гумуса в нем (метод И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова); структурно-агрегатному составу (метод Саввинова); плотности сложения (метод режущего кольца); рН солевой суспензии (потенциометрический метод, ГОСТ 27979–88); рН водной суспензии (потенциометрический метод); содержанию обменных катионов кальция, магния (титриметрический метод) и натрия (метод пламенной фотометрии); катионно-анионному составу водной вытяжки (ГОСТ 26423–85, 26424–85, 26425–85, 26426–85, 26427–85, 26428–85), типу и степени засоления почв (расчетный метод).

**Результаты и обсуждение.** В Муромцевском районе при маршрутном обследовании территории установлено нерегулярное использование полей под пашню. На поле №1, занятым пыреем ползучим, лугово-черноземная почва характеризовалась хорошо развитым гумусовым слоем, мощностью от 35 до 43 см. На фоне среднесуглинистого гранулометрического состава почвы, содержащей 32–34% физической глины, величина плотности сложения в горизонте А составляла 1,06 г/см<sup>3</sup>, в горизонте АВ – 1,14 г/см<sup>3</sup>, что соответствовало рыхлому сложению [5]. Структурное состояние в гумусовом слое было удовлетворительным. В агрегатном составе агрономически ценные фракции (10–0,25 мм) занимали от 44 до 54%, на долю глыбистой фракции приходилось 26–38%, фракции пыли – 18–23%.

Количество гумуса в горизонте А достигало 6,6–7,2%, в горизонте АВ – 6,4–7,1%. Реакция среды в гумусовом слое (горизонты А и АВ) находилась в интервале 5,9–6,5 ед. и соответствовала уровню близкому к нейтральному. Почвенно-поглощающий комплекс гумусового слоя характеризовался очень высоким содержанием обменного кальция и магния, на их долю приходилось соответственно 66,5–82,4% и 16,9–27,6% от суммы обменных катионов. Количество обменного натрия не превышало 1%.

На поле № 2 было отмечено зарастание естественной травянистой растительностью, так как в течение последних трех лет под пашню его не использовали. Почвенный покров поля представлен типом серых лесных грунтово-глееватых и лугово-черноземных почв с мощностью гумусового слоя (А+АВ, А<sub>1</sub>+А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>) от 31 до 49 см. Гумусовый слой имел среднюю степень плотности, так как величина плотности сложения в горизонтах А (А<sub>1</sub>) и АВ (А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>) изменялась от 1,14 до 1,22 г/см<sup>3</sup>. Благоприятный структурно-агрегатный состав отмечен для типа лугово-черноземной почвы. В горизонте А он оценивался как удовлетворительный, в горизонте АВ – как хороший. Количество агрономически ценных фракций варьировало от 57,2 до 61,0%, содержание глыбистой фракции составляло 30,0–32,0%, пыли – 9,0–11,0%. В серых и темно-серых лесных грунтово-глееватых почвах структурное состояние соответствовало

удовлетворительному как в горизонте  $A_1$ , так и  $A_1A_2$  за счет более высокого количества глыбистых агрегатов, которое достигало 36,5–39,2% и низкого содержания агрономически ценных фракций (до 55,0–49,0%). На долю пыли в составе почвенных агрегатов приходилось 9,0–12,0%.

Почвы поля №2 характеризовались менее благоприятными химическими и физико-химическими свойствами, чем почва поля №1 и наиболее четко это прослеживалось в горизонтах АВ и  $A_1A_2$ . Так, в лугово-черноземных почвенных разностях количество гумуса в горизонте А составляло 6,9–7,0%, снижаясь до 2,9–4,0% в горизонте АВ. Реакция среды установилась на слабокислом и близком к нейтральной уровне, величина показателя рН в гумусовых горизонтах по ключевым участкам изменялась от 5,1–5,9 ед. Почвенно-поглощающий комплекс горизонтов А и АВ на 60–89% от суммы обменных катионов был насыщен обменным кальцием, до 9,0–21,6% занимал обменный магний, на долю натрия приходилось от 1,8 до 3,6%. В серых и темно-серых лесных грунтово-глееватых почвах содержание гумуса в горизонтах  $A_1$  варьировало в диапазоне от 4,4 до 7,3%, уменьшаясь до 1,2–4,2% в горизонтах  $A_1A_2$ . Гумусовый слой характеризовался слабо- и среднекислой реакцией среды (рН 4,8–5,2 ед.) и высоким содержанием обменного кальция (74–83%) и магния (13,2–23,0%). Количество натрия изменялось от 1,8 до 3,9%.

В Саргатском районе на залежном участке мощность гумусового горизонта в почвах менялась от 24 до 48 см. Наибольшее количество гумуса, от 5,4 до 10,0%, содержалось в верхней части (горизонт А) гумусового слоя, снижаясь до 1,5–5,0% в его нижней части (горизонт АВ). Корнеобитаемый 20 см слой почвы характеризовался плотным сложением (1,26–1,28 г/см<sup>3</sup>), слой 20–40 см – имел рыхлое сложение (1,21–1,35 г/см<sup>3</sup>) [5]. Агрегатный состав почвы по полю изменялся в широком диапазоне, но в целом структурное состояние было хорошее. Так, количество глыбистой фракции в горизонте А черноземно-луговой почвы в среднем по ключевым участкам составляло 19,6%, агрономически ценных фракций – 73%, пыли – 4,6%. В горизонте АВ величины рассматриваемых фракций составляли соответственно 17,2, 77,4 и 5,4%. Более высокое содержание глыбистой фракции в горизонте А было отмечено на участках поля с луговой почвой. Ее величина достигала 46,0–48,0%, на долю агрономически ценных фракций приходилось до 50,0–51,0%, что характеризовало структурное состояние как удовлетворительное. Почвенная масса до 50 см характеризовалась как влажная и в горизонте  $B_1$  имела буро-сизый цвет.

Карбонаты в почвах поля залежали с горизонта А или АВ, что создавало щелочную реакцию среды – рН 8,1–10,3 ед. Щелочность почвенного раствора связана не только с наличием карбонатных образований, но и с легкорастворимыми солями, содержащимися по всему исследуемому профилю почв, в первую очередь бикарбоната натрия. Анализ водной вытяжки показал сульфатно-содовый и содово-сульфатный натриевый тип засоления почв. По сумме солей, варьирующих в гумусовом слое почв от 0,15 до 0,78%, горизонт А имел слабую степень засоления, горизонт АВ – среднюю. Содержание в почвах обменных катионов кальция и магния не определяли в связи с наличием карбонатов по всем исследуемым почвенным профилям.

В Черлакском районе почвенный покров полей №1 и №2, находящихся под залежью в течение 24 лет, отличался «пестротой» как по количеству почвенных разностей, так и их свойствам [1]. Минимальная мощность гумусового слоя, от 3 до 20 см, была отмечена для солонцов черноземно-луговых и солодей луговых. В черноземно-луговых почвах гумусовый горизонт был более развит и достигал 28–45 см. Количество гумуса в почвенных горизонтах А и  $A_1$  изменялось от 2,9 до 8,8%, в горизонтах АВ и  $A_2$  находилось в интервале 0,9–6,7% и не было связано с типовой принадлежностью почв. Величина реакции среды в типичных почвенных разностях варьировала в диапазоне 5,6–7,3 ед. рН. В карбонатных и солонцеватых – переходила в щелочной интервал, достигая 7,8–9,5 ед. В гумусовом слое солонцеватых и типичных почвенных разностей в составе обменных катионов кальций занимал до 67,0–77,0%, магний – до 23,5–33,3%, натрия (при наличии) – до 10–13%.

Плотность сложения определена для черноземно-луговой почвы, как наиболее распространенной на обследованной территории. Гумусовый слой характеризовался как плотный, так как величина плотности сложения достигала 1,23–1,37 г/см<sup>3</sup>. Структурное

состояние почвы в гумусовом слое было удовлетворительное, так как 63,0–69,0% среди агрегатов приходилось на агрономически ценные и от 22,0 до 34,0% – на глыбистую фракцию, пыль занимала от 1,0 до 10,0%.

Почвы были засолены легкорастворимыми солями. По глубине их залегания выделены солончаковые и солончаковатые почвенные разности. Степень их засоления в пределах 50 см варьировала от незасоленной до средnezасоленной и солончака, так как содержание солей изменялось от 0,03 до 3,62%. Почвы поля №1 характеризовались нейтральным хлоридно-сульфатным и сульфатным типом засоления по анионному составу и кальциево-натриевым или натриевым – по катионному составу. На поле №2 были выделены почвы с хлоридно-сульфатным, сульфатно-хлоридным, хлоридно-содовым, хлоридным и содово-хлоридным натриевым типом засоления.

**Выводы.** На территории Муромцевского района обследованные поля рационально использовать под пашню, так как почвы обладают благоприятными свойствами, которые можно улучшить или скорректировать агротехническими приемами, проведения химической мелиорации они не требуют. В Саргатском и Черлакском районах почвы имеют низкий уровень плодородия. В первую очередь это связано с их засолением, вплоть до формирования солончаков, и, частично, с наличием переувлажненных участков на полях. Эти территории целесообразно использовать только как кормовые угодья, так как введение их в пашню будет экономически неэффективно.

### Литература

1. Аксенова Ю. В., Гиндемит А. М. Состояние залежных земель степной зоны Омского Прииртышья и возможность их повторного введения в оборот // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 6. С. 37–44.
2. Джабраилова Б. С. Возможности вовлечения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель в регионах СЗФО // Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 56–66.
3. Аксенова Ю.В., Гиндемит А.М. Современное состояние почв на постирригационных и сопредельных с ними залежных землях Омского Прииртышья и возможность их использования в сельскохозяйственном производстве // Агрофизика. 2023. № 1. С. 24–32.
4. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 г. № 731: с изменениями от 02.09.21, 27.10.2021, 16.03.2022, 02.10.2022 // Информационно-правовой портал: Гарант. Электрон. дан. [Россия]. URL: <https://base.garant.ru/400773886/>, свободный (дата обращения: 30.06.2023).
5. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 г. № 731: с изменениями от 02.09.21, 27.10.2021, 16.03.2022, 02.10.2022 // Информационно-правовой портал: Гарант. Электрон. дан. [Россия]. URL: <https://base.garant.ru/400773886/>, свободный (дата обращения: 30.06.2023).
6. Проведение почвенного обследования сельскохозяйственных земель. Научно-методические рекомендации / О.М. Голозубов, В.Д. Наумов, Р.В. Некрасов и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 188 с.

### STATE OF FALLOW LANDS AND FEASIBILITY OF THEIR RE-INTRODUCTION INTO AGRICULTURAL PRODUCTION

Yu.V. Aksenova

Omsk State Agrarian University, Omsk, [yuv.aksenova@omgau.org](mailto:yuv.aksenova@omgau.org)

*Summary.* Soil fertility was assessed in fallow areas located in the northern and southern forest-steppe and steppe zones of the Omsk region. The main reasons for the non-use of soils for arable land are the lack of owner for the site and the low level of soil fertility. In the surveyed territory of the southern forest-steppe and steppe zone, re-introduction of deposit fields into the arable land is impractical due to the "variegated" soil cover and the unfavorable properties of the soils forming it

*associated with their salinization, sedimentation and waterlogging. In the northern forest–steppe zone, it is rational to use the areas bred into the deposit for the production of crop production.*

*Keywords: deposit, fertility, salinity, humus, aggregate composition, soil medium reaction.*

УДК 631.8:631.46

## **ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП МИКРООРГАНИЗМОВ В ПОЧВЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАШНИ И ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ**

**М.Т. Васбиева, Н.Е. Завьялова, В.Р. Ямалтдинова**

Пермский НИИСХ - филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, [vasbieva@mail.ru](mailto:vasbieva@mail.ru)

**Аннотация.** *Длительное сельскохозяйственное использование пашни, внесение органических и минеральных удобрений привело к изменению устойчивости микробных сообществ в почве. Наблюдали изменения, как количественных микробиологических параметров, так и в таксономической структуре. Характер и направление выявленных изменений зависели от системы удобрения и насыщенности пашни удобрениями.*

**Ключевые слова:** *дерново-подзолистая почва, целинная и пахотная почва, органические и минеральные удобрения.*

Плодородие почв во многом определяется интенсивностью и направленностью жизнедеятельности микроорганизмов. Микробиологические сообщества целинных почв существенно изменяются при окультуривании, т.к. в результате сельскохозяйственной деятельности создаются другие условия обитания. Влияние на структуру и функции микробиоценоза почвы оказывают система обработки почвы, тип севооборота, система удобрений, применение пестицидов, лесомелиорация и др. факторы. Большинство исследователей отмечает, что использование органических и органоминеральных удобрений способствует росту общей численности почвенных микроорганизмов и оптимизирует состав и функционирование микробиоценоза [1, 2]. Данные по влиянию минеральных удобрений на микробиологические сообщества противоречивы. Некоторые исследователи отмечают, что при длительном внесении минеральных удобрений происходит снижение общей численности микроорганизмов и групп микроорганизмов, участвующих в трансформации азота [1,3], другие наблюдали увеличение численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп [4].

**Цель исследований** – оценить изменение численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов в почве при длительном экстенсивном сельскохозяйственном использовании пашни и применении органической, минеральной и органоминеральной систем удобрения в климатических условиях Предуралья.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проведены в длительном полевом опыте, заложенном в Пермском НИИСХ в 1969 г. В опыте изучали следующие системы удобрений – органическая (насыщенность гектара пашни навозом 10 и 20 т/га в год), минеральная (дозы удобрений рассчитаны по эквивалентному содержанию питательных веществ в навозе 10 и 20 т/га), органоминеральная (навоз 5, 10 и 20 т/га в год и минеральные удобрения эквивалентно содержанию питательных веществ в навозе). Повторность вариантов четырехкратная, размещение рендомизированное. Общая площадь делянки 115,5 м<sup>2</sup>. Исследования проводили в полевом восьмипольном севообороте (пар чистый, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г. п., клевер 2 г. п., ячмень, картофель, овес). Представленная схема удобрений сложилась со второй ротации севооборота.

Навоз КРС вносили в севообороте в два приема: под рожь и картофель (разовые дозы составили 20, 40 и 80 т/га). Минеральные удобрения распределяли под озимую рожь, пшеницу, ячмень, картофель и овес. Клевер не удобряли, учитывали последствие. Формы удобрений – аммонийная селитра или мочевины, двойной или простой суперфосфат, калий хлористый. Солома в опыте после уборки отчуждалась. За пять ротаций севооборота с навозом при



насыщенности пашни 10 т/га в год в почву поступило N – 1400, P – 950, K – 2070 кг/га (N35P25K50 в год), при насыщенности 20 т/га – 2800, 1900 и 4140 кг/га (N70P50K100 в год) соответственно.

Опытный участок расположен на дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почве с содержанием  $C_{орг}$  1,3 %,  $pH_{сол.}$  – 5,5, Нг – 3,1 смоль(экв)/кг, S – 15,6 смоль(экв)/кг, подвижного  $P_2O_5$  и  $K_2O$  по Кирсанову – 162 и 173 мг/кг соответственно.

Почвенные образцы отбирали после уборки овса в конце шестой ротации севооборота с 5 индивидуальных точек на каждой делянке с двух полевых повторений из слоя 0-20 см. Микробиологические исследования проводили общепринятыми методами количественного учета микроорганизмов в почве (разведение почвенной суспензии с высевом на селективные питательные среды) [5]. В качестве модельной группы микроорганизмов для выявления структурных перестроек микробного сообщества использовали актиномицеты. Определение видовой структуры комплексов актиномицетов проводили при выделении на КГА с учетом частоты встречаемости и обилия видов. Дифференцировали и учитывали количественно все цветовые группы актиномицетов (секции и серии). Морфологию клеток изучали на живых препаратах при микроскопировании – объективы 20 и 40, окуляр 10, микроскоп Leica DM 2500 (Германия).

Оценить характер изменений, вызываемых антропогенным воздействием, позволяет сравнение данных, полученных в условиях агроценозов и ненарушенных (целинных) земель. Для этих целей были отобраны почвенные образцы на злаково-разнотравном луге, который непосредственно примыкает к опытному полю Пермского НИИСХ. Видовой состав травостоя и агрохимическая характеристика почвы под лугом представлена в работе [6].

**Результаты.** Исследования показали, что общее количество аммонифицирующей (на МПА) и амилотической микрофлоры (на КАА), а также микромицетов в пахотной (без удобрений) дерново-подзолистой почве при возделывании культур в полевом восьмипольном севообороте с двумя полями клевера сохранилось на уровне целинного аналога (табл. 1). Численность олиготрофных микроорганизмов (на ПА) и целлюлозолитиков была ниже в 1,6 и 2,3 раза, соответственно, что возможно связано с меньшим поступлением грубых растительных остатков. Существенно увеличилось общее количество актиномицетов с  $165 \pm 160$  (луг) до  $765 \pm 500$  тыс. КОЕ/г в.с. почвы (почти в 5 раз).

Таблица 1. Количество микроорганизмов различных эколого-трофических групп в целинной и пахотной дерново-подзолистой почве (0–20 см)

Вариант	Общая численность на средах						Общее количество, млн. КОЕ/г в.с.п.
	МПА (аммонификаторы)	КАА (амилолитики)	ПА (олиготрофы)	КГА (актиномицеты)	Гетчинсона (целлюлозолитики)	Чапека (микромицеты)	
	млн. КОЕ/г в.с.п.			тыс. КОЕ/г в.с.п.			
Луг	1,5±0,3	2,0±0,9	3,0±1,4	165±160	185±75	25±12	6,9
Опыт							
Без удобрений	1,3±0,5	2,1±1,0	1,9±1,3	765±500	80±65	23±20	6,2
Навоз 10 т/га	3,7±1,6	2,9±1,4	3,5±2,4	1050±670	130±70	38±18	11,2
Навоз 20 т/га	2,2±1,9	1,8±0,8	1,6±0,6	785±340	105±35	25±16	6,5
НРК экв. 10 т навоза	1,0±0,1	1,1±0,5	0,7±0,2	1315±1165	105±30	25±6	4,2
НРК экв. 20 т навоза	0,8±0,2	0,8±0,2	0,5±0,1	920±795	65±10	33±10	3,1
Навоз 5 т+НРК экв.	1,3±0,2	3,0±2,6	1,1±0,2	1450±1105	105±40	25±23	6,9
Навоз 10 т + НРК экв.	4,0±1,0	3,8±0,9	4,7±2,0	600±275	125±35	40±13	13,2
Навоз 20 т + НРК экв.	2,5±0,9	2,5±0,9	4,5±1,0	950±545	195±20	83±41	10,7

Длительное экстенсивное возделывание сельскохозяйственных культур (без удобрений) привело к изменению качественного состава микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота и целлюлозу в почве (табл. 2). Увеличилась доля бактерий в составе амилотической микрофлоры (на КАА) с 82 (луг) до 90 %, уменьшилась доля актиномицетов с 16 до 9%. В сообществе целлюлозолитиков отсутствовали бактерии, доля грибного

компонента увеличилась с 4 до 19%, актиномицетов снизилась с 91% (луг) до 81%.

Коэффициент минерализации в пахотной почве (севооборот, без удобрений) увеличился с 1,3 (луг) до 1,7, коэффициент педотрофности уменьшился с 2,0 до 1,5, что свидетельствует о нарушении гомеостатического состояния микробоценоза почвы.

Таблица 2. Качественный состав микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота и целлюлозу в почве (%), коэффициенты, характеризующие направленность трансформации органического вещества почвы

Вариант	Соотношение на КАА			Соотношение на среде Гетчинсона с целлюлозой			Коэффициенты	
	бактерии	грибы	актиномицеты	бактерии	грибы	актиномицеты	минерализации (КАА/МПА)	педотрофности (ПА/МПА)
Луг	82	2	16	5	4	91	1,3	2,0
Опыт								
Без удобрений	90	1	9	0	19	81	1,7	1,5
Навоз 10 т/га	84	4	12	12	16	72	0,8	1,0
Навоз 20 т/га	87	3	10	10	20	70	0,8	0,7
НРК экв. 10 т навоза	91	4	5	18	27	55	1,1	0,8
НРК экв. 20 т навоза	88	0	12	9	24	67	1,0	0,7
Навоз 5 т+НРК экв.	94	1	5	6	7	87	2,2	0,9
Навоз 10 т + НРК экв.	87	2	12	22	7	71	0,9	1,2
Навоз 20 т + НРК экв.	79	3	18	17	6	77	1,0	1,8

Анализ структуры комплекса актиномицетов показал, что в почве злаково-разнотравного луга встречались представители трех различных цветовых секций и серий рода *Streptomyces* (*Cinereus Achromogenes* – 10 %, *Albus* – 20%, *Imperfectus* – 60%) и микромонопоровые виды (10%) (рис. 1). Расширение видового спектра стрептомицетов до шести секций рода *Streptomyces* (*Cinereus Achromogenes* – 15%, *Cinoreus Chromogenes* – 13%, *Clnereus Aureus* – 6 %, *Albus* – 7%, *Helvolus* – 6% и *Imperfectus* – 40 %) произошло в пахотной почве (севооборот; без удобрений). Долевое участие рода *Micromonospora* составило 13%.

Применение удобрений оказало существенное влияние на численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов и их соотношение в почве. Благоприятные условия для роста и размножения микрофлоры почвы сформировались при применении органической и органоминеральной систем удобрения. В органической системе выделился вариант с насыщенностью пашни навозом 10 т/га в год, здесь наблюдали увеличение численности всех изученных эколого-трофических групп в 1,3–2,8 раза. Общее количество микрофлоры почвы (полученной путём суммирования) в данном варианте относительно контроля возросло почти в два раза. Применение органических удобрений оказало наибольшее влияние на изменение численности микрофлоры на МПА.

Применение органоминеральной системы удобрений при более высокой насыщенности (навоз 10 т/га + НРК эквивалентно навозу и навоз 20 т/га + НРК эквивалентно навозу) способствовало росту и развитию в почве аммонифицирующих, амилитических, олиготрофных микроорганизмов, целлюлозолитиков и грибов, их численность возросла в 1,2–3,1 раза. Общее количество микроорганизмов в почве возросло с 6,2 млн. до 10,7–13,2 млн. КОЕ/г воздушно-сухой почвы. В данных вариантах наблюдали наибольшее количество микромицетов в опыте. Принимая во внимание существующее мнение о микромицетах, как основных деструкторах органических веществ, создающих условия для развития различных бактерий на продуктах своего ресинтеза, можно сделать предположение, что органоминеральная система способствует развитию микроорганизмов с самыми разнообразными функциями. Это приводит к более интенсивной и глубокой переработке органического вещества в почве.

Длительное применение минеральной системы удобрений привело к уменьшению в почве численности аммонифицирующих, амилитических и олиготрофных микроорганизмов на

23–74%. Максимальное уменьшение наблюдали при внесении NPK эквивалентно 20 т навоза. Общее количество микроорганизмов в почве снизилось до 3,1–4,2 млн. КОЕ/г воздушно-сухой почвы, ниже контрольного варианта в 1,5–2,0 раза.

Удобрения повлияли на качественный состав амилотической микрофлоры и целлюлозолитиков. Внесение навоза привело к уменьшению доли бактерий в составе амилотической микрофлоры почвы (на КАА) с 90 (контрольный вариант) до 84–87 %, увеличению доли грибов (с 1 до 3–4 %) и актиномицетов (с 9 до 10–12%). Существенно возросла доля бактерий (с 0 до 10–12 %) и снизилась доля актиномицетов (с 81 до 70–72 %) в сообществе целлюлозолитиков. В вариантах с органоминеральной системой удобрений изменения в составе амилотической микрофлоры почвы (на КАА) и целлюлозолитиков были аналогичными вариантам с навозом. Исключение составила доля грибного компонента у целлюлозолитиков – отмечено снижение с 19 (контрольный вариант) до 6-7 %. Длительное внесение NPK способствовало увеличению доли бактерий в составе целлюлозолитиков до 9–18 %, грибов до 24–27 % и уменьшению доли актиномицетов до 55–67 %.

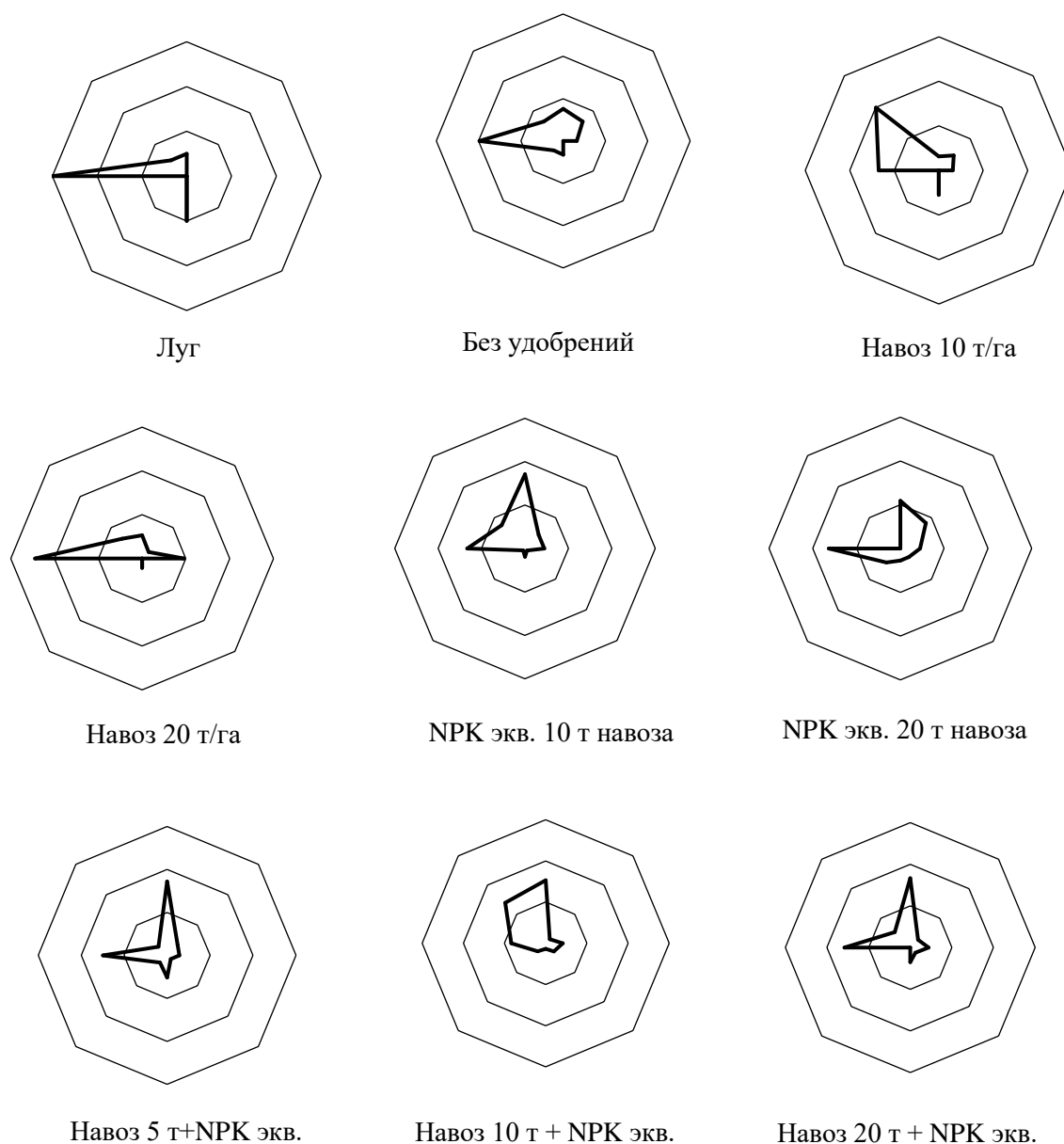


Рисунок 1. Структура актиномицетных комплексов целинной и пахотной дерново-подзолистой почвы (долевой участие), %: 1–7 – род *Streptomyces* (1 – *Cinereus Achromogenes*, 2 – *Cinereus Chromogenes*, 3 – *Cinereus Aureus*, 4 – *Cinereus Violaceus*, 5 – *Albus*, 6 – *Helvolus*, 7 – *Imperfectus*), 8 – род *Micromonospora*.

В варианте «навоз 5 т/га + NPK эквивалентно навозу» отмечен наибольший коэффициент минерализации в опыте – 2,2, что свидетельствует об интенсивно протекающих в почве процессах разложения органического вещества, а также усиленной иммобилизации минерального азота. В остальных вариантах коэффициент варьировал в небольших пределах от 0,8 до 1,1, это говорит о паритете между процессами иммобилизации и минерализации соединений азота в почве. Наибольший коэффициент педотрофности в опыте отмечен в варианте с максимальной насыщенностью пашни удобрениями «навоз 20 т/га + NPK эквивалентно навозу» – 1,8, что возможно свидетельствует о замедлении процессов деструкции органического вещества в данном варианте и переходе системы в более устойчивое состояние, стремящееся к состоянию климаксной.

Наибольшее разнообразие актиномицетов и наиболее широкий спектр доминантов с высокой частотой встречаемости отмечены при применении органоминеральной системы удобрений («навоз 5 т/га + NPK эквивалентно навозу», «навоз 10 т/га + NPK эквивалентно навозу»).

Таким образом, длительное экстенсивное возделывание сельскохозяйственных культур (без удобрений) привело к нарушению устойчивости микробных сообществ в почве. Применение органической системы удобрений с насыщенностью навозом 10 т/га в год и органоминеральной системы «навоз 10 т/га в год + NPK эквивалентно навозу» по комплексу показателей наиболее благоприятно повлияло на микробоценоз почвы. Длительное применение минеральной системы удобрений оказало отрицательное влияние на развитие почвенной микрофлоры.

#### Литература

1. Зинченко М.К. Система биологических показателей при оценке экологического состояния серой лесной почвы на примере стационарного опыта // Владимирский земледелец. 2022. № 1(99). С. 9–15. DOI 10.24412/2225-2584-2022-1-9-15.
2. Jin N., Jin L., Wang S., Li J., Liu F., Liu Z., Luo S., Wu Y., Lyu J., & Yu J. Reduced Chemical Fertilizer Combined With Bio-Organic Fertilizer Affects the Soil Microbial Community and Yield and Quality of Lettuce // *Frontiers in Microbiology*. 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.863325>.
3. Бойко А.Н., Сидоренко М.Л., Тимошинов Р.В. Влияние длительного применения удобрений на соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов различных по типу азотного питания // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 9(167). С. 40–46.
4. Золкина Е. И. Влияние длительного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур // Плодородие. 2019. № 5(110). С. 20–23. DOI 10.25680/S19948603.2019.110.06.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 224 с.
6. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г., Иванова О. В. Калийное состояние дерново-подзолистой почвы в различных фитоценозах Предуралья // Плодородие. 2022. № 4(127). С. 59–63. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.16.

#### CHANGES IN THE POPULATION OF THE MAIN ECOLOGICAL AND TROPHIC GROUPS OF MICROORGANISMS IN THE SOIL DURING THE LONG-TERM AGRICULTURAL USE OF ARABLE LAND AND THE APPLICATION OF FERTILIZERS

M.T. Vasbieva, N.E. Zavyalova, V.R. Yamaltdinova

Perm Research Institute of Agriculture - branch of PFRC UB RAS, Perm, [vasbieva@mail.ru](mailto:vasbieva@mail.ru)

*Summary. Long-term agricultural use of arable land, the application of organic and mineral fertilizers has led to a change in the stability of microbial communities in the soil. Changes were observed in quantitative microbiological parameters and in the taxonomic structure. The nature and direction of the revealed changes depended on the fertilizer system and the saturation of arable land with fertilizers.*

*Keywords: sod-podzolic soil, virgin and arable soil, organic and mineral fertilizers.*



УДК 579.8:633.11

## ЧИСЛЕННОСТЬ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ МИКРОФЛОРЫ В РИЗОСФЕРЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ БАКТЕРИЗАЦИИ СЕМЯН

А.А. ВейнбENDER, Н.Н. Шулико

ФГБНУ Омский аграрный научный центр, Омск, [veybender@anc55.ru](mailto:veybender@anc55.ru)

**Аннотация.** Представлены данные изменения численности бактерий-аммонификаторов при применении предпосевной бактеризации семян яровой мягкой пшеницы. Наибольшему увеличению бактерий-сапрофитов способствовала предпосевная обработка семян пшеницы сорта Омская 44 биопрепаратом Флавобактерин, увеличение составило от 55 до 108% по отношению к контрольному варианту (без применения удобрений).

**Ключевые слова:** инокуляция, пшеница, бактерии-сапрофиты, микрофлора.

**Актуальность.** Биопрепараты Флавобактерин, Мизорин – созданы на основе различных видов и штаммов неспорных бактерий, выделенных из ризосферы и ризопланы растений. Бактерии, входящие в состав биопрепаратов, колонизируют корни сельскохозяйственных культур образуя с ними «ассоциативный симбиоз» [1]. Они положительно влияют на всхожесть семян и образование корней, снижают развитие корневых гнилей, улучшают нарастание биомассы растений по фазам вегетации, при этом характер их действия определяется видом используемого препарата, а также штаммом микроорганизмов и сортовыми особенностями растений [2].

**Цель исследований:** оценить влияние предпосевной инокуляции на численность бактерий-сапрофитов в ризосфере мягкой яровой пшеницы.

**Объекты и методы исследований.** Полевой опыт был заложен в 2022 году в ФГБНУ «Омский АНЦ». Испытания проводились на сортах яровой мягкой пшеницы селекции Омского АНЦ (ФГБНУ «СибНИИСХ»): Омская 42, Омская 44. Для инокуляции семян были использованы препараты комплексного действия, изготовленные во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИСХМ, г. Санкт-Петербург, Пушкин) Мизорин (*Arthrobacter mysoarens*), Флавобактерин (*Flavobacterium*). Почва опытного участка – лугово-черноземная среднемощная среднегумусовая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса 6,5%, рН вод – 6,5. Посев культур выполнен сеялкой ССФК-7,0 в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ. Вегетационный период 2022 г. был недостаточно увлажненным, ГТК за май август составил 0,81. Инокуляция семян проводилась в день посева, рекомендованной дозой. Отбор проб ризосферы проводился в фазы развития растений: кущение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). Учет протеолитической микрофлоры ризосферы пшеницы проводили на мясо-пептонном агаре [3]. Математическая обработка данных проводилась дисперсионным анализом по Б.А. Доспехову [4].

**Обсуждение результатов.** Аммонификаторы – это не только активная структурная единица микробного ценоза почвы, но и наиболее чувствительный диагностический компонент микробиоты [5]. В ризосфере мягкой пшеницы сорта Омская 42 между вариантами опыта, не наблюдалось существенных различий при применении инокуляции. Однако в динамике развития культуры прослеживалась четкая тенденция изменения активности тестируемой группы. В фазу кущения численность протеолитической микрофлоры варьировала от 27 до 48,6 млн КОЕ/г, существенно снижаясь в фазу колошения до 14,9–26 млн КОЕ/г, что связано с установившейся июльской засухой. Осадки, прошедшие в конце июля (22 мм) и в первую декаду августа, способствовали росту бактерий в фазу налива зерна в отдельных вариантах до 100% относительной предыдущей фазы (рис.). В фазу кущения наибольшее положительное влияние на изучаемую группу микрофлоры оказало применения биопрепарата Флавобактерин в посевах пшеницы сорта Омская 44, увеличение по отношению контролю составило 108%. В фазу колошения существенного изменения микрофлоры от изучаемого агроприема не выявлено. В фазу налива зерна предпосевная бактеризация семян пшеницы сорта Омская 44 Флавобактерином стимулировала рост численности бактерий сапрофитов на 55 % по отношению к контролю.

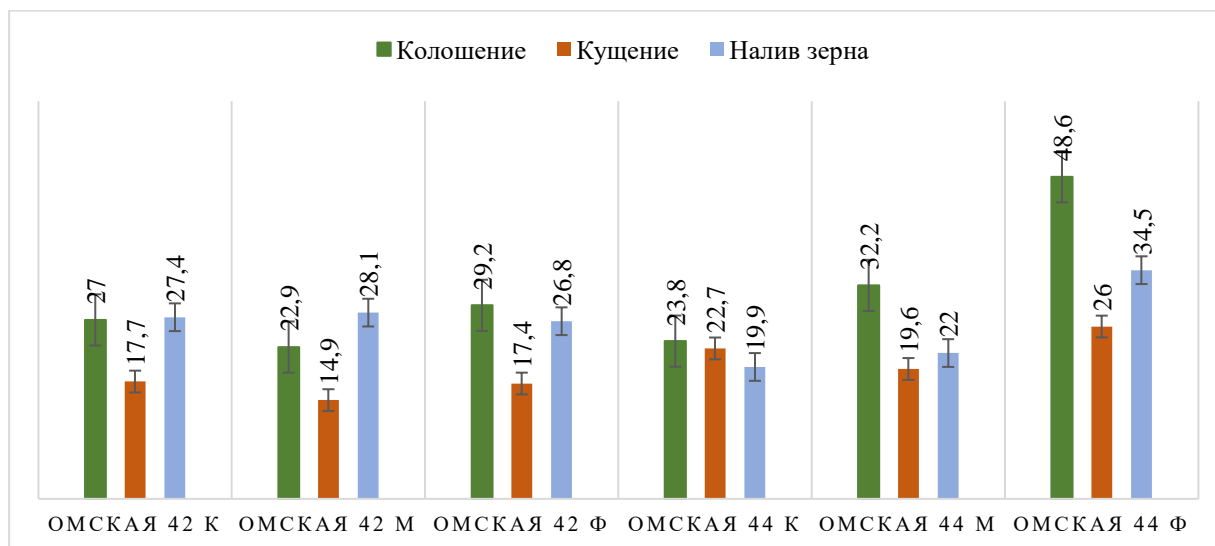


Рисунок. Численность бактерий - сапрофитов при применении биопрепаратов, млн КОЕ/г (n=3)

Примечание: К – контроль, М – Мизорин, Ф – флавобактерин.

**Вывод.** Таким образом, наибольшему увеличению бактерий-сапрофитов способствовала предпосевная обработка семян пшеницы сорта Омская 44 биопрепаратом Флавобактерин, увеличение составило от 55 до 108% по отношению к контрольному варианту (без применения удобрений).

### Литература

1. Тихонович И.А. Биопрепараты в сельском хозяйстве / И.А. Тихонович, А.П. Кожемяков, В.К. Чеботарь, Ю.В. Круглов, А.П. Кожемяков, Н.В. Кандыбин, Г.Ю. Лаптев // Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве. М.: Издательство 2005 г. 100 с.
2. Использование биопрепаратов - дополнительный источник элементов питания растений / И. А. Тихонович, А. А. Завалин, Г. Г. Благовещенская, А. П. Кожемяков // Плодородие. 2011. № 3(60). С. 9–13. EDN ONRJHJ.
3. Теппер Е. З. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / Е. З. Теппер, В. К. Шильникова; под редакцией В. К. Шильниковой. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Дрофа, 2004. С. 256
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1985. С. 351.
5. Зинченко, М. К. Мониторинг численности бактериальной микрофлоры в агроэкосистемах серой лесной почвы / М. К. Зинченко // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 12. С. 10–14. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11202.

### THE NUMBER OF AMINO HETEROTROPHIC MICROFLORA DURING SEED BACTERIZATION

A.A. Veinbender, N.N. Shuliko,

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, [veybender@anc55.ru](mailto:veybender@anc55.ru)

*Summary.* The data of changes in the number of ammonifying bacteria in the application of pre-sowing bacterization of spring wheat seeds are presented. The greatest increase in saprophytic bacteria was facilitated by pre-sowing treatment of wheat seeds of the Omsk 44 variety with Flavobacterin biologics, the increase was from 55 to 108% relative to the control variant (without the use of fertilizers).

*Keywords:* inoculation, wheat, saprophytic bacteria, microflora.

УДК 631.811

## УРЕАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ РИЗОСФЕРЫ СОИ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН

А.А. ВейнбENDER, Н.Н. Шулико

ФГБНУ Омский аграрный научный центр, Омск, [veybender@anc55.ru](mailto:veybender@anc55.ru)

**Аннотация.** Установлено, что активность фермента уреазы в ризосфере сои увеличивалась при обработке семян сои бактериальным препаратом Ризоторфин ВР 634 на 15–22% относительно контрольного варианта. Инокуляция штаммом ВР 835 также оказывала положительное влияние на изучаемый фермент, но в меньшей степени.

**Ключевые слова:** соя, ризосфера, ферменты, инокуляция, сорта, штаммы.

**Актуальность.** Показателями биологической активности почв могут служить количественные характеристики численности и биомассы разных групп биоты почв, их продуктивность, интенсивность основных процессов, связанных с круговоротом элементов, а также её ферментативная активность [1]. Ферменты – это сложные белковые соединения или их комплексы, являющиеся катализаторами химических и биохимических реакций, которые протекают в почве. Работа ферментов определяет доступность элементов питания, гумусное состояние, азотный, фосфорный, калийный режим, а также способность почвы к детоксикации различных поллютантов. В природе (почве, воде и т. п.) присутствуют микроорганизмы способные вырабатывать фермент, активно гидролизующий поступающую мочевины [2].

Установленная многими авторами взаимосвязь между ферментативной активностью и плодородием почв, позволяет использовать уровень активности ферментов для сравнительной оценки эффективности агротехнических приемов, плодородия почвы в целом, а также диагностики изменения почвы при различных антропогенных и естественных изменениях экосистемы [3].

**Цель исследований:** оценить активность фермента уреазы в ризосфере сои при инокуляции семян сои.

**Объекты и методы исследования.** Анализ почвы был выполнен в лаборатории микробиологии ФГБНУ Омский АНЦ в 2021 г. Отбор почвенных проб проводили в стерильные пергаментные пакеты 3 раза в течение вегетации сои (цветение, формирование бобов, полной спелости). Смешанный образец почвы ризосферы составляли из нескольких отдельных проб, выкопанных с растениями. Инокуляция семян сои сортов Сибириада и Сибириада 20 (оригинатор Омский АНЦ) проводилась в день посева, биопрепаратом фунгицидно-стимулирующего действия Ризоторфин штамм ВР 634 и 835 (ФГБНУ ВНИИСХМ, г. Пушкин). Анализ ферментативной активности ризосферы проводился в воздушно-сухих образцах по Гофману [4].

**Обсуждение результатов.** Ферментативная активность отражает состояние плодородия почв и внутренние изменения, происходящие при сельскохозяйственном использовании и повышении уровня культуры земледелия. Эти изменения обнаруживаются как при вовлечении целинных и лесных почв в культуру, так и при различных приемах их использования [5].

Исходя из результатов анализа, активность фермента варьировала от 0,30 до 0,42 мг/100 г почвы (рис.). В ризосфере варианта Сибириада ВР 634 (фаза формирования бобов и полная спелость) наблюдалась повышенная активность фермента уреазы (0,395–0,385 мг/100 г). Отмечена тенденция увеличения активности обсуждаемого фермента при применении биопрепарата изучаемых штаммов к концу вегетации, при применении ВР 835 в несколько большей степени. Повышение активности уреазы при инокуляции семян связано с развитием более мощных растений и увеличением поступления в почву органического вещества листового опада при разложении, являющегося субстратом для фермента и источником питания микроорганизмов.

В ризосфере сорта Сибириада 20, прослеживалась аналогичная тенденция увеличения активности фермента в течение вегетации во всех вариантах опыта, с наибольшими ее значениями в фазу полной спелости. Наибольшее положительное влияние оказало применение биопрепарата Ризоторфин штамм ВР 634, в фазу полной спелости отмечено увеличение фермента по отношению к контролю около 10%.

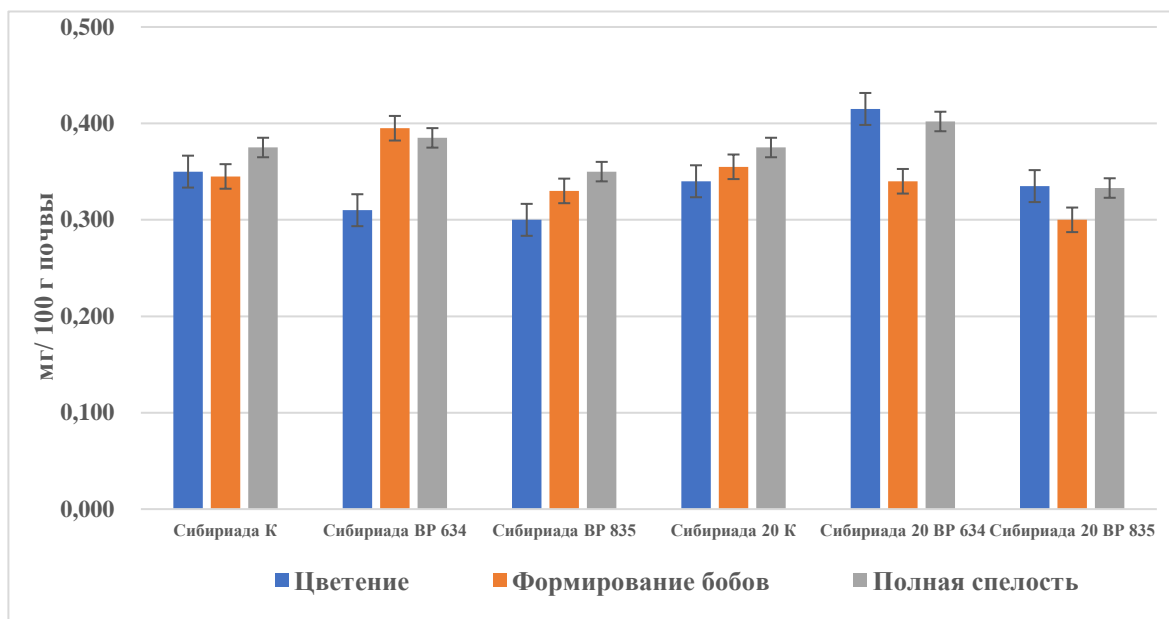


Рисунок. Активность фермента уреазы в зависимости от применения биопрепарата Ризоторфин, (n=3).

**Выводы.** Инокуляция семян сои биопрепаратом симбиотической азотфиксации Ризоторфин штамм ВР 634, способствовала усилению активности фермента уреазы в ризосфере в большей степени, чем штамм ВР 835.

#### Литература

1. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф. Биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при применении удобрений. Омск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный центр", 2023. С. 152.
2. Гизатова Г.Л., Шипаева Т. А. Уреазы – ключевой фермент биodeградации мочевины // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-3(45). С. 88–90
3. Гамзикова О.И. Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений. Отв. ред. акад. РАСХН Г.П. Гамзиков; РАСХН, Сиб. отд-ние, НГАУ. Новосибирск: Агрос, 2008. 372 с.
4. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
5. Биологическая активность орошаемой лугово-черноземной почвы и продуктивность сои в зависимости от условий минерального питания в южной лесостепи Западной Сибири / О. Ф. Хамова, В. С. Бойко, А. Ю. Тимохин, Н. Н. Шулико // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 4(176). С. 96–100.

#### THE EFFECT OF SOYBEAN SEED INOCULATION ON THE UREASE ACTIVITY OF THE SOIL UREASE ACTIVITY DURING INOCULATION OF SOYBEAN SEEDS

A.A. Veinbender, N.N. Shuliko

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, [veybender@anc55.ru](mailto:veybender@anc55.ru)

*Summary.* It was found that the activity of the urease enzyme increased during the treatment of soybean seeds with the bacterial preparation Risotorphin BP 634 by 15–22% relative to the control variant. Inoculation with strain BP 835 did not have a significant effect on the enzyme under study.

*Keywords:* soy, rhizosphere, enzymes, inoculation, varieties, strains.



УДК 631.445.124/470.342

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В НИЗИННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ РАЗЛИЧНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Е.Н. Волкова<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, [ele-ven@yandex.ru](mailto:ele-ven@yandex.ru)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты изучения изменения количества и качественного состава органического вещества низинной торфяной почвы в зависимости от степени ее освоения, ботанического состава торфа. Показано преимущество возделывания многолетних трав для уменьшения деградации фонда органического вещества.

**Ключевые слова:** торфяная низинная почва, органическое вещество, фракционный состав, тип гумуса.

В естественных экосистемах торфяники выполняют роль природного накопителя органического углерода, участвуют в круговороте этого элемента. Торфяные почвы, по сравнению с минеральными, содержат значительно больше органического вещества (до 80–95%) и азота (1,6–4,5%), что обуславливает их более высокий уровень плодородия. По экспертным оценкам, запасы органического вещества в торфяных почвах Нечерноземной зоны России составляют около 9954 млн т, в том числе доля углерода гуминовых кислот – около 31%. Однако при осушении торфяников и их сельскохозяйственном использовании наблюдаются процессы необратимого разрушения органического вещества торфа, уменьшаются его запасы, изменяется качественный состав. В задачу нашего исследования входило изучение влияния различного характера сельскохозяйственного использования торфяных почв на трансформацию органического вещества, в том числе изменение его качественных и количественных характеристик.

Объектом исследования послужили образцы торфа, отобранные на Полесской опытно-мелиоративной станции. В качестве целинных торфяных почв был взят торф в заповеднике различного ботанического состава: торфяные низинные почвы осокового и тростникового ботанического составов. В качестве освоенных почв были использованы образцы торфа, находящегося под бессменной культурой многолетних трав на осоковом и тростниковом торфе, под бессменной пропашной культурой (кукуруза) на осоковом торфе. Средняя глубина торфяной залежи – 69 см. Образцы торфа отбирали по всему профилю до подстилающей породы (песчаные отложения).

Общий углерод определяли методом Анстета в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Николаевой (1961), фракционный анализ органического вещества (ОВ) – методом В.Н. Ефимова [1], по которому выделяли битумы, водорастворимые компоненты (наиболее доступные растениям гумусовые вещества), последовательно пирофосфатные и щелочные экстракты (потенциально доступные растениям вещества).

Торфяная почва имела следующую агрохимическую характеристику:  $pH_{(KCl)}$  – 4,35–4,7,  $Hг$  9,9–14,2 мг.-экв./100 г почвы,  $S$  – 120,0–210,0 мг.-экв./100 г почвы,  $V$  91,6–95,2%, содержание подвижных фосфора 8,5–59,5 мг/кг и калия – 20,0–310 мг/100 г.

При сельскохозяйственном использовании в торфяных почвах коренным образом меняется направление почвообразовательного процесса, а также круговорота органического вещества и накопленной энергии в сторону, характерную для автоморфных почв [2, 3].

Фракционный анализ показал, что фракция углерода битумов распределялась следующим образом: в пахотных слоях содержалось меньшее количество битумов, чем в подпахотном слое. Это можно объяснить их частичным разрушением в условиях хорошей аэрации пахотных горизонтов. В целинном варианте и в вариантах с многолетними травами на торфе разного ботанического состава, где условия аэрации были хуже – битумоиды разрушаются медленнее. Процесс антропогенного освоения сопровождается разрушением углеводного комплекса, в частности, целлюлоз. Так на торфяной почве осокового ботанического состава содержание

углерода целлюлозы в пахотном горизонте зернотравяного севооборота уменьшилось на 64,1%, в пропашном севообороте – на 79,3% и под многолетними травами – на 51,8% по сравнению с целинным вариантом. На торфяной почве тростникового ботанического состава этот показатель снизился на 40,8% по сравнению с целиной.

Освоение торфяных почв сопровождается изменением качественного состава гумусовых веществ. В низинных торфяных почвах осокового ботанического состава отношение Сгк/Сфк изменялось в пределах 0,64–1,21...1,21–1,5 в пропашном и зернотравяном севооборотах, то есть складывался гуматно-фульватный фульватно-гуматный тип гумуса и 3,32–6,67 – в севообороте с многолетними травами — гуматный тип гумуса. Фульватно-гуматный тип гумуса в торфяных почвах окультуренных вариантов можно объяснить припахиванием и перемешиванием с торфом подстилающей породы. В целинных вариантах Сгк/Сфк составляло для торфа осокового ботанического состава 1,99–3,28 и для торфа тростникового ботанического состава – 2,97–6,74, то есть также складывался гуматный тип гумуса.

Процесс освоения торфяных почв происходит с постепенным разрушением органического вещества, причем на первых этапах происходит разрушение легкоомыляемых веществ (углеводов) и накапливаются вещества более устойчивые к биологической деградации, которые в последующем минерализуются. Установлено, что интенсивное сельскохозяйственное использование торфяных почв осокового ботанического состава приводит к наибольшему разрушению органического вещества. Происходит резкое снижение общего содержания углерода в каждой выделяемой фракции. Причем в вариантах с зернотравяным севооборотом и пропашными культурами, процесс минерализации происходит более интенсивно по сравнению с многолетними травами этого же ботанического состава. В низинных торфяных почвах тростникового ботанического состава наблюдалась тенденция уменьшения отдельных фракций.

Расчет коэффициента минерализации органического вещества показал, что в осоковых низинных почвах он был в 1,5–3,0 раза выше, чем у тростникового торфа.

Исследования показали перспективность возделывания многолетних трав, так как они способствуют снижению минерализации и гумификации, большему накоплению свежего органического материала и продлению жизни торфяника.

По мнению Т.Ю. Анисимовой и Л.Н. Лученок, регулирование процессов разрушения и накопления ОВ является обязательным приемом правильного, эффективного и длительного использования торфяных почв. Решение этой задачи достигается соблюдением норм осушения, чередованием культур в севообороте, оптимальной структурой посевных площадей, комплексом приемов обработки почвы и системами удобрений [2].

Таким образом, освоение и сельскохозяйственное использование торфяных низинных почв ведет к существенной трансформации органического вещества. При длительном использовании этих почв наблюдается тенденция уменьшения водорастворимых веществ, целлюлозы и увеличения битумоидов. Степень изменения органического вещества главным образом зависит от интенсивности их использования: возделывание пропашных культур ведет к наибольшей «сработке» органогенного слоя, наименьшая — при возделывании многолетних трав. Скорость минерализации в большей степени зависит от геоботанического состава торфа.

#### Литература

1. Ефимов В. Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л., Агропромиздат, 1986. С. 58–72.
2. Лученок Л.Н., Шкутов Э.Н., Баран С.Г. Изменение качественного состава органического вещества торфяных почв Белорусского Полесья в результате длительного сельскохозяйственного использования // Мелиорация. 2010. №1 (63). С. 112–119.
3. Ефимов В.Н., Царенко В.П. Органическое вещество и азот торфяных почв // Почвоведение. 1992. №10. с.40–49.

#### CHANGES IN ORGANIC MATTER IN LOW-LOW PEAT SOIL FOR DIFFERENT AGRICULTURAL USE

E.N. Volkova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>FGBNU Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, [ele-ven@yandex.ru](mailto:ele-ven@yandex.ru)

<sup>2</sup>St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg

*Summary. The article discusses the results of studying the change in the quantity and qualitative composition of the organic matter of lowland peat soil, depending on the degree of its development, the botanical composition of peat. The advantage of cultivation of perennial grasses to reduce the degradation of the organic matter fund is shown.*

*Keywords: lowland peat soil, organic matter, fractional composition, type of humus.*

УДК 631.452

## **АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ЗЫРЯНСКОГО РАЙОНА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Т.А. Воровченко, А.А. Петрусев, Е.А. Валетова**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Станция агрохимической службы  
«Томская», Томск, [sastom@mail.ru](mailto:sastom@mail.ru)

*Аннотация.* В статье представлены результаты корректировки почвенного обследования залежных земель сельскохозяйственного назначения (от 3 до 20 лет) Зырянского района Томской области. Установлено, что залежные земли представлены в основном серыми и темно-серыми лесными почвами, которые характеризуются высоким потенциальным плодородием и пригодны для введения в оборот. При сравнительном анализе с последним почвенным обследованием хозяйств Зырянского района, наблюдаются изменения как агрохимических, так и морфологических свойств исследуемых почв.

*Ключевые слова:* почвенный профиль, серая лесная почва, залежь, морфологические признаки, почвенное обследование, Зырянский район, плодородие почв, агрохимическая характеристика.

Зырянский район расположен в юго-восточной части Томской области, граничит с Кемеровской областью, и является одним из плодородных районов, в котором сосредоточены большие посевные площади. С общим экономическим спадом (после распада СССР) большинство сельскохозяйственных организаций резко сократили посевные площади, а оставшиеся частные хозяйства резко сократили капитальные вложения в сельское хозяйство и, как следствие этого, началась деградация плодородия [1].

Сейчас в стране активно ведется политика, направленная на увеличение площадей сельскохозяйственных угодий, а также на получение высоких и устойчивых урожаев. В связи с высоким потенциальным плодородием постепенно осваиваются залежные земли исследуемого района. На обследованных площадях уже планируется к вводу по Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации – около 3 тыс. га неиспользуемой пашни (Госпрограмма утверждена постановлением Правительства от 14 мая 2021 года №731).

Пахотные земли, переведенные в залежь, подвергаются естественному залужению, зарастанию лесом, заболачиванию из-за отсутствия обработки, изменения характера растительного покрова, прекращения антропогенного воздействия; при этом изменяется направленность и интенсивность элементарных процессов почвообразования. В результате этого происходит трансформация строения профиля и морфологических признаков почв, начинают преобладать процессы почвообразования, свойственные естественным почвам. Изучением трансформации почв при их выводе из сельскохозяйственного использования занимались многие исследователи, однако до сих пор нет единого мнения о направленности изменений морфологических и агрохимических свойств почв [2–3]. Но в условиях подтаежной зоны Томской области неиспользуемые земли очень быстро зарастают древесной растительностью и уже через 4–5 лет превращаются в молодой лес. Это препятствует возврату их в сельскохозяйственное производство. [4]

Цель работы – оценить агроэкологическое состояние залежных земель Зырянского района на разных этапах залежности (от 3 до 20 лет) и выявить произошедшие изменения состояния почвенного покрова с последнего крупномасштабного картографирования (1985, 1987, 1988 и 1994 гг.) для оценки эффективности вовлечения в оборот.

Исследования проводились в 2022 году на территориях бывших совхозов Зырянского района (им. Калинина, им. Фрунзе, им. Ленина, 40 лет победы, Зырянское). В процессе проведения почвенного обследования заложено 77 разрезов. Отбор почвенных образцов произведен по почвенным генетическим горизонтам.

Почвенные обследования и отбор почвенных проб проводились в масштабе 1:25 000. Работу выполняли в соответствии с общепринятыми методиками и ГОСТами, используемыми в почвоведении и агрохимии.

На обследованных территориях залежные почвы находятся на разных этапах развития почвообразовательных процессов: от 3 до 20 лет. Залежь до 3 лет представлена разнотравно-злаковой ассоциацией, до 5 лет – густым и плотным разнотравьем и злаковыми ассоциациями с единичными мелколиственными молодыми породами деревьев березы и осины около 2–5 м. Растительный покров залежи 10–20 лет характеризуется преобладанием разнотравья и осоковых. Древесная растительность представлена изреженным смешанным березово-сосновым лесом с примесью осины (высотой до 15 м).

В почвенном покрове залежных земель Зырянского района преобладают серые лесные и темно-серые лесные почвы. В микро- и мезопонижениях равнины и на плоских славодренированных участках водораздела формируются в условиях повышенного увлажнения темно-серые глеевые почвы [5].

Серые лесные почвы залежи от 3 до 5 лет характеризуются в верхнем гумусовом горизонте средним и высоким содержанием гумуса – 4,8–5,2%, степенью кислотности от 4,8 (среднекислой) до 5,6 (близкой к нейтральной) единиц, суммой поглощенных оснований от 25,6 до 30,8 мг/100 г почвы, с преобладанием в ППК кальция от 18 до 20,4 мг/100 г почвы. Содержание фосфора в гумусовом горизонте – высокое, калия – от низкого (65 мг\кг) до повышенного (121 мг\кг).

По морфологическим свойствам в серых лесных наблюдается мало- и среднемощный гумусовый верхний горизонт серого цвета; при высыхании в переходном горизонте АВ заметна кремнеземистая присыпка на поверхности агрегатов; структура зернисто-мелкокомковатая и комковатая.

Темно-серые лесные почвы залежи 3–5 лет характеризуются повышенным содержанием гумуса от 6,7 до 9,95%, вниз по профилю органическое вещество постепенно снижается;  $pH_{\text{сол}}$  варьирует от слабокислой (5,1 ед.) до близкой к нейтральной (5,7 ед.) в верхнем гумусовом горизонте, повышенное и высокое содержание суммы обменных оснований от 24,2 до 37,8 мг/100 г почвы в верхнем гумусовом горизонте, величина обменного кальция от 15,6 до 21,8 мг/100г почвы. Содержание подвижного фосфора – очень высокое, подвижного калия от низкого 59 мг/кг до высокого 215 мг/кг.

Морфологический профиль темно-серых лесных почв отличается интенсивной темно-серой окраской гумусового горизонта, зернисто-комковатой структурой, значительной мощностью гумусового горизонта. В переходном горизонте АВ прослеживается слабая оподзоленность в виде белесой присыпки. Иллювиальный постепенно переходит в почвообразующую породу, представленную палево-бурыми, светло-бурыми карбонатными отложениями. В сравнении с серыми лесными почвами, темно-серые характеризуются менее выраженной дифференциацией профиля на горизонты.

Серая лесная почва (залежь 10–20 лет) характеризуется большей аккумуляцией гумуса в верхнем горизонте (5,34–5,5%) и менее резким убыванием его содержания с глубиной; так в  $A_1A_2$  содержание органического вещества составляет 1,5–2,81%. Сумма поглощенных оснований в верхнем горизонте достигает 25–27,6 ммоль/100 г почвы, вниз по профилю уменьшается, в поглощенном комплексе преобладает кальций. Содержание обменного кальция высокое и составляет 15–16,5 мг/100 г почвы. Обменная кислотность составляет в верхних горизонтах 4,5–5 ед., реакция почвенного раствора – слабокислая. Содержание подвижного фосфора в верхнем горизонте высокое – 239 мг/кг, подвижного калия повышенное – 141 мг/кг.

Для темно-серых лесных почв возрастной залежи 10–20 лет характерно высокое содержание гумуса в верхнем горизонте 6,5–8,0% (сильногумусированные) и нерезкое падение гумуса с глубиной, в горизонте АВ содержание гумуса 1,5–2,1%. Сумма поглощенных



оснований в верхнем горизонте достигает 24,6–26 ммоль/100 г почвы, в поглощенном комплексе преобладает кальций. Содержание обменного кальция высокое и составляет 15,1 ммоль/100 г почвы, вниз по профилю до иллювиального горизонта В наблюдается некоторое уменьшение до 10,5 ммоль/100 г почвы, к почвообразующей породе происходит увеличение кальция до 12,9 ммоль/100 г почвы, и остается на повышенном уровне. Обменная кислотность верхних гумусовых горизонтов составляет 4,1–5,3 ед., реакция почвенного раствора – среднекислая. Содержание подвижного фосфора в верхнем горизонте очень высокое – 257 мг/кг, подвижного калия повышенное – 141 мг/кг.

Таким образом, установлено, что независимо от сроков использования земель, залежь характеризуется благоприятными морфологическими и физико-химическими свойствами. Содержание гумуса несколько меньше в залежи почв 10–20 лет, но остается на высоком уровне. По степени кислотности почвы залежи 10–20 лет более кислые, чем почвы залежи возрастом 3–5 лет.

В сравнительный анализ вошли почвы залежи возрастом 10–20 лет (разрез №2), обследованные в 2022 году, и пахотная почва 1988 года обследования (разрез №109). Разрезы находятся в одном почвенном контуре, с максимальным наложением точек обследования (табл.).

Таблица. Описание исследуемых разрезов №109 и №2.

Разрез №109	Описание разреза №109	Разрез №2	Описание разреза №2
-	-	Ad 0–3 см	Темно-серая дернина с разложившимся опадом трав и листьев, густо переплетенная корнями.
Апах 0–25 см	Сухой, светло-серый, среднесуглинистый, комковато-пылеватый, рыхлый, пронизан корнями растений, переход ясный по плотности.	A <sub>1</sub> 3–33 см	Серый с буроватым оттенком, крупно-комковато-зернистый, густо переплетен корнями травянистой растительности, диаметр корней до 1 см, плотный, влажный, при высыхании видна кремнеземистая присыпка, переход заметный по окраске и плотности, среднесуглинистый, граница ровная.
A <sub>2</sub> B 25–33 см	Светлый, светло-серый с белесым оттенком, среднесуглинистый, комковатый, уплотнен, присутствуют корни растений, переход ясный по цвету.	A <sub>2</sub> B 33–60(52) см	Серо-светло-бурый, корни травянистой растительности, бурые пятна из нижнего горизонта, влажный, крупно-комковато-зернистый, при высыхании видна кремнеземистая присыпка, плотный, среднесуглинистый, переход по плотности и по окраске постепенный, граница слабоволнистая.
B <sub>1</sub> 33–70 см	Светлый, светло-бурый с коричневыми пятнами, ореховатый, тяжелосуглинистый, уплотнен, переход заметный по плотности.	B <sub>1</sub> 60(52) – 80 см	Светло-бурый, влажный, затеки гумуса по ходам корней, мелкозернисто-ореховатый, многочисленные корни травянистой растительности, тяжелосуглинистый, плотный, переход по плотности постепенный, граница ровная.
B <sub>2</sub> 71–133 см	Светлый, светло-бурый с коричневыми пятнами, тяжелосуглинистый, комковато-ореховатый, плотный, переход малозаметный.	B <sub>2</sub> 80–140 см	Светло-бурый, влажный, ореховатый, темные пятна из гумусового горизонта, очень плотный, единичные корни, тяжелосуглинистый.
BC <sub>k</sub> 133–170 см	Светлый, светло-бурый с темными коричневыми пятнами, супесчаный, комковатый, плотный, присутствуют карбонаты, переход ясный по плотности.	–	
C <sub>k</sub> 170 см и ниже	Светлый, светло-бурый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, вскипает от HCl	–	

В почве разреза №2 образовался дерновый горизонт мощностью 3 см, увеличилась мощность гумусового горизонта на 5 см, улучшилась структура. Так, пахотный горизонт разреза №109 характеризуется комковато-пылеватой структурой, при переходе в залежное состояние структура стала крупно-комковато-зернистой. Увеличилась мощность переходного горизонта  $A_2B$  в разрезе №2 и граница стала слабоволнистой. Разрез №2 обильно пронизан корнями растений по сравнению с почвой пашни (табл.).

Гранулометрический состав верхнего слоя на разрезах среднесуглинистый, вниз к почвообразующей породе происходит утяжеление гранулометрического состава.

При сравнении более молодых залежных почв с пахотными почвами 1985, 1987 и 1994 годов обследований наблюдается образование дернины от 2 до 3 см. В серых лесных почвах сформировался переходный горизонт  $A_1A_2$ , которого не было при предыдущих обследованиях.

Морфологический анализ свидетельствует, что в залежных почвах по сравнению с пахотными происходит изменение характера и соотношения почвообразовательных процессов – усиливается дерновый и подзолистый процесс почвообразования.

Сравнительный анализ степени кислотности почв разреза №109 (1988 г) и разреза №2 (2022 г) показал, что наблюдается подкисление почвенного раствора в залежи на 1,1 ед. В пахотной почве разреза №109  $pH_{\text{сол.}}$  составила 5,9 ед. в пахотном слое, на залежной почве в верхнем гумусовом горизонте  $pH_{\text{сол.}}$  4,8 ед. Содержание гумуса практически не изменилось, сумма поглощенных оснований в разрезе №2 выше на 11,53 мг/100 г почвы и содержание кальция так же выше на 7,1 мг/100 г почвы.

Усредненный показатель  $pH_{\text{сол.}}$  по данным обследования 1988 г. серых лесных пахотных почв составил 5,2 ед., у темно-серых – 5,6 ед., а на залежных почвах (10–20 лет) среднее значение реакции почвенной среды составило 5,2 единиц в серых лесных, темно-серых – 5,1 единиц. То есть наблюдается подкисление почвенного раствора в подтипе темно-серых лесных почв, в серых лесных почвах показатель  $pH_{\text{сол.}}$  остался на том же уровне.

По результатам агрохимического обследования пахотных земель Зырянского района в последнем туре (2021–2022 г.), среднее значение  $pH_{\text{сол.}}$  составило 5,4 ед. [6].

По содержанию органического вещества старопашотные почвы являются сильно гумусированными; так темно-серые почвы содержат 7,0% гумуса, серые лесные – 5,45 %. У темно-серых почв залежи (10–20 лет) содержание гумуса достигает 7,6%, у серых лесных – 5,5%. Наблюдается, что содержание гумуса в пахотном слое на неиспользуемых землях несколько увеличилось; это связано с изменением течения почвообразовательных процессов, особенно дернового. Наибольшая концентрация гумуса наблюдается в дерновом горизонте залежных почв.

По усредненным данным последнего почвенного обследования (1985, 1987 и 1994 гг.) степень кислотности составила 5,4 ед. в пахотных серых лесных почвах, у темно-серых лесных – 5,7 ед., содержание органического вещества серых лесных почв составляет 5,2%, темно-серых почв – 8,3%, а по усредненным данным обследования 2022 года реакция почвенной среды  $pH_{\text{сол.}}$  в серых лесных почвах залежи 3–5 лет составила – 5,2 ед., у темно-серых лесных – 5,5 ед., содержание гумуса серых лесных достигло 5,3%, у темно-серых почв – 8,4%.

Сравнительный анализ результатов предыдущего и последнего (2022 г.) почвенного обследования, выявил незначительное повышение степени кислотности в почвах, а содержание органического вещества практически осталось на том же уровне. Возможно, особых изменений не произошло по физико-химическим свойствам в виду того, что почвы молодой залежи, по данным агрохимической службы, периодически распахивались.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при переходе из пашни в залежное состояние происходит изменение морфологических и физико-химических свойств почв: улучшение структуры верхнего слоя почвы, значительное накопление корней, прирост гумусового горизонта до 5 см в возрастной почве залежи, накопление органического вещества в верхнем горизонте и подкисление почвенного раствора.

Исследуемые почвы залежных земель Зырянского района Томской области, обладают достаточно высоким плодородием и рекомендуются для ввода в сельскохозяйственный

оборот, но необходимо проведение культуртехнических работ, использование удобрений и мелиорантов.

### Литература

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / Под редакцией акад. Г. А. Романенко. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 64 с.
2. Сахаров А.В., Мищенко В.В. Изменение серых лесных почв Западной Сибири в результате смены агроценоза на биоценоз // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции 11 марта 2021 г., Курган. С.328–332
3. Кузнецова И. В., Тихонравова И. И., Бондарев А. Г. Изменение свойств залежных серых лесных почв // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1142–1150.
4. Дюкарев А.Г. Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 284 с.
5. Сиротина Е.А., Живаго А.И., Сазонова Н.В., Титова Г.Г. Состояние плодородия пахотных почв Томской Области // Агрохимический вестник. 2017. №3. С. 45–47
6. Сорокин И. Б. Агроэкологическое состояния земель Томской области и перспективы применения методов дистанционного зондирования земли / И. Б. Сорокин, М. Ю. Катаев // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов IV Международной научной конференции, 5–8 декабря 2017 г., Томск: в 2 ч. Томск: Изд-во ТПУ, 2017. Ч. 1. С. 29–32.

#### AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF FALLOW LANDS OF THE ZYRYANSKY DISTRICT OF THE TOMSK REGION

T.A. Vorovchenko, A.A. Petrushev, E.A. Valetova

Federal state budgetary institution "Station of agrochemical service "Tomskaya", Tomsk, [sastom@mail.ru](mailto:sastom@mail.ru)

*Summary.* The article presents the results of the correction of the soil survey of fallow lands for agricultural purposes (from 3 to 20 years) of the Zyryansky district of the Tomsk region. It has been established that fallow lands are mainly represented by gray and dark gray forest soils, which are characterized by high potential fertility and are suitable for putting into circulation. In a comparative analysis with the last soil survey of farms in the Zyryansk region, changes are observed in both agrochemical and morphological properties of the studied soils.

*Keywords:* soil profile, gray forest soil, fallow, morphological features, soil survey, Zyryansk region, soil fertility, agrochemical characteristics.

УДК 631.414.3: 631.416.2: 631.445.4: 633.491

#### СОРБЦИЯ И ДЕСОРБЦИЯ ФОСФОРА ЧЕРНОЗЁМОМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫМ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД КАРТОФЕЛЬ

Л.П. Галеева

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, [liub.galeeva@yandex.ru](mailto:liub.galeeva@yandex.ru)

*Аннотация.* Фосфатная буферная способность ( $BC^P$ ) чернозёма выщелоченного без внесения удобрений под картофель возрастала в 3 раза.  $NK$ -удобрения не влияли, а  $NPK$ -удобрения уменьшали её в 6,5 раза. Общее количество легкодоступного фосфора, извлечённое из почвы в контроле в пересчёте на 1 га, составляло 8 кг  $P_2O_5$ , а в варианте  $N80P80K160$  – 60 кг, подвижного фосфора – около 800 кг и 1100 кг, соответственно. Показатели сорбции и десорбции фосфора в вариантах с удобрениями были примерно одинаковыми.

*Ключевые слова:* сорбция, десорбция, чернозём выщелоченный, минеральные удобрения, картофель, урожайность, подвижный и легкодоступный фосфор, фосфатная буферная способность, фракционный состав минеральных фосфатов.

Поглотительная способность почв в отношении фосфора обусловлена комплексом взаимосвязанных процессов, среди которых большое значение имеют явления хемосорбции и адсорбции, а также частично биологическое поглощение [1–6].

Изучение сорбции и десорбции фосфора минеральных удобрений чернозёмом выщелоченным при его использовании для возделывания картофеля на фоне орошения изучали в течение 4-х лет (3 года действия и 1 год последствия) в полевом опыте на учебном опытном поле (п. Краснообск). Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднесуглинистый, в пахотном слое содержит гумуса 4,6%, N<sub>общ.</sub> – 0,23%, P<sub>общ.</sub> – 0,17%; рН – 7,14; сумма поглощённых оснований – 36,2 ммоль-экв/100г, из них 82 % приходится на кальций; содержание нитратного азота и легкодоступного фосфора – 6,1 и 0,44 мг/кг соответственно, подвижного фосфора и обменного калия – 147,5 и 91,7 мг/кг. Варианты опыта: 1. Контроль (без удобрений); 2. N80K160. 3. N80P80K160. Повторность – 3–4-кратная. Азотные удобрения в виде аммиачной селитры (34% д.в.) и фосфорные в виде суперфосфата двойного гранулированного (43% д.в.) вносили ежегодно локально перед посадкой картофеля в дозе 80 кг д.в./га; калийные – в виде калия сернокислого (50% д.в.) в дозе 160 кг. Схема посадки картофеля 40x70 см на глубину 6–8 см в борозды. Площадь делянки 28 м<sup>2</sup> (4x7). Уход за растениями – по общепринятой технологии для зоны возделывания. В течение вегетационного периода ежегодно перед цветением проводили один полив картофеля по бороздам из расчёта 20 л/м<sup>2</sup> и одну обработку раствором танрека (200 г/л д.в.) против колорадского жука из расчёта 0,1 л/га. Учёт урожайности выполняли поделаяночно. Изучали среднеранние сорта картофеля сибирской селекции Лина и Белла [7].

В среднем за 3 года исследований наибольшая урожайность картофеля получена у сорта Белла – 36,5 т/га, которая сильно варьировала по годам. Прибавка урожайности картофеля от НК-удобрений составила 21 и 17 % к контролю у Лины и Беллы, соответственно. NPK-удобрения достоверно увеличивали продуктивность картофеля обоих сортов. Действие фосфора на урожайность устойчиво проявлялось во все годы у картофеля сорта Белла и только один год – у Лины. Прибавка урожайности картофеля от фосфора у Беллы почти в 10 раз превышала таковую у Лины. Последствие удобрений в условиях сухого и жаркого вегетационного периода было малоэффективным, а прибавка урожайности картофеля к контролю от них составила 10; 11, и 5; 9% у сорта Лина и Белла, соответственно. По величине урожайность картофеля обоих сортов между собой отличалась незначительно. Потребление фосфора картофелем обоих сортов в контроле было примерно одинаковым. НК-удобрения увеличивали его вынос на 32 и 27%, а NPK-удобрения – на 46 и 70% у Лины и Беллы, соответственно [8].

Соотношение между количеством подвижного (Q по Чирикову) и легкодоступного (I по Карпинскому, Замятиной) фосфора характеризует фосфатную буферную способность почвы (BC<sup>P</sup>), которая показывает, какое количество подвижных фосфатов должно перейти из их общего запаса в почвенный раствор или должно быть внесено в почву для изменения концентрации фосфора в почвенном растворе на единицу [9].

В исходном состоянии BC<sup>P</sup> в пахотном слое чернозёма выщелоченного составляла 164. В среднем за 3 года выращивания картофеля без удобрений она возрастала в 3 раза, в варианте N80K160 – почти не отличалась от контроля, а в варианте N80P80K160 уменьшалась в 6,5 раза. В 1-й год последствия удобрений фосфатная буферная способность пахотного слоя почвы была на уровне исходной, а в контроле превышала её почти в 2 раза.

Следовательно, НК-удобрения увеличивали, а фосфорные удобрения на их фоне уменьшали фосфатную буферную способность почвы.

Десорбция легкодоступного фосфора из пахотного слоя чернозёма выщелоченного 10-ю последовательными вытяжками 0,03 н раствором K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (по Карпинскому, Замятиной, 1957) показала, что больше всего его извлекалось из почвы в варианте N80P80K160 и из исходного образца включительно по 5-ю вытяжку (рис. 1). Начиная с 6-й вытяжки, количество извлекаемого фосфора уменьшалось в 1,9 и 1,6 раза в контроле и варианте N80K160 соответственно, а затем стабилизировалось. В варианте N80P80K160 и исходном образце содержание фосфора изменялось слабо. Общее количество легкодоступного фосфора, извлечённое 10-ю последовательными вытяжками, в контроле и варианте N80K160 было



одинаковым и в 2,2 раза меньше исходного. Из почвы с систематическим внесением NPK-удобрений фосфора извлекалось в 7 раз больше, чем в варианте контроль и N80K160 и в 3 раза больше исходного. Общее количество  $P_2O_5$ , извлечённое из пахотного слоя контрольного образца (без удобрений) чернозёма выщелоченного в пересчёте на 1 га составило 8 кг, а из образца варианта N80P80K160 – 60 кг. Следовательно, систематическое внесение NPK-удобрений под картофель в течение 3-х лет может компенсировать вынос им легкодоступного фосфора и обладать последствием.

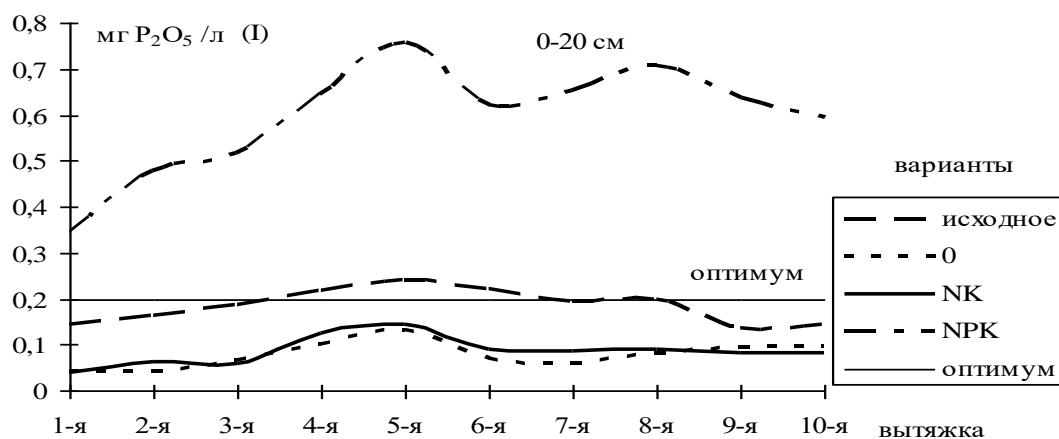


Рисунок 1. Влияние минеральных удобрений на десорбцию легкодоступного (I) фосфора из слоя 0–20 см чернозёма выщелоченного при выращивании картофеля.

Больше всего подвижного фосфора (по Чирикову) извлекалось из почвы в варианте N80P80K160 и исходного образца. Начиная с 3-й вытжки, содержание фосфора уменьшалось в 2,7–1,9 раза в почве всех вариантов и было ниже оптимального уровня (рис. 2). Общее количество подвижного фосфора, извлечённое 10-ю последовательными вытжками, уменьшалось в вариантах контроль и N80K160 и возрастало в варианте N80P80K160. В пересчёте на 1 га общее количество подвижного фосфора, извлеченного из контрольного образца, составляло около 800 кг  $P_2O_5$ , а в варианте N80P80K160 – 1100 кг. Показатели сорбции и десорбции фосфора в вариантах с удобрениями были примерно одинаковыми. В контроле десорбция фосфора в 1,7 раза превышала его сорбцию и свидетельствовала о высокой доступности фосфора растениям (рис. 2).

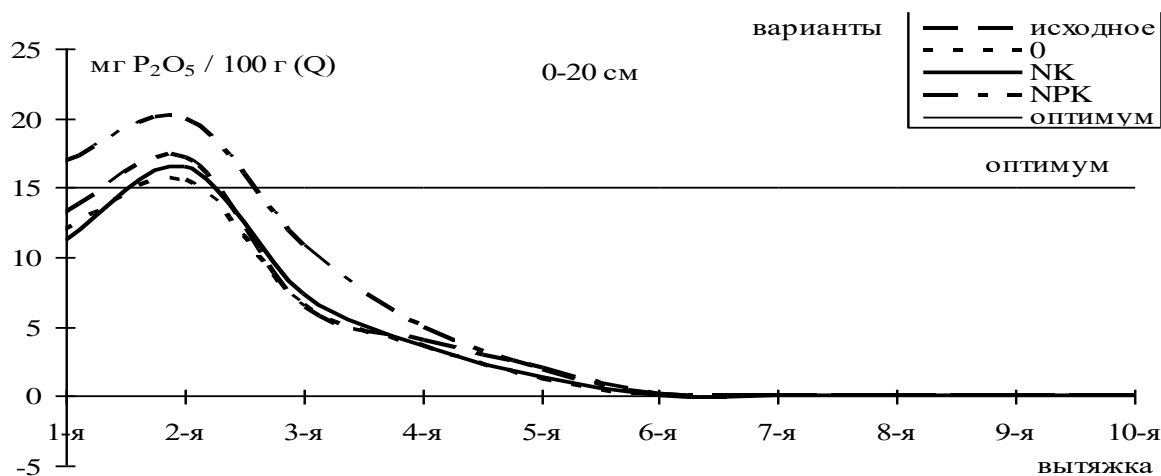


Рисунок 2. Влияние минеральных удобрений на десорбцию подвижного (Q) фосфора из слоя 0–20 см чернозёма выщелоченного при выращивании картофеля.

Исследованиями установлено, что фосфор удобрений, находящийся в водорастворимой форме, активно поглощается почвой вследствие образования менее растворимых

минеральных и органо-минеральных соединений, адсорбируемых на поверхности глинистых минералов и органо-минеральных гелей. Величина поглощения фосфора почвами России, по мнению [10], составляет от 500 до 1800 мг  $P_2O_5$ /кг почвы, что в пересчёте на 1 га соответствует от 1000 до 3600 кг  $P_2O_5$ .

Во фракционном составе минеральных фосфатов чернозёма выщелоченного 68% приходилось на труднодоступные фосфаты апатитовой фракции (Ca –  $P_3$ ), содержание которых с глубиной возрастало до 82%. Доля активных фосфатов в пахотном слое почвы составляла 25% от суммы, которая медленно уменьшалась с глубиной. Большая часть в составе фосфатов активных фракций была представлена вторично образованными фосфатами кальция Ca –  $P_2$ , свидетельствующими о хорошей подвижности фосфора в почве.

Выращивание картофеля в течение 3-х лет на орошении без удобрений (контроль) уменьшало содержание минеральных фосфатов и их активных фракций на 22%, в основном за счёт фракций Ca –  $P_1$  и Ca –  $P_2$ , которые потреблялись картофелем. Наибольшие изменения во фракционном составе минеральных фосфатов происходили в подпахотном слое (20–40 см) почвы, где их общее содержание и количество активных фракций уменьшалось на 14 и 35% к исходному уровню соответственно, в основном, за счёт фосфатов Ca –  $P_2$ . НК-удобрения, усиливая минерализацию органического вещества почвы, поддерживали содержание минеральных фосфатов в слоях 0–20 и 20–40 см, увеличивая в их составе на 21% количество фосфатов активных фракций в слое 0–20 и не влияли на него в слое 20–40 см. Пополнение активных фосфатов в пахотном и подпахотном слое происходило в основном за счёт роста фракции Ca –  $P_2$ . NPK-удобрения увеличивали содержание минеральных фосфатов и их активных фракций в слое 0–20 см на 38% и в 2,6 раза по сравнению с контролем соответственно, а их доля возрастала с 25 до 39% от суммы. В слое 20–40 см количество минеральных фосфатов и их активных фракций возрастало на 15 и 43% соответственно.

Дефицит фосфора в почве контроля при выращивании картофеля составил всего 1,3 кг/га. Удобрения за счёт большой урожайности картофеля увеличивали его вынос на 29 и 56%, при этом интенсивность баланса фосфора в почве уменьшалась при внесении НК-удобрений и возрастала до 250% при внесении NPK-удобрений.

Следовательно, наибольшей продуктивностью на чернозёме выщелоченном в условиях северной лесостепи Приобья обладает среднеранний картофель сорта Белла. Удобрения увеличивают его урожайность на 17 и 36 % соответственно. НК-удобрения и фосфорные удобрения (P80) на их фоне улучшают фосфатный режим почвы, уменьшая в 6,5 раз фосфатную буферную способность чернозёма выщелоченного и создают положительный баланс фосфора и высокую интенсивность его баланса в почве, рекомендованные для возделывания картофеля в лесостепной зоне.

#### Литература

1. Соколов А.В. Агрохимия фосфора. М.-Л.: АН СССР, 1950. 152 с.
2. Чумаченко И.Н. Формы и реакции фосфора в почве / Фосфорные удобрения и условия их применения. М.: Труды ВИУА. 1971. Вып. 50. С. 8–25.
3. Кочергин А.Е. Фосфатный фонд почв и его доступность растениям / Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия. Омск, Омск. СХИ. 1984. С.12–19.
4. Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск, 1991. 32 с.
5. Христенко А.А. Уровень динамического равновесия фосфатных систем пахотных почв / Агрохимия. 2004. № 5. С. 78–84.
6. Кушниренко Ю.Д., Брагин В.Н. Фосфатный режим выщелоченного чернозёма и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений / Агрохимический вестник. – 2005. № 2. С. 16–18.
7. Галеева Л.П. Сибирские сорта картофеля отзывчивы на внесение минеральных удобрений / Картофель и овощи. 2011. № 8. С. 22–23.
8. Галеева Л.П. Фосфатное состояние чернозёмов выщелоченных Новосибирского Приобья при выращивании картофеля / Актуальные тенденции в развитии агрономической науки. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2023. С. 93–96.
9. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М., 1981. 242 с.

10. Адерихин П.Г. Фосфор в почвах и земледелии центрально-чернозёмной полосы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1970. 248 с.

## SORPTION AND DESORPTION OF PHOSPHORUS BY LEACHED CHERNOZEM OF THE NOVOSIBIRSK OB REGION WHEN APPLYING MINERAL FERTILIZERS FOR POTATOES

L.P. Galeeva

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, liub.galeeva@yandex.ru

*Summary.* The phosphate buffering capacity (HRV) of leached chernozem without fertilizing potatoes increased by 3 times. NK fertilizers had no effect, and NPK fertilizers reduced it by 6,5 times. The total amount of readily available phosphorus extracted from the soil in the control in terms of 1 ha was 8 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and in the N80P80K160 variant – 60 kg, and mobile phosphorus – about 800 kg and 1100 kg, respectively. The indicators of sorption and desorption of phosphorus in the variants with fertilizers were approximately the same.

*Keywords:* sorption, desorption, leached chernozem, mineral fertilizers, potatoes, yield, mobile and readily available phosphorus, phosphate buffering capacity, fractional composition of mineral phosphates.

УДК 631.47

## ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ БИОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ГЕЙЧАЙСКОГО РАЙОНА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ

Т.А. Гасанова

Институт Почвоведения и Агрохимии Министерства Науки и Образования  
Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан, turkanhesenova@mail.ru

*Аннотация.* В результате проведения биологических исследований выделены беспозвоночные с разной жизнедеятельностью, распространенные в природных ценозах. Оптимальные условия для жизнедеятельности беспозвоночных (мезофауны), оказывающих положительное влияние на плодородие почвы, могут быть созданы в результате проводимых в хозяйствах агротехнических мероприятий. Полезную почвенную биоту (беспозвоночные, микробиота) можно защитить от негативного воздействия при использовании определенных химических средств защиты растений, произрастающих в агроценозах, от вредителей. Биологическую активность и плодородие почвы можно поддерживать на стабильном уровне, применяя в хозяйствах современные, прогрессивные, агротехнические и ирригационные технологии. Предлагается использовать биологические диагностические показатели при биологической оценке серо-коричневых почв сельскохозяйственного значения. Биологические исследования, проведенные на серо-коричневых почвах природных и хлопчатниковых агроценозов, могут быть использованы в качестве биодиагностических тестов при систематике и классификации серо-коричневых почв, формирующихся в условиях аридных экосистем.

*Ключевые слова:* мезофауна, биологическая активность, микроорганизмы, плодородие почвы.

**Актуальность.** Изучение биологических показателей почв имеет большое значение при вовлечении почв в сельское хозяйство. Почва, как компонент биосферы и продукт взаимодействия живого вещества и горных пород представляет собой область большой концентрации живого вещества, связанной с ним энергии, продуктов метаболизма и отмирания. В целом, в исследуемой местности четко прослеживается закон вертикальной поясности [4]. В отдельных районах распространены каменистые, субальпийские и альпийские луга и остепенённые луга. Изучение жизнедеятельности естественных биогеоценозов, формирующихся в различных экологических условиях, связано с тем, что каждый из них обладает конкретным структурно-динамическим состоянием, отличаясь своей индивидуальной устойчивостью к разным воздействиям. В почве накапливается огромное количество разнообразных отходов хозяйственной деятельности человека и прижизненных атрибутов

живых организмов, в ней завершается разрушение сложных органических и органоминеральных соединений, продукты распада которых вновь вовлекаются в грандиозный по своим масштабам биоэнергетический круговорот.

Самый холодный период года  $+1,9^{\circ}\text{C}$  в январе. Среднегодовая максимальная температура воздуха поднимается до  $41^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая минимальная температура составляет  $8^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая приземная температура составляет  $17^{\circ}\text{C}$ ,  $2^{\circ}\text{C}$  в январе и  $33^{\circ}\text{C}$  в июле. Самая низкая температура воздуха  $4,6\text{--}5,6^{\circ}\text{C}$  и  $4,7\text{--}9,9^{\circ}\text{C}$  в январе, феврале, ноябре и декабре. Температуры воздуха, лимитирующие биологические процессы, от  $26,5^{\circ}\text{C}$  до  $28\text{--}29^{\circ}\text{C}$  отмечаются в летний период (июнь, июль, август). С поверхности покрытия возможно испарение  $1175\text{--}1117$  мм влаги. Атмосферные осадки оказывают положительное влияние на формирование стока. Среднегодовая скорость ветра  $2,0$  м/с.

При изучении баланса элементов питания азот, фосфор и калий поступают в почву с атмосферными осадками и поливной водой и имеют эмпирическое значение как фактор, обуславливающий их вымывание фильтрационными водами. От условий образования и окружающей среды каждой почвы в зависимости от биологической диагностики, которая считается специфическими показателями, изучение показателей и проведение биотестов имеет большое значение для развития сельского хозяйства [1, 3].

**Объект и методы исследования.** Образцы почвы были взяты из фермерских хозяйств, типичных для районов исследования. Почвенные исследования проводились по общим правилам, принятым в микробиологии и почвоведении [2, 5]. Исследуемые почвы относятся к сухостепной и полупустынной зоне. Серо-коричневые почвы не имеют определенной зональной приуроченности. Объект исследования расположен на юго-восточном окончании Лангембизского хребта Большого Кавказского хребта и хребта Большой Харамы. Между горами (Караязи, Курдмаши, Чермадиль) расположены равнины, долины с плоским дном и впадины. Поверхность впадин и равнин покрыта лессовидными глинами. Чермадильская впадина разделяет плато Карамарьям в центральной части на северную и южную полосы. При закладке земельных участков учитывались такие факторы, как условия мезо- и микрорельефа, крутизна и уклон откосов, состав растительного покрова и степень покрытия. Уклон земной поверхности  $0,0009\text{--}0,001$ . Разница относительных высот составляет  $10\text{--}15$  см, а местами колеблется до  $15\text{--}18$  см.

**Обсуждение результатов.** Некоторые результаты почвенных исследований, проведенных под хлопчатником, представлены на графиках ниже (Рис. 1, 2). Проведённые исследования показали, что различия в составе растительного покрова, как пищевых ресурсов, обуславливают формирование специфического комплекса беспозвоночных животных. Высокая биопродуктивность растений возможна только при условии оптимального экологического соответствия окружающей среды и организмов. На участке, расположенном на некотором расстоянии от цементного завода, под солянковой растительностью с примесью злаковых, фауна беспозвоночных комплектуется за счет галофильных и степных видов. Для слоя  $0\text{--}20$  см средняя влажность почвы за три года составила  $21,8\text{--}15,8\%$ , в летний период (июнь–август) резко снижается до  $12,7\text{--}8,5\%$ . При высокой температуре и низкой влажности отмечается биологическая депрессия почвы. На определенных глубинах во влажные месяцы чаще всего происходит небольшое промывание.

Количество гумуса в серо-коричневых почвах естественных ценозов колеблется от  $4,08\%$  в слое почвы  $0\text{--}19$  см до  $0,24\%$  в слое почвы  $180\text{--}200$  см. На глубинах  $102\text{--}150$  см и  $151\text{--}180$  см количество гумуса снижается до  $1,87\text{--}0,27\%$  и  $0,15\text{--}0,05\%$ .

Беспозвоночные играют важную роль в обеспечении экосистемных услуг. Большинство почвенных беспозвоночных играют важную роль в круговороте и деградации питательных веществ, питаются мертвыми или разлагающимися остатками растений и животных в почве, расщепляя их и высвобождая питательные вещества из материала в почву, увеличивая содержание органического вещества в почве. (Рис. 1.) По типу питания на этом участке преобладают фитофаги (некоторые виды *Coccinellidae*, *Curculionidae*, *Elateridae*) и фито-сапрофаги (*Tenturiya*) сапрофаги представлены ксерофильными мокрицами (*Isopoda*).





Рис. 1. Группы беспозвоночных в серо-коричневых почвах

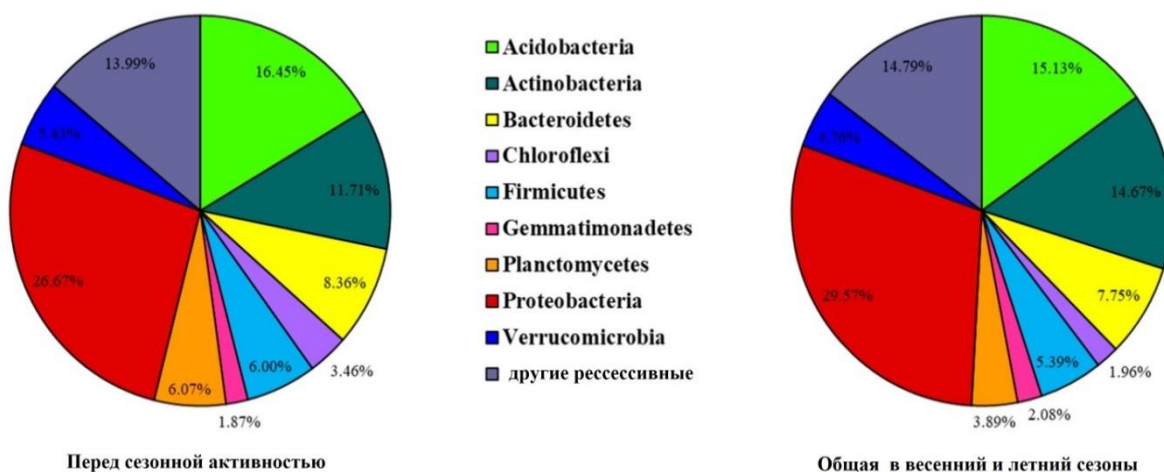


Рисунок 2. Группы микроорганизмов в серо-коричневых почвах

В почвах загрязненных промышленными продуктами, доминируют и преобладают *Aspergillus niger*, *A. vesicolor*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium chrysogenum*, *P. Lanosum*. *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum*, *Mucor globosus* и *Trichoderma harzianum* распространены в качестве доминирующих групп в чистых почвах.

Таблица. Частота встречаемости микроскопических почвенных грибов

Группы разбросаны по разным районам	Частота встречаемости, %
Доминирующие группы	52,4–61,3
Редкие и меньшинства	0,2–7,9
Часто встречающиеся группы	12,6–42,7

Почвенные грибы, такие как *Torula*, *Candida*, *Pichia*, *Aureobasidium*, *Phyllosticta*, *Ascochyta*, *Septoria*, *Sordaria*, *Sporothrix*, *Cladosporium*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Stachybotrys*, *Gliocladium*, *Acremonium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Sphaerotheca*, *Monilia* в аридных экосистемах, в силу своей приспособляемости, наблюдается в современных исследованиях Гейчайского района с широкими ареалами распространения в серо-бурых почвах (табл.).

## Литература

1. Asgarova G.F., Hasanova T.A. 2022. Significance impact of grazing on soil properties in Azerbaijan. Advances in Science and Technology. XLV International Scientific-Practical conference. Research and Publishing Center Actualnost RF., Moscow, Russia, June 15. pp. 12–14.
2. Gilyarov M.S. Accounting for large invertebrates (mesofauna) // In the book. methods of soil zoological research. Moskva. "Science", 1975, pp. 12–29.
3. Hasanova T.A., Mammadova G.I, Yarish A. 2021. Importance of biodiagnostics and irrigation grey-brown soils. Universal Journal of Agricultural Research. Horizon research publishing co. USA, CA. DOI: 10.13189/ujar. 090301 Volume 9, No3. pp. 63–69 [https://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=11006](https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=11006)
4. Nasirova A.İ., Alieva M.M., Mammadova R.N., Hasanova T.A. 2022. Ecological edificators of gray-brown soils in Ganja-Gazakh massif (Azerbaijan). Environment and Ecology Research journal. USA CA. DOI: 10.13189/eer.2022.100307 Volume 10/ Number 3. pp. 120–134 [https://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=12233](https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=12233)
5. Rowell D.L., 1996. Soil Science: methods and applications. Longman, UK. 350 p.

### INFLUENCE OF THE MAIN BIODIAGNOSTIC INDICATORS ON THE PRODUCTIVITY OF AGROCOENOSIS IN GOYCHAY REGION SOILS

T.A. Hasanova

Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Baku, Azerbaijan. Az1073, turkanhesenova@mail.ru

*Summary. As a result of biological studies, invertebrates with different life activities, common in natural cenoses, were identified. Optimal conditions for the life of invertebrates (mesofauna), which positively affect soil fertility, can be created due to agrotechnical measures carried out on farms. Useful soil biota (invertebrates, microbiota) can be protected from negative impacts by using certain chemicals to protect plants growing in agrocenoses from pests. The biological activity and fertility of the soil can be maintained at a stable level by applying modern, progressive, agrotechnical, and irrigation technologies on farms. It is proposed to use biological diagnostic indicators in the biological assessment of gray-brown soils of agricultural importance. Biological studies carried out on gray-brown soils of natural and cotton agrocenoses can be used as biodiagnostic tests in the systematics and classification of gray-brown soils formed in arid ecosystems.*

*Keywords: mesofauna, biological activity, microorganisms, soil fertility.*

УДК 631.5

## ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ЮЖНОГО СКЛОНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Г.А. Гусейнова

Институт почвоведения и агрохимии министерства науки и образования Азербайджана, Баку, [huseynova-gulcohre@mail.ru](mailto:huseynova-gulcohre@mail.ru)

***Аннотация.** Туризм является одним из факторов, положительно влияющих на развитие знаний и способностей, расширение мировоззрения, отдых людей. Природа, ландшафтные комплексы, социальное и экономическое развитие, исторически – культурные связи и другие составляющие туризма дарят людям эстетическое наслаждение, учат любить и беречь природу.*

***Ключевые слова:** туризм, природа, Большой Кавказ, рекреации.*

**Актуальность.** Туризм является одним из самых развивающихся социальных и экономических направлений. Габалинский район обладает своеобразным почвенным и растительным покровом. Общий земельный фонд района составляет 150 тыс. га и очень разнообразен для использования. Особое внимание привлекает чередование зон и ареалов, отличающихся большим разнообразием почвенного и растительного покрова, простирающихся согласно закону вертикальной зональности от низкогорий, граничащих на юге района с Ширванской степью, до Водораздельных хребтов Большого Кавказа [1, 2].

С 1993 г. в бассейнах рек Вандам, Демирапаран, Гамзали, Бум и Гарачай, а также на территории Алван дереси расположен Габалинский государственный природный заказник общей площадью 39 680 га.

**Объект и методика.** Объектом исследования являлись лесные биогеоценозы южного склона Большого Кавказа. Для проведения оценки ландшафтных комплексов южного склона Большого Кавказа с точки зрения экотуризма проводились почвенно-полевые исследования. Работа велась в 3-х направлениях: сбор эмпирических данных, ознакомление с литературными и фондовыми материалами, подготовительный этап полевых исследований [2, 3].

Во время проведения полевых исследований наблюдались изменения ландшафтов на территории Габалинского района. Из-за того, что в этом году засушливый период несколько затянулся, наблюдалось преждевременное пожелтение и опадение листьев деревьев и кустарников.

**Результаты и обсуждения.** Рекреация означает комплекс оздоровительных мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормального самочувствия и работоспособности человека, происходит от латинского «recreation» – восстановление.

Во всем мире посещение участков и объектов так называемой дикой природы или особо охраняемых природных территорий, является одним из самых популярных видов экологического туризма. Среди многообразных аспектов научно-практической деятельности, связанной с организацией экотуров, особое место занимает изучение возникающих в этой связи экологических проблем. В настоящее время лес является универсальной территорией для рекреации, дающей возможность организовать повседневный массовый отдых населения в природных условиях.

В связи тем, что большинство людей предпочитают отдых в лесу, рекреационное влияние оказывается на фитоценоз леса. Рекреация влияет на различные компоненты лесного биоценоза, на травянистый ярус, ярус деревьев, на лесную подстилку, почву и живые организмы. В результате рекреации почва уплотняется, увеличиваются анаэробные процессы, изменяются процессы окисления и восстановления, ухудшается водный режим почв, затрудняется рост корней растений [3, 5].

В лесах Бунут Габалинского района, травянистые растения под лесным покровом не устойчивы к рекреации. В результате рекреации молодые проростки вытаптываются, затем погибают, верхний слой почвы затвердевает, особенно это заметно в участках лесов. Поэтому в Бунутских лесах молодая поросль почти не встречается. В связи с этим выпас скота здесь не желателен, т.к. в этом случае молодые ростки будут поедаться животными, растения будут вытаптываться, а почва затвердеет [4, 5].

В формировании почвенного и растительного покрова значение рельефа очень велико. Он выступает главным фактором в распределении солнечной радиации, осадков и влияет на водный, тепловой, солевой режимы почв, на режим питания, окислительно-восстановительные процессы, на производительность и видовой состав растений. В таблице рассчитаны степень сложности территории, высота, гумус, рН, температура, осадки, рельеф, основанные на собранном материале.

Таблица. Оценка почвенно-экологических критериев Южного склона Большого Кавказа

Степень сложности территории	Рельеф	Высота, м	Гумус, %	рН	Температура, °С	Осадки, мм
Несложный	Равнинный и предгорный	300–500	2,62	7,40	10,4	600–800
Средней сложности	Низкогорно-холмистый	500–600	2,34	7,60	8,5	800–1000
Сложный	Расчлененный средне-горный	500–1500	3,26	7,60	6,5	1000–1200
Очень сложный	Высоко-горное расчлененное плато	1500–2000	3,84	7,30	4,8	1200–1400

На равнинах и предгорных зонах высота составляет 300–500 м, гумус 2,34%, рН 7,4, годовая температура 10,4°С, осадки 600–800 мм. Низкогорные холмистые территории характеризуются высотой 500–600 м, гумус 2,62%, рН 7,6, среднегодовая температура 8,5°С, осадки 800–1000 мм.

**Выводы.** На расчлененном среднегорном участке высота составляет 600–1500 м, гумус 3,26%, рН 7,6, среднегодовая температура 6,5°С, осадки 1000–1200 мм. Расчленённое среднегорное плато имеет высоту 1500–2000 м, гумус составляет 3,84%, рН 7,3, среднегодовая температура 4,8°С, осадки 1200–1400 мм. Основными критериями оценки почвенно-экологического состояния территории приняты особенности рельефа, высота над уровнем моря, реакция среды почв (рН), количество гумуса, среднегодовая температура воздуха и количество осадков.

#### Литература

1. Мамедов Г.Ш. Экологическая оценка почв Азербайджана. Баку, «Элм», 1998. 282 с.
2. Почвенный атлас Азербайджанской Республики. Баку. Изд. Бакин. карт. фабрики, 2007. 102 с.
3. Мамедов Г.Ш., Халилов М.Ю. Экология и охрана окружающей среды. Баку, «Элм», 2005, 879 с.
4. Мамедов Г.Ш., Халилов М.Ю. Экология, окружающая среда и человек. Баку, «Элм», 2006, 607 с.
5. Мамедов Г.Ш., Халилов М.Ю. Леса Азербайджана. Баку, Элм, 2002, 427 с.
6. Гусейнова Г.А. Экологическая оценка лесных почв Южного склона Большого Кавказа. Автор. дисс. канд. биол. наук, Баку, 2007. 19 с.

#### THE INFLUENCE OF RECREATION ON THE VEGETATION COVER OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE GREATER CAUCASUS

G.A. Huseynova

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, huseynova-gulcohre@mail.ru

*Summary. Landscape complexes of the Southern slope of the Greater Caucasus have unique conditions. This region differs in some respects from other mountainous regions of Azerbaijan. Thus, the tourism resources in this region are rich as the tourism potential is high. Such resources include the natural landscape, climatic and agro-climatic factors, vegetation, hydrography, etc. The tourist*



*resources of the region also include landscape exoticism, climatic comfort, and national parks. The use of natural recreational resources can be carried out in several groups. The direction of our research is ecotourism, one of the fastest growing sectors of the tourism industry.*

*Keywords: Greater Caucasus, mountainous, foothill, ecotourism, landscape.*

УДК 631.8.022.3

## **ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРА РОСТА «БИОТРАН» НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ.**

**А.В. Даваев, Б.А. Гольдварг, В.И. Козырчук**

Калмыцкий НИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Республика Калмыкия, Россия,  
davaev.a.v@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются результаты испытания нового кремнеауксинового биостимулятора роста и развития растений «Биотран» на урожайность озимого ячменя в центральной зоне Республики Калмыкия. «Биотран» применяли при обработке семян и внекорневой подкормке. Исследования показали, что использование биостимулятора роста «Биотран», несмотря на различные метеорологические условия, положительно влияет на формирование урожая озимого ячменя

**Ключевые слова:** аридные условия, урожайность, удобрения, эффективность, озимый ячмень.

**Актуальность.** Эффективность применения комплексных мер агрохимии под урожай озимого ячменя в условиях засушливой зоны Юга России доказана многими исследованиями. Вместе с тем, прибавки урожая зерна от тех или иных доз, зависят от большого ряда факторов, среди которых: метеорологические условия, естественное плодородие почвы, расположение в севообороте, способы обработки почвы и другие элементы агротехники. Среди названных условий следует учитывать и реакцию озимого ячменя на улучшение условий питания, т.к. сорта по этому признаку могут быть как интенсивного типа, высоко реагирующие на удобрения, так и экстенсивные, слабо отзываемые на них. В настоящее время на смену сортам, ранее рекомендованным для возделывания, приходят новые, более продуктивные в условиях аридной зоны, как правило, требующие уточнения элементов агротехники. [1, 2]

Исследовали эффективность жидких удобрений, регуляторов роста и др. биопрепаратов в повышении урожайности и качества зерновых культур. Опыты проводились на естественном и удобренном фонах. Обработку семян осуществляют за 2–3 дня до посева, расход рабочей жидкости не должен превышать 10 л на 1 тонну семян. Обработка семян повышает полевую всхожесть на 5–7%, усиливает рост и развитие корневой системы, повышает зимостойкость и засухоустойчивость растений, что в итоге способствует существенному увеличению урожайности. [1, 2]. Внекорневая обработка проводится весной в фазу кущения. В этот период происходит формирование количества зерен в колосе, поэтому растениям необходимо проводить подкормку комплексным удобрением. [1, 2]

**Цели и задачи исследований:** 1. Определить влияние биостимулятора роста «Биотран» на урожайность озимого ячменя на естественном и удобренном агрофонах. 2. Определить экономическую эффективность применения биостимулятора роста «Биотран».

Краткая характеристика биостимулятора роста «Биотран» – новый кремнепротатрановый биостимулятор роста и развития растений. Обладает высокой биологической активностью на протяжении всего вегетационного периода. Оказывает антиоксидантное, адаптогенное и фунгицидное действие. Повышает урожай и качество сельхозпродукции. Защищает растения от накопления нитратов, пестицидов и тяжелых металлов [1, 2].

**Методы и условия проведения исследований.** Исследования проводились на опытном поле, расположенном в 10 км к западу от с.Троицкое, Целинного района, Республики Калмыкия. Почва опытного участка светло- каштановая в комплексе с солонцами. Участок, выровненный с небольшим уклоном с юга на север.

Агротехника, применяемая в опыте – общепринятая в центральной агроклиматической зоне. Из минеральных удобрений согласно схеме опыта применяли аммофос и аммиачную селитру. Предшественник в севообороте для озимого ячменя – чистый пар, основная обработка которого проведена отвальным способом на глубину 18–20 см. Норма высева семян – 2,8 млн всхожих семян. В нашем опыте использовался Кузен – сорт ячменя озимого (*Hordeum vulgare* L.). Включен в Госреестр по Северо-Кавказскому (6) региону. Характеристика сорта: среднеспелый, устойчив к полеганию. Отличается высокой засухоустойчивостью и зимо-, морозостойкостью. Высокоустойчив к поражению пыльной головней и мучнистой росой [1, 2]. Проведена обработка посевов гербицидами для уничтожения сорной растительности в посевах.

Расположение делянок в опытах систематическое в один ряд. Повторность вариантов четырехкратная. Площадь опытной делянки 52,8 м<sup>2</sup> (24м x 2,2 м). Учет урожая осуществляли прямым комбайнированием, сплошным поделяночным методом комбайном «Сампо 500».

**Методики исследований.** Определение динамики влажности почвы по фазам развития растений в слое почвы 0–100 см проводилось термостатно-весовым методом.

Определение агрохимической характеристики почв до посева и динамика накопления подвижного азота и фосфора в течение вегетации растений (ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества, ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки, ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО). Агроклиматические наблюдения – по данным метеопостов с. Троицкое и Верхний Яшкуль.

**Схема опыта.** Для решения поставленных целей и задач проведены полевые и лабораторные исследования в опыте:

1. Контроль (Фон – 1).
2. N<sub>30</sub>P<sub>30</sub> (Фон – 2).
3. Биотран обработка семян 5 г/т.
4. Биотран обработка семян 5 г/т + фон 2.
5. Биотран обработка семян 5 г/т + внекорневая обработка в фазу кущения 7 г/га.
6. Биотран обработка семян 5 г/т + внекорневая обработка в фазу кущения 7 г/га + фон 2.

**Результаты и обсуждение.** Из графика видно, что каждый сельскохозяйственный год отличался метеорологическими условиями от среднемноголетних норм (рис. 1).

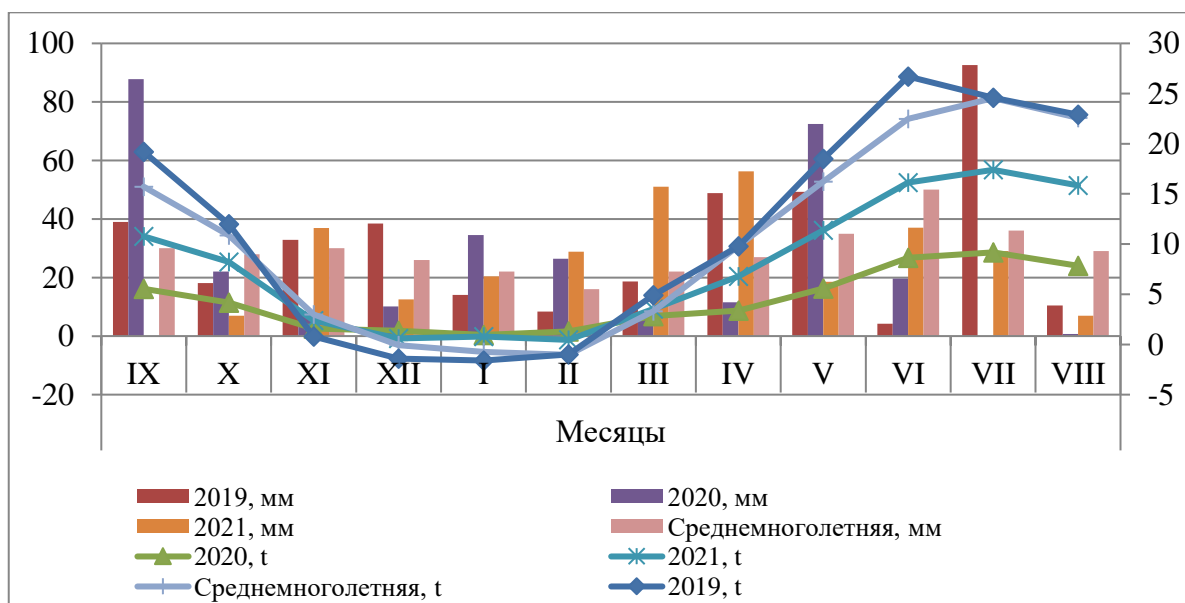


Рисунок 1. Агрометеорологические условия за 2019–2021 гг.

В 2019 году видно, что по количеству осадков (выше среднемноголетнего значения на 24,1 мм) этот год был благоприятней для получения урожая зерновых культур. Среднегодовая

температура воздуха была выше среднемноголетних значений всего на 2<sup>0</sup>С. 2020 год охарактеризовался как неблагоприятный для роста и развития озимых. Средняя температура за год превысила среднемноголетнее значение на 2,7<sup>0</sup>С, а осадки за весь 2020 г были ниже среднемноголетних значений на 52,5 мм. 2021 год, как и предыдущий сельскохозяйственный год, оказался неблагоприятным для роста и развития озимых. В сравнении со среднемноголетними показателями температура воздуха превысила на 9,4<sup>0</sup>С, осадков выпало ниже на 46,6 мм [3].

В наших исследованиях применялась до посевная обработка семян и внекорневая обработка в фазу кущения на естественном и удобренном фоне.

Почвенный анализ перед посевом, показал низкое содержание макро и микроэлементов (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы перед посевом

Показатель	Слой почвы, см	
	0–20	20–40
2019		
рН	8,36	8,52
Гумус, %	1,55	1,35
Валовой фосфор, %	0,078	0,095
Общий азот, %	0,111	0,101
Подвижный фосфор, мг/кг	23,02	14,69
N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	4,7	6,5
N-NH <sub>4</sub> , мг/кг	9,3	7,9
Подвижный K <sub>2</sub> O, мг/кг	350	380
2020		
рН	8,18	8,42
Гумус, %	1,60	1,37
Валовой фосфор, %	0,078	0,095
Общий азот, %	0,111	0,101
Подвижный фосфор, мг/кг	13,90	9,62
N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	3,25	3,28
N-NH <sub>4</sub> , мг/кг	4,1	5,4
Подвижный K <sub>2</sub> O, мг/кг	440	380
2021		
рН	7,68	7,88
Гумус, %	1,57	1,43
Валовой фосфор, %	0,109	0,107
Общий азот, %	0,124	0,129
Подвижный фосфор, мг/кг	13,55	13,39
N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	25,1	22,4
N-NH <sub>4</sub> , мг/кг	11,4	10,7
Подвижный K <sub>2</sub> O, мг/кг	383	378

В девятнадцатом году органического вещества в верхнем слое было равно 1,35% и в слое 20–40 см - 1,55%. Содержание нитратной и аммонийной форм азота составило 14,0 и 14,4 мг/кг почвы, подвижного фосфора имелось всего 23,02 и 14,69 мг/кг. Отмечено увеличение содержания гумуса в 2020 году на 0,25% в пахотном горизонте. Количество нитратной и аммонийной форм азота 0–20 см – 7,35 мг/кг и 20–40 см – 8,68 мг/кг, что составило самый низкий показатель за 3 года исследований, подвижного фосфора в пахотном и подпахотном горизонтах, соответственно, – 13,9 и 9,62 мг/кг. В 2021 году отмечено снижение рН почвы, содержание гумуса по сравнению с 2020 г в слое 0–20 см меньше на 0,03% в слое 20–40 см – больше на 0,06% [4, 5].

Учитывая данные таблицы 1 видно, что рН снизился с 8,36 до 7,68. Содержание гумуса сохранилось. На основании данных, приведенных выше, можно предположить хорошую усвояемость средств агрохимии озимым ячменем.

В 2019 году к моменту посева озимых в поле пара было накоплено 83 мм продуктивной влаги в слое 0–100 см, (рис. 2). Такие показатели говорят о том, что в метровом слое почвы влаги недостаточно, а ее запасы в пахотном горизонте можно охарактеризовать как неудовлетворительные. К началу весенней вегетации растений запас влаги в метровом слое увеличился на 71% и составил 141,9 мм, такие запасы влаги характеризуются как «хорошие». В целом для озимых условия были в пределах нормы, температура была немного выше нормы, а осадки немного превысили среднегодовые показатели [8, 9].

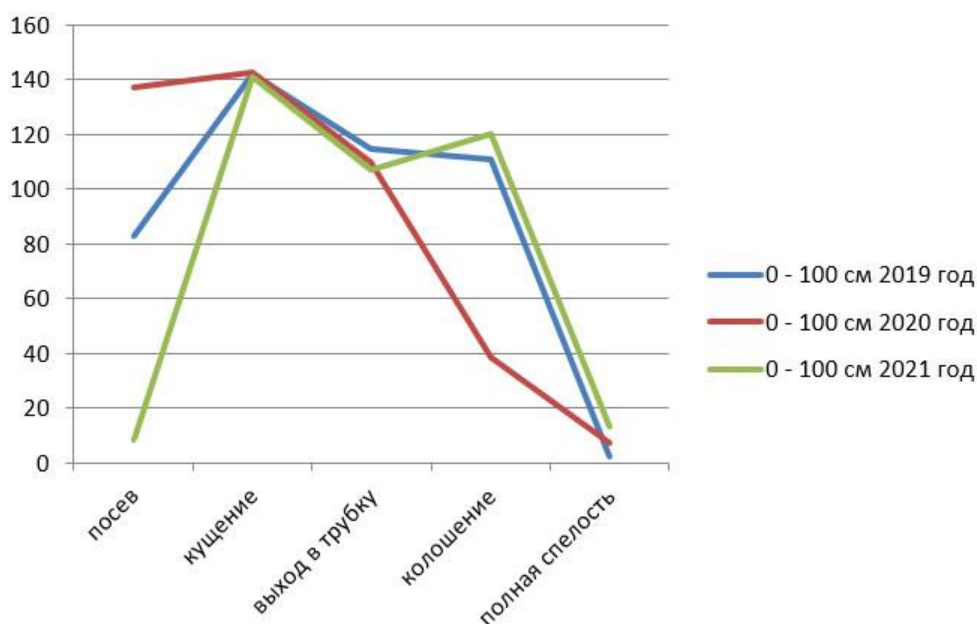


Рисунок 2. Динамика запасов продуктивной влаги за 2019 – 2021 гг., мм.

В 2020 году на момент посева озимых в поле пара было накоплено 137,0 мм продуктивной влаги в слое 0–100 см, (рисунок 2). Такие показатели говорят о том, что в метровом слое почвы влаги достаточно, а ее запасы в пахотном горизонте можно охарактеризовать как удовлетворительные. К началу весенней вегетации растений в метровом слое запас продуктивной влаги увеличился на 4,0% и составил 142,5 мм, такие запасы влаги характеризуются как «хорошие». Из рисунка 2 видно, что, начиная от фазы выхода в трубку и до полной спелости запасы влаги в пахотном горизонте характеризуются как не удовлетворительные [9].

В 2021 году при посеве озимых в поле пара было накоплено 8,3 мм продуктивной влаги в слое 0–100 см продуктивной влаги (рисунок 2). Такие показатели говорят о том, что в метровом слое почвы влаги недостаточно. К началу весенней вегетации растений в метровом слое запас влаги составил 140,9 мм, такие запасы влаги характеризуются как «хорошие». В целом для озимых, за исключением отсутствия осадков на момент посева, условия были в пределах нормы, температура была немного выше нормы, а осадков выпало на 13,28% меньше среднегодовых показателей.

В контрольном варианте за период с 2019–2021 гг. в среднем был получен урожай 2,55 т/га, применение минеральных удобрений в дозе  $N_{30}P_{30}$  обеспечило прибавку в 1,0 т/га или 38,31%. (табл. 2)

На естественном агрофоне (Фон 1) обработка семян биостимулятором «Биотран» в дозе 5 г/т привела к получению прибавок – 0,37 т/га или 14,51%. Добавление внекорневой обработки в дозе 7 г/га увеличило урожай озимого ячменя на 0,34 т/га или 13,33%. Обработка семян и обработка семян с добавлением внекорневой обработки на удобренном фоне (Фон 2) увеличило урожай озимого ячменя на 1,21 и 1,24 т/га или 47,45 и 48,62 % соответственно (табл. 2) [10].



Таблица 2. Урожайность озимого ячменя сорта «Кузен»

Наименование варианта	Урожайность по гг. т/га			Среднее, т/га	К контр олю, т/га	Прибавка от препарата, т/га
	2019	2020	2021			
1. Контроль (Фон – 1)	2,07	4,31	1,28	2,55	-	-
2. N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> (Фон – 2)	3,10	4,93	2,79	3,61	1,06	-
3. Биотран обработка семян 5 г/т	2,13	5,10	1,53	2,92	0,37	0,37
4. Биотран обработка семян 5 г/т + фон 2	3,10	5,23	2,95	3,76	1,21	0,15
5. Биотран обработка семян 5 г/т + внекорневая обработка в фазу кущения 7 г/га	2,25	4,91	1,50	2,89	0,34	0,34
6. Биотран обработка семян 5 г/т + внекорневая обработка в фазу кущения 7 г/га + фон 2	3,06	5,30	3,0	3,79	1,24	0,18
НСР <sub>05</sub>	0,27	0,24	0,37			

**Экономическая эффективность.** Для определения эффективности средств агрохимии была взята средняя урожайность за 3 года исследований и посчитана реализационная выгода. Так, на контроле средняя урожайность – 2,55 т/га. Примерные затраты на производство составляют 9500 руб. на га, стоимость 1 кг зерна в среднем 12 руб. Итого была получена прибыль в размере – 21100,00 руб. Урожайность в варианте 2 составила 3,61 т/га, с учетом затрат на производство и на минеральные удобрения прибыль составила – 30386,6 что больше по отношению к контролю на 9286,6 руб или 44,01%. В варианте с применением биостимулятора роста «Биотран» при обработке семян средняя урожайность – 2,92 т/га, с учетом затрат на производство и биостимулятора «Биотран» прибыль составила – 25190,0 руб., что больше контроля на 4090,0 руб. или 19,38 %. Наибольшая урожайность была в варианте 6, где при использовании «Биотрана» при обработке семян и внекорневой подкормке на удобренном фоне – 3,79 т/га, с учетом затрат прибыль составила 31826,6 руб. по отношению к контрольному варианту 10726,6 руб или 50,84%. [12]

**Выводы.** Использование биостимулятора роста «Биотран» при возделывании озимого ячменя в центральной зоне Республики Калмыкия наиболее эффективно на удобренном фоне, что позволит увеличить урожайность до 48,62 % и получить чистую прибыль более 50% с га.

#### Литература

1. Боктаев М.В. Подбор, оценка озимых культур и создание адаптивных сортов для Республики Калмыкия / Автореферат дисс. ... кандидата сельскохозяйственных наук/ Всерос. науч. исслед. ин-т риса.:. Краснодар, 2016. 22 с.
2. Кулинцев В.В., Чумакова В.В., Кравцов В.В. и др. Сорта и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог/ 10-е изд., доп. Ставрополь: 2020. 168 с.
3. Методические рекомендации проведения осеннего сева. Элиста: «Калмыцкий НИИС им. М.Б. Нармаева» - филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2019. 12 с.
4. Технология применения минеральных удобрений и регуляторов роста под озимую пшеницу в условиях Республики Калмыкия / Калмыцкий НИИСХ; Сост.: А.И. Сорокин, Б.А. Гольдварг, Б.В. Шурганов. Элиста, 2017. 20 с.
5. Шурганов Б.В., Даваев А.В. Влияние жидкого микроудобрения изагри на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях центральной агроклиматической зоны Калмыкии // Аграрная наука. 2019. № 3. С. 38–41.
6. Шурганов Б.В., Сорокин А.И., Музраев В.Н., Тертышная А.Г. Влияние минеральных удобрений на уровень водопотребления посевов озимой пшеницы и ярового ячменя Плодородие. 2018. № 4 (103). С. 16–18.

7. Даваев А.В. Эффективность применения удобрений при возделывании озимого ячменя в аридной зоне / В сборнике: Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса. Сборник материалов / Международной научно-практической конференции. (с. Соленое Займище, 2020). С. 161–167.
8. Гольдварг Б.А., Боктаев М.В., Филиппов Е.Г., Донцова А.А. Экологическое испытание сортов озимого ячменя в условиях Республики Калмыкия // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3 (69). С. 48–51.
9. Сорокин А.И., Гольдварг Б.А., Унканжинов Г.Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы в условиях светло-каштановых почв Калмыкии // Плодородие. 2012. № 4 (67). С. 23–25.
10. Сорокин А.И. Влияние минеральных удобрений на урожай новых сортов озимой пшеницы в аридной зоне Калмыкии // Материалы VIII международной научно-практической конференции (г. Прага, 27 мая - 5 июня 2012 года). Прага, 2012. С. 49–54.
11. Сорокин А.И., Цвденова А.С. Применение регуляторов роста под яровой ячмень на светло-каштановых почвах // Зерновое хозяйство России. 2016, № 1(43). С. 35–38.
12. Сорокин А.И., Гольдварг Б.А., Козырчук В.И. Эффективность использования средств биотехнологии на яровом ячмене // В сборнике: Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. II Международная научно-практическая Интернет-конференция. (с. Соленое Займище, 2017). С. 654–658.

#### THE INFLUENCE OF THE BIOSTIMULATOR OF GROWTH "BIOTRAN" ON THE YIELD OF WINTER BARLEY IN ARID CONDITIONS OF THE CENTRAL ZONE OF THE REPUBLIC OF KALMYKIA.

A.V. Davaev, B.A. Goldvarg, V.I. Kozyrchuk

Kalmyk Research Institute – branch of the FSBI "PAFSC RAS", Republic of Kalmykia, Russia,  
davaev.a.v@mail.ru

*Summary.* This article discusses the results of testing a new silicon-auxin biostimulator of plant growth and development "Biotran" on the yield of winter barley in the central zone of the Republic of Kalmykia. "Biotran" was used in seed treatment and foliar feeding. Studies have shown that the use of the growth biostimulator "Biotran", despite various meteorological conditions, has a positive effect on the formation of the winter barley crop.

*Keywords:* arid conditions, yield, fertilizers, efficiency, winter barley.

УДК 631.84:633.31:633.262:631.84

#### СРОКИ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЛЮЦЕРНУ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.П. Данилов

СибНИИ кормов СФНЦА РАН, Новосибирск, vicdan@list.ru

*Аннотация.* Представлены результаты исследований, проведенных в условиях лесостепной зоны Западной Сибири, по влиянию разных форм азотных удобрений на продуктивность люцерны. Выявлено влияние сроков внесения и доз азотных удобрений на урожайность травостоя люцерны. Приведены характеристики травостоя, биоэнергетическая оценка вариантов опыта, корреляционные связи между основными факторами, влияющими на формирование урожая.

*Ключевые слова:* люцерна, минеральный азот, азотфиксация, удобрение, аммиачная селитра, мочевина, урожайность

При выращивании многолетних бобовых трав на корм огромный практический интерес представляет симбиотическая фиксация атмосферного азота. Азотфиксирующие микроорганизмы находятся в симбиозе с высшими растениями. Фиксированный азот не обеспечивает максимальную потребность люцерны, поэтому малые и средние дозы

минерального азота повышают урожай и накопление в нем азота [1].

Доросинский Л.М. считает, что для своевременного и более активного образования клубеньков, а также раннего начала биологической фиксации азота необходимо, чтобы в почве содержалось 15–20 кг/га доступного минерального азота. По мнению автора, большинство наших почв создает необходимое количество «стартового» азота и при хорошей инокуляции бобовых ризобии не нуждаются в дополнительном его внесении [2].

По другим исследованиям, следует, что клубеньковые бактерии не всегда могут удовлетворить потребность растений в азоте, поэтому для получения высоких урожаев необходимо сочетать применение инокуляции с внесением в почву азотных удобрений [3–7].

Ряд авторов придерживаются мнения, что бобовым необходимы небольшие «стартовые» дозы для роста и развития растений до начала азотфиксации в количествах не более 30 кг/га д.в. [8–12].

По другим результатам, «стартовые» дозы не давали положительных результатов или даже снижали урожай. Делается вывод, что клубеньковые бактерии весьма чувствительны к минеральным удобрениям, внесенным даже в малых количествах. Клубеньки не образуются до тех пор или паразитируют на растении, пока азот удобрений не будет потреблен растениями или закреплен почвой [11, 13, 14].

Имеется ряд работ, свидетельствующих об эффективности внесения под многолетние травы азотных удобрений в норме 40–80 кг/га д.в. [5–7, 15, 16].

Что касается действия разных форм минерального азота на растения, то Петербургский А.В. [17] и Руска М. [18] отмечают явное преимущество аммиачной формы над нитратной. В опытах Гальцевой В.П. [19] на дерново-подзолистых почвах Московской области лучшей формой азота была нитратная. Гамзиков Г.П. указывает на одинаковую эффективность обеих форм азота минеральных удобрений для выщелоченного чернозема на посевах зерновых, льна, картофеля и многолетних трав [20]. В некоторых исследованиях получены одинаковые результаты по урожайности сельскохозяйственных культур от внесения азотных удобрений весной и осенью [21].

По утверждению Вавилова П.П. и Посыпанова Г.С. [22], оптимальный срок подкормки многолетних трав – окончание горизонтального и вертикального стока талых вод, при влажности верхнего слоя почвы, близкой к 100% наименьшей влагоемкости (НВ), но не ниже влажности разрыва капилляров – 65–70% НВ. Исходя из условий Западной Сибири, Гончаров П.Л. [23] рекомендует весеннюю подкормку люцерны из расчета  $N_{45-90}$ , объясняя это особенностями климата. Многие исследователи рекомендуют внесение небольших («стартовых») доз азотных удобрений, способствующих устранению дефицита в азотном питании в период до начала активной азотфиксации. При этом повышается продуктивность растений, а количество фиксированного азота не снижается [24–26].

Таким образом, в научной литературе нет единого мнения о значении минерального азота в питании бобовых культур [27]. Результаты исследований в разных регионах страны показали, что целесообразно сочетание инокуляции с внесением азота 30–60 кг/га. Дальнейшее увеличение доз азота снижает результативность инокуляции, следовательно, подавляет процесс фиксации атмосферного азота.

Цель наших исследований – определить влияние разных форм минерального азота на продуктивность люцерны в зависимости от сроков его внесения на выщелоченных черноземах лесостепной зоны Западной Сибири.

Задачи: 1) установить влияние разных доз минерального азота на урожайность не- и инокулированной люцерны; 2) выявить зависимость урожайности люцерны от «стартовой» дозы минерального азота, внесенной в разные сроки.

Исследования проводились на научно-экспериментальной базе СибНИИ кормов, расположенной в лесостепи Приобья, относящейся к Западно-Сибирскому региону лесостепной зоны страны. Почва опытного участка зональная – чернозем выщелоченный среднесуглинистого гранулометрического состава. По содержанию гумуса (5,55–6,36% в слое 0–40 см) почва относится к среднеобеспеченным. В целом, почва опытного участка по содержанию подвижных форм фосфора и калия относится к почвам среднеобеспеченным этими элементами. Содержание доступных форм азота подвержено большой динамике и

характеризуется от очень низкого до высокого. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной.

Климат континентальный с относительно коротким умеренно-теплым летом и продолжительной холодной зимой. Увлажнение в средние по осадкам годы несколько недостаточное. Среднегодовое количество осадков составляет 386 мм, из них 254 в теплый период года (апрель-сентябрь). Вероятность влажных лет 10–25%, полусухих и засушливых – 40–65%. Самый холодный месяц – январь, со среднемесячной температурой воздуха – 19,6 °С, а самый жаркий – июль (+ 18 °С). Абсолютный минимум температур – 50°С, абсолютный максимум + 37°С. Средняя продолжительность периода с температурами воздуха выше +5°С составляет 158 дней, с 28 апреля по 4 октября. За этот период накапливается 2980°С тепла. За период активной вегетации сумма положительных температур выше +10 °С в среднем равняется 1880°С, с отклонением по годам от 1500°С до 2250°С. Продолжительность безморозного периода 120 дней. Весенние заморозки в воздухе заканчиваются 20 мая (среднегоголетняя дата), на поверхности почвы на 10 дней позже. Гидротермический коэффициент с температурой воздуха выше +10°С равен 1,0.

Погодные условия в годы исследований характеризуются некоторыми отклонениями среднесуточных температур воздуха и осадков от нормы и были благоприятными для роста и развития растений люцерны.

Основными методами при проведении научно-исследовательских работ были полевые опыты в сочетании с лабораторными анализами. При проведении исследований использовались рекомендации ВНИИ кормов им. Вильямса В. Р. и методики полевых опытов под редакцией Молостова А. С., Доспехова Б. А., Никитинко Г. Ф. Изучение штаммов клубеньковых и ассоциативных азотфиксаторов осуществлялось в рамках программы «Интербиоазот», куратором которой является ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии.

Схема опыта «Влияние азотных удобрений на продуктивность не- и инокулированной люцерны».

На каждый вариант со второго года жизни трав наложена схема ежегодного внесения, в начале отрастания люцерны, азотных удобрений (мочевины): 0, 20, 60, 90, 120, 150 кг/га д.в. Нормы азота больше 90 кг/га вносили в два приема – N<sub>90</sub> весной, оставшуюся часть – после первого укоса. Для инокуляции люцерны использовали штамм 18<sup>II</sup>, представленный Центральным Сибирским Ботаническим Садам. Учетная площадь делянки 36 м<sup>2</sup>, размещение их в четыре яруса, повторность вариантов четырехкратная.

Схема опыта «Влияние сроков внесения разных форм азотных удобрений на урожайность неинокулированной люцерны».

Изучали влияние на продуктивность люцерны двух форм азотных удобрений – мочевины и аммиачной селитры, внесенных весной в разные сроки. Норма азота – 30 кг/га д.в.

1. Контроль – без азотных удобрений
2. N<sub>30</sub> в начале отрастания люцерны
3. N<sub>30</sub> в начале ветвления люцерны

Первый срок внесения азотных удобрений приходится в среднем на 25 апреля, второй на 15 мая. Учетная площадь делянки – 49,5 м<sup>2</sup>, расположение их в один ярус, повторность вариантов четырехкратная.

Схема опыта «Влияние сроков внесения азотных удобрений на урожайность инокулированной люцерны».

В опытах изучали влияние на продуктивность люцерны, инокулированной штаммами клубеньковых бактерий 18<sup>II</sup>, нормы азота 30 кг/га, внесенной в два срока: в начале отрастания и начале стеблевания (среднегоголетние даты: 25 апреля и 15 мая). На первой закладке опыта изучали действие мочевины, на второй – аммиачной селитры.

1. Контроль – без азотных удобрений
2. N<sub>30</sub> в начале отрастания
3. N<sub>30</sub> в начале стеблевания

Учетная площадь делянок 37,5–24,8 м<sup>2</sup>, повторность вариантов четырехкратная, размещение делянок в один ярус.

В качестве предшественника использовали однолетние травы – уравнительные посевы



овса. Многолетние травы высевались под покров овса (сорт Сельма – 3,5 млн./га всхожих семян). Покровную культуру в фазе выметывания метелки убирали на зеленый корм. Фосфорные удобрения (240 кг/га д.в. двойного гранулированного суперфосфата) вносили в запас на три года пользования под предпосевную культивацию. Калийные (45 кг/га д.в. хлористого калия) под предпосевную культивацию и ежегодно весной.

Азотные удобрения, предусмотренные схемой опыта, вносили ежегодно весной со второго года жизни трав. Высевали люцерну Тулунскую гибридную, костреч безостый СибНИИСХоз 189. Норма посева люцерны и костреча в чистом виде 15 и 25 кг/га, в смеси – 10 и 6 кг/га всхожих семян соответственно.

Инокуляцию семян проводили в день посева. Уборку покровной культуры и учет урожая зеленой массы многолетних трав проводили в фазу начала цветения люцерны и выметывания метелки костреча.

Результаты исследований.

В первый год пользования, наиболее благоприятный по увлажнению, достоверные прибавки урожая люцерны по отношению к контролю получены при внесении азотных удобрений в нормах: N<sub>20</sub>, N<sub>60</sub>, N<sub>120</sub> (табл. 1).

Между собой у этих норм достоверной разницы в урожайности нет. Отмечаемое повышение урожайности в варианте N<sub>120</sub>, по-видимому, связано со стимулированием люцерны небольшой дозой азота (N<sub>30</sub>), внесенной после первого укоса.

Таблица 1. Урожайность сухой массы люцерны в зависимости от норм азотных удобрений, т/га

Вариант	Год пользования			Среднее	Прибавка	
	1-й	2-й	3-й		т/га	%
Контроль	7,31	9,13	7,19	7,88	-	-
N <sub>20</sub>	8,21	9,02	6,96	8,06	+0,18	2,3
N <sub>60</sub>	8,50	8,76	7,39	8,21	+ 0,33	4,2
N <sub>90</sub>	8,05	8,64	7,33	8,00	+ 0,12	1,5
N <sub>120</sub>	8,50	8,56	7,73	8,26	+ 0,38	4,8
N <sub>150</sub>	8,05	8,01	7,28	7,78	- 0,10	- 1,3
НСР <sub>05</sub>	0,44	0,29	0,38	0,28	-	-

В среднем за три года пользования достоверное повышение урожайности люцерны получено в вариантах N<sub>60</sub> и N<sub>120</sub> – 0,33 и 0,38 т/га сухой массы.

Нормы азота не оказали существенного влияния на биометрические показатели травостоя. Можно только отметить, что при N<sub>120</sub> несколько увеличивается высота растений и масса побега, при нормах азота более 60 кг/га густота стеблестоя была меньше, чем на контрольном варианте. Коэффициент парной корреляции (R), по Сорокину О.Д., между урожаем и высотой растений в среднем за три года составил 0,66.

Количество клубеньков на корнях люцерны в первый год пользования на контроле и варианте с достоверной прибавкой урожая сухой массы (N<sub>20</sub>) составило соответственно: 58 и 37 штук на растение, во второй год – оно было практически одинаково (25 и 26 шт.).

Нормы азота не повлияли на накопление общего азота в люцерне (табл. 2). Соотношение между белковым и общим азотом в люцерне было довольно стабильным по вариантам внесения удобрений, хотя наблюдается некоторое увеличение белкового азота по мере увеличения норм минерального.

По мере увеличения норм азотных удобрений возрастало содержание нитратного азота в зеленой массе растений. Тенденция к увеличению наблюдалась во все годы пользования. В среднем за 3 года концентрация нитратов возрастала от 154 на контроле до 318 мг/кг при N<sub>150</sub>. Предельно допустимая концентрация (200 мг/кг) может быть достигнута уже при 90 кг/га азота.

Таблица 2. Содержание общего азота в сухой массе люцерны, % (среднее из двух укосов)

Вариант	1-й год пользования	2-й год пользования	Среднее	В т. ч. белковый от общего, %
Контроль	3,17	2,77	2,97	62
N <sub>20</sub>	3,70	2,77	2,97	63
N <sub>60</sub>	2,98	2,80	2,89	67
N <sub>90</sub>	3,16	2,80	2,98	73
N <sub>120</sub>	3,15	2,84	2,99	72
N <sub>150</sub>	3,20	2,79	2,99	78

Исследования симбиотической системы позволяли определить методом сравнения с небобовой культурой (кострец безостый), количество фиксированного люцерной азота атмосферы за счет спонтанных клубеньковых бактерий. Оно довольно значительно и составило в среднем за два первых года пользования при нормах азота 0 и 60 кг/га соответственно: 270,8 и 285,0 кг/га.

Биоэнергетическая оценка показала нецелесообразность использования на люцерне азотных удобрений в нормах N<sub>20</sub>, N<sub>60</sub> и особенно N<sub>120</sub>, где затраты на приобретение мочевины и её внесение превысили энергию в прибавке урожая на 10059 МДж/га. Энергетически выгодно вносить минеральный азот в нормах N<sub>20</sub> и N<sub>60</sub> в годы, благоприятные по увлажнению. Коэффициент энергетической эффективности на прибавку урожая при N<sub>20</sub> составил при этом 3,42; при N<sub>60</sub> значительно меньше – 1,52.

Изучалось два срока внесения мочевины на люцерну:

первый – в начале вегетации, когда клубеньковые бактерии из-за низкой температуры почвы не способны усваивать азот атмосферы;

второй – в период активной вегетации при температуре почвы на глубине 20 см 10–12°C.

В среднем за три года достоверное повышение урожайности люцерны отмечено при обоих сроках внесения мочевины. Прибавка от второго срока была близка к достоверной по отношению к первому сроку (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность сухой массы люцерны в зависимости от сроков внесения мочевины, т/га

Вариант	Год пользования			Среднее	П р и б а в к а	
	1-й	2-й	3-й		т/га	%
Контроль	6,76	5,25	10,58	7,53	-	-
N <sub>30</sub> - 1 срок	6,84	5,20	11,61	7,88	+0,35	4,6
N <sub>30</sub> - 2 срок	7,20	5,19	11,83	8,07	+0,54	7,2
НСР <sub>05</sub>	0,38	0,26	0,43	0,22	-	-

В среднем за три года пользования мочевина обеспечила прибавку урожая при первом сроке внесения за счет увеличения высоты растений и массы зеленого побега, при втором – за счет формирования более густого травостоя, особенно в первый год пользования. Мочевина в обоих сроках внесения не оказала существенного влияния на изменение содержания общего азота в растениях люцерны.

Биоэнергетическая оценка выявила нецелесообразность внесения мочевины в начале отрастания люцерны, при втором сроке количество энергии в прибавке урожая превысило затраты на приобретение и внесение мочевины на 1602 МДж/га. Коэффициент энергетической эффективности прибавки составил 1,45.

Достоверная прибавка урожая от второго срока внесения аммиачной селитры в среднем за три года пользования составила 0,51 т/га сухой массы (табл. 4).

Увеличение урожайности люцерны при втором сроке внесения селитры обуславливалось несколько большей густотой стеблестоя. Коэффициент корреляции (R) – 0,60. Прослеживается тенденция к увеличению содержания общего азота в люцерне при внесении селитры.

Таблица 4. Урожайность сухой массы люцерны в зависимости от сроков внесения аммиачной селитры, т/га

Вариант	Год пользования			Среднее	П р и б а в к а	
	1-й	2-й	3-й		т/га	%
Контроль	6,76	5,25	10,58	7,53	-	-
N <sub>30</sub> - 1 срок	7,12	5,01	10,35	7,48	-0,94	-0,5
N <sub>30</sub> - 2 срок	7,02	5,75	11,35	8,04	+0,51	6,8
НСР <sub>05</sub>	0,38	0,26	0,43	0,22	-	-

Так же, как и в предыдущем опыте, при отсутствии осадков наблюдалось снижение симбиотической активности. Количество клубеньков на одном растении люцерны по вариантам опыта в первый год пользования составило: 67, 55, 58 шт. Во второй соответственно: 65, 146, 105 шт. Нитрогеназная активность одного клубенька составила соответственно: 0,14, 0,71, 0,41 и 0,18, 0,31, 0,29 нмоль/мин.

Биоэнергетическая оценка также показала эффективность внесения аммиачной селитры спустя 20 дней после начала вегетационного периода люцерны. Коэффициент энергетической эффективности равнялся 1,30.

**Выводы.** 1. Достоверное повышение урожайности инокулированной люцерны достигается при внесении азотных удобрений в нормах 60 и 120 кг/га д.в. Прибавки урожая в среднем за 3 года пользования составили соответственно 0,33 и 0,38 т/га сухой массы. Однако биоэнергетическая оценка показывает нецелесообразность использования минерального азота в этих нормах. Энергетически выгодно вносить в годы, благоприятные по увлажнению, азот в норме N<sub>20</sub>.

2. Урожайность инокулированной люцерны повышается при внесении азотных удобрений в нормах от N<sub>20</sub> до N<sub>150</sub>. Прибавки урожая в среднем за 3 года пользования составили 0,42–0,81 т/га сухой массы. На варианте N<sub>120</sub> прибавка достоверна по отношению к другим вариантам с внесением азота. Биоэнергетическая оценка показывает превышение затрат энергии при использовании азотных удобрений над энергией, составляющей прибавку урожая. Исключение – вариант с внесением N<sub>20</sub>.

3. Количество биологически связанного люцерной азота в среднем за 2 года составило 270,8 кг/га. Внесение минерального азота в норме 60 кг/га увеличило его накопление на 24,2 кг/га. Инокуляция усилила этот процесс. Дополнительное количество биологически связанного азота составило: на контроле – 25,8, при внесении N<sub>60</sub> – 26,8 кг/га.

4. Оптимальный срок внесения «стартовой» дозы мочевины и аммиачной селитры (N<sub>30</sub>) на не- и инокулированную люцерну – в фазу ее ветвления, что в условиях лесостепи Западной Сибири соответствует 15–17 мая. Прибавка урожая сухой массы по отношению к традиционно рекомендуемому сроку «начало вегетации» составила на инокулированной люцерне: от мочевины – 0,19; аммиачной селитры – 0,55; на инокулированной соответственно 1,03 и 0,23 т/га сухой массы.

#### Литература

- Bell F., Nutman P.S. Experiments on nitrogen fixation by nodulated lucerne // Plant and soil. 1971. Spec. Vol. p. 231–264.
- Доросинский Л. М. Клубеньковые бактерии и нитрагин. Л.: Колос, 1970. 190 с.
- Посыпанов Г. С. Об условиях бобово-ризобияльного симбиоза и его роли в формировании урожая бобовых культур // Изв. ТСХА. 1972. Вып. 3. С. 28–37.
- Посыпанов Г. С. Особенности расчета доз удобрений под зернобобовые культуры // Изв. ТСХА. 1977. Вып. 5. С. 63–69.
- Гукова М.М. Особенности питания бобовых растений свободным и связанным азотом: Автореф. дис... докт. с.-х. наук. М., 1974. 36 с.
- Шевчук В.Е. Удобрение бобовых культур в Восточной Сибири. Иркутск: Вост. Сиб. кн. изд-во, 1977. 224 с.
- Шевчук В.Е. Бобовые культуры и почвенное плодородие. Ир-кутск: Вост. Сиб. кн. изд-во, 1979. 100 с.

8. Левцова О.О. О влиянии нитрагина на урожай зеленой массы люцерны // Сб. науч. тр. АНИИЗиС. Барнаул, 1977. С. 116–119.
9. Намятов М.А. Применение азота на люцерне // Вклад молодых ученых и специалистов в развитие сельскохозяйственного производства в честь 60-летия рождения ВЛКСМ. Тюмень, 1978. С. 171–172.
10. Трепачев Е. П., Човжик А. Д., Спивак З. К. Исследование действия возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав и последующих культур севооборота на дерново-подзолистой почве / Сообщение: Реакция многолетних бобовых трав и их смесей со злаками на возрастающие дозы азотных удобрений // Агрохимия. 1980. № 10. С. 72.
11. Бирюкович А.В. Влияние азотной подкормки на урожай сена люцерны на эродированной дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 1983. № 7. С. 25–28.
12. Базилинская М. В. Программированное возделывание кормовых культур // Земледелие. 1984. № 9. С. 43–45.
13. Веденякина Н.С., Колесниченко Г.С., Сухой В.А. Симбиотическая азотфиксация и ценность люцерны как предшественника под озимую пшеницу // 6-й съезд Всесоюзного микробиологического общества «На главных путях научно-технического прогресса». Рига, 1980. Т. 5. С. 32.
14. Коць С.Я., Ничик М.М., Старченков Е.П. Влияние возрастающих доз азота на интенсивность азотфиксации, усвоение азота и продуктивность люцерны // Агрохимия. 1990. № 6. С. 11–17.
15. Угай Т.Г., Блинков Г.Н. Об эффективности нитрагинизации люцерны при наличии и отсутствии ее спонтанных клубеньковых бактерий // Симбиотические азотфиксаторы в условиях Томской области и их значение в земледелии. Томск, 1978. С. 12–30.
16. Намятов М. А. Применение азота на люцерне// Вклад молодых ученых и специалистов в развитие сельскохозяйственного производства в честь 60-летия рождения ВЛКСМ. Тюмень, 1978. С. 171–172.
17. Петербургский А. В. Агрохимия комплексных удобрений. М.: Наука, 1975. С. 232.
18. Rucka M. Nhojenic lucerny statey v Daviahon vuch podmienkach. Rostl vyroba. 1980.
19. Гальцева В. П. Использование азотных удобрений, внесенных в различных дозах // Бюлл. ВИЦА. 1975. № 20. С. 11–19.
20. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири.: М.: Наука, 1981. 256 с.
21. Сильченко Н. Ф. Влияние удобрений на урожай кормовую ценность люцерны и костреца безостого в Приобской лесостепи Алтайского края: Автореф. дисс... канд. с.-х. н. Новосибирск, 1970. 18 с.
22. Вавилов П.П., Посыпанов Г.С. Бобовые культуры и проблема растительного белка. М.: Россельхозиздат, 1983. 256 с.
23. Гончаров П.Л. Люцерна в Восточной Сибири. Иркутск: Сиб. кн. изд-во, 1975. 232 с.
24. Федоров М.В., Подъяпольская В.П. Влияние условий выращивания бобовых растений на образование клубеньков и урожай растений // Докл. АН СССР. 1951. Т. 77. № 1. С. 121.
25. Моторин И. И. Влияние минеральных удобрений на урожай люцерны // Вопросы химизации земледелия. Иркутск, 1972. С. 83–88.
26. Лапинскас Э.Б. Влияние сочетания инокуляции клубеньковыми бактериями и минерального азота на урожай клевера красного и ячменя (в последствии) // Бюлл. ВНИИСХМ. 1978. № 19. Вып. 2. С. 24–27.
27. Афанасьева Л.М., Доросинский Л.М., Кожемяков А.П. О целесообразности использования азота при возделывании бобовых культур // Сельскохозяйственная биология. 1983. № 4. С. 6–8.

TERMS OF APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS TO LUCERN IN THE  
CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF WESTERN SIBERIA

V.P. Danilov

Siberian Research Institute of Feeds, Siberian Federal Research Center of the Russian  
Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, vicdan@list.ru



*Summary. The results of studies carried out in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia on the effect of various forms of nitrogen fertilizers on the productivity of alfalfa are presented. The influence of the terms of application and doses of nitrogen fertilizers on the yield of alfalfa herbage was revealed. The characteristics of the herbage, bioenergetic evaluation of the variants of the experiment, correlations between the main factors influencing the formation of the crop are given.*

*Keywords: alfalfa, mineral nitrogen, nitrogen fixation, fertilizer, ammonium nitrate, urea, productivity fertilizer.*

УДК 631.416.9

## **ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ПОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ УГОДЬЯМИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

**Т.В. Дегтярева**

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, dtb.70@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности формирования микроэлементного состава почв лесостепных ландшафтов Ставропольского края при их сельскохозяйственном использовании. Интенсивное задействование почв в сельскохозяйственном производстве приводит к возникновению целого ряда нарушений естественных процессов развития системы почвенных соединений микроэлементов. Установлено, что меняются циклы поступления органических остатков в почвы, усиливаются процессы карбонатизации и ощелачивания, происходит смена сообщества почвенных микроорганизмов. Все это способствует определенной трансформации микроэлементного состава почв сельскохозяйственных угодий по сравнению с почвами целинных участков лесостепных ландшафтов.

**Ключевые слова:** микроэлементы, черноземы типичные, сельскохозяйственное использование, трансформация.

**Актуальность.** Ставропольский край представляет собой важнейший сельскохозяйственный регион на Северном Кавказе. Большие площади почв подвержены сельскохозяйственному использованию и испытывают антропогенную нагрузку при этом. Происходит изменение процессов естественного поступления и преобразования органических остатков в почве, усиливается потеря влаги в результате сельскохозяйственной обработки, вносятся ростовые стимуляторы, удобрения, гербициды, пестициды. Механизированная обработка почв влияет на качество структуры, условия существования почвенной микрофлоры. Все это определенным образом сказывается на формировании системы почвенных соединений микроэлементов, приводя их к трансформации. Цель исследования – определить особенности формирования микроэлементного состава почв сельскохозяйственных угодий Ставропольского края на примере черноземов типичных Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являются почвы сельскохозяйственных угодий лесостепных ландшафтов Ставропольского края. Изучены почвы Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей, выделяемого В.А. Шальневым [1] в центральной части Ставропольской возвышенности.

Основным методическим приемом исследования стало заложение почвенных разрезов в пределах морфологических единиц ландшафта в условиях естественной (целинной) степи и почвенное опробование с помощью бура в условиях пашни. Отобранные образцы (согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017) в лабораторных условиях анализировались на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd), при этом валовые формы определялись методом рентгенфлуоресцентной спектрометрии, а подвижные (обменные) формы - с помощью экстракции ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8) при соотношении почва:раствор 1:5 [2]. Также определялись: рН водной вытяжки методом потенциометрии (ГОСТ 26423-85), содержание гумуса методом мокрого озоления по И.В.Тюнину (ГОСТ

26213-91), гранулометрический состав на лазерном анализаторе размера частиц Analysette 22. Статистическая обработка результатов проведена в программе Excel.

**Обсуждение результатов.** Центральная часть Ставропольской возвышенности представляет собой полого-волнистую платообразную поверхность, разделяемую речными долинами на отдельные блоки. В почвенном покрове преобладают черноземы выщелоченные и типичные на открытых степных участках, темно-серые лесные почвы и черноземы деградированные под лесными массивами [3]. В сельскохозяйственном производстве задействованы относительно выровненные территории, которые достаточно интенсивно используются под выращивание важнейших культур.

На территории Ташлянского ландшафта преимущественное развитие в структуре почвенного покрова имеют черноземы типичные среднесуглинистые и тяжелосуглинистые на карбонатных лессовидных суглинках. Изучение целинных почв проводилось в пределах морфологических единиц ландшафта: плакора верхнесарматской поверхности выравнивания, эрозионно-аккумулятивной равнины акчагыльской поверхности выравнивания и днища речной долины. Установлены следующие показатели основных исследуемых параметров почв (табл. 1).

Таблица 1. Свойства и содержание микроэлементов в черноземе типичном на целине в основных морфологических единицах Ташлянского ландшафта

Место заложения разреза	Гумус, %	рН водн.	Физ. глина <0,01мм, %	Содержание микроэлементов ± погрешность, мг/кг (в числителе – валовые формы, в знаменателе – обменные)			
				Cu	Zn	Pb	Cd
Плакор	2,24	6,87	39,8	$\frac{23,4 \pm 2,3}{0,56 \pm 0,2}$	$\frac{66,8 \pm 6,6}{2,03 \pm 0,1}$	$\frac{29,5 \pm 2,9}{1,46 \pm 0,1}$	$\frac{0,47 \pm 0,04}{0,10 \pm 0,01}$
Эрозионно-аккумулятивная равнина	2,98	6,72	41,5	$\frac{27,1 \pm 2,7}{0,59 \pm 0,2}$	$\frac{61,4 \pm 6,1}{1,54 \pm 0,1}$	$\frac{31,6 \pm 3,1}{1,54 \pm 0,1}$	$\frac{0,48 \pm 0,04}{0,11 \pm 0,01}$
Днище речной долины	3,44	7,08	49,7	$\frac{27,9 \pm 2,7}{0,61 \pm 0,1}$	$\frac{75,4 \pm 7,5}{1,12 \pm 0,1}$	$\frac{32,8 \pm 3,2}{1,52 \pm 0,1}$	$\frac{0,51 \pm 0,05}{0,13 \pm 0,01}$

На основании данных таблицы 1 видно, что для почв плакорных участков верхнесарматской поверхности выравнивания характерна нейтральная реакция среды (рН 6,87), среднесуглинистый гранулометрический состав почв, содержание гумуса составляет 2,24%. В почвах эрозионно-аккумулятивной равнины акчагыльской поверхности выравнивания также сохраняется нейтральная реакция среды (рН 6,72) и среднесуглинистый гранулометрический состав. Для почв днища речной долины свойственно увеличение содержания гумуса (3,34%) и утяжеление гранулометрического состава до тяжелосуглинистого. В распределении валовых форм микроэлементов можно отметить тенденцию к увеличению концентрации Cu, Zn и Pb в почвах днища речной долины по сравнению с плакорными территориями. Подвижные формы микроэлементов распределены относительно равномерно в почвах Ташлянского ландшафта.

Изучение почв сельскохозяйственных угодий в аналогичных морфологических единицах Ташлянского ландшафта показало некоторые отличия по рассматриваемым параметрам почв (табл. 2). В первую очередь налицо увеличение рН в гумусовых горизонтах обрабатываемых почв в среднем на 0,3 единиц. Содержание гумуса несколько снижается в почвах всех изученных морфологических единиц Ташлянского ландшафта, при этом снижение более интенсивное на плакорных участках верхнесарматской поверхности выравнивания (на 0,22%), чем в почвах сельскохозяйственных угодий днища речной долины (на 0,10%). В распределении валовых форм микроэлементов в обрабатываемых почвах также обнаруживаются определенные изменения: на плакорных поверхностях увеличиваются содержание Cu и Pb, меньше становятся концентрации Zn и Cd. В почвах пашни эрозионно-аккумулятивной равнины меньше содержание Zn и Pb, несколько увеличивается

концентрация Cu. Для почв пашни днища речной долины характерным является увеличение содержания Cu, Zn и Cd.

Подвижные формы микроэлементы в почвах сельскохозяйственных угодий Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей в целом изменяются более дифференцированно в зависимости от содержания гумуса. Их концентрации уменьшается на плакорных участках верхнесарматской поверхности выравнивания с большей интенсивностью, чем в днище речной долины.

Таблица 2. Свойства и содержание микроэлементов в черноземе типичном на пашне в основных морфологических единицах Ташлянского ландшафта

Место заложения разреза	Гумус, %	рН водн.	Физ. глина <0,01мм, %	Содержание микроэлементов ± погрешность, мг/кг (в числителе – валовые формы, в знаменателе – обменные)			
				Cu	Zn	Pb	Cd
Плакор	2,02	7,11	39,2	$\frac{25,9 \pm 2,5}{0,44 \pm 0,4}$	$\frac{61,2 \pm 6,2}{1,86 \pm 0,1}$	$\frac{32,5 \pm 3,2}{1,36 \pm 0,1}$	$\frac{0,41 \pm 0,04}{0,10 \pm 0,01}$
Эрозионно-аккумулятивная равнина	2,84	7,02	42,6	$\frac{29,1 \pm 2,9}{0,58 \pm 0,2}$	$\frac{58,4 \pm 5,8}{1,53 \pm 0,1}$	$\frac{26,6 \pm 2,6}{1,57 \pm 0,1}$	$\frac{0,47 \pm 0,04}{0,12 \pm 0,01}$
Днище речной долины	3,34	7,29	49,2	$\frac{30,9 \pm 3,0}{0,69 \pm 0,1}$	$\frac{79,8 \pm 7,9}{1,14 \pm 0,1}$	$\frac{33,8 \pm 3,3}{1,54 \pm 0,1}$	$\frac{0,61 \pm 0,05}{0,13 \pm 0,01}$

Анализируя причины выявленных различий между целинными и обрабатываемыми с помощью сельскохозяйственных агротехнологий почвами Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей необходимо отметить несколько аспектов. В ходе сельскохозяйственного использования почв происходит существенная трансформация многих сторон почвообразовательного процесса. Меняется цикличность попадания органических остатков в почвы: в естественном (целинном) состоянии органические остатки преимущественно поступают в почву в осенний период, проходя все этапы преобразования до гумусовых соединений к началу заморозков, после которых в почве начинаются процессы консервации органических соединений вплоть до времени нарастания положительных температур в весенний период. При сельскохозяйственном использовании почвы большей частью лишаются органических остатков культурных растений или их попадает незначительное количество. Очень часто почвы сельскохозяйственных угодий в осенне-зимний период входят без органических остатков, что естественным образом вызывает их постепенную дегумификацию. Большое количество проводимых технологических обработок почв способствует изменению их физического состояния (уплотнение глинистых почв, распыление структуры карбонатных почв), что в свою очередь меняет условия существования почвенных микроорганизмов. Происходит смена сообществ почвенной микробиоты, обусловленная происходящими в сельскохозяйственных почвах изменениями [4].

Для почв Ставропольского края установлены процессы увеличения карбонатности и подщелачивания в результате длительного сельскохозяйственного использования, неуклонной дегумификации [5]. Количество подвижных форм микроэлементов, по данным А.И. Подколзина и др. [6], находится в зависимости от возможности сельхозпроизводителей постоянно восполнять их потери с урожаем в почвах. Таким образом, почвы Ставропольского края при сельскохозяйственном возделывании претерпевают целый ряд существенных изменений, что, несомненно, влияет на формирование системы почвенных соединений микроэлементов. Можно предположить, что дегумификация почв обуславливает уменьшение емкости биогеохимического барьера для микроэлементов в пахотных горизонтах, происходит переход микроэлементов из состава органо-минеральных комплексов в состав карбонатных соединений. Подвижные соединения микроэлементов интенсивно используются

сельскохозяйственными культурами и при отсутствии их восполнения с удобрениями почвы ощутимо обедняются этими формами микроэлементов.

**Заключение.** Проведенное исследование микроэлементного состава почв Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей в естественном состоянии и в условиях сельскохозяйственного использования показало определенную трансформацию в распределении концентраций микроэлементов в пределах морфологических единиц ландшафта. Изменения, которые вносит сельскохозяйственное воздействие в почвенные процессы и в сами почвы, неизбежно находят отражение в особенностях формирования системы почвенных соединений микроэлементов. Учет и изучение специфики трансформации микроэлементного состава почв при их сельскохозяйственном использовании являются важным элементом мониторинга и восстановления их плодородия.

#### Литература

1. Шальнев В.А. Эволюция ландшафтов Северного Кавказа. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2007. 310 с.
2. Садовникова Л.К. Использование почвенных вытяжек при изучении соединений тяжелых металлов // Химия в сельском хозяйстве. 1997. № 2. С. 37–40.
3. Антыков А.Я., Стомарев А.Я. Почвы Ставрополья и их плодородие. Ставрополь: Ставропольское кн. изд., 1970. 80 с.
4. Фаизова В.И. Изменение состояния и микробиологических показателей черноземов Центрального Предкавказья при сельскохозяйственном использовании: дис. д-ра с.-х. наук: 03.02.13 / Фаизова Вера Ивановна. Ставрополь, 2016. 469 с.
5. Куприченко М.Т. Земельные ресурсы Ставрополья и их плодородие / М.Т. Куприченко, Т.Н. Антонова, Н.Ф. Симбирев и др. Ставрополь, 2002. 320 с.
6. Подколзин А.И., Демкин В.И., Бурлай А.В. Микроэлементы в земледелии юга России. Ставрополь: Изд-во СКТ, 2002. 336 с.

#### FORMATION OF THE MICROELEMENT COMPOSITION OF SOILS UNDER AGRICULTURAL LAND IN THE STAVROPOL TERRITORY

T.V. Degtyareva

North Caucasian Federal University, Stavropol, dtb.70@mail.ru

*Summary.* The article discusses the features of the formation of the microelement composition of soils in the forest-steppe landscapes of the Stavropol Territory during their agricultural use. The intensive use of soils in agricultural production leads to a number of disturbances in the natural processes of development of the system of soil microelement compounds. It has been established that the cycles of organic residues entering the soil are changing, the processes of carbonatization and alkalization are intensifying, and the community of soil microorganisms is changing. All this contributes to a certain transformation of the microelement composition of agricultural soils in comparison with the soils of virgin areas of forest-steppe landscapes.

*Keywords:* trace elements, typical chernozems, agricultural use, transformation.

УДК 631.452

#### ОЦЕНКА СВОЙСТВ ЗАЛЕЖИ КАК ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

С.Л. Добрянская

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, slb85@bk.ru

*Аннотация.* В работе показано, что оставление пашни в залежь способствует постепенному восстановлению гумусового состояния, улучшению агрофизических свойств почвы. На основе проведенного анализа выявлено, что залежные земли Новосибирского Приобья перспективны для эффективного осуществления органического производства. **Ключевые слова:** залежь, плодородие, органическое земледелие, морфологические признаки, гумус, плотность, агрегатное состояние, структура.



В современных условиях ведение интенсивного сельскохозяйственного производства важным критерием является не только высокий объём производимой продукции, но и сохранность природного потенциала земельных ресурсов. Несомненно, залежные земли играют значимую роль при переходе сельскохозяйственных организаций к производству органической продукции [1, 2]. Восстановление природной растительности при переводе пашни в залежное состояние происходит последовательно. Изменения растительного состава на залежных почвах сопровождаются трансформацией основных свойств и режимов почвы. Поэтому изучение вопросов экологических приемов восстановления почвенно-растительной системы является весьма актуальной темой.

Для оценки современных тенденций изменения свойств чернозёма выщелоченного были заложены почвенные разрезы, из которых отобраны образцы для анализов на следующих вариантах: залежь 20 лет, пашня – полевой севооборот. Залежь 20-летнего возраста представлена такими видами злаков, как костер безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), а также разнотравьем – одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg s.l.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.).

Все сравниваемые объекты находятся на незначительном удалении друг от друга и сформированы в идентичных условиях почвообразования.

Сравнительная оценка морфологических признаков показала, что гумусовые профили чернозёмов отражают специфику современного почвообразования. Изменения степени гумусированности при различной антропогенной нагрузке легко обнаруживаются. В залежном варианте чернозёма хорошо развит гумусовый профиль (горизонт А – 45 см), снижение содержания гумуса по профилю постепенное, переход горизонтов плавный, что характерно для данного типа почв. Что касается старопахотного варианта, то профильное распределение гумуса существенно меняется. В полевом севообороте снижение содержания гумуса сопровождается равномерным темно-серым оттенком гумусовой прокраски до глубины 40 см. Переход гумусово-аккумулятивного горизонта в нижележащий заметный, в виде языков и клиньев по трещинам замерзания и усыхания. Горизонт затеков В по мощности и форме гумусовых затеков различен. На пашне мощность горизонта В составляет в среднем 30 см и форма гумусовых затеков языковатая. На залежи мощность горизонта В увеличивается и при этом затеки проникают на большую глубину.

Как показывают результаты исследований, для чернозёма в залежном статусе характерны довольно высокие и стабильные запасы гумуса (в слое 0...50 см до 300 т/га). При распахивании и вовлечении в систематическую обработку уменьшается поступление в почву биомассы возделываемых сельскохозяйственных культур, поскольку большая ее часть отчуждается с урожаем. Происходит преобладание процессов минерализации органического вещества над гумификацией, что приводит к неизбежным потерям гумуса [2]. Выведение чернозёмов из активного агротехнического использования привело к накоплению в почвах органического вещества.

При проведении исследований на залежи в слое 0–10 см плотность почвы составила 1,28 г/см<sup>3</sup>, причем в первые годы после перевода пашни в залежь наблюдается существенное уплотнение, затем за счет корневой системы трав происходит снижение плотности.

Прекращение антропогенного воздействия и зарастание бывших сельскохозяйственных почв естественной растительностью приводит к изменению их структурно-агрегатного состояния. При длительном сельскохозяйственном использовании чернозёма выщелоченного наметилась тенденция деградации физических свойств, которая проявилась в увеличении глыбистости и распыленности. В соответствии с ростом глыбистости отмечено уменьшение агрономически ценных агрегатов. Максимальному разрушению подверглись наиболее ценные агрегаты размером 1–3 мм, их содержание уменьшилось на 28 %. Почва зерно - пропашного севооборота значительно отличается от почвы залежного участка возрастанием глыбистой фракции до 40% и микроагрегатов менее 0,25 мм до 35%. Ухудшение структурного состояния обусловлено как механическим разрушением агрегатов под воздействием сельскохозяйственной техники, так и значительным уменьшением количества гумуса с 7,5 до 6,2%. В микроагрегатом составе значительно преобладают крупные фракции (более 0,01 мм), что следует отнести к благоприятному агрофизическому качеству, поскольку при такой

микроагрегированности даже в профиле старопахотных чернозёмов создаются оптимальные водно-воздушные условия для аэробного режима, окислительных реакций и хорошего развития корневой системы растений.

Результаты проведенных исследований показали, что длительное сельскохозяйственное использование чернозёмов приводит к агрогенной деградации гумуса. Оставление пашни в залежь способствует постепенному восстановлению гумусового состояния. Полученные данные по содержанию гумуса старопахотных чернозёмов свидетельствуют о необходимости поступления компенсационных доз органического вещества в почву. Изъятие земель из сельскохозяйственного использования приводит к постепенному восстановлению их естественной структуры и улучшению агрономических свойств почвы.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-1129.2022.2.

#### Литература

1. Воронкова О.Ю. Эколого-экономические перспективы вовлечения в сельскохозяйственный оборот залежных и неиспользуемых земельных ресурсов Алтайского края // Агропродовольственная политика России. 2014. №7. С. 12–16.
2. Добрянская С.Л., Петухова М.С. Органическое земледелие как одно из приоритетных направлений устойчивого развития сельского хозяйства Новосибирской области // Международный сельскохозяйственный журнал, 2022. № 2 (386). С. 129–133
3. Добрянская С.Л. Агрогенная трансформация гумусового состояния чернозёма выщелоченного Новосибирского Приобья // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Материалы VII Международной научной конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. С. 220–223.

#### ASSESSMENT OF FALLOWER PROPERTIES AS A POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF ORGANIC FARMING

S.L. Dobryanskaya

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, slb85@bk.ru

*Summary.* The paper shows that leaving arable land in fallow land contributes to the gradual restoration of the humus state, improves the agrophysical properties of the soil. Based on the analysis, it was revealed that the fallow lands of the Novosibirsk Ob region are promising for the effective implementation of organic production.

*Keywords:* fallow, fertility, organic farming, morphological features, humus, density, state of aggregation, structure.

УДК 631.45

## ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЦЕЛИННЫХ И ПАХОТНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Н.Е. Завьялова

«Пермский НИИСХ» - филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, с. Лобаново, Пермский край, Россия, nezavyalova@gmail.com

**Аннотация.** В длительном стационарном опыте 1968 года закладки изучено содержание и качественный состав органического вещества ( $C_{орг}$ ) пахотной дерново-подзолистой почвы при длительном применении различных систем удобрения и проведено сравнение с целинной почвой под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом. Для пахотных дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья установлен минимальный уровень гумуса ( $C_{min}$ ), равный  $0,78 \pm 0,01\%$  органического углерода и максимальный –  $1,50 \pm 0,12\%$  С при органо-минеральной системе удобрения; в условиях естественного гумусообразования (злаково-разнотравный луг) –  $1,25 \pm 0,03\%$  С. Внесение минеральных удобрений в дозе НРК эквивалентно 20 т/га навоза способствовало поддержанию органического углерода в почве на исходном уровне ( $1,31$ – $1,35\%$ ). В вариантах навоз 10 и 20 т/га в год, навоз 5 и 10 т/га в год + НРК эквивалентно навозу отмечено повышение запасов  $C_{орг}$  в слое 0–40 на 8–13 т/га (на 20–30%). В варианте без удобрений за 6 ротаций севооборота запасы органического углерода в пахотном слое почвы (0–20 см) снизились на 5,0 т/га.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, органическое вещество, системы удобрений, целинная почва.

Земли Пермского НИИСХ расположены в подзоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. В соответствии с почвенно-экологическим районированием территория Пермского края относится к Вятско-Камской почвенной провинции [1]. Климат умеренно континентальный с холодной, продолжительной, снежной зимой и теплым коротким летом. Сумма средних суточных температур  $>10^\circ\text{C}$  составляет 1700–1900 $^\circ\text{C}$ . Длительность периода активной вегетации с температурой  $>10^\circ\text{C}$  в среднем 115 дней, с температурой  $>15^\circ\text{C}$  – 60 дней. Район относится к зоне достаточного увлажнения: ГТК 1,4, осадков за год выпадает 470–500 мм, испаряемость с поверхности почвы составляет около 340 мм. Число дней со снежным покровом в среднем составляет 176 [2].

Площадь пахотных земель в Пермском крае составляет 1,1 млн га, из них дерново-подзолистых около 70%. Данный тип почв сформирован на тяжелых по гранулометрическому составу породах и в условиях промывного водного режима. Дерново-подзолистые почвы Предуралья бедны элементами питания [3, 4]. Формирование урожая сельскохозяйственных культур за последние годы в крае и в России в целом происходило в основном за счет естественного плодородия почв и запасов питательных веществ, пополняемых в предыдущие годы, что привело к обеднению пахотных почв питательными веществами [5, 6]. Для пахотных дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья установлен минимальный уровень гумуса ( $C_{min}$ ), равный  $0,78 \pm 0,01\%$  органического углерода и максимальный –  $1,42 \pm 0,03\%$  С; в условиях естественного гумусообразования (злаково-разнотравный луг) –  $1,25 \pm 0,03\%$  С [7].

**Объекты и методы.** Исследования проводили на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) в естественных экосистемах (смешанный лес и злаково-разнотравный луг), а также на целинной почве в восьмипольном севообороте длительного стационарного опыта и в бессменном чистом пару (40 лет без удобрений).

Содержание органического углерода в дерново-подзолистой почве под смешанным лесом (слой 3–20 см) – 2,69, азота – 0,27%. Почва под лесом характеризовалась повышенной кислотностью ( $pH_{KCl}$  – 3,8), высокой гидролитической кислотностью (7,0 ммоль/100 г).

В целинной почве злаково-разнотравного луга содержание  $C_{орг}$  в слое 0–20 см составляло 1,25 %, общего азота – 0,11%, что характерно для дерново-подзолистых почв. Смена лесной растительности на луговую способствовала снижению почвенной кислотности до  $pH_{KCl}$  4,8, увеличению подвижного фосфора по Кирсанову – до 290 мг/кг почвы.

Почва участка перед закладкой полевого стационарного опыта характеризовалась среднекислой реакцией среды, средним содержанием гумуса, средней обеспеченностью фосфором и высокой калием (табл. 1). Минеральные удобрения вносятся под зерновые культуры и картофель. На клеверах и овсе учитывается последствие. Навоз вносится в севообороте в два приема: под озимую рожь и картофель. Чередование культур в севообороте – пар чистый, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г.п., клевер 2 г.п., ячмень, картофель, овес.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта, слой 0–20 см

Закладка опыта	Сорг, %	рН <sub>KCl</sub>	ммоль/100 г			V, %	мг/кг	
			S	Нг	Но		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1-я, 1969	1,33	5,4	15,1	2,89	0,16	84	125	173
2-я, 1970		5,5	16,2	3,40	0,06	83	97	140
Среднее		5,45	15,6	3,16	0,12	83	111	156

Содержание С<sub>орг</sub> в почве оценивали методом бихроматного окисления с титриметрическим окончанием. Углерод в растительных образцах определяли на элементном анализаторе Elementary Vario ElCub, азот – по методу Кьельдаля.

**Обсуждение результатов.** Почва под лесом находится в устойчивом динамическом равновесии, дальнейшего накопления углерода в наземной биомассе не наблюдается, содержание углерода в почве за годы наблюдений практически не меняется. Запасы органического углерода в слое 3–20 см составляют 41,2±0,3 т/га.

За последние 20 лет наблюдений содержание органического углерода в почве злаково-разнотравного луга менялось незначительно от 1,22 до 1,28%.

В верхнем горизонте (0–20 см) почвы естественного луга содержится 31,3±0,6 т/га органического углерода.

Многолетняя динамика органического углерода при применении различных систем удобрения в длительном стационарном полевым опыте представлена в таблице 2.

Таблица 2. Влияние длительного применения систем удобрения на динамику органического углерода в дерново-подзолистой почве, 0–20 см, Сорг, % (среднее по двум закладкам)

Варианты	Перед закладкой опыта	II	III	IV	V	VI
Без удобрений	1,33	1,24	1,26	1,14	1,18	1,15
Навоз 10т		1,29	1,39	1,32	1,28	1,33
Навоз 20т		1,30	1,40	1,38	1,44	1,41
НРК экв. 10т навоза		1,24	1,30	1,22	1,32	1,26
НРК экв. 20т навоза		1,29	1,37	1,35	1,35	1,31
Навоз 5т + НРК экв. 5т навоза		1,24	1,28	1,35	1,40	1,30
Навоз 10т + НРК экв. 10т навоза		1,31	1,43	1,40	1,43	1,38
Навоз 20т + НРК экв. 20т навоза		1,32	1,41	1,47	1,61	1,53
НСР <sub>05</sub>	0,04	Fф<Fт	Fф<Fт	0,28	0,23	0,15

Перед закладкой опыта содержание углерода в почве составляло 1,33%. Насыщение пашни навозом по 10 и 20 т/га обеспечило сохранение исходного уровня содержания органического углерода в течение шести ротаций севооборота. Начиная с третьей ротации севооборота содержание С<sub>орг</sub> в этих вариантах в слое 0–20 см поддерживалось на уровне 1,33–1,41%. Совместное внесение навоза и эквивалентного количества НРК способствовало увеличению С<sub>орг</sub> в пахотном слое почвы севооборота на 3–15% относительно исходного. Внесение минеральных удобрений в дозе НРК эквивалентно 20 т/га навоза способствовало поддержанию органического углерода в почве на исходном уровне (1,31–1,35%).



При интенсивной обработке почвы (бессменный чистый пар) отмечены значительные потери почвенного углерода (рис.).

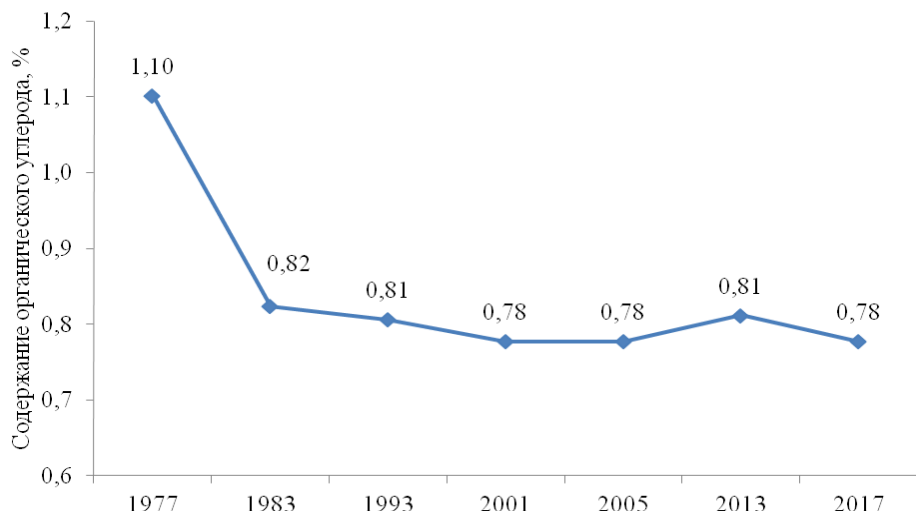


Рисунок. Динамика изменения  $C_{\text{орг}}$  в бессменном чистом пару.

Скорость потери углерода в первые 7 лет составила 0,04% С/год или 1,0 т С/(га год) (рис.). В последующие годы содержание  $C_{\text{орг}}$  в почве пара менялось незначительно. За годы наблюдений в бессменно парующей почве в слое 0–20 см запасы органического углерода уменьшились на 8,3 т/га.

Почва под смешанным лесом характеризовалась наибольшим содержанием углерода в водной (816 мг/кг), щелочной (0,60%) и пирофосфатной (0,50%) вытяжках (табл. 3). Это связано, прежде всего, с большим количеством поступающего в почву органического материала в виде опада хвойных и лиственных деревьев и растительности напочвенного покрова. Дерново-подзолистая почва злаково-разнотравного луга по содержанию подвижного и лабильного органического вещества близка к пахотной почве.

Таблица 3. Содержание активных фракций органического вещества дерново-подзолистой почвы

Вариант	Содержание трансформируемых компонентов в составе ОБ		
	$C_{\text{ЭГВ}}$ , мг/кг	$C_{0,1\text{MNaOH}}$	$C_{0,1\text{MNa}_4\text{P}_2\text{O}_7}$
Целинная почва			
Смешанный лес	816	0,60	0,50
Злаково-разнотравный луг	336	0,19	0,19
Пахотная почва севооборота			
Контроль	101	0,25	0,26
Навоз 10 т/га	107	0,34	0,27
Навоз 20 т/га	147	0,38	0,41
НРК экв. 10 т навоза	110	0,35	0,32
НРК экв. 20 т навоза	143	0,40	0,41
Навоз 5 т + НРК 5 т экв.	118	0,34	0,29
Навоз 10 т + НРК экв.	122	0,39	0,38
Навоз 20 т + НРК экв.	187	0,54	0,45
НСР <sub>05</sub>	20	0,12	0,07

Внесение удобрений под культуры севооборота привело к обогащению органического вещества пахотной почвы подвижными компонентами (табл. 3). Максимальное содержание всех подвижных фракций в пахотной почве восьмипольного севооборота определено в варианте навоз 20 т/га+НРК экв. навозу, которое в 1,8–2,2 раза выше, чем в контрольном варианте.

В длительном стационарном опыте в варианте без удобрений за 6 ротаций севооборота запасы органического углерода в пахотном слое почвы (0–20 см) снизились на 5,0 т/га (табл. 4). В варианте с максимальным насыщением пашни органическими и минеральными удобрениями (навоз 20 т/га в год + NPK эквивалентно навозу) наблюдали достоверное увеличение органического углерода не только в слое 0–20 см, но и в слое 40–60 см. Запасы  $C_{орг}$  в этом варианте в слое 0–40 см возросли с 46 (без удобрений) до 67 т/га (на 50%), а в слое 0–100 см с 79 до 111 т/га (на 40%). В вариантах навоз 10 и 20 т/га в год, навоз 5 и 10 т/га в год + NPK эквивалентно навозу отмечено повышение запасов  $C_{орг}$  в слое 0–40 на 8–13 т/га (на 20–30%).

Процесс долговременного хранения органического углерода в почвенном резервуаре с минимальным риском немедленного возврата в атмосферу называется почвенной секвестрацией [8–12].

Лесные экосистемы хранят большое количество углерода в виде органического вещества почвы, древесной и травянистой растительности. С лесным опадом, который характеризуется высоким содержанием углерода (46,5%), в почву ежегодно поступает около 2,74 т углерода. Эта величина может быть принята за количество преобразованного атмосферного углерода  $CO_2$  в органическое вещество опада деревьев и травянистой лесной растительности с последующей трансформацией в почвенное органическое вещество и позволяет поддерживать содержание углерода в почве на определенном уровне.

Таблица 4. Изменение содержания  $C_{орг}$  по профилю почвы при длительном применении органической, минеральной и органоминеральной систем удобрения (VI ротация)

Варианты	Содержание $C_{орг}$ , %					Запасы $C_{орг}$ , т/га		
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	0–20	0–40	0–100
Исходное содержание	1,33	-	-	-	-	35	-	-
Без удобрений	1,15	0,58	0,38	0,36	0,34	30	46	79
Навоз 10 т/га	1,33	0,72	0,33	0,22	0,22	35	54	78
Навоз 20 т/га	1,41	0,81	0,39	0,20	0,20	37	59	82
NPK экв. 10 т навоза	1,26	0,59	0,41	0,20	0,16	33	49	72
NPK экв. 20 т навоза	1,31	0,61	0,39	0,35	0,41	34	51	86
Навоз 5 т+NPK 5 т экв.	1,30	0,83	0,43	0,21	0,09	34	56	78
Навоз 10 т + NPK экв.	1,38	0,84	0,36	0,24	0,29	36	59	86
Навоз 20 т + NPK экв.	1,53	1,00	0,69	0,40	0,36	40	67	111
$HCP_{05}$	0,15	0,12	0,21	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	4	7	10

С основной продукцией, образующейся в процессе фотосинтеза, из атмосферы связывается и ежегодно в почву злаково-разнотравного луга поступает около 1,01 т С/га, в качестве войлока – 1,39 т С/га, что обеспечивает установившийся уровень органического углерода.

В бессменном чистом пару протекают процессы дегумификации почвенного органического вещества. За 40 лет ведения опыта почва потеряла 30% органического вещества.

За ротацию восьмипольного севооборота возделываемые культуры секвестрируют из атмосферы 82,28–99,31 т/га углекислого газа ( $CO_2$ ) или 22,42–27,06 углерода в зависимости от системы удобрения почвы. При сравнении бобовой и злаковой культуры установлено, что в процессе фотосинтеза за вегетационный период ячмень яровой преобразует из атмосферы в биомассу растений 2,84–3,25 т/га углерода (10,31–11,60 т  $CO_2$ /га), клевер луговой 2 г.п. – 4,23–5,19 т/га (15,14–18,58 т  $CO_2$ /га) в зависимости от вариантов опыта.

Таким образом, накопление органического углерода в пахотной почве относительно исходного содержания за шесть ротаций севооборота на 5,0 т/га в слое 0–20 см наблюдается при насыщении почвы навозом КРС по 20 т/га и совместном применении навоза КРС по 20 т/га и эквивалентного количества NPK. На этом варианте определено накопление органического углерода в слое 0–40 см на 21 т/га, в слое 0–100 см на 32 т/га больше, чем на варианте без удобрений, следовательно, углерод будет длительно храниться в глубинных слоях почвы, т.е. находиться на депонировании.

## Литература

1. Агроклиматические ресурсы Пермской области / Под ред. Е.В. Григорчук. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 156 с.
2. Ерёмченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 252 с.
3. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2020 году». [https://priroda.permkrai.ru/upload/iblock/ca6/doklad\\_oospk\\_2020\\_11.07v1zm.pdf](https://priroda.permkrai.ru/upload/iblock/ca6/doklad_oospk_2020_11.07v1zm.pdf)
4. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13.
5. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10
6. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия. 2018. № 10. С. 3–11.
7. Завьялова Н.Е. Гумус и азот дерново-подзолистой почвы различных сельскохозяйственных угодий пермского края // Почвоведение. 2016. № 11. с. 1347–1354.
8. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
9. Бойцова Л.В., Непримерова С.В., Зинчук Е.Г. Влияние различных систем удобрений на секвестрацию органического углерода в дерново-глеевой почве // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 4. С. 15–20.
10. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215–221.
11. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // Plant and Soil. 1997. V. 191. P. 77–87.
12. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and the global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. V. 48. P. 7–20.
13. Сычёв В.Г., Налиухин А.Н. Изучение потоков углерода и азота в длительных полевых опытах геосети с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения депонирования диоксида углерода агроценозами // Плодородие. 2021. № 6. С. 38–41.

### ORGANIC MATTER OF VIRGIN AND ARABLE SOILS IN THE MIDDLE CIS-URALS

N.E. Zavyalova

"Perm Research Institute of Agriculture" - a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, p. Lobanovo, Perm Territory, Russia, nezavyalova@gmail.com

*Summary. In a long-term stationary experiment in 1968, the content and qualitative composition of organic matter (Corg) of arable soddy-podzolic soil was studied with long-term use of various fertilizer systems and a comparison was made with virgin soil under mixed forest and grass-forb meadow. For arable soddy-podzolic soils of the Middle Cis-Urals, the minimum level of humus (Cmin) is set equal to  $0,78 \pm 0,01\%$  of organic carbon and the maximum is  $1,50 \pm 0,12\%$  C with an organo-mineral fertilization system; under conditions of natural humus formation (cereal-forb meadow) –  $1,25 \pm 0,03\%$  C. The application of mineral fertilizers at a dose of NPK equivalent to 20 t/ha of manure contributed to the maintenance of organic carbon in the soil at the initial level ( $1,31–1,35\%$ ). In the variants of manure 10 and 20 t/ha per year, manure 5 and 10 t/ha per year + NPK equivalent to manure, an increase in Corg reserves in the 0–40 layer by 8–13 t/ha (by 20–30%) was noted. In the variant without fertilizers, over 6 rotations of crop rotation, the stocks of organic carbon in the arable soil layer (0–20 cm) decreased by 5,0 t/ha.*

*Keywords: soddy podzolic soil, organic matter, fertilizer systems, virgin soil.*

УДК 631.87

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ПОЧВЫ МИКРООРГАНИЗМАМИ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ НА ФОНЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

А.Х. Занилов<sup>1,2</sup>, А.М. Лешкенов<sup>1</sup>, С.Р. Конова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр РАН», КБР, г. Нальчик, kbniish2007@yandex.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» КБР, г. Нальчик, yka@kbsu.ru

**Аннотация.** В работе представлены данные о влиянии приема предпосевного обогащения почвы микробиологическими препаратами на урожайность зерна кукурузы. Средства биоактивации почвы представлены консорциумом эффективных штаммов бактерий рода *Pseudomonas fluorescense*, штамм А-33 и микроскопических грибов *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma viridae*. Использование приема предпосевной биоактивации почвы в условиях многолетнего опыта Геосети многолетних исследований (№82) позволило в среднем повысить урожайность зерна кукурузы на 6,7 ц/га на фоне сидератов и на 5,6 ц/га на фоне навоза. Прибавка урожая в зависимости от доз минеральных удобрений на фоне навоза варьировала в пределах 3,8–8,6 ц/га, на фоне сидератов – 2,6–12,8 ц/га.

**Ключевые слова:** биоактивация почвы, микробиологические удобрения, кукуруза, урожайность.

Со времен становления отечественной научной школы агрохимии ее основателем Дмитрием Николаевичем Прянишниковым никогда не игнорировалась роль органических удобрений, а в вопросах повышения эффективности минеральных удобрений органическому веществу отводилась особая роль, которая была связана с исключительным влиянием органического материала на физические свойства почвы [1]. Органическое вещество почвы, сформированное, в том числе за счет поступления его извне, является основой, на которой протекают важные биологические и физико-химические процессы, определяющие ее плодородие [2].

Опасения Д.Н. Прянишникова, выразившего беспокойство, что без учета роли органического вещества не представляется возможным решение проблем, связанных с применением минеральных удобрений, были небеспочвенными и проявились на практике к концу XX века. Все чаще констатируется тот факт, что с увеличением объемов используемых удобрений продуктивность агроценозов проявляется неадекватно [3]. На текущий момент можно констатировать, что свойство органического вещества в почве, выступающее энергетическим материалом для почвенной микрофлоры, является одним из важнейших для процессов почвообразования и обеспечения полноценного питания растений. В связи с этим проблема обеднения почвы микрофлорой, что связано со снижением объемов вносимых органических удобрений с одной стороны, и интенсивными обработками почвы и использованием экотоксикантов в виде пестицидов, с другой стороны, выходит на первый план. Следовательно, изучение действия приемов по восполнению почвенной микрофлоры и повышению общей биологической активности почвы стало объектом практических научно-исследовательских работ.

Одним из приемов повышения плодородия почвы является интродукция эффективных штаммов почвенных микроорганизмов. В настоящее время обогащение проводится одновременно с обработанными микроорганизмами семенами. При этом может отмечаться и негативное влияние, выраженное в антагонизме между растением и микробами при непосредственном контакте, особенно на ранних стадиях развития растений. Первым на это обратил внимание К.А. Тимирязев в 1885 году [4]. Позднее отечественные микробиологи отмечали, что как только растение ослабевает и становится неспособным удовлетворять потребности микроба, действие последнего усиливается и сапрофит, по существу, превращается в паразита [5, 6, 7].

В связи с этим, с целью исключения возможных рисков, связанных с потенциальным проявлением паразитических проявлений интродуцированных микроорганизмов на



растениях, биопрепараты рекомендуется вносить в почву заблаговременно, чтобы дать время им адаптироваться в почвенной среде и занять определенную экологическую нишу. Данный прием позволяет обогатить почву в 10–100 раз большим числом живых клеток, чем это возможно сделать с инокулированными семенами. При этом, имеются сведения о возможности повышения доз биопрепаратов в разы без снижения окупаемости затрат [8].

**Материалы и методика.** Оценка эффективности приема биологической модификации системы минерального удобрения кукурузы проводилась в условиях многолетнего опыта, входящего в Геосеть многолетних исследований (№82) в период 2019-2021 гг. Участок заложен в 1979 году и находится в управлении Института сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

В качестве органических удобрений были использованы навоз КРС в дозе 50 т/га, вносимый 1 раз в 5 лет после озимой пшеницы в севообороте. Зеленое удобрение (сидерат в виде оз. рапса) высевается в 9-польном севообороте после озимой пшеницы – 4 раза за ротацию.

В качестве средства биоактивации почвы использовались живые клетки бактерий рода *Pseudomonas fluorescense*, штамм А-33 и клетки микроскопического гриба *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma viridae*. Внесение биопрепаратов проводилось в вечернее время штанговым опрыскивателем в норме по 2 л/га с расходом рабочего раствора 230 л/га за 14 дней до посева. Сорт кукурузы Камилла. Площадь участков составляет 189 м<sup>2</sup>, на ½ которых производится биоактивация почвы исследуемыми микроорганизмами. На фоне органических удобрений изучалось действие различных доз минеральных удобрений: 0; 1/3; ½ и полная расчетная доза.

**Обсуждение результатов.** В результате проведенных исследований было выявлено, что на рост урожая влияют как дозы минеральных удобрений, так и вид органических удобрений, и прием биоактивации почвы. Данные таблицы 1, демонстрируют стабильность приема биоактивации по всем вариантам опыта во все три года наблюдения. Ниже приведены средние данные за три года.

Таблица 1. Урожайность кукурузы по годам наблюдений, ц/га

Варианты		2019		2020		2021	
		Эталон	Био	Эталон	Био	Эталон	Био
Навоз	0 NPK	32,8	38,2	49,0	53,5	44,7	49,2
	1/3 NPK	38,4	43,2	57,0	59,6	52,3	56,3
	½ NPK	47,7	53,5	61,7	65,8	64,6	71,3
	1 NPK	55,8	67,4	65,5	71,7	76,0	84,0
	HCP <sub>0,05</sub>	2,16	0,88	0,83	1,25	1,89	0,27
Сидераты	0 NPK	27,1	32,8	53,7	58,0	35,1	43,3
	1/3 NPK	36,1	35,4	65,2	69,4	46,9	51,2
	½ NPK	43,8	48,1	67,5	72,7	56,7	62,7
	1 NPK	52,7	76,6	71,1	78,6	68,5	75,6
	HCP <sub>0,05</sub>	1,77	1,03	1,32	1,47	3,19	0,36

Данные рисунка 1 свидетельствуют о положительном влиянии приема интродукции изучаемых штаммов в почву на фоне навоза и различных доз минеральных удобрений. Так, в среднем за три года прием биоактивации почвы позволил повысить урожайность: на участке без внесения минеральных удобрений на 10,1%; на 7,7% в варианте с 1/3 расчетной нормы; на 9,5% при внесении ½ нормы и на 16,6% при полной расчетной норме.

Аналогичный тренд отмечается в вариантах на фоне зеленых удобрений (сидераты).

Как видно из рисунка 2, в варианте без минеральных удобрений внесение биопрепаратов ведет к росту урожая на 15,8% (6,1 ц/га). На фонах с 1/3 и ½ расчетной норм урожайность растет на 5,3% (25,6 ц/га) и на 9,3% (5,2 ц/га), соответственно. Максимальная прибавка отмечается в варианте с полной расчетной нормой минеральных удобрений, которая в относительном выражении составляет 20,0%, а в абсолютном – 12,8 ц/га.

Оценивая сравнительную эффективность действия органических удобрений следует отметить, что она зависит от фона минеральных удобрений как на эталонном участке, так и на участке с внесением почвенных микроорганизмов.

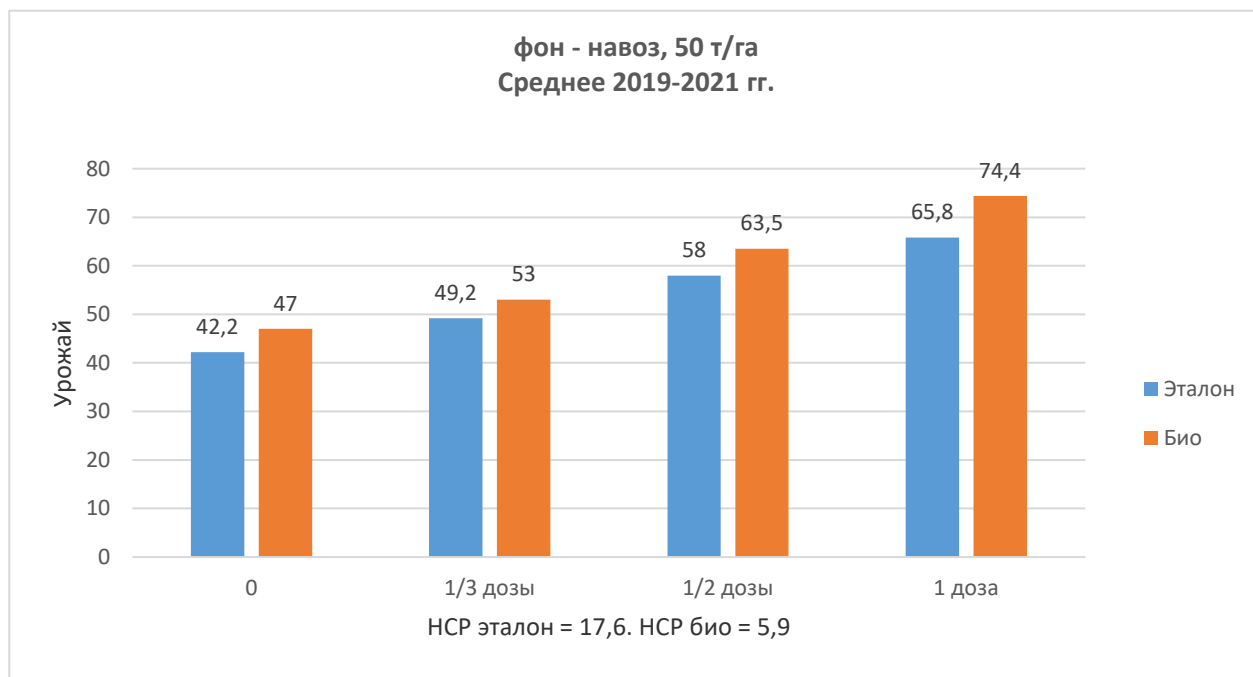


Рисунок 1. Влияние приема биоактивации почвы на урожайность кукурузы, ц/га.

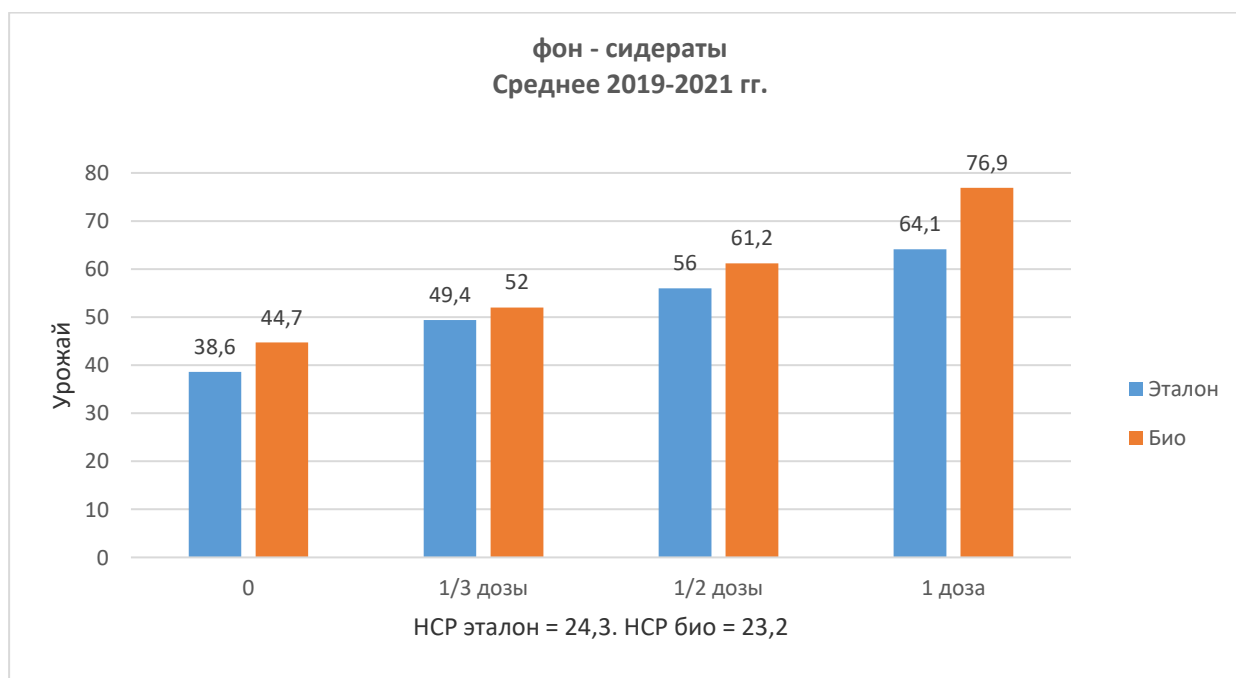


Рисунок 2. Влияние приёма биоактивации почвы на урожайность кукурузы, ц/га.

Анализ диаграммы (рис. 3) позволяет обобщенно утверждать, что растения кукурузы в большей степени отзываются на использование навоза в качестве органического удобрения. Максимальная прибавка на эталонном участке отмечается на нулевом фоне минеральных удобрений. В абсолютном выражении составляет 3,6 ц/га или 9,3%. На фоне с полунормой и полной нормой прибавка равна 2,0 и 1,7 ц/га. На фоне 1/3 расчетной нормы тип органического удобрения не влияет на урожайность.

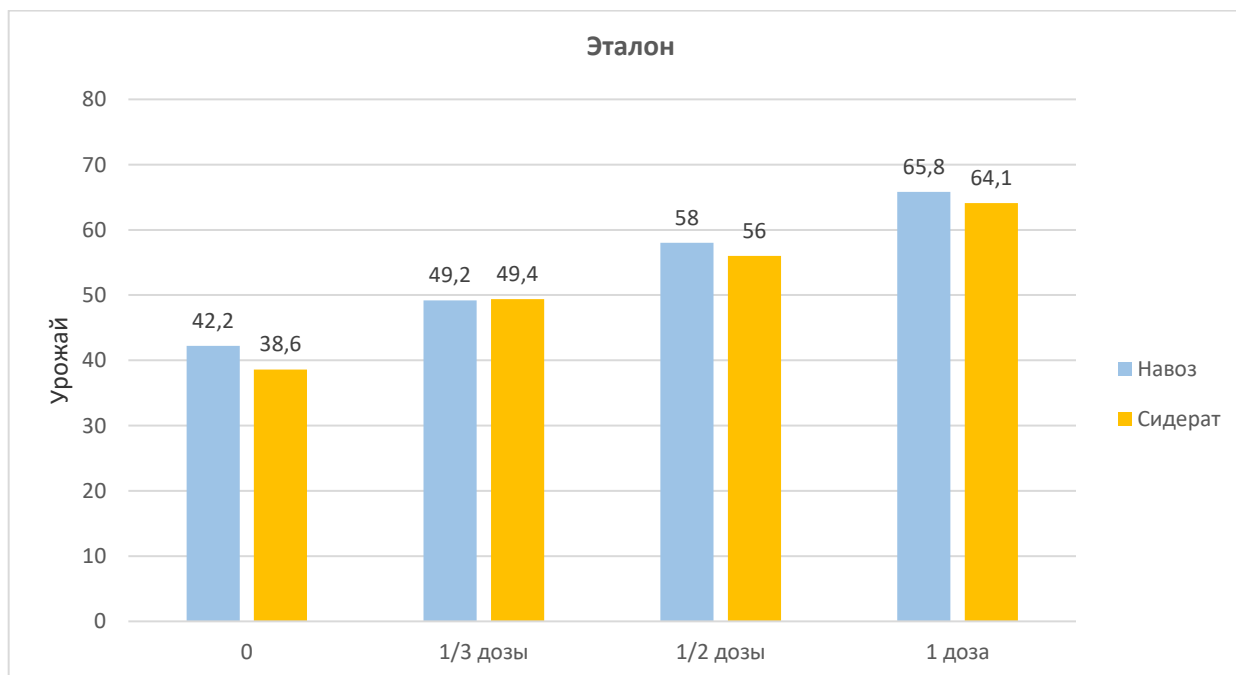


Рисунок 3. Влияние вида органических удобрений на урожайность кукурузы, ц/га.

На биоактивированном участке (рис.4) влияние действие изучаемых органических удобрений можно оценить, как аналогичное действию на эталонном участке.

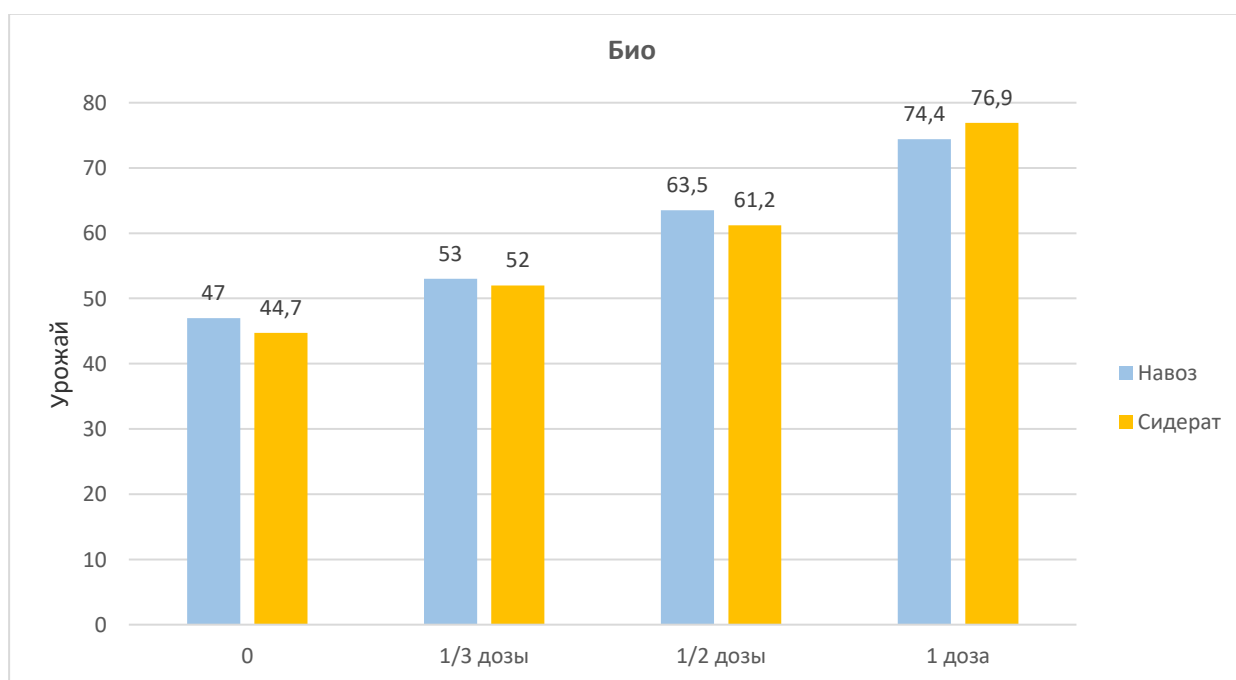


Рисунок 4. Влияние вида органических удобрений на урожайность кукурузы, ц/га.

На фоне 0 и ½ нормы минеральных удобрений прибавка урожая кукурузы составляет 2,3 ц/га. Незначительное изменение отмечено в варианте с 1/3 нормы – 1 ц/га. Рост урожайности на фоне сидератов отмечается при полной расчетной норме минеральных удобрений – на 2,5 ц/га.

**Выводы.** Из проведенных исследований выявляется явно выраженное положительное действие биологических препаратов на урожайность зерна кукурузы. В данном ключе биопрепараты могут быть рассмотрены в качестве микробиологических удобрений, которые проявляют свое действие на всех фонах органических удобрений и при различных дозах минеральных удобрений.

Эффективность приема биоактивации почвы проявилась в большей степени на фоне сидератов, где средняя по всем вариантам минеральных удобрений прибавка урожая составила 6,7 ц/га. Аналогичная прибавка на фоне навоза оказалась ниже на 19,6% (5,6 ц/га).

Учитывая столь высокую отзывчивость растений кукурузы на обогащение почвы биопрепаратами можно предположить, что уровень биологической активности почвы может служить фактором, ограничивающим эффективность действия традиционных минеральных и органических удобрений, в связи с чем, разработка и внедрение био-органо-минеральной системы удобрения растений имеет важную практическую значимость и позволяет повысить производственный потенциал агрогенных почв.

#### Литература

1. Прянишников Д.Н. О сравнении действия навоза и минеральных удобрений // Ежемес. науч.-техн. журнал комитета по химизации НХ СССР. М.: 1929. №1. С. 35–42.
2. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука. 1982. 121 с.
3. Трепачев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. М., 1999. 530 с.
4. Тимирязев К.А. Растение – сфинкс (1885) / Избранные сочинения., М.: Сельхозгиз, 1948. Т. 1. С. 22–34.
5. Samtsevich S.A. The relationship between soil microorganisms and higher plants // Microorganisms and plant. Minsk, 1972. P. 3–67.
6. Goiman E. Infectious diseases of plants / М.: Izd-vo inostran.literatury. 1954. 608 s.
7. Бактериальные болезни растений / Под ред. проф. В. П. Израильского. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Сельхозгиз., 1960. 468 с.
8. Мухина М.Т. Применение регуляторов роста комплексного действия на урожайность и качество зерна сои Вилана / Материалы 49-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии». М.: ВНИИА, 2015. С. 149–152.

#### THE EFFECT OF PRE-SOWING SOIL ENRICHMENT BY MICROORGANISMS ON THE YIELD OF CORN GRAIN AGAINST THE BACKGROUND OF ORGANO-MINERAL FERTILIZER SYSTEMS

A.H. Zamilov<sup>1,2</sup>, A.M. Leshkenov<sup>1</sup>, S.R. Konova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Research Center "Kabardino-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"

KBR, Nalchik, kbniish2007@yandex.ru

<sup>2</sup>FGBOU VO "Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov"

KBR, Nalchik, yka@kbsu.ru

*Summary. The paper presents data on the effect of taking pre-sowing soil enrichment with microbiological preparations on the yield of corn grain. Soil bioactivation agents are represented by a consortium of effective strains of bacteria of the genus *Pseudomonas fluorescens*, strain A-33 and microscopic fungi *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viridae*. The use of pre-sowing bioactivation of the soil in the conditions of long-term experience of the Geonet of long-term research (No. 82) allowed to increase the yield of corn grain on average by 6.7 c/ha against the background of siderates, and by 5.6 c/ha against the background of manure. The increase in yield, depending on the doses of mineral fertilizers on the background of manure, varied in the range of 3.8-8.6 c/ha. Against the background of siderates – 2.6-12.8 c/ha.*

*Keywords: soil bioactivation, microbiological fertilizers, corn, yield.*



УДК 631.416.2

## ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

О.Г. Захарова, А.П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, [olya.choma@mail.ru](mailto:olya.choma@mail.ru)

**Аннотация.** Изучено фосфатное состояние чернозема обыкновенного длительно сезоннопромерзающего Западной Сибири и мерзлотного чернозема обыкновенного Центральной Якутии. Показано, что при всей схожести морфологического строения и свойств этих почв, их фосфатное состояние существенно различалось. Так, при общем сходном содержании общего фосфора, составляющем в черноземе Западной Сибири 103,8–193,8, а в черноземе Якутии – 137,8–185,6 мг  $P_2O_5/100$  г почвы, доля органофосфатов в первой почве была выше, чем во второй.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, Центральная Якутия, черноземы обыкновенные, состав, свойства, фосфатное состояние.

Были проведены сравнительные исследования фосфатного состояния двух почв одного подтипа черноземов обыкновенных, сформированных в различных ландшафтно-климатических условиях, то есть в длительно сезоннопромерзающей фациальной области Западной Сибири и мерзлотной области Центральной Якутии. Следовательно, целью представленной статьи являлось изучение особенностей фосфатного состояния данных черноземов, выявление сходства и различия такового с учетом ландшафтно-климатических условий почвообразования.

При проведении полевых и лабораторных работ использовались общепринятые в почвоведении методы исследований, такие как сравнительно-географический, сравнительно-аналитический [1] и профильно-генетический [2]; физико-химические свойства и гранулометрический состав определялись по стандартным методикам [3–5]. Содержание общего фосфора определялось по Сандерсу и Вильямсу [4], органического Р – по разнице общего и минерального Р, формы минеральных фосфатов выделялись по Чанга-Джексону согласно методике [6].

Оба разреза изучаемых черноземов были заложены в 2004 г. Приведем географические и морфологические характеристики исследуемых почв. Разрез 1НЧ-04 был заложен в Западной Сибири, на территории Приобского плато, на контуре ключевого участка Володарка, в 1–3 км южнее села Володарка, залежь на надпойменной террасе р. Обь. Географические координаты участка: 52°41–42'N, 83°38'E, абсолютная высота (Н) – около 200 м [7]. Строение профиля: Av(0–1)–A(1–24)–ABca(24–42)–Vca(42–74)–Cca(74–138 см). Почва: чернозем обыкновенный длительно сезоннопромерзающий.

Разрез 7Ой-04 заложен в пределах Центрально-Якутской равнины, на Средней Лене, на гривном мезоповышении II надпойменной террасы р. Лена, в 3 км на запад от села Ой, пашня (черный пар). Географические координаты места заложения разреза: 61°54'22,3"N, 129°30'43,2"E, Н – 103,8 м. Строение профиля: Aa(0–20) – AB(20–42) – Vca(42–54) – VCca(54–86) – C(86–136 см). Почва: чернозем обыкновенный мерзлотный.

Изучаемые черноземы довольно схожи как по морфологии, так и по своим физико-химическим свойствам (табл. 1). Особенно это касается мощности горизонтов А и АВ гумусового профиля и содержания в них гумуса, а также значений рН<sub>н2о</sub>. Так, верхняя часть профиля данных почв (гор. А + АВ) характеризуется слабощелочной, а нижняя (гор. Vca + VCca, Cca) – щелочной реакцией среды. Вместе с тем, чернозем Западной Сибири отличается от чернозема Центральной Якутии более тяжелым легко- и среднесуглинистым гранулометрическим составом, а также повышенной глубиной вскипания от 10 % HCl, идентифицирующей наличие свободных карбонатов (CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub>) в составе почвенного мелкозема. Последнее становится ясным, если учесть то, что почва разр. 1НЧ-04 сформирована на карбонатных лессовидных средних суглинках, а почва разр. 7Ой-04 – на легкосуглинистых бескарбонатных аллювиальных отложениях (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства чернозёмов обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	рН <sub>н2о</sub>	Гумус, %	Обменные катионы, ммоль(экв)/100 г почвы			Фракции, %		СО <sub>2</sub> карбонатов, %
				Са <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм	
<b>Чернозем обыкновенный Западной Сибири, разрез 1НЧ-04</b>									
Av	0–1	6,9	13,3	30,1	3,6	1,4	-	-	Н.о.
A	1–10	7,6	5,6	29,3	2,1	1,0	9,2	23,8	«-»
A	10–20	7,8	3,5	27,2	1,8	0,7	10,0	24,7	«-»
ABca	24–34	7,8	2,0	19,4	5,1	1,2	15,4	36,3	9,2
Bca	45–55	8,0	0,8	15,5	4,3	0,8	18,3	38,6	8,5
Cca	80–90	8,4	0,3	12,7	4,1	1,2	19,3	40,2	7,7
Cca	120–130	8,1	0,3	-	-	-	18,4	38,7	7,2
<b>Чернозем обыкновенный Центральной Якутии, разрез 7Ой-04</b>									
Aa	5–15	6,6	5,3	23,2	2,7	1,8	10,3	20,5	Н.о.
AB	30–40	7,6	2,3	22,5	1,3	1,2	8,7	23,3	«-»
Bca	43–53	8,5	1,4	39,6	17,1	2,3	8,6	22,4	12,8
BCca	65–75	8,7	1,0	38,6	20,5	3,8	8,7	22,9	4,8
C	120–130	8,8	0,9	12,7	5,7	1,9	11,1	25,0	Н.о.

Содержание общего количества фосфора, которое в пределах их почвенных профилей увеличивается сверху вниз, также довольно сопоставимо и составляет для чернозема Западной Сибири 103,8–193,8, а для чернозема Центральной Якутии – 137,8–185,6 мг Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>/100 г почвы. При этом в первой почве в большей мере преобладают органофосфаты, чем во второй, относительное содержание которых, соответственно, составляет 81,6–93,6 % и 58,7–92,1 % (табл. 2). Последнее подтверждает известное положение о том, что наиболее богаты органическими формами фосфора почвы черноземного типа, в которых 50-90 % валового Р находится в органической форме [8].

Таблица 2. Формы фосфора в чернозёмах обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Р общий, мг Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> /100 г почвы	Р минеральный		Р органический	
			мг Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> /100 г почвы	%*	мг Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> /100 г почвы	%
<b>Чернозём обыкновенный, разрез 1НЧ-04 (Западная Сибирь)</b>						
A	1–10	108,7	16,1	14,8	92,6	85,2
A	10–20	110,1	18,7	17,0	91,4	83,0
ABca	24–34	103,8	19,1	18,4	84,7	81,6
Bca	45–55	125,5	15,3	12,2	110,2	87,8
Cca	80–90	193,8	12,4	6,4	181,4	93,6
<b>Чернозём обыкновенный, разрез 7Ой-04 (Центральная Якутия)</b>						
Aa	5–15	137,8	56,9	41,3	80,9	58,7
AB	30–40	167,3	43,6	26,1	123,7	73,9
Bca	43–53	185,6	14,6	7,9	171,0	92,1

Примечание: \* – в % от содержания Р общего.

В составе органической части почвы фосфор представлен фосфолипидами (около 1 % органического Р), инозитолфосфатами и нуклеиновыми кислотами (около 2–3 % органического Р). Кроме того, идентифицированы фосфопротеины, сахарофосфаты и фосфолированные карбоновые кислоты. Кроме фосфолипидов и инозитфосфатов в составе органического фосфора существенную роль играет фосфор гумусовых веществ. В составе

гуминовых кислот может находиться от 2–3 % до 50–80 % всего органического фосфора почвы [11].

Более высокое содержание органофосфатов в черноземе Западной Сибири по сравнению с черноземом Центральной Якутии, по-нашему мнению, обусловлено повышенной биогенностью первой почвы по отношению ко второй, формирующейся в более жестких гидротермических условиях криолитозоны.

Еще в большей мере в изучаемых почвах различается содержание и соотношение форм минеральных фосфатов (табл. 3). В гор. Вса обеих почв суммарное количество всех форм минеральных фосфатов, определяемых по Чанга-Джексону, сопоставимо и составляет 14,8–15,3 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы. При этом в данном горизонте, как и во всех таковых гумусового профиля чернозема Западной Сибири, абсолютно преобладают Al-P, составляя 58,1–83,7 % от общего содержания всех форм минеральных фосфатов. Второй особенностью фосфатного состояния данной почвы является низкое содержание Са-P, особенно в верхней части гор. А, где данные фосфаты вообще не обнаружены. Только в гор. Сса этой почвы фосфаты кальция являются преобладающей фракцией и их количество достигает 69,3 %. Такое фосфатное состояние, в общем, не характерно для черноземов Западной Сибири. Так, в пахотном горизонте черноземов данной территории разноосновные фосфаты кальция и магния (I группа) составляли 13,5–25,5 %, а трехкальциевые фосфаты (II группа) – 15,5–45,4 % [9]. Также считается, что высокое содержание кальций-фосфатов в черноземах обыкновенных Хакасии и Западной Сибири, является одной из провинциальных особенностей этих почв [10].

Таблица 3. Формы минеральных фосфатов в чернозёмах обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Формы минеральных фосфатов						Сумма
		рыхлосвязанные	Al-P	Fe-P	Ca-P	Оккл. Al-P	Оккл. Al(Fe)-P	
Чернозём обыкновенный, разрез 1НЧ-04 (Западная Сибирь)								
A	1–10	<u>0,8</u> 5,0	<u>12,8</u> 79,5	<u>0,8</u> 5,0	Н.о.	<u>0,7</u> 4,3	<u>1,0</u> 6,2	16,1
A	10–20	<u>0,7</u> 3,7	<u>11,7</u> 62,6	<u>0,6</u> 3,2	<u>4,1</u> 21,9	<u>0,7</u> 3,7	<u>0,9</u> 4,8	18,7
ABca	24–34	<u>0,7</u> 3,7	<u>11,1</u> 58,1	Н.о.	<u>5,9</u> 30,9	<u>0,7</u> 3,7	<u>0,7</u> 3,7	19,1
Bca	45–55	<u>0,8</u> 5,2	<u>12,8</u> 83,7	Н.о.	Н.о.	<u>1,0</u> 6,5	<u>0,7</u> 4,6	15,3
Cca	80–90	<u>0,6</u> 4,8	<u>1,2</u> 9,7	<u>0,6</u> 4,8	<u>8,6</u> 69,3	<u>0,3</u> 2,4	<u>1,1</u> 8,9	12,4
Чернозём обыкновенный, разрез 7Ой-04 (Центральная Якутия)								
Aa	5–15	<u>2,8</u> 4,9	<u>21,2</u> 37,3	<u>18,0</u> 31,6	<u>6,2</u> 10,9	<u>5,8</u> 3,3	<u>5,4</u> 9,5	56,9
AB	30–40	<u>1,5</u> 3,4	<u>10,0</u> 22,9	<u>15,0</u> 34,4	<u>6,4</u> 14,7	<u>3,0</u> 6,9	<u>7,7</u> 18,7	43,6
Bca	43–53	<u>2,8</u> 18,9	<u>2,4</u> 16,2	<u>0,6</u> 4,0	<u>6,9</u> 46,6	<u>1,1</u> 7,4	<u>1,0</u> 6,8	14,8

Примечание. Над чертой – в мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы, под чертой – в % от суммы всех фракций.

Отсутствие и низкое содержание Са-P в гор. А чернозема Западной Сибири (табл. 3) мы связываем с его агрогенной деградацией, вследствие наиболее вероятного проявления процесса дефляции, когда эта почва использовалась как пашня. Последнее подтверждается очевидным снижением в данном горизонте количества частиц ила и физической глины, соответственно, на 5–6 и 11–12% по сравнению с нижерасположенным гор. АВса (см. табл. 1).

Общее содержание всех форм минеральных фосфатов в гор. Аа и АВ гумусового профиля мерзлотного чернозема Центральной Якутии оказалось почти в 3 раза выше такового, чем в

черноземе Западной Сибири, где как уже указывалось в составе Р абсолютно преобладают органофосфаты. При этом среди данных минеральных фосфатов в основном преобладают фосфаты полуторных окислов, составляя 57,3–68,9 %, а среди последних выделяются Fe-P, содержание которых достигает 31,6–34,4 %. Только в гор. Вса этой почвы относительно преобладают Ca-P, составляя 46,6 %. При этом содержание Fe-P в мерзлотном черноземе Центральной Якутии почти в 7 раз выше максимального количества, отмечаемого в черноземе Западной Сибири.

Таким образом, необходимо полагать, что высокое содержание железозосфатов и окклюдированных алюмо-железозосфатов является региональной особенностью фосфатного состояния мерзлотных черноземов обыкновенных Центральной Якутии, вследствие проявления в их генезисе процесса криогенного ожелезнения.

Впервые на проявление данного процесса в мерзлотных почвах криолитозоны в свое время обратила внимание Н.А. Ногина [12, 13] относя его, главным образом, к генезису мерзлотно-таежных поверхностно-ожелезненных почв Восточного Забайкалья. В частности, она отмечала по поводу генезиса данных почв, что эти почвы образованы специфическими процессами криогенного ожелезнения, то есть денатурацией и частичной кристаллизацией несиликатных форм Fe при промерзании, при этом степень криогенного ожелезнения здесь на одних и тех же породах нарастала с увеличением континентальности климата.

В наше время особенности генезиса и плодородия данных почв, связанные с педогеохимией Fe, также подтверждаются в последних исследованиях. В частности, указано, что генезис и плодородие мерзлотно-таежных почв в значительной степени определяются содержанием в них подвижных соединений железа, при этом отмечается их аккумуляция в гумусовом и надмерзлотном горизонтах. Содержание подвижных форм железа по Мера и Джексону в суглинистых разновидностях этих почв может достигать больших величин - порядка 1000 мг/100 г почвы. Повышенное содержание Fe в данных почвах обуславливает микроструктуру почв и значительно уменьшает подвижность фосфатов [14].

Аналогичные особенности фосфатного состояния черноземов Анголы, развитых на ферралитных корках выветривания, отмечаются в работе [15]. Изучение фракционного состава фосфатов в этих черноземах показало, что содержание их подвижных форм убывает с глубиной, а среди фракций последних абсолютно преобладают Fe-P.

### Выводы

1. Чернозём обыкновенный Западной Сибири и таковой Центральной Якутии обладают сходными морфологическими характеристиками и физико-химическими свойствами, однако их фосфатное состояние существенно различается.

2. В чернозёме Западной Сибири в составе общего Р абсолютно преобладают органофосфаты, составляя 81,6–93,6 %, а среди минеральных форм фосфатов – в основном Al-P на долю которых приходится 58,1–83,7 %.

3. В чернозёме Центральной Якутии доля органофосфатов в составе общего Р понижена до 58,7–92,1 %, а в фракционном составе минеральных фосфатов, как правило, преобладают Al-P и Fe-P, суммарно составляя 57,3–68,9 %, при значительной доле Fe-P, равной 31,6–34,4 %.

### Литература

1. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971.
2. 92 с.
3. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.
4. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 272 с.
5. Мамонтов В.Г. Химический анализ почв и использование аналитических данных. Лабораторный практикум: учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2019. 328 с.
6. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. М.: Колос, 1980. 272 с.
7. Агрохимические методы почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
8. Дергачева М.И., Кулижский С.П., Никифоров А.Н., Захарова Е.Г. Физические свойства почв с признаками древнего педогенеза Барнаульского Приобья (Алтайский край, Россия) // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 4. С. 446–461.
9. Попович Л.П. Фосфатное состояние почв // Почвоведение. 1992. № 11. С. 24–35.



10. Поставская С.М., Гамзиков Г.П. О минеральных фосфатах черноземов Западной Сибири // Почвоведение. 1975. № 1. С. 93–101.
11. Танзыбаев М.Г., Спирина В.З. Фосфор в обыкновенных черноземах Хакасии // Вопросы географии Сибири. Томск, 1999. С. 181–187.
12. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. 399 с.
13. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
14. Ногина Н.А. Своеобразие почв и процессов почвообразования в Центрально-Азиатской фации (тайга, степь, пустыня) // Почвоведение. 1989. № 9. С. 5–14.
15. Савич В.И., Скрябина Д.С., Норовсурэн Ж. Влияние криогенеза на генезис и плодородие мерзлотных и мерзлотно-таежных почв // Известия ТСХА. 2015. Вып. 2. С. 5–14.
16. Товареш Ж., Савич В.И., Никиточкин Д.Н., Кузелев М.М. Особенности фосфатного состояния почв разной степени ферралитизации и гумусированности // Плодородие. 2014. № 1. С. 33–34.

## THE PHOSPHATE STATE OF ORDINARY CHERNOZEMS OF WESTERN SIBERIA AND CENTRAL YAKUTIA

O.G. Zakharova, A.P. Chevychelov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone,

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, [olya.choma@mail.ru](mailto:olya.choma@mail.ru)

*Summary.* The phosphate state of the ordinary chernozem long-term seasonally freezing Western Siberia and the permafrost of ordinary chernozem Central Yakutia was studied. It is shown that with all the similarity of the morphological structure and properties of these soils, their phosphate state differed significantly. Thus, with a total similar content of total phosphorus, which is 103,8-193,8 in the black soil of Western Siberia, and 137,8-185,6 mg of  $P_2O_5/100$  g of soil in the chernozem of Yakutia, the proportion of organophosphates in the first soil was higher than in the second.

*Keywords.* Western Siberia, Central Yakutia, ordinary chernozems, composition, properties, phosphate state.

УДК 631.4

## АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАБИЛЬНЫХ ФОРМ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ТЕМНО-СЕРЫХ ПОЧВАХ ТОМЬ-ЯЙСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Е.В. Каллас, А.С. Курдавилецев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, [ekallas70@gmail.com](mailto:ekallas70@gmail.com)

*Аннотация.* Под влиянием агрогенных воздействий в темно-серых почвах снижается содержание гумуса, лабильных органических веществ, новообразованных гуминовых кислот фракции I, отношение  $C_{эк}:C_{фк}$  в составе подвижного гумуса, количество обменных оснований и величина гидролитической кислотности. Гранулометрический состав и реакция почвенного раствора практически не изменились.

*Ключевые слова:* агротемно-серые почвы, содержание гумуса, подвижные органические вещества, бурые гуминовые кислоты.

Серые и темно-серые почвы составляют основной фонд пахотных угодий на территории Томской области. Использование их в земледелии сопровождается ежегодным нарушением экологических связей в агроэкосистемах, что приводит к неустойчивости последних. В результате происходит изменение направленности и интенсивности элементарных почвообразовательных процессов в связи с трансформацией условий почвообразования при механическом воздействии, внесении удобрений, смены культур севооборота. Степень изменения природных свойств почв определяется глубиной и длительностью агротехнического влияния, типом микроклимата и трансформацией почвенного климата, генетической природой естественной почвы [1]. Достоверно установлена однозначная трансформация термического режимам пахотных почв. По сравнению с лесными почвами они

теплее в летний период, но сильнее и глубже охлаждаются зимой [2]. Трансформация же водного режима может иметь разнонаправленный характер, что определяется многими факторами: состоянием поверхности агропочв в предзимний период, глубиной промерзания и условиями таяния снега, видом возделываемой культуры и др. [2]. Согласно А.Ф. Большакову [3], Т.П. Коковиной [4], Д.И. Щеглову [5], смена целинной растительности на культурную приводит к изменению водного режима в сторону гумидизации. В агротемно-серых почвах он, вероятно, остается периодически промывным, как и в целинных аналогах, но по количественным характеристикам сдвигается в гумидную сторону с более частым и глубоким промачиванием профиля. Это обусловлено тем, что во второй половине вегетационного периода целинная растительность продолжает вегетировать и расходует значительное количество влаги на десукцию, в то время как на пашне после уборки культур деструктивный расход влаги прекращается и она теряется только путем физического испарения с поверхности. Вследствие этого на пашне происходит постепенное увеличение влажности гумусового горизонта [5]. Осеннее остаточное количество влаги будет способствовать более быстрому насыщению почвы влагой весной, а, следовательно, и более глубокому, по сравнению с целиной, весеннему её промачиванию. В результате в пахотных почвах отмечается более интенсивный вынос вниз по профилю растворимых компонентов, в том числе подвижных (лабильных) гумусовых веществ, извлекаемых непосредственно из почвы щелочной (0,1 н NaOH) вытяжкой. Последние имеют важнейшее значение при оценке гумусного состояния агропочв, поскольку являются ближним резервом почвенного плодородия, т.к. включают фракции гумуса, которые, согласно Б.М. Когут, К.В. Дьяконовой, Л.С. Травниковой [6], не закреплены кальцием и почвенными минералами, наиболее обогащены азотом и имеют относительно простое строение макромолекул. Исследования этих авторов показывают, что гуминовые кислоты в составе этих веществ значительно больше содержат азота, чем гуминовые кислоты других фракций, причем в молекулах этих молодых подвижных кислот азот находится в относительно простых формах связи и легко отщепляется при гидролизе. Таким образом, лабильное органическое вещество (ЛОВ) является ценным компонентом гумуса, что объясняется его быстрой минерализацией, участием в малом биологическом круговороте и формировании плодородия в целом. Как показано Г.Я. Чесняком [7], В.Б. Воробьевым [8], между содержанием подвижных форм гумусовых веществ и продуктивностью культурных растений имеется тесная взаимосвязь.

Для легкогидролизуемых форм гумусовых веществ упрощенного строения в научной литературе применяется разная терминология (лабильное органическое вещество, подвижное органическое вещество, подвижный гумус, гидрофильный гумус, биоактивный гумус, активное органическое вещество и др.), однако её смысловая нагрузка близка – это часть гумуса, извлекаемая из почвы 0,1 н NaOH, включающая новообразованные свободные и непрочно связанные с полуторными оксидами бурые гуминовые кислоты (фракция ГК-1), связанные с ними фульвокислоты (фракция ФК-1) и свободные фульвокислоты (фракция ФК-1а). Именно подвижные (лабильные) гумусовые вещества подвержены трансформации при сельскохозяйственном использовании почв в большей степени и определяют изменение их баланса гумусообразования, включая потери гумуса, в связи с чем, изучение данного вопроса является актуальным.

Цель настоящего исследования – выявление направленности трансформации лабильных форм гумусовых веществ в темно-серых почвах под влиянием агрогенных воздействий.

Объектами послужили агротемно-серые и темно-серые почвы под лесом, развитые в подтаежной зоне (Томь-Яйское междуречье).

Методы исследования. Почвы изучались с применением общепринятых в почвоведении методов и методик, лабильные формы гумусовых веществ определялись в щелочной (0,1 н NaOH) и кислотной (0,1 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) вытяжках, что позволило рассчитать доли гуминовых кислот фракции 1 и фульвокислот фракций 1а и 1 [9].

Результаты и обсуждение. Агротемно-серые почвы характеризуются сохранностью под агропреобразованным 20-см слоем нижней части естественного темного гумусового горизонта с незначительным седым налетом кремнеземистой присыпки, наличием типичных для естественных темно-серых почв признаков дернового процесса, оподзоливания и

лессивирования (повышенная плотность ореховатого гор. ВТ с глинисто-гумусовыми кутанами). В целинных почвах гумусовые горизонты также достигают большой мощности (до 45–53 см), что свидетельствует об активно идущем дерновом процессе под смешанным сосново-березовым лесом с хорошо развитым высокотравным наземным покровом. Все исследованные почвы сформированы на лессовидных суглинках, карбонаты во вскрытых профилях не обнаружены.

По гранулометрическому составу почвы относятся к среднесуглинистым, во втором полуметре отмечается накопление тонкодисперсных фракций, в связи с чем, гранулометрический состав становится тяжелосуглинистым. Доминирующей фракцией на протяжении всей толщи профилей является крупная пыль (32–47%), на втором месте по содержанию выделяются мелкий песок (22–32%) в элювиальной части и ил (21–32%) – в иллювиальной. Полученные результаты исследования показали отсутствие явных изменений гранулометрического состава и характера распределения фракций по профилям почв на фоне агрогенеза, что свидетельствует в пользу устойчивости этого признака в условиях зонального подтаежного почвообразования, особенно учитывая равнинность территории и наличие защитных лесополос в районе исследования, что не способствует развитию эрозионных процессов. На устойчивость гранулометрического состава серых почв при окультуривании указывали многие авторы [10].

По содержанию гумуса все исследованные почвы, согласно Классификации почв России [11], относятся к виду сильно гумусированных, поскольку величина этого показателя укладывается в диапазон 5,0–8,0%. В темно-серых почвах содержание гумуса в горизонтах АУ составляет 6,77–7,03%, в агротемно-серых на 15–20% меньше, что обусловлено припахиванием менее гумусированных слоев и усилением процесса минерализации органических веществ, в т.ч. гумуса, в условиях ежегодной обработки почв. В пахотных почвах отмечается и более резкое снижение уровня гумусированности с глубиной. Так, в подпахотном слое содержание органического углерода уже в 3 раза меньше, чем в пахотном, тип распределения гумуса регрессивно-аккумулятивный, а в почвах под лесом – прогрессивно-аккумулятивный. По данным А.А. Титляновой и А.В. Наумова [12], разные типы почв Сибири за период агрогенного воздействия теряют разное количество гумуса – от 40% в лугово-черноземных и луговых почвах до 19% в серых лесных. Говоря о снижении гумусированности пахотных почв, необходимо учитывать пространственное варьирование свойств, являющееся по Д.И. Щеглову [5], объективной закономерностью, обусловленной микронеоднородностью условий почвообразования. Так, например, коэффициент вариации содержания гумуса для почв Западной Сибири изменяется от 17 до 35 [12].

Характеризуя гумусность исследованных агротемно-серых почв, следует подчеркнуть сохранность этого показателя на довольно значительном уровне (около 6%), что свидетельствует о высокой культуре земледелия, применяемой агротехники, системы удобрений и севооборотов, включающих бобово-злаковые смеси, что позволяет избежать серьезных деградиационных процессов. Физико-химические свойства изученных агропочв благоприятны для возделывания культурных растений, несмотря на их трансформацию по сравнению с целинными аналогами. Агротемно-серые почвы характеризуются слабокислой реакцией среды, низкой гидролитической кислотностью (2,5 мг-экв/100 г почвы, что в 2 раза ниже, чем в почвах под лесом), насыщенностью основаниями (90% в пахотном горизонте, тогда как в естественных почвах 83–88%), несколько пониженной (на 7–12%) по отношению к целинным почвам суммой поглощенных оснований в связи с уменьшением количества органических коллоидов. Более высокая гидролитическая кислотность в почвах под лесом может быть обусловлена повышенным содержанием обменного  $H^+$  в связи с увеличением количества кислых продуктов разложения древесных органических остатков и потока корневых выделений, продуктивность которых здесь, вероятно, выше, чем в агропочвах. В таких условиях, как считает Д.И. Щеглов [5], водород корневых выделений может активно внедряться в ППК. Различия в гидролитической кислотности исследованных почв могут быть обусловлены и широкой пространственной вариабельностью данного признака, на что указывали в своих работах многие авторы.

Уменьшение содержания гумуса в почвах при распашке связано в первую очередь с деструкцией лабильных фракций органического вещества [13]. В исследованных агропочвах содержание подвижных гумусовых веществ (ГК-1+ФК-1а+ФК-1) в пахотном горизонте составляет 17–20% от  $S_{\text{общ}}$  (0,53–0,76% от массы почвы), что в 1,5–2,2 раза ниже, чем в целинных аналогах, где эта величина в горизонтах АУ достигает 30–45% от  $S_{\text{общ}}$  (0,86–1,77% от массы почвы). Снижение ЛОВ происходит за счет бурых гуминовых кислот и связанных с ними фульвокислот, тогда как доли свободных ФК-1а во всех почвах близки (1–3% от  $S_{\text{общ}}$ ). В иллювиальных частях профилей картина изменяется: в почвах пашни доля ЛОВ резко возрастает (за счет ФК) и существенно превышает таковую в почвах под лесом. Вероятно, это связано с более активной миграцией подвижных компонентов гумуса в условиях ежегодной механической обработки почв. Повышение количества ЛОВ в нижних слоях почв отмечали в своих работах многие исследователи, объясняя этот факт миграцией органических веществ в профиле и приуроченностью зон их наибольшего накопления к нижним границам сезонного и годового промачивания почвенной толщи [5]. Правомерность данного вывода подтверждается прямыми лизиметрическими исследованиями миграции органических веществ [14].

Восстановлению и повышению содержания молодой подвижной части гумуса в пахотных почвах способствует внесение азотных удобрений, навоза, что убедительно показали опыты, проведенные В.Б. Воробьевым [8]. Режим органического вещества и баланс гумуса можно регулировать введением в севообороты многолетних трав, включая бобовые, что сопровождается ростом активных компонентов гумуса, а именно молодых ГК, обогащенных азотом.

В процессе сельскохозяйственного использования в пахотных почвах происходит резкое снижение содержания фракции ГК-1 и увеличение ФК практически по всему профилю [5, 13]. Эта закономерность подтверждается и нашими исследованиями: доля бурых ГК в пахотном горизонте составляет всего лишь 3–5% от  $S_{\text{общ}}$ , тогда как в верхнем 20-см слое естественных почв в 2–6 раз больше. С глубиной доли новообразованных гуминовых кислот закономерно снижаются и полностью исчезают из состава гумуса с глубины 53 см в агропочвах, 60–80 см – в целинных. Бурые ГК, как известно, характеризуют современный процесс гумусообразования, в связи с чем, можно сделать вывод о более активном процессе синтеза гумусовых веществ в естественных почвах, по сравнению с пахотными, на современном этапе функционирования исследованных почв. Низкое содержание в агропочвах ГК-1 может быть связано не только с меньшим количеством поступающих органических остатков, но и с высокой скоростью разложения органического вещества, превышающей таковую в целинных почвах, о чем есть свидетельства в научной литературе: повышенная активность микрофлоры и глубокое её проникновение в профиль агропочв способствует быстрой минерализации остатков культурной растительности, в химическом составе которых преобладает легкоразлагаемая клетчатка при незначительном содержании трудноразлагаемых дубильных веществ, смол, лигнина, характерных для лесного опада; при этом активно разлагаются и вновь образующиеся бурые ГК, что исключает их аккумуляцию в больших количествах [1].

Низкие доли ГК в агропочвах обуславливают сужение отношения  $S_{\text{ГК}}:S_{\text{ФК}}$  в составе лабильной части гумуса по сравнению с целинными почвами. Так, в пахотных горизонтах эта величина составляет в среднем 0,35, тогда как в горизонтах АУ естественных почв изменяется в диапазоне 0,45–0,87.

На фоне агрогенных воздействий в ЛОВ изменения отмечаются не только по содержанию ГК-1, но и связанных с ними ФК (фракция-1). Доля их в горизонте РУ составляет 13–15% от  $S_{\text{общ}}$ , что в 1,3–1,5 раза ниже, чем в горизонтах АУ естественных почв. В нижних горизонтах картина кардинально меняется: в пахотных почвах доли ФК резко возрастают (до 30% и более) в иллювиальных горизонтах и в 1,5–2 раза превышают таковые в почвах под лесом. Это связано с более активным иллювируанием ФК в условиях пашни, водный режим которой смещается в гумидную сторону. На усиление процессов внутрипочвенного перераспределения гумусовых веществ в пахотных почвах указывал в своей работе Д.И. Щеглов [5], объясняя это гумидизацией водного режима и увеличением в результате этого мощности зоны активного промачивания. Ежегодное механическое воздействие на почву приводит к увеличению



скорости фильтрации почвенных растворов и вымыванию подвижных форм гумусовых веществ в глубь профиля.

Заключение. Проведенные исследования выявили трансформацию в темно-серых почвах Томь-Яйского междуречья на агрогенной стадии их развития, выраженную в снижении содержания гумуса на 15–20%, лабильных органических веществ (в 1,5–2,2 раза), новообразованных гуминовых кислот (в 2–6 раз), сужении  $C_{\text{ТК}}:C_{\text{ФК}}$  в составе подвижного гумуса (в 1,3–2,5 раза), а также уменьшении обменных оснований (на 7–12%) и гидролитической кислотности (в 1,5–2 раза), что несколько повысило степень насыщенности основаниями. В то же время, гранулометрический состав и реакция почвенного раствора на фоне агрогенеза практически не изменились, в виду устойчивости этих признаков в условиях зонального подтаежного почвообразования.

#### Литература

1. Караваева Н.А. Агрогенная память почв // Память почв: Почвы как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горякин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 578–616.
2. Никитин Б.А. Эволюция дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почв при земледельческом использовании // Естественная и антропогенная эволюция почв. Пушино, 1988. С. 116–122.
3. Большаков А.Ф. Водный режим мощных черноземов Средне-Русской возвышенности / Акад. наук СССР. Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 200 с.
4. Коковина Т.П. Водный режим мощных черноземов и влагообеспеченность на них сельскохозяйственных культур / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. Москва: Колос, 1974. 304 с.
5. Щеглов Д.И. Черноземы центра русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. Москва: Наука, 1999. 213 с.
6. Когут Б.М., Дьяконова К.В., Травникова Л.С. Состав и свойства гуминовых кислот различных вытяжек и фракций типичного чернозема // Почвоведение. 1987. №7. С. 38–45.
7. Чесняк Г.Я. Определение параметров свойств черноземов типичных мощных разного уровня плодородия // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. М., 1980. С. 42–50.
8. Воробьев В.Б. Закономерности изменения гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием антропогенной нагрузки. Горки, 2012. 160 с.
9. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л., 1975. 106 с.
10. Алифанов В.М. Изменение серых лесных почв при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1979. №1. С. 37–47.
11. Классификация и диагностика почв России / Сост.: Шишлов Л.Л., Тонконогов В., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск: Окуймента, 2004. 342 с.
12. Титлянова А.А., Наумов А.В. Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1995. №11. С. 1357–1362.
13. Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Изменение гумусного состояния лесостепных и степных черноземов под курганами и при длительной распашке // Почвоведение. 2002. №2. С. 140–149.
14. Бреус Н.М., Михновская А.Д. Сезонная динамика органического вещества в черноземах // Почвоведение. 1976. №12. С. 51–59.

#### AGROGENIC TRANSFORMATION OF LABILE FORMS OF HUMUS SUBSTANCES IN DARK GRAY SOILS OF THE TOM-YAYA INTERFLUVE

E.V. Kallas, A.S. Kurdaviltsev

National Research Tomsk State University, Tomsk, [ekallas70@gmail.com](mailto:ekallas70@gmail.com)

*Summary.* Under the influence of agrogenic influences in dark-gray soils, the content of humus, labile organic substances, newly formed humic acids of fraction 1, the ratio of  $Sh_a:Sf_a$  in the composition of mobile humus, the number of exchange bases and the value of hydrolytic acidity

*decrease. The granulometric composition and reaction of the soil solution remained practically unchanged.*

*Keywords: agrodark-gray soils, humus content, mobile organic substances, brown humic acids.*

УДК 631.42

## ВЛИЯНИЕ ПОСАДОК МИСКАНТУСА НА СВОЙСТВА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

С.Ю. Капустянчик

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал  
ИЦиГ СО РАН, Краснообск, [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

*Аннотация.* Посадки мискантуса обладают высокой продуктивностью 10–15 т/га сухой биомассы при многолетнем выращивании и средообразующей способностью, оказывают благоприятное экологическое влияние на основные элементы почвенного плодородия: накопление органического вещества в корневых остатках и почве, улучшение физических свойств почв.

*Ключевые слова:* мискантус, продуктивность, структура почвы, водоустойчивость агрегатов, серая лесная супесчаная почва.

**Актуальность.** На сегодняшний день актуальны вопросы нерационального землепользования – увеличиваются процессы эрозии почвы, ее засоления, уплотнения и потери почвенного органического углерода. Современные оценки свидетельствуют, что площадь таких почв составляет почти 2 млрд. га в мире. В России сельскохозяйственные угодья занимают около 220 млн. га (~13% ее площади), из них пахотные – около 122 млн. га. Причем, больше половины пахотных почв (58%) подвержены сильной водной и ветровой эрозии, переувлажнены, заболочены и засолены. Вынос питательных элементов из почвы за счет сельскохозяйственной деятельности ежегодно в 3 раза превышает их возврат с вносимыми удобрениями, что диктует необходимость определенных затрат на поддержание их плодородия. Кроме того, в связи с экономическим кризисом начала 90-х годов XX века более 1/4 сельскохозяйственных земель в РФ было «заброшено» и их площадь сократилась примерно на 34 млн. га. Антропогенное воздействие на почвы диктует необходимость оценки их экологического состояния.

Сейчас активно ведутся поиски и использование растений фиторемедиантов, положительно влияющих на химические, физико-химические и физические свойства почвы. К таким растениям относят мискантус. В России мискантус выращивали для посадки на берегах засыхающих озёр с целью спасения озерной флоры и фауны и очистки воды, для борьбы с эрозией почв (против образования оврагов) [1]. Возможность выращивания этого многолетнего злака на загрязнённых почвах и использование его биомассы с целью получения биотоплива делает это растение весьма перспективным в хозяйственной деятельности России [2].

**Объекты и методы исследования.** Исследования с разновозрастными посадками мискантуса проводились на полях экспериментального хозяйства ИЦиГ СО РАН, заложенного в 70-х годах прошлого века и расположенного на правом берегу Новосибирского водохранилища. Почвенный покров участка исследования характеризуется наличием серых лесных и дерново-подзолистых почв, которые небольшими участками сохранились в естественном, целинном состоянии по опушкам окружающих поля сосново-березовых и березовых лесов. Серые лесные почвы относятся к зональным почвам северной лесостепи обского правобережья. Они составляют основу почвенного покрова третьей надпойменной террасы Оби и склонов лессового плато, формируются на повышенных формах рельефа восточной части Академгородка (г. Новосибирск) под березовыми лесами и остепненными лугами. Многолетнее использование данных почв экспериментальным хозяйством ИЦиГ привело к снижению содержания макро и микроэлементов. Почвы некоторых полей содержат крайне мало гумуса (<1,5%) [3].

Рассматриваемый опыт представлял собой поле площадью около 1 га с разновозрастными плантациями мискантуса с годами посадки 2005, 2009 и 2015. Участки с мискантусом (полосы 50 x 20 м) чередуются с такими же участками бессменного пара, служившего в качестве контроля. Повторность опыта 4-кратная. Исследования проводили в 2018 и 2019 гг. В качестве посадочного материала в опытах использовали корневища *M. sacchariflorus* сорта Сорановский. Корневища высаживали в мае (посадочная норма 1,4 т/га) вручную в борозды глубиной 20–25 см, расстояние между бороздами 70 см; далее поверхность выравнивалась и прикатывалась. В связи с необходимостью выявления средообразующих возможностей мискантуса, удобрения в опыте не применялись. Мискантус убирали сплошным скашиванием, обычно в начале октября, при начале заморозков и высыхании надземной биомассы; урожай учитывали выборочно отбором надземной биомассы с помощью рамки 0,25 м<sup>2</sup> в 4-кратной повторности. Растительные образцы оценивали по абсолютно-сухой массе, которая определялась после сушки образцов в сушильном шкафу при температуре 105°C до достижения постоянной массы. Влажность биомассы мискантуса на момент уборки составляла 20,3–23 %. Подземную биомассу учитывали в слое 0–25 см методом монолитов. Почвенные образцы отбирали после уборки надземной биомассы в слое 0...20, 20...40, 40...60, 60...80, 80...100 см и анализировали общепринятыми методами: гумус – по Тюрину, рН – на потенциометре. Агрегатный анализ почв проводили по методу Саввинова Н.И. (сухое просеивание) [4]. Для агрегатного анализа почв на вариантах опыта были выбраны методом конверта 5 площадок радиусом 5 м, в пределах которых с глубины 0–20 см отобраны образцы ненарушенного сложения размером 15 × 15 × 20 см. Такой подход позволил избежать искусственного перераспределения размерных фракций агрегатов [5]. Перед проведением анализа образцы были доведены до воздушно-сухого состояния. Сухое просеивание полученных образцов почв проводили по методу Саввинова с диаметром ячейки сит 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 7 и 10 мм. Для определения водопрочности структуры почвы использовали прибор И.М. Бакшеева. Для анализа были взяты фракция размером >10 мм, агрегаты 10–7, 7–5 и 5–3 мм. По результатам сухого и мокрого просеивания рассчитаны средневзвешенные диаметры сухих и водоустойчивых агрегатов почв. Структуру почвы оценивали по следующим показателям: 1. содержание агрономически ценной структуры почвы – агрегаты почвы размером 0,25–10 мм, в процентах от массы образца, взятого для просеивания (1 кг); 2. коэффициент структурности ( $K_{стр.}$ ). Диапазоны  $K_{стр.}$ , используемые для качественной оценки структуры, составляют: больше 1,5 – отличное агрегатное состояние; 1,5–0,67 – хорошее; меньше 0,67 – неудовлетворительное; 3. определение количества водопрочных агрегатов по классификации И.В. Кузнецовой [6]. По суммарному количеству агрегатов > 0,25 мм при мокром просеивании (%): <10 – водоустойчивость отсутствует; 10–20 – неудовлетворительная; 20–30 – недостаточно удовлетворительная; 30–40 – удовлетворительная; 40–60 – хорошая; 60–75 – отличная; >75 – избыточно высокая; 4. оценка агрономически ценной структуры по Долгову С.И. и Бахтину П.У по отношению результатов сухого и мокрого просеивания (сумма агрегатов 0,25–10 мм): >80/>70 – отличная, 60–80/55–70 – хорошая, 40–60/40–55 – удовлетворительная, 20–40/20–55 – неудовлетворительная, <20/<20 – плохая.

#### **Обсуждение результатов.**

**Продуктивность разновозрастных посадок мискантуса.** Развитие плантаций мискантуса после их закладки рассмотрим на примере посадки 2015 года, отметив, что динамика формирования плантаций, высаженных в различные годы (2005, 2009 и 2015 гг.), была аналогичной. После высадки корневищ мискантуса при закладке опыта, в первый год происходит активное формирование плантации, прежде всего, интенсивное ветвление корневищ и их рост. Продуктивность подземной биомассы составила  $2,6 \pm 0,4$  т/га и была значительно выше надземной  $0,8 \pm 0,2$  т/га (таблица 1). В течение второго и третьего года развития культуры происходило активное нарастание как надземной, так и подземной биомассы (см. табл. 1); урожайность надземной массы культуры составила 8,1...10,7 т/га, подземной – 4,0...8,9 т/га. К третьему году вегетации продуктивность культуры имела значения  $10,7 \pm 2,2$  т/га, и в последующие годы сохранялась на этом уровне. Максимальный прирост корневищ отмечен в 2018 г., но существенно не отличался от прироста в 2017 и 2019

гг. Таким образом, можно сделать вывод, что формирование плантации на малоплодородных почвах (содержание гумуса 2,6 %) происходит к третьему году вегетации.

Таблица 1. Продуктивность мискантуса 2015 г. посадки (г. Новосибирск), (M±SEM)

Год определения	Биомасса, т абсолютно сухого вещества/га	
	надземная	подземная
2015	0,8±0,2	2,6±0,4
2016	8,1±2,1	4,0±0,9
2017	10,7±2,2	8,9±1,4
2018	10,8±1,3	9,7±1,3
2019	10,2±1,2	9,1±2,1

Далее приведем характеристику надземной биомассы разновозрастных посадок мискантуса, проведенную в 2018 г. и представленную в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика надземной фитомассы разновозрастных посадок мискантуса, 2018 г. (г. Новосибирск), M±SEM

Год посадки	Длина генеративного побега, см	Густота стеблестоя, шт./м <sup>2</sup>	Продуктивность, т/га	Влажность, %	Зольность, %
2005	194,0±13,3	223,0±7,4	12,4±1,6	20,7±1,8	7,20
2009	200,0±2,4	302,0±8,4	14,3±1,4	19,6±2,2	6,95
2015	211,0±17,7	202,0±8,5	10,8±1,3	23,3±2,9	5,39

Высота растений варьирует в пределах 180-229 см при средней величине 201 см. Причем максимальная высота растений отмечена на делянках 2015 года посадки и составляет 211 см. Густота стеблестоя варьировала в пределах от 193 до 310 шт./м<sup>2</sup> при среднем значении 251 шт./м<sup>2</sup>. Максимальная густота стеблестоя отмечена на делянках 2005 и 2009 годов посадки (223 и 302 шт./м<sup>2</sup>, соответственно), что отразилось на урожайности культуры. Наибольшая продуктивность мискантуса отмечена на делянках 2005 и 2009 года посадки. Полученные результаты свидетельствует об отсутствии значительных различий урожайности культуры в зависимости от возраста плантации, по крайней мере, в течение 10...14 лет ее функционирования, что доказывает возможность длительного бессменного выращивания культуры.

**Изменение эффективного плодородия почвы на разновозрастных посадках мискантуса.** Исследуемые почвы в естественном состоянии обладают невысоким уровнем плодородия; при их длительном сельскохозяйственном использовании в период, предшествующий закладке опытов (до 2005 года), почвенное плодородие было существенно истощено [3]. Так, содержание гумуса в исходной почве составляло 1,0–1,1 % и в 2005, и 2009 году, и в последующие годы. Выращивание мискантуса в течение 11 лет способствовало повышению содержания гумуса в почве агроценоза (табл. 3), как по сравнению с исходной старопахотной почвой, так и соседним парующимся участком. Отметим, что количество гумуса в почве под мискантусом возросло не только в верхнем, но и в нижележащих почвенных слоях. Реакция почвенного раствора при длительном выращивании мискантуса не изменилась, по сравнению, как с исходной старопахотной почвой, так и с почвой сопутствующего пара; pH водной суспензии везде равнялась 5,75.



Таблица 3. Изменение эффективного плодородия почвы опыта за 11 лет выращивания мискантуса (делянки 2009 года посадки, отбор почвенных образцов в 2019 г., г. Новосибирск)

Слой почвы, см	Гумус, %	
	Мискантус	Пар
0...20	1,37	0,96
20...40	1,08	0,79
40...60	0,53	0,41
60...80	0,37	0,23
80...100	0,31	0,21
НСП <sub>05</sub>	0,15	0,11

В целом, исследования показали очевидную перспективность выращивания мискантуса в континентальных регионах России, в том числе на низко продуктивных землях, препятствуя их прогрессирующей деградации, улучшая эколого-агрохимическое состояние агрогеоценозов и обеспечивая агрономическую целесообразность производства.

**Агроэкологическая оценка структурного состояния почв в разновозрастных посадках мискантуса.** Структуру почвы оценивают количественно по распределению почвенных агрегатов на фракции определенного размера (диаметра). Для разделения этих фракций проводят ситовой анализ.

**Оценка структуры почвы методом сухого просеивания по Н.И. Саввинову.** Первым количественным показателем структуры является содержание воздушно-сухих агрегатов различного размера. В опыте на разновозрастных посадках мискантуса структурно-агрегатный состав почвы определялся в 2020 г., что соответствует 16-му, 12-му и 6-му годам после закладки опытов 2005, 2009 и 2015 г. в слое 0–20 см (табл. 4).

Таблица 4. Агрегатный состав серой лесной супесчаной почвы под разновозрастными посадками мискантуса в слое 0–20 см (результаты сухого просеивания по методу Саввинова)

Вариант	Размеры структур (мм), содержание (%)								
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25
2005 г.	25,7±1,8	12,6±0,9	10,6±0,85	13,3±0,4	9,7±0,4	16,0±0,1	3,6±0,9	4,7±0,4	3,7±0,4
2009 г.	26,0±1,3	11,9±1,0	10,1±0,1	12,9±0,4	8,5±0,7	12,2±0,7	4,0±1,0	5,0±1,2	9,0±0,4
2015 г.	29,2±0,5	11,5±0,9	8,6±0,5	11,7±0,4	6,2±0,7	9,7±0,6	3,1±0,5	6,3±0,5	13,1±1,8
пар	40,3±1,2	13,7±0,7	7,7±0,5	10,5±1,4	6,1±1,3	3,3±1,2	2,0±0,7	3,6±0,1	12,8±0,7

Отмечена наибольшая структурность под мискантусом 2005 г. посадки – показатели содержания ценных структур (10–0,25 мм) были высокими и составляли в слое почвы 0–20 см 69–72%. На участке 2009 г. посадки значения сохранялись в пределах 63–65%, 2015 г. посадки – 56–59%. На парующемся участке при постоянном пахотном использовании показатели были самыми низкими и составили 46–48%. Наши значения подтверждаются исследованиями Хасановой Р.Ф. (2016) [7] по изучению трав естественной степи, где показатель содержания агрономически ценных структур составлял 70–85%.

Исследования структурного состава почв показали значительные колебания значений агрономически ценных структур в зависимости от возраста посадок (см. табл. 4). В.А. Ковда (1973) [8] относит к самым ценным агрегаты размером 5–1 мм. Как показали наши исследования, высокое количество агрегатов данной фракции отмечено под мискантусом 2005 г. посадки (39%); почва под паром имела наименьшее содержание таких агрегатов (20%). Максимальная доля глыбистой фракции (>10 мм), являющейся показателем ухудшения структуры, отмечена в почве под паром, под мискантусом на всех вариантах отмечается меньшая глыбистость. Наибольшая распыленность структурных агрегатов (менее 0,25 мм) наблюдается на участке под паром и почвах под мискантусом 2015 г. посадки.

Важным показателем качества структуры является коэффициент структурности  $K_{стр.}$ , рассчитываемый как отношение количества агрономически ценных агрегатов к агрономически не ценным. Для качественной оценки структуры использовали агрономически ценный диапазон 10–0,25 мм и  $K_{стр.}$  (табл. 5).

Результаты оценки структуры показали, что структурное состояние почвы под мискантусом на более возрастных участках (2005 и 2009 гг.) характеризовалось как хорошее, на участке под паром и с мискантусом 2015 г. посадки – как удовлетворительное.

Таблица 5. Оценка структурного состава почв (оценка сухого просеивания проведена по методу Саввинова)

Вариант опыта	Сухое просеивание (размер структур 10-0,25 мм), содержание (%)	Коэффициент структурности, $K_{стр.}$	Оценка агрегатного состояния
2005	71	2,40	хорошее/хорошее
2009	64	1,77	хорошее/хорошее
2015	58	1,21	удовл.-ное/удовл.-ное
пар	47	0,98	удовл.-ное/удовл.-ное

Примечание. В оценке агрегатов через дробь записаны показатели содержания структурных отдельностей / показатели коэффициентов (классификация приведена Белоусовой Е.Н. (2014) [6]).

Таким образом, сухой рассев показал, что в корнеобитаемом слое мискантуса (0–20 см) было выявлено значительное содержание (свыше 58%) агрегатов агрономически ценной фракции. Агроэкологическая оценка по результатам сухого просеивания позволяет считать, что структурное состояние почвы под мискантусом на более возрастных посадках (2009 и 2005 г. посадки) практически восстановилось до естественных целинных характеристик.

**Оценка водостойчивости агрегатов.** Другим показателем структуры является ее водостойчивость или водопрочность – способность агрегатов противостоять разрушению при воздействии воды. Почвы, имеющие водопрочную структуру, обладают благоприятным для развития растений водно-воздушным режимом, хорошо впитывают влагу и воздух, не подвергаются воздействию эрозионных процессов. Оценка водопрочности осуществлялась прибором И.М. Бакшеева (метод качания сит). Мокрое просеивание показало, что водопрочность агрегатов достаточно выровнена и колеблется в пределах от 50 до 83% (табл. 6). Формированию структуры с повышенной водопрочностью способствовали многолетние посадки мискантуса (2005 и 2009 гг.).

Таблица 6. Оценка различными методами водопрочности структуры под разновозрастными посадками мискантуса в слое почвы 0–20 см (результаты просеивания по методу Саввинова)

Вариант	Размеры структур 10–0,25 мм при сухом просеивании, содержание (%)	Размеры структур >0,25 мм при мокром просеивании, содержание (%)	Оценка по И.В. Кузнецовой	Оценка по Долгову С.И. и Бахтину П.У.
2005 г.	70,6±2,4	83,2±1,9	избыточно высокая	отличная
2009 г.	64,0±1,8	82,3±1,3	избыточно высокая	отличная
2015 г.	57,6±1,2	65,8±1,8	отличная	хорошая
пар	46,9±0,9	50,4±2,0	хорошая	удовл.-ная

Примечание: (классификация оценки агрегатного состояния предложена И.В. Кузнецовой (Белоусова Е.Н. (2014) [6]).

Для большей информативности показателя оценки водопрочности был произведен расчет данного показателя различными методами. Результаты представлены в таблице 6. Согласно данным, приведенным в таблице, наиболее чувствительными критериями оказались

коэффициенты оценки по И.В. Кузнецовой и Долгову С.И. и Бахтину П.У., показывающие наибольшую информативность оценки водопрочности структуры. Водопрочность агрегатов закономерно ухудшается в направлении от возраста посадок к пару. Под старыми посадками водопрочность оценивается на «отлично», под паром «удовлетворительно».

За 16-летний период произошло значительное увеличение содержания агрономически ценных агрегатов, хотя и на 9-ый и 6-ой годы произрастания мискантуса определения структурного состава остаётся в пределах категории хорошее. Почва под паром характеризуется повышенной глыбистостью и распыленностью.

Таким образом, длительное выращивание мискантуса на малоплодородных почвах (более 15 лет) привело к увеличению накопления органической массы, улучшению гумусного состояния почв в процессе развития культуры и положительно отразилось в изменении структурного состояния почвы

**Выводы.** В многолетних полевых исследованиях показана эффективная возможность выращивания мискантуса в земледельческой зоне Западной Сибири. Региональные гидротермические условия позволяют ежегодно получать 10...15 т сухой массы мискантуса с 1 га; плантации культуры могут бессменно возделываться в течение не менее 14 лет без снижения урожайности. Урожайность мискантуса в 2018 г. на делянках 2005 г. посадки составила 12,4 т/га, 2009 г. посадки – 14,3 т/га, 2015 г. посадки – 10,8 т/га. Подтверждена способность мискантуса эффективно произрастать на почвах с низким уровнем плодородия. За 11 лет бессменного выращивания мискантуса на почве легкого гранулометрического состава (посадки 2009 года) содержание в ней гумуса возросло на 0,3–0,4 %, Посадки мискантуса обладают ясно выраженной средообразующей способностью, оказывая благоприятное экологическое влияние на улучшение физических свойств почв.

**Финансирование.** Работа поддержана бюджетным проектом Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиал ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН № FWNR-2022-0018.

#### Литература

1. Будаева В.В., Митрофанов Р.Ю., Золотухин В.Н., Архипова О.С. Свойства целлюлозы из мискантуса / В.В. Будаева, Р.Ю. Митрофанов, В.Н. Золотухин, О.С. Архипова // Ползуновский вестник. 2010. № 3. С. 240–245.
2. Зеленова Н. А., Муратова А. Ю., Плешакова Е. В. Выделение из корневой зоны *Miscanthus giganteus* ризобактерий, проявляющих устойчивость к тяжелым металлам и стимулирующий рост растений // Исследования молодых ученых в биологии и экологии: сборник научных статей. Саратов: Амирит, 2021. С. 61–63.
3. Сысо А. И., Смоленцев Б. А., Якименко В. Н. Почвенный покров Новосибирского Академгородка и его эколого-агрономическая оценка / А.И. Сысо, Б.А. Смоленцев, В.Н. Якименко // Сибирский экологический журнал. 2010. № 17 (3). С. 363–377.
4. Самофалова И.А. Почвоведение: лабораторный практикум // Пермь, 2006. 33 с.
5. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р. и др. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева, Ю.Р. Фарходов и др. // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.
6. Белоусова Е.Н. Инструментальные методы исследования почв и растений: учеб. пособие, Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2014. 267 с.
7. Хасанова Р.Ф. Агроэкологический анализ структурного состояния и оптимизация свойств черноземов Зауралья при фитомелиорации: автореферат на соиск. уч. степени доктора биол. наук. Уфа, 2016. 44 с.
8. Ковда В.А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. Кн. 2. 468 с.

INFLUENCE OF MISCANTUS PLANTINGS ON THE PROPERTIES OF GRAY FOREST SANDY SOIL

S.Yu. Kapustyanchik

Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding – the branch of the Federal Research Center the Institution of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, [kapustyanchik@bionet.nsc.ru](mailto:kapustyanchik@bionet.nsc.ru)

*Summary. Plantings of miscanthus have a high productivity of 10-15 t/ha of dry biomass during long-term cultivation and a pronounced environment-forming ability. Plantings have a favorable ecological impact on the main elements of soil fertility: the accumulation of organic matter in root residues and soil, changes in the physical properties of soils.*

*Keywords: miscanthus, productivity, soil structure, water resistance of aggregates, gray forest sandy loamy soil.*

УДК 631.84 :631.8.022.3: 631.816.31: 631.816.353

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗНЫХ ВИДОВ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЧЕРНОЗЁМАХ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

С.А. Колбин, Г.И. Ткаченко, Л. М. Самохвалова

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, [kolbin66@mail.ru](mailto:kolbin66@mail.ru)

**Аннотация.** Исследования эффективности внесения жидких (КАС) и твердых (аммиачной селитры) азотных удобрений, проведенные в центральной и южной лесостепи Новосибирской области, показали, что урожайность зерна не зависела от вида применяемого удобрений. На агрономическую эффективность удобрений существенно влиял способ их применения. При внесении КАС-28 в рядки с семенами оптимальной его дозой является 30 кг N/га, повышение дозы внесения до 90 кг/га оказывало угнетающее действие на всходы и урожайность яровой пшеницы. Внесение жидких и твердых удобрений под предпосевную культивацию и в междурядье не сказывалось негативно на урожайности яровой пшеницы. При равнозначной агрономической эффективности аммиачной селитры и КАС-32, в последнем случае за счет пролонгированного действия удобрений зерно имело более высокий класса качества.

**Ключевые слова:** азотные удобрения, жидкие удобрения, растворы карбамидно-аммиачной смеси (КАС), твердые удобрения, агрономическая эффективность удобрений.

**Актуальность.** Дальнейшая интенсификация земледелия в первую очередь связана с расширением применения минеральных удобрений. Объёмы применения минеральных удобрений в Новосибирской области существенно увеличиваются. По данным Министерства сельского хозяйства с 2016 по 2020 г. их приобретение повысилось с 12,5 до 41,6 тыс. т. д.в., в 2025 г. планируется приобрести 61,7 тыс. т. д.в. [1]. Из минеральных удобрений наибольшее влияние на урожайность и качество продукции зерновых культур оказывают азотные удобрения, доля которых в составе NPK в земледелии России составляет 60% [2]. На чернозёмах Сибири в первом минимуме в питании зерновых культур находится азот, поэтому азотные удобрения применяются в наибольших количествах [3]. При этом самым востребованным азотным удобрением является аммиачная селитра (34% N), несколько менее используется карбамид (46% N), так же применяется сульфат аммония (21% N). Наряду с твёрдыми азотными удобрениями увеличиваются объёмы использования жидких удобрений, стоимость производства и затраты на единицу азота которых значительно меньше, чем гранулированных туков. Наиболее распространёнными из них являются растворы карбамидно-аммиачной смеси (КАС) содержащие 28–32% азота. КАС содержат три формы азота – аммонийную, нитратную и амидную. Отмечается, что при внесении КАС наблюдается пролонгированное усвоение азота растениями и снижаются потери азота вследствие денитрификации и миграции в почве (составляют менее 10%), в то время как из твердых удобрений могут достигать 30–40% [4]. Установлено, что при внесении жидких и эквивалентного количества д.в. твёрдых удобрений они оказывают одинаковое влияние на урожайность и качество продукции с.-х. культур в различных климатических зонах РФ [5–8]. В отдельных случаях отмечается преимущество жидких удобрений, прежде всего КАС [9]. Так при эквивалентных дозах азота внесение КАС-32 обеспечивало наиболее высокие прибавки



семян льна масличного, по сравнению с твердыми удобрениями. По мнению авторов, размещение твердых удобрений с семенами обуславливает их низкую эффективность, внесение жидких удобрений в междурядье обеспечивает лучшее их усвоение растениями [10]. Между тем, материалы исследований отечественных и зарубежных авторов не позволяют сделать однозначный вывод о более высокой агрономической эффективности жидких удобрений.

В последние годы в Западной Сибири повышаются объемы применения жидких удобрений, в 2018 г. доля их была менее 2%, в 2020 г. она увеличилась до 15% [11]. Увеличение объема применения происходит, в основном, за счет непосредственного их приготовления в растворных узлах в хозяйствах. Отмечается, что при отсутствии специальной техники для внесения жидких удобрений, в хозяйствах переоборудуют имеющиеся сеялки СЗП 3,6. В связи с этим актуальным становится вопрос выбора доз жидких удобрений, вносимых при посеве с семенами. Недостаточно изучена агрохимическая эффективность жидких азотных удобрений в разных почвенно-климатических условиях.

**Объекты и методы исследования.** Исследования были проведены в 2021 г. в 3 полевых опытах. Мелкоделяночный опыт 1 и полевой опыт 2 в центральной лесостепи Новосибирского Приобья в ОС «Элитная» СФНЦА РАН. Почва – чернозём выщелоченный маломощный малогумусный среднесуглинистый. Содержание гумуса – 5,8%, общего азота – 0,30%, рН почвы близка к нейтральной. Запасы N-NO<sub>3</sub> в 0–40 см слое почвы низкие – 18 кг/га, содержание подвижного фосфора по Чирикову – 230 мг/кг.

Мелкоделяночный опыт 1 проводили на делянках площадью 1 м<sup>2</sup> в 4-х кратной повторности. В качестве азотного удобрения использовали КАС (28,1% N). Варианты опыта: 1) Без удобрений (контроль); 2) N30; 3) N60; 4) N90 кг. N га. Посев пшеницы и внесение КАС в рядки с семенами осуществляли вручную.

В полевом опыте 2 изучались эффективность ежегодного внесения аммиачной селитры в посевах яровой пшеницы. Варианты опыта: N0, N30, N60, N90. Удобрение вносили под предпосевную культивацию сеялкой СЗП 3,6. Размеры делянки 6x18 (м), повторность 4-кратная. Посев проводили сеялкой СЗП 3,6. Возделывалась яровая пшеница Новосибирская 31 по интенсивной технологии (полная защита растений от сорняков, вредителей и болезней).

Полевой опыт 3 проведён в ООО «Рубин» Краснозёрского района в южной лесостепи Новосибирской области [12]. Почва чернозём обыкновенный малогумусный супесчаный. Содержание гумуса – 3,3%, общего азота – 0,16%, рН почвы близка к нейтральной. Запасы N-NO<sub>3</sub> в 0-40 см слое почвы очень низкие – 11,5 кг/га, содержание подвижного фосфора по Чирикову среднее – 111 мг/кг.

В опыте вносили дозы удобрений, рассчитанные на планируемую урожайность яровой пшеницы (50 кг N и 23 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Варианты опыта: 1) без удобрений; 2) NPK с семенами (диаммофоска 90 кг ф.в./га); 3) диаммофоска 90 кг ф.в./га + аммиачная селитра в междурядье 150 кг ф.в./га; 4) диаммофоска 90 кг ф.в./га + КАС-32 в междурядье 156 л ф.в./га. Способ внесения азотных удобрений – локальный на глубину 5–6 см в междурядье, диаммофоска вносилась в рядок с семенами. Размер делянки – 0,13 га. Повторность в опыте трехкратная. Возделывали яровую пшеницу сорта Тобольская по интенсивной технологии. Предшественник – яровая пшеница. Прямой посев яровой пшеницы осуществлялся посевным комплексом Bourgault 3330.

Биологическая урожайность яровой пшеницы в опытах учитывалась сноповым методом с площади 1 м<sup>2</sup>.

**Обсуждение результатов.** Вегетационный период яровой пшеницы 2021 г. в изучаемых лесостепных зонах Новосибирского области можно характеризовать как относительно засушливый в первой половине вегетации (осадки за май-август составляли 80% от нормы, ГТК Селянинова за июнь – июль – 0,95). Стартовые запасы продуктивной влаги в почве на черноземе выщелоченном в центральной лесостепи были хорошими (167 мм в 0–100 см слое почвы), на чернозёме обыкновенном в южной лесостепи – удовлетворительными (103 мм). Фактором, лимитирующим урожайность пшеницы, являлся низкий запас N-NO<sub>3</sub> в 0–100 см слое почвы – 33 кг/га (опыт 1-2) и 29 кг/га (опыт 3).

В опыте 1 наблюдалась относительно высокая эффективность КАС-28, внесённого в рядок с семенами. При этом прибавка зерна не зависела от дозы вносимого азота. Повышение дозы с 30 до 60 и 90 кг N/га не приводило к увеличению урожайности зерна, которая была на 30% выше, чем на контроле. В опыте 2 при внесении аммиачной селитры под предпосевную культивацию урожайность яровой пшеницы в вариантах N30, N60 и N90 была, соответственно, на 38, 67 и 125% выше, чем на контроле (табл. 1).

Таблица 1. Изменение продуктивности яровой пшеницы при внесении жидких и твердых азотных удобрений, г/м<sup>2</sup>

Варианты опыта	КАС-28 совместно с семенами (опыт 1)				Аммиачная селитра под предпосевную культивацию (опыт 2)			
	вес зерна	прибавка	вес соломы	прибавка	вес зерна	прибавка	вес соломы	прибавка
N0	228	–	426	–	170	–	309	–
N30	297	69	615	189	234	64	445	136
N60	302	74	644	218	284	114	486	177
N90	295	67	637	212	383	272	581	272
НСР <sub>05</sub>	45		162		36		44	

Следовательно, внесение КАС-28 с семенами в дозах 60–90 кг N/га было не эффективным и приводило к существенному снижению потенциальной урожайности яровой пшеницы. Внесение КАС-28 резко увеличивало формирование растениями биомассы соломы, но оно не сопровождалось повышением урожайности пшеницы (соотношение массы зерна к соломе составляло 1: 2,2). Внесение аммиачной селитры под предпосевную культивацию (опыт 2) не вызывало угнетение растений, урожайность зерна пшеницы закономерно повышалась по мере увеличения дозы азота и в варианте N90 достигала 383 г/м<sup>2</sup>, масса соломы 581 г/м<sup>2</sup> (соотношение зерна к соломе 1:1,5).

Причиной низкой эффективности внесения в рядок КАС-28 в дозах 60–90 кг N/га являлось угнетающее действие его на семена. Пшеница взошла значительно позже, общее количество растений было на 30% ниже, чем на контроле. Увеличение таких показателей структуры урожая, как коэффициент кущения и количество зерен в колосе, не смогли компенсировать потери потенциальной урожайности пшеницы, так как количество продуктивных стеблей в этих вариантах было ниже, чем в варианте N30 (табл. 2).

Таблица 2. Изменение структуры урожая яровой пшеницы при внесении жидких и твердых азотных удобрений

Вариант	Количество, шт./м <sup>2</sup>		Коэффициент кущения	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в колосе, шт.
	растений	продуктивных стеблей			
Внесение КАС-28 совместно с семенами (опыт №1)					
N0	299	321	1,07	27,3	25,2
N30	298	359	1,20	30,9	26,7
N60	291	349	1,20	30,8	28,5
N90	211	307	1,46	30,6	31,5
НСР <sub>05</sub>	31	46	0,14	1,7	4,3
Внесение аммиачной селитры под предпосевную культивацию (опыт 2)					
N0	517	510	0,99	22,4	15,0
N30	487	491	1,00	24,5	19,8
N60	525	547	1,05	26,6	20,2
N90	553	550	0,99	28,1	25,0
НСР <sub>05</sub>	73	64	0,09	1,7	4,6

В опыте 2 при внесении аммиачной селитры под предпосевную культивацию по мере увеличения дозы азота густота стояния растений в посевах не изменялась. Более высокая

урожайность в вариантах с возрастающими дозами азотного удобрения формировалась за счет повышения количества зерен в колосе и массы 1000 зерен.

Результаты наших исследований показали, что негативное действие КАС-28 при внесении в рядок связано с угнетением семян при дозах N60 и 90, где формировались изреженные посевы с высокой долей соломы. Потенциальные потери урожайности при внесении КАС с семенами могут быть довольно существенными, так в варианте N90 они составили 0,88 т/га (или 30% урожая зерна). Следовательно, при переоборудовании в хозяйствах сеялки СЗП 3,6 для внесения КАС с семенами доза его не должна превышать 30 кг N/га. Для внесения высоких доз КАС необходимо использовать специализированную технику, где существует возможность внесения его между рядами при посеве зерновых культур.

В опыте 3 изучалось внесение КАС посевным комплексом Bourgault 3330 в ООО «Рубин» Краснозёрского района в условиях южной лесостепи Новосибирской области. Как отмечалось ранее вегетационный период 2021 г. был умеренно засушливый в первой половине вегетации яровой пшеницы, стартовые запасы продуктивной влаги в 0–100 см слое почвы составляли – 103 мм, что для чернозёма обыкновенного в южной лесостепи Новосибирской области являются относительно хорошими. Это в сочетании с поздним сроком посева по технологии прямого посева (No-Till) способствовало нивелированию воздействия атмосферной засухи и положительно сказалось на формировании относительно высокой урожайности яровой пшеницы.

Урожайность яровой пшеницы в варианте без внесения минеральных удобрений составила 312 г/м<sup>2</sup>, что свидетельствует о высоком эффективном плодородии почвы «ООО Рубин». В варианте с внесением диаммофоски 90 ф.в. кг/га с семенами урожайность повышалась на 19%, при совместном внесении диаммофоски и азотных удобрений на 36% по сравнению с контролем. Внесение азотных удобрений вне зависимости от вида (аммиачной селитры или КАС-32) повышало урожайность пшеницы на 15% по сравнению с фоновым внесением диаммофоски (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность яровой пшеницы сорта Тобольская зависимости от вида и способа применения минеральных удобрений, г/м<sup>2</sup>

Вариант	Урожайность	прибавка	
		от ДАК	от азотных удобрений
Контроль	312	–	–
Диаммофоска 90 кг/га (ДАК)	370	58	–
ДАК +аммиачная селитра (50 кг N /га)	425		55
ДАК +КАС 32 (50 кг N /га)	424		54
НСР <sub>05</sub>	16		19

Увеличение урожайности яровой пшеницы под влиянием диаммофоски происходило за счет повышения количества продуктивных стеблей (на 12%) и массы 1000 зерен (на 8%). При внесении азотных удобрений урожайность яровой пшеницы повышалась с 370 (на варианте с внесением диаммофоски) до 425 г/м<sup>2</sup>. При внесении аммиачной селитры урожайность повышалась за счет увеличения количества продуктивных стеблей (на 11%) и массы 1000 зерен (на 11%). При использовании КАС-32 урожайность повышалась в основном за счет увеличения массы 1000 зерен (табл. 4).

Внесение азотных удобрений вне зависимости от вида (гранулированной аммиачной селитры или в жидком виде КАС-32) повышало содержание сырой клейковины в зерне пшеницы на 7–11 абс. % по сравнению с фоновым внесением диаммофоски (см. табл. 4). При этом под влиянием аммиачной селитры было получено зерно 3 класса качества, а при удобрении пшеницы КАС-32 – 2 класса.

Таблица 4. Элементы продуктивности яровой пшеницы сорта Тобольская в зависимости от вида и способа применения минеральных удобрений

Вариант	Количество, шт./м <sup>2</sup>		Коэффициент кущения	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в колосе, шт.	Содержание клейковины, %
	растений	продуктивных стеблей				
Контроль	415	421	1,01	20,9	35,6	21,3
Диаммофоска (ДАК)	419	472	1,13	20,6	38,3	18,8
ДАК+ аммиачная селитра	455	524	1,15	23,0	35,4	26,4
ДАК+КАС-32	425	485	1,14	23,3	37,8	29,6
НСР <sub>05</sub>	46	43	0,04	1,2	1,6	

### Выводы:

1. Проведенные исследования в модельных опытах показали, что при внесении в рядки с семенами КАС-28 из расчёта 30, 60 и 90 кг N/га обнаружено одинаковое положительное действие на урожайность яровой пшеницы. Оптимальным количеством жидких азотных удобрений в рядки с семенами является 30 кг N/га. Высокая доза азота (90 кг/га) оказывала угнетающее действие на всходы растений. Урожайность яровой пшеницы в варианте N90 с внесением КАС в рядок с семенами была на 30% меньше, чем при внесении 90 кг N/га аммиачной селитры под предпосевную культивацию.

2. Использование специализированных посевных комплексов Bourgault 3330 по технологии прямого посева (No-Till) в ООО «Рубин» Краснозёрского района в южной лесостепи Новосибирской области позволило даже в засушливых условиях вегетации получить высокую урожайность пшеницы в варианте без внесения удобрений – 312 г/м<sup>2</sup>. Под влиянием диаммофоски она увеличилась до 370 г/м<sup>2</sup> (на 19%), а при добавлении в междурядья аммиачной селитры или КАС-32 – до 425 г/м<sup>2</sup>, то есть еще примерно на 15%. Удобрения оказали значительное влияние на содержание сырой клейковины в зерне: на контроле и в варианте с диаммофоской она составляла – 21,3% и 18,8% (4 класс), в варианте с аммиачной селитрой – 26,4% (3 класс), в варианте с КАС-32 – 29,6% (2 класс). Следовательно, с точки зрения повышения урожайности зерна агрономическая эффективность аммиачной селитры и КАС-32 была одинаковой, однако в последнем случае было получено зерно более высокого класса качества.

### Литература

1. О ходе приобретения минеральных удобрений в 2020 году и планы по приобретению до 2025 г./ Министерство сельского хозяйства РФ. – М., 2020. [Электронный ресурс] // URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/4a5/4a5e8900ca37701862e106b46d2f0abe.pdf> (дата обращения: 10.07.2023).
2. Применение азотных удобрений и баланс азота в земледелии России // Бюл. Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2009. Вып. 6. С. 4–7.
3. Гамзиков Г. П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. отд-ние. Новосиб. гос. аграр. ун-т., 2013. 790 с.
4. Завалин А.А., Ефремов Е.Н., Алферов А.А., Самойлов Л.Н., Чернова Л.С., Благовещенская Г.Г. Преимущества и проблемы применения жидких азотных удобрений в земледелии // Агрохимия. 2014. № 5. С. 20–26
5. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агропрогресс, 1999.
6. Щепетьев М.А. Эффективность применения азотных и фосфорных удобрений на озимой пшенице после непаровых предшественников в приазовской зоне Ростовской области: Автореф. дис. ... канд.с.-х. наук. М.: ВНИИА, 2013. 24 с.
7. Петров А. Ф., Мармулев А. Н., Митракова А. Г. Эффективность применения различных форм азотных удобрений на посевах яровой пшеницы // Теория и практика современной



- аграрной науки: сб.нац. (всерос.) науч. конф. / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2018. С. 61–65
8. Самойлов Л.Н., Яковлева Т.А., Конова А.М. Эффективность применения баковых смесей средств химизации // Агро XXI. 2011. № 7–9. С. 18–19.
  9. Безлюдный Н.Н., Ковтун В.М. Эффективность применения КАС на посевах озимой ржи и пшеницы в условиях Белорусской ССР // Пути повышения урожайности полевых культур. Минск, 1989. Т. 20. С. 7–12.
  10. Антонова О.И. Изменение продуктивности льна масличного под влиянием жидких азотных удобрений / Антонова О.И., Латарцев П.Ю. //Аграрная наука – сельскому хозяйству. сб. материалов XIII Международной научно-практической конференции: в 2 кн. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2018. С. 219–222.
  11. Результаты работы отрасли растениеводства 2020 года, задачи и перспективы развития // [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://mcx.nso.ru/sites/mcx.nso.ru/> (дата обращения 31.07.2021 г.).
  12. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области / РАСХН. Сиб. отделение, СибНИИЗХим. Новосибирск, 2002. 388 с.

#### EFFICIENCY OF DIFFERENT TYPES OF NITROGEN FERTILIZERS ON THE CHERNOZEMS OF THE NOVOSIBIRSK PRIOBI

S.A. Kolbin, G.I. Tkachenko, L. M. Samokhvalova

Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies RAS, Novosibirsk, kolbin66@mail.ru

*Summary. Studies of the effectiveness of applying liquid (UAN) and solid (ammonium nitrate) nitrogen fertilizers, conducted in the central and southern forest-steppe of the Novosibirsk region, showed that the grain yield did not depend on the type of fertilizer used. The agronomic efficiency of fertilizers was significantly influenced by the method of their application. When applying UAN-28 in rows with seeds, its optimal dose is 30 kg N/ha, increasing the application dose to 90 kg/ha had a depressing effect on seedlings and yields of spring wheat. The introduction of liquid and solid fertilizers under pre-sowing cultivation and between rows did not adversely affect the yield of spring wheat. With an equivalent agronomic efficiency of ammonium nitrate and UAN-32, in the latter case, due to the prolonged action of fertilizers, the grain had a higher quality class.*

*Keywords: nitrogen fertilizers, liquid fertilizers, solutions of carbamide-ammonia mixture (UAN), solid fertilizers, agronomic efficiency of fertilizers.*

УДК 631.46

## МИКРОБОЦЕНОЗЫ МЕРЗЛОТНЫХ ЛУГОВО-СТЕПНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ

Н.П. Кузьмина, С.В. Ермолаева, А.П. Чевычелов

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, erel1982@mail.ru*

**Аннотация.** Установлено, что в июле 2022 г численность микроорганизмов в солончаке солонцеватом колебалась от  $1,3 \pm 1,2 \times 10^2$  до  $3,7 \pm 2,1 \times 10^4$  КОЕ/г почвы. Целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в незначительном количестве ( $10^2$ ), а азотфиксаторы отсутствовали. По общей численности микроорганизмов в микробоценозе данной почвы преобладали аммонификаторы (35%), олигонитрофилы (30%) и актиномицеты (25%), меньше всего оказалось грибов – 10%. Отмечено, что численность микроорганизмов, в основном, зависела от содержания гумуса и азота. Зависимость от содержания солей наблюдалась только у бактерий на МПА и мицелиальных грибов.

**Ключевые слова:** мерзлотные почвы, засоленные почвы, состав и свойства, количество и распределение микроорганизмов, корреляционные зависимости.

**Актуальность.** Якутский ботанический сад (ЯБС) является центром изучения и сохранения биоразнообразия местных и инорайонных видов растений. Площадь исследованной равнинной территории Якутского ботанического сада составляла около 100 га. Территория ЯБС приурочена ко второй надпойменной террасе р. Лена, в пределах расширенной части долины этой реки, называемой «Туймаада» [1]. До настоящего времени, мерзлотные почвы ботанического сада вообще не изучались микробиологическими методами. Исследуемые мерзлотные лугово-степные почвы в различной степени засолены и в них отмечаются различные солевые профили и разные типы засоления. Максимальная степень засоления и солонцеватости наблюдались в почве разреза 7БС-18, которая диагностирована как хлоридно-натриевый солончак-солонец высокосолонцеватый (гор. Аса,s), глубже как солончак слабосолонцеватый (гор. Вса) и ещё глубже (гор. ВСса, С) как средnezасоленная слабо- и среднесолонцеватая почва с хлоридно-натриевым типом засоления [2]. В настоящей работе впервые проведено изучение микробоценоза мерзлотного солончака солонцеватого Центральной Якутии. Целью исследования являлось изучение количественного состава основных эколого-физиологических групп микроорганизмов и выявление корреляции между различными параметрами, характеризующими состояние микробного комплекса мерзлотного солончака солонцеватого на территории ЯБС.

**Объекты и методы исследования.** При проведении почвенных работ использовали общепринятые методы почвенных исследований, такие как сравнительно-географический, сравнительно-аналитический и профильно-генетический [3, 4], а изучение физико-химических свойств данных мерзлотных почв проводилось по стандартным аналитическим методикам [5]. Пробы для микробиологических исследований отбирали по стандартной методике. Образцы почв отбирали с различных глубин по генетическим горизонтам. Численность культивируемых микроорганизмов определяли методом посева на селективные питательные среды. Количество бактерий, использующих органический азот (аммонифицирующих бактерий) учитывали на мясо-пептонном агаре (МПА); актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); олигонитрофильных бактерий – на среде Эшби; количество грибов учитывали на подкисленной среде Чапека для грибов. Для обнаружения и количественного учета аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов использовали среду Гетчинсона и Клейтона, способом посева из разведенной почвенной суспензии на агаризованную среду, поверх которой накладывали стерильный обеззоленный фильтр. Определение содержания аэробных азотфиксирующих бактерий проводили методом обрастания почвенных комочков на среде Эшби. Подсчет обросших комочков азотфиксаторами выражали в процентах (%). Колонии бактерий учитывали на 3–4 сутки, грибов – на 7–10 сутки [6]. Общую численность микроорганизмов (ОЧМ) в исследуемых почвах определяли с выведением средних значений данных по численности микроорганизмов. Статистическая обработка материалов проводилась на 95%-ном уровне значимости по стандартной программе EXCEL 2019 (пакет программ Windows).

**Обсуждение результатов.** Разрез 7БС-18 заложен на территории ЯБС, на острове, в западине с относительным понижением ~ 0,5 м по направлению продолжения залива, в середине голого пятна, полностью лишенного растительности. Географические координаты: 62°01'10,1" N, 129°36'51,0" E, Н–97,0 м. Морфологическое строение профиля: Аса,s(0–15/18) – Вса(15/18–39) – ВСса(39–65) – С(65–100 см).

Аса,s, 0–15/18 см. Темно-серый, бесструктурный, среднесуглинистый, плотный, липкий, вскипает от HCl, вскипание среднее, серыми гумусовыми языками переходит в следующий горизонт, переход заметный.

Вса, 15/18–39 см. Буровато-светло-серый с серыми пятнами и затеками гумуса, непрочно-мелкокомковатый, тяжелый суглинок, влажный, липкий, менее плотный, чем предыдущий, бурно вскипает от HCl, переход постепенный по цвету и резкий по механическому составу.

ВСса, 39–65 см. Белесовато-светло-бурый, бесструктурный, супесчаный, влажный, на глубине 44–54 см отмечается серый гумусовый морфон неправильной эллипсоидной формы, размерами ~ 15×10 см, вскипает от HCl, вскипание среднее, переход в следующий горизонт постепенный.

С, 65–100 см. Светло-бурый, бесструктурный, супесчаный, с мелкими серыми пятнами  $Mn^{+2}$ , сильно увлажнен, на границе с мерзлотой сырой.

Почва: мерзлотный солончак солонцеватый (соровый).

Изучаемая почва по всему профилю обладает сильнощелочной реакцией среды [7]. Содержание гумуса в гор. А, оцененное по известной шкале [8], характеризуется как высокое, в гор. Вса – как среднее, а в гор. ВСса и С – как очень низкое. При этом распределение гумуса по почвенному профилю сверху вниз отмечается как резко убывающее (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства мерзлотного солончака солонцеватого, разрез 7БС-18

Горизонт	Глубина, см	pH <sub>H2O</sub>	Гумус, %	Обменные катионы, ммоль(экв)/100 г почвы				Фракции, %		CO <sub>2</sub> карбонатов, %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Сумма	<0,001 мм	<0,01 мм	
Аса,s	0–5	9,3	8,5	7,2	21,6	31,2	60,0	19,7	38,7	2,7
Аса,s	5–15	9,3	5,9	10,8	11,4	16,8	39,0	23,7	44,4	3,7
Вса	23–33	9,2	3,4	8,1	7,1	1,2	16,4	18,1	41,3	6,6
ВСса	45–55	9,5	0,6	3,0	2,8	0,8	6,6	7,0	13,3	3,2
С	80–90	9,1	0,6	5,0	4,9	0,7	10,6	7,2	12,8	Н.о.

Таблица 2. Состав водной вытяжки мерзлотного солончака солонцеватого, разрез 7БС-18

Горизонт	Глубина, см	Ионы, % / мг-экв							Сумма солей, %
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
Аса,s	0–5	<u>0,213</u>	<u>2,270</u>	<u>0,061</u>	<u>0,035</u>	<u>0,112</u>	<u>1,350</u>	<u>0,001</u>	4,042
		3,50	65,00	1,28	1,75	9,30	58,70	0,03	
Аса,s	5–15	<u>0,183</u>	<u>1,170</u>	<u>0,178</u>	<u>0,023</u>	<u>0,017</u>	<u>0,865</u>	<u>0,004</u>	2,440
		3,00	33,50	3,72	1,15	1,45	37,61	0,01	
Вса	23–33	<u>0,140</u>	<u>0,623</u>	<u>0,214</u>	<u>0,030</u>	<u>0,013</u>	<u>0,505</u>	<u>0,002</u>	1,527
		2,30	17,80	4,46	1,50	1,10	21,96	0,01	
ВСса	45–55	<u>0,079</u>	<u>0,259</u>	<u>0,021</u>	<u>0,015</u>	<u>0,008</u>	<u>0,178</u>	<u>0,002</u>	0,562
		1,30	7,40	0,44	0,75	0,65	7,74	0,01	
С	80–90	<u>0,058</u>	<u>0,269</u>	<u>0,049</u>	<u>0,010</u>	<u>0,007</u>	<u>0,197</u>	<u>0,003</u>	0,593
		0,95	7,70	1,02	0,50	0,60	8,56	0,01	

В составе катионов почвенно-поглощающего комплекса в гор. А данной почвы наблюдается высокое присутствие Na<sup>+</sup>, составляющее 43–52 % от суммы обменных катионов. Последнее, согласно известным градациям [9], позволяет характеризовать данную почву в гор. А как высокосолонцовый солонец, в гор. Вса и С – как слабосолонцеватую, в гор. ВСса – как

среднесолонцеватую. Гранулометрический состав изучаемой почвы, также согласно известным критериям [10], характеризуется в гор. А как средне- и тяжелосуглинистый, в гор. Вса – как тяжелосуглинистый, в гор. ВСса и С – как супесчаный. В этом плане можно утверждать, что изучаемая почва по гранулометрическому составу резко дифференцирована на две части – верхнюю более тяжелую и нижнюю – более легкую. Данная почва также содержит подвижные карбонаты, максимальное количество которых отмечается в гор. Вса.

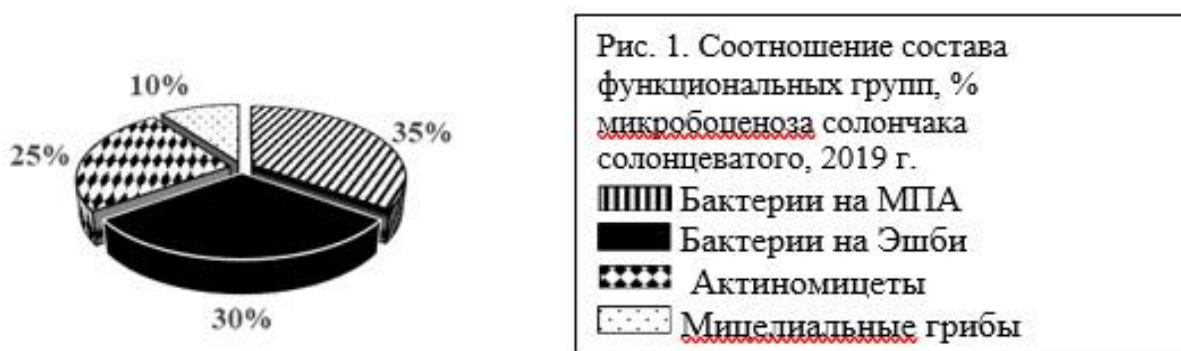
Результаты микробиологического анализа показали, что в июле 2019 г численность микроорганизмов в мерзлотном солончаке солонцеватом колебалась от  $1,3 \pm 1,2 \times 10^2$  до  $3,7 \pm 2,1 \times 10^4$  КОЕ/г почвы (табл. 3). По шкале Звягинцева для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами [11], солончак солонцеватый оказался очень бедным (< 1–2 млн. КОЕ/г).

Таблица 3. Численность микроорганизмов в мерзлотном солончаке солонцеватом Якутского ботанического сада, июль 2019 г.

Горизонт	Глубина, см	Бактерии на МПА	Бактерии на Эшби	Актиномицеты	Микромицеты	Целлюлозолитики	Азотфиксаторы
		КОЕ/г					
Аса,s	0–5	$2,5 \pm 1,2 \times 10^4$	$3,7 \pm 2,1 \times 10^4$	$1,8 \pm 0,1 \times 10^4$	$1,2 \pm 0,6 \times 10^4$	0	0
Аса,s	5–15	$2,5 \pm 1,7 \times 10^4$	0	$1,3 \pm 0,6 \times 10^4$	$1,3 \pm 0,6 \times 10^4$	$1,3 \pm 1,2 \times 10^2$	0
Вса	23–33	$2,6 \pm 1,3 \times 10^4$	0	$1,3 \pm 0,6 \times 10^4$	0	$1,7 \pm 0,4 \times 10^2$	0
ВСса	45–55	0	$2,5 \pm 0,6 \times 10^4$	$1,9 \pm 1,1 \times 10^4$	0	0	0
С	80–90	$1,2 \pm 0,6 \times 10^4$	$1,2 \pm 0,6 \times 10^4$	0	0	-	0

Примечание. «0» – не обнаружено, прочерк – не определено.

Тем не менее, наибольшее количество микроорганизмов  $3,7 \pm 2,1 \times 10^4$  КОЕ/г было обнаружено на поверхности почвы, в горизонте Аса,s, где концентрация солей была максимальной (4,042%) и их представителями оказались олигонитрофилы (бактерии на Эшби), предпочитающие обитать в бедных по азоту средах и возможно обладающих галофильными свойствами (табл. 2, 3). Остальные исследуемые группы микроорганизмов обнаружены в одинаковом количестве от  $1,2 \pm 0,6 \times 10^4$  до  $2,6 \pm 1,3 \times 10^4$  КОЕ/г. Показателями биологической активности почвы и ее плодородия являются азотфиксаторы и целлюлозолитические микроорганизмы. Целлюлозолитические микроорганизмы были обнаружены в незначительных количествах ( $10^2$ ), а азотфиксаторы вовсе отсутствовали.



Анализ содержания функциональных групп микроорганизмов показал разные процентные соотношения состава микробиоценоза исследуемого солончака солонцеватого (рис. 1). По общей численности микроорганизмов в микробиоценозе данной почвы преобладали бактерии на МПА (35%), затем бактерии на Эшби (30%), актиномицеты (25%), меньше всего оказалось грибов – 10% (рис. 1).

Профильное распределение микроорганизмов показало, что исследуемые группы микроорганизмов были обнаружены не во всех горизонтах почвы (рис. 2). Так, бактерии на МПА и Эшби отсутствовали в горизонтах ВСса (45–55 см) и Аса,s (5–15 см), Вса (23–33 см), соответственно. Интересно отметить, что мицелиальные грибы, были обнаружены только на



поверхности исследуемой почвы (Аса,с (0–15 см)). Содержание солей в исследуемой почве снижалось с глубиной. Так, в нижних горизонтах, где меньше всего содержание солей, были обнаружены бактерии на МПА, бактерии на Эшби и актиномицеты. В результате засоления создаются неблагоприятные условия для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, что приводит ухудшению свойств почвы и снижению ее плодородия, но в таких почвах обитают приспособленные микроорганизмы (галотолерантные или галофильные формы). Как видно на рисунке 2, микроорганизмы не зависели от содержания солей, поэтому следует предположить, что в этой засоленной почве присутствовали указанные формы микроорганизмов.

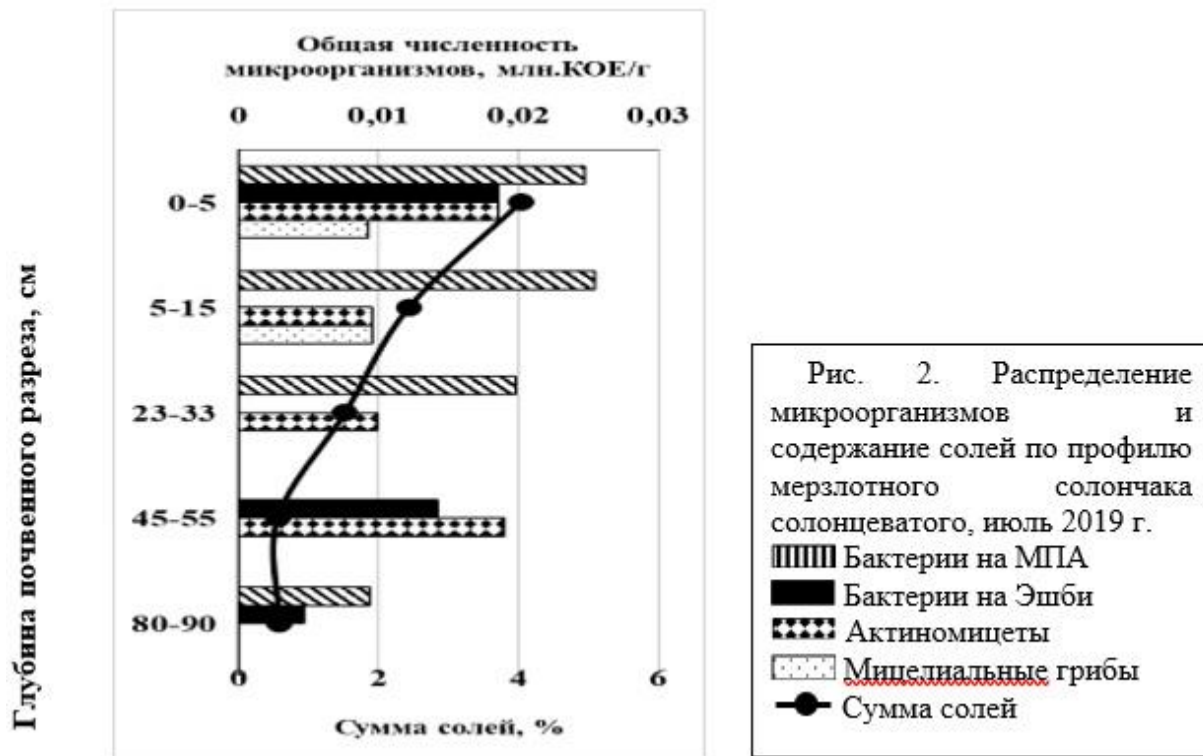


Рис. 2. Распределение микроорганизмов и содержание солей по профилю мерзлотного солончака солонцеватого, июль 2019 г.  
 ■■■■■ Бактерии на МПА  
 ■■■■■ Бактерии на Эшби  
 ..... Актиномицеты  
 ▨▨▨▨ Мицелиальные грибы  
 ●—● Сумма солей

Анализ показал, что численность микроорганизмов не зависела от влажности. Данный факт можно связать с тем, что в день отбора проб, почва была переувлажненной и возможно поэтому влажность не оказывала влияния на развитие микроорганизмов (табл. 5).

Таблица 5. Значения коэффициентов корреляции (r) между численностью микроорганизмов и параметрами мерзлотного солончака солонцеватого (разрез 7 БС-18), июль 2019 г.

Фактор	Аммонификаторы	Олигонитрофилы	Актиномицеты	Грибы
Температура	0,65	0,33	0,67	<b>0,80</b>
Влажность	0,27	-0,77	0,01	-0,42
pH <sub>H2O</sub>	-0,50	0,42	<b>0,82</b>	0,12
Гумус	0,76	0,24	0,46	<b>0,90</b>
Общий N	0,75	0,05	0,47	<b>0,94</b>
Сумма солей	<b>0,82</b>	0,34	0,43	<b>0,87</b>

Примечание. \*Жирным шрифтом обозначены статистически значимые коэффициенты корреляции ( $p=0,95$ ).

В солончаке солонцеватом, зависимость от температуры была высокой только у мицелиальных грибов ( $r=0,80$ ). От pH почвы зависели только актиномицеты, коэффициент корреляции был высоким и положительным. Высокую положительную корреляционную связь от гумуса и азота (N) отмечали только у аммонификаторов и мицелиальных грибов ( $r=0,75-0,94$ ). Для солончака, основным фактором, оказывающим влияние на жизнедеятельность

биоты, является содержание солей в почве. Так, значительную зависимость от суммы солей отмечали у бактерий на МПА (аммонификаторов) и мицелиальных грибов.

**Заключение.** Результаты микробиологического анализа показали, что в июле 2019 г численность микроорганизмов в солончаке солонцеватом колебалась от  $1,3 \pm 1,2 \times 10^2$  до  $3,7 \pm 2,1 \times 10^4$  КОЕ/г почвы. Целлюлозолитические микроорганизмы были обнаружены в незначительных количествах ( $10^2$ ), а азотфиксаторы вообще отсутствовали. По общей численности микроорганизмов в микробоценозе данной почвы преобладали аммонификаторы (35%), затем олигонитрофилы (30%), актиномицеты (25%), меньше всего оказалось грибов – 10%. Как известно, в результате засоления создаются неблагоприятные условия для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, что приводит ухудшению свойств почвы и снижению ее плодородия, но в таких почвах обитают приспособленные галотолерантные или галофильные формы микроорганизмов.

По результатам корреляционного анализа видно, что микроорганизмы, в основном, зависели от содержания гумуса и азота. Зависимость от содержания солей наблюдали только у бактерий на МПА и мицелиальных грибов. Мицелиальные грибы коррелировали со всеми параметрами, кроме влажности и pH почвы.

#### Литература

1. Горохов А. Н., Чевычелов А. П., Николаева О. А. Особенности природных условий ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны // Проблемы региональной экологии. 2020. № 2. С. 15–19.
2. Чевычелов А.П., Горохов А.Н., Николаева О.А., Коробкова Т.С., Сабарайкина С.М. Почвенно-растительный покров Якутского ботанического сада. Сибирское отделение РАН. Новосибирск, 2022. 162 с.
3. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
4. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.
5. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 272 с.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М., Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
7. Мякина Н.Б., Аринушкина Е.В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 63 с.
8. Орлов Д.С., Лозанская И.Н., Попов П.Д. Органическое вещество почв и органические удобрения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 98 с.
9. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР. 1987. 172 с.
10. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. М.: Колос, 1980. 272 с.
11. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Наука, 1987. 256 с.

#### MICROBIOCENOSSES OF CRYOGENIC MEADOW-STEPPE SOILS OF CENTRAL YAKUTIA UNDER EXTREME SALINE CONDITIONS

N.P. Kuzmina, S.V. Ermolaeva, A.P. Chevychelov

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, [erel1982@mail.ru](mailto:erel1982@mail.ru)

*Summary.* It was found that in July 2022, microbial abundance in solonets-solonchaks ranged from  $1,3 \pm 1,2 \times 10^2$  to  $3,7 \pm 2,1 \times 10^4$  CFU/g soil. Cellulosolytic microorganisms were found in low numbers ( $10^2$ ) and nitrogen fixers were absent. According to the total number of microorganisms in the microbocenoses of this soil, ammonifiers (35%), oligonitrophils (30%), actinomycetes (25%) were predominant, and the least number of mycelial fungi was 10%. It was noted that the number of microorganisms mainly depended on humus and nitrogen content. Dependence on salt content was observed only for bacteria on MPA (ammonifiers) and mycelial fungi.

*Keywords:* cryogenic soils, saline soils, composition and properties, number and distribution of microorganisms, correlation relationships.

УДК 631.459.01

## ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОГО СМЫВА В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Н.В. Кылосова, М.А. Кондратьева

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь,  
nadegda.kylosova@yandex.ru

**Аннотация.** На примере одного из фермерских хозяйств края, расположенного в зоне южной тайги, с помощью модели RUSLE выполнен расчет потенциального смыва почв с пахотных угодий. Изучаемые агродерново-подзолистые почвы хозяйства имеют средне- и тяжелосуглинистый состав и отличаются очень низким содержанием гумуса 0,82–1,17 %. Расчетные значения величины потенциального смыва составили 1–13 т/га. Выделены 3 категории эрозионноопасных земель: 45 % обследуемой площади отнесены к 1 категории эрозионной опасности с величиной смыва до 2,5 т/га в год, 33 % – к 2-ой категории со смывом 2,5–5,0 т/га, оставшиеся 17 % – к 3 категории с величиной смыва 5,0–10,0 т/га.

**Ключевые слова:** агроландшафты, эрозия, деградация почв, потенциальный смыв почв, методы исследования почвенной эрозии.

**Актуальность.** Южнотаежные ландшафты занимают около 30% от площади Пермского края [1]. На долю этой зоны приходится наибольшее значение площади пашни, доля которой достигает 30–52% от общей площади административных районов [2]. Одной из проблем агроландшафтов южной тайги является развитие водной эрозии. Согласно доклада Минсельхоза РФ за 2020 год [3], в Пермском крае 35% от площади обследованных почв подвержены водной эрозией. Развитию водной эрозии в ландшафтах южной тайги способствует ряд факторов: высокое содержание в составе гранулометрического состава крупнопылеватых частиц, неудовлетворительное структурное состояние пахотных горизонтов с низким содержанием водопрочных агрегатов (10–30 %); широкое развитие склоновых поверхностей; высокий эрозионный потенциал осадков.

**Методы и объекты исследований.** Объектами исследования являются пахотные угодья одного из фермерских хозяйств, расположенного в Ильинском районе Пермского края (рис. 1). Территория района располагается в пределах Верещагинско-Васильевских увалов, рельеф представлен возвышенностями с высотами 200–316 м, на севере преобладают плоские почти пологие склоны (2–4°) и пологие на юге (6–7°). Почвообразующие породы преимущественно представлены элювиально-делювиальными суглинками [4]. Почвы угодий представлены агродерново-подзолистыми слабосмытыми.

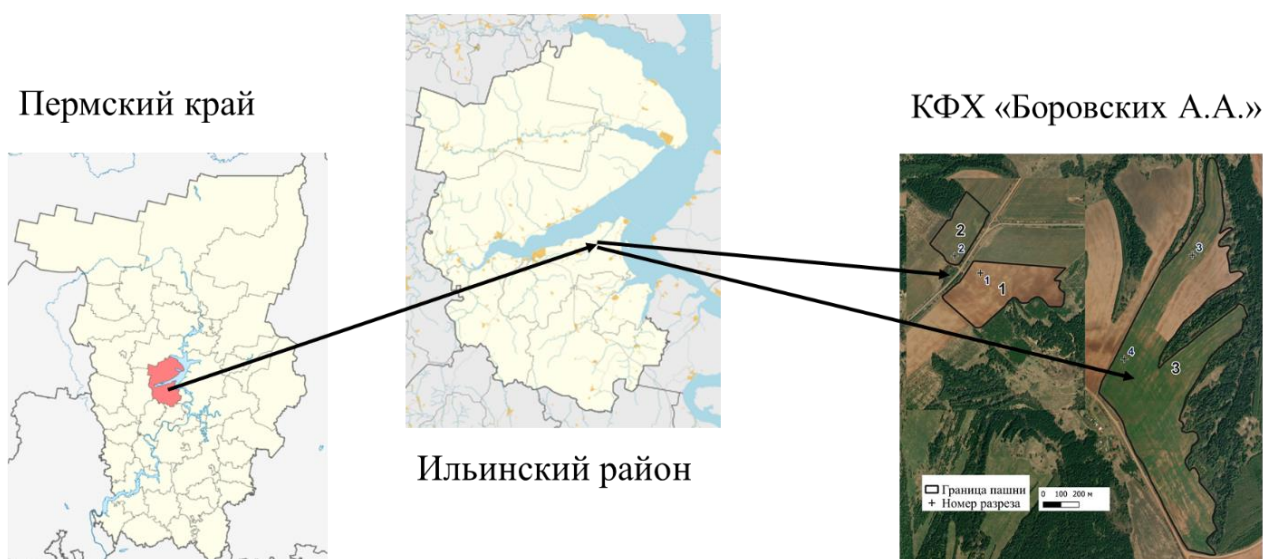


Рисунок 1. Местоположение объектов исследования.

В рамках полевых исследований было заложено 4 полно профильных почвенных разреза, заложённых в 2020 году на полях под разными культурами: ячмень, рожь, клевер 2 года пользования. Лабораторные исследования почвенных проб включали определение

содержания гумуса методом Тюрина в модификации Симакова с использованием 0,4 н. раствора двуххромовокислого калия ( $K_2Cr_2O_7$ ) [5]. Гранулометрический состав почв изучался методом пипетки (вариант Н.А. Качинского с подготовкой почвы к анализу пирофосфатным методом по С.И. Долгову и А.И. Личмановой) [6].

Обработка данных дистанционного зондирования и оформление картографических материалов выполнены в среде программы QGIS (версия 3.26.2.) [7].

Величина потенциального смыва производилась по модели универсального уравнения – RUSLE [8]. Эта модель подходит для регионов с дефицитом расчетных данных. Модель (уравнение Уишмайера-Смита) представляет произведение факторов эрозии и имеет вид:

$$Q=0,224*R*K*LS*C*P,$$

где  $Q$  – потеря почвы от эрозии в  $кг/м^2$  за год;  $R$  – комплексная характеристика эродирующей способности дождя;  $K$  – комплексная характеристика свойств почвы, определяющих ее эрозионные свойства (водопроницаемость и противозэрозионная стойкость);  $LS$  ( $LS$ -factor) – длина склона и коэффициент крутизны;  $C$  – комплексная характеристика влияния системы земледелия на смыв почвы;  $P$  – комплексная характеристика эффективности различных противозэрозионных мероприятий.

### **Обсуждение результатов.**

Агродернов-слабоподзолистые почвы исследуемых угодий отличаются низким содержанием гумуса 0,82–1,17 %, что является следствием их смывости. Гранулометрический состав характеризуется как средне- и тяжелосуглинистый. Содержание крупной пыли в составе фракций пахотных горизонтов разрезов 1 и 4 достигает 37–39 %, в разрезах 2 и 3 снижается до 18–22 % при увеличении содержания песка 33–47 %. В целом на долю фракций пыли приходится 34–68 % гранулометрических элементов.

Коэффициент противозэрозионной стойкости почв  $K$  определялся с использованием номограммы Уишмайера-Смита [11]. Важнейшими параметрами номограммы является содержание гумуса и гранулометрический состав, а именно суммарное содержание фракций размером от 0,1 до 0,001 мм и более 0,1 мм. Низкая противозэрозионная стойкость дерново-подзолистых почв обусловлена высоким содержанием пылеватых фракций, не участвующих в формировании водопрочной структуры и снижающих водопроницаемость почв. В пахотных горизонтах несмытых дерново-подзолистых почв противозэрозионная стойкость может несколько улучшаться за счет присутствия органического вещества, однако на слабо- и среднесмытых разновидностях при вовлечении в распашку горизонта  $A_2$  противозэрозионная стойкость убывает. Полученные показатели  $K$  изменяются от 0,22 для почв поля 2 до 0,44–0,48 – для почв полей 4 и 1. Наименьшее значение  $K$ , полученное для поля 2, обусловлено особенностями гранулометрического состава, а именно пониженным содержанием суммарной фракции пыли.

Эрозионный индекс осадков ( $R$ ) в уравнении RUSLE представляет с собой произведение кинетической энергии дождя и его максимальной 30-минутной интенсивности. Его значение для Нечерноземной зоны варьирует от 1–3 единиц на севере, до 4–6 единиц в центральных районах [11]. Для центральных районов Пермского края максимальная 30-минутная интенсивность ливней 50%-ной обеспеченности составляет 0,55–0,60 мм/мин. [9]. Наиболее эрозионно опасным месяцем является июль. При этом, по данным О.А. Скрыбиной, у дерново-подзолистых почв тяжелого гранулометрического состава на склонах порядка  $5^\circ$  разрушение почвенных агрегатов начинается при интенсивности дождя 0,05 мм/мин. Для Верещагинского района эрозионный индекс осадков составляет 6,5 [10].

Фактор севооборота ( $C$ ) учитывает агротехнику возделывания культур, урожайность, предшественников, фазы развития в период выпадения ливневых дождей. Для колосовых культур средневзвешенная величина  $C$  равна 0,21–0,30, на многолетних травах снижается до 0,15–0,20 [11]. Согласно [2], противозэрозионная роль культур возрастает в следующем порядке: яровой овес – озимая рожь – клевер 2 года пользования с коэффициентами  $C$  0,28, 0,11 и 0,03 соответственно.

Фактор почвозащитных мероприятий ( $P$ ) зависит от применяемых на поле противозэрозионных мероприятий и крутизны склона. Так как информация о противозэрозионных мероприятиях отсутствует, коэффициент условно принят за 1.



Расчет морфометрических параметров и трехмерная визуализация рельефа территории выполнены на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM с разрешением 3" (размер ячейки 90x90 м) [7]. Расчет LS-фактора выполнен с использованием Системы автоматизированного геолого-геофизического анализа SAGA на основе уравнения, предложенного П. Десметом и Дж. Говерсом [12] с помощью модуля Basic terrain analysis программы QGIS (версия 3.26.2.).

Преобладающие углы наклона изменяются от 1–3° (поле 2) до 3–8° (поле 1) (рис. 2). По данным О.А. Скрыбиной [2], для условий Пермского края к склонам крутизной 1,5–3° приурочено 72–100% слабосмытых дерново-подзолистых почв, к склонам 3–6° приурочена большая часть среднесмытых почв, а при уклонах свыше 6° сильносмытых.

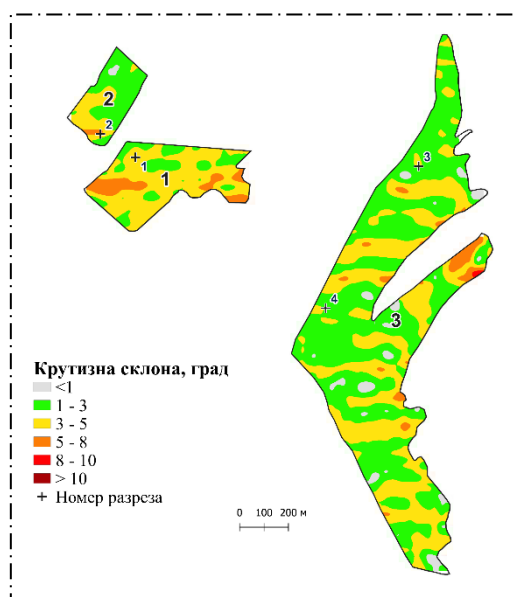


Рисунок 2. Крутизна склонов на угодьях.

LS-фактор характеризует совместное влияние длины и крутизны склонов на смыв почвы. Значения LS-фактора, рассчитанные на основе ЦМР SRTM, могут варьировать в широком диапазоне от сотых долей до десяти единиц. Для равнинных ландшафтов типичными значениями LS-фактора являются от <0,1 до 3–5 единиц [12]. По результатам расчетов значения LS-фактора варьируют от 0,1 и выше 1,35 (рис. 3). Наиболее высокие значения показателя, более 1,2 характерны для поля 1, наименьшие – для поля 2.

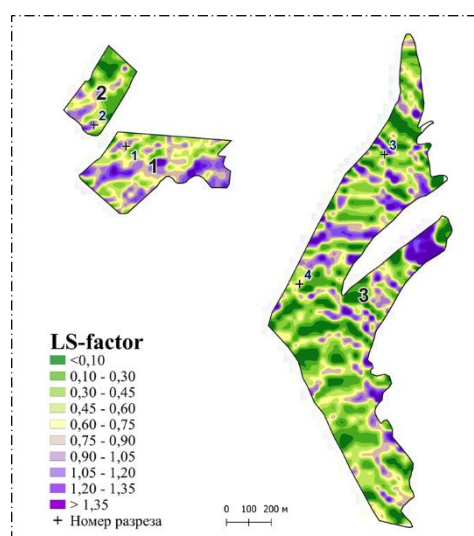


Рисунок 3. Картограмма LS-фактора.

Расчет потенциального смыва с угодий был выполнен в калькуляторе растров QGIS. Полученные результаты в виде растра потенциального смыва классифицированы на классы

эрозионной опасности [7]: I класс – смыв от 0 до 2,5 т/га, II класс – смыв от 2,5 до 5, III класс – смыв от 5 до 10 т/га, IV класс – смыв свыше 10 т/га.

Территории с незначительной эрозионной опасностью преобладают над остальными категориями эрозионной опасности почв (табл. 1). 17 % территорий относятся к III классу эрозионной опасности. Расчетные средние темпы эрозии почв для полей 2 и 3 не превышают 2,5–5,0 т/га, на поле 1 они возрастают до 10 т/га. Максимальное значение потенциального выноса связано со значением LS-фактора и коэффициентом севооборота.

Таблица 1. Результаты расчета потенциального смыва почвы по модели RUSLE

№ Поля	Смыв почвы, т/га в год			Площадь поля, га
	0–2,5	2,5–5,0	5,0–10,0	
Поле 1, ячмень	га	1	1	15
	%	7	73	
Поле 2, клевер	га	4	3	7
	%	57	43	
Поле 3, озимая рожь	га	35	25	67
	%	52	37	
Итого	га	40	29	89
	%	45	33	

Высокие показатели потенциального смыва, полученные для поля 1, обусловлены высокими значениями фактора эродированности почв, слабой почвозащитной ролью яровых культур и высоким значением LS-фактора.

**Выводы.** По результатам исследований изучаемая территория характеризуется высокой эрозионной опасностью, что обусловлено высокими значениями LS-фактора и низкой противозэрозионной устойчивостью агродерново-подзолистых почв хозяйства. 45 % обследуемой площади отнесены к первой категории эрозионной опасности с величиной смыва до 2,5 т/га в год, 33 % – ко второй категории со смывом 2,5–5,0 т/га, оставшиеся 17 % – к третьей категории с величиной смыва 5,0–10,0 т/га.

#### Литература

1. Воронов, Г. А. Ландшафтные особенности Пермского края и перспективы выделения особо охраняемых природных территорий / Г. А. Воронов, Н. Г. Циберкин, С. П. Стенно // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2008. № 1. С. 3–18.
2. Скрябина О.А. Эродированные почвы: особенности картирования, свойства, приемы повышения плодородия. Учебное пособие. Пермь, 2004. 103 с.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с.
4. Шимановский, Л.А. Неотектоника Пермской области / Л.А. Шимановский, О.Л. Алексеева // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1987. С.59–68
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: учеб, пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: МГУ, 1970
6. Качинский Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. М., 1965. Т. 1. С. 155–161; М., 1970. Т. 2 С. 88
7. Кондратьева, М.А. Оценка эрозионной опасности рельефа на основе цифрового моделирования / М.А. Кондратьева, А.Н. Чашин // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 2. С. 241–252. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-241-252.
8. Мудрых, Н.М. Прогнозирование эрозионных потерь почвы с использованием модели RUSLE / Н. М. Мудрых, И. А. Самофалова, А. Н. Чашин // АгроЭкоИнфо. 2020. № 4(42). С. 16.
9. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 783 с.

10. Скрыбина, О.А. Водная эрозия почв и борьба с ней. Пермь: Пермское книжное издательство, 1990. 246 с.
11. Короновский Н. В. Почвенно-геологические условия Нечерноземья / Н.В. Короновский, А.В. Кожевников, В.И. Бабак и др. – М.: Изд-во МГУ, 1984. 608 с.
12. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*. 2015. № 5. P. 117–126. doi:10.3390/geosciences5020117.

## ASSESSMENT OF EROSION LOSE IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE SOUTHERN TAIGA

N.V. Kylosova, M.A. Kondrateva

Perm State Agro-Technological University, Perm, nadegda.kylosova@yandex.ru

*Summary.* On the example of one of the farms of the region, located in the southern taiga zone, using the RUSLE model, a calculation was made of the potential washout of soils from arable land. The studied agro-soddy-podzolic soils of the farm have a medium and heavy loamy composition and are characterized by a very low humus content of 0,82–1,17%. The values of the LS-factor, determined on the basis of the SRTM DEM, vary within the range of 0–1,35. The calculated values of potential washout amounted to 1–13 t/ha. Three categories of erosion-hazardous lands were identified: 45% of the surveyed area was assigned to the 1st category of erosion hazard with a washout value of up to 2,5 t/ha per year, 33% - to the 2nd category with a washout of 2,5-5,0 t/ha, the remaining 17% – to the 3rd category with a washout value of 5,0–10,0 t/ha.

*Keywords:* agrolandscapes, erosion, soil degradation, potential soil washout, soil erosion research methods.

УДК 631.6

## ФАКТОРЫ ПРИРОДНОГО И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРОШАЕМЫХ ЛУГОВО-СЕРОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

А.С. Мамедова

Институт Почвоведения и Агрохимии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республике, Баку, aytan.amea@gmail.com

*Аннотация.* Статья рассказывает о влиянии природных и антропогенных факторов, действующих на орошаемых лугово-сероземных почвах Азербайджанской Республики. Исследования показывают, что антропогенное воздействие и близкое расположение грунтовых вод к поверхности значительно расширили площадь засоленных территорий, что в конечном итоге привело к сокращению посевных площадей. В результате воздействия техногенных и природных негативных факторов, 80–85% засушливых площадей подверглись процессу опустынивания.

*Ключевые слова:* почва, антропогенные факторы, опустынивание, орошение, засоление.

**Актуальность.** Республика Азербайджан по своим эколого-климатическим характеристикам принадлежит к сухосубтропической зоне. О развитии засоления почв на орошаемых землях известно давно. Низменные части территории Азербайджана в той или иной степени подвержены процессам засоления. Кура-Араксинская низменность является объектом древнего орошения с сильно развитым засолением почвенного покрова. Засоленные почвы распространены в местах аридной зоны, особенно начиная с Кура-Араксинской низменности с запада до востока, в сторону Каспийского побережья их площадь увеличивается. Засоление почв Кура-Араксинской низменности связано с испарением, которое происходит с Каспийского моря. С другой стороны, этот процесс связан с близким расположением грунтовых вод к поверхности земли [5].

Антропогенное воздействие является одним из факторов, приводящих к сокращению объема плодородных земель в современное время. С сожалением следует отметить, что

земельные ресурсы Кура-Араксинской низменности в условиях природной и антропогенной напряженности сегодня сталкиваются с угрозой утраты своих плодородных свойств. Поэтому эта проблема всегда была в центре внимания исследователей [2–7].

В результате воздействия техногенных и природных негативных факторов 80–85% засушливых площадей подверглись процессу опустынивания. Среди природных факторов развития процесса опустынивания выделяются геоморфологические, геологические и климатические. Влияние многопрофильной хозяйственной деятельности людей на морфогенетические показатели растительного покрова и почвенного профиля исторически были положительными и отрицательными. Из результатов, многочисленных проведенных исследований известно, что строительство ирригационных и коллекторно-дренажных сетей на территории низменности и интенсивное проведение орошения изменили характерные для местности морфогенетические особенности почв, резко отличив их от типов почв, к которым они относятся.

Утечка воды из рек, ирригационно-оросительных каналов за счет повышения уровня подземных грунтовых вод еще больше ускоряет возникновение здесь таких негативных явлений, как засоление. Исследования показывают, что антропогенное воздействие и близкое расположение грунтовых вод к поверхности значительно расширили площадь засоленных территорий, что в конечном итоге привело к сокращению посевных площадей.

Многолетнее орошение илистыми речными водами, интенсивная культивация в оптимальных гидротермических условиях, внесение минеральных удобрений и др. В результате антропогенных мероприятий морфогенетическая структура и физико-химические свойства почв претерпели серьезные изменения. Влияние искусственного орошения на почвенный покров и окружающую среду многофакторное и зависит от качества поливных вод и ирригационных наносов.

В результате указанного антропогенного воздействия в почвенном профиле сформировался новый культурный слой почвы. Он характеризуется нарушением морфогенетических показателей орошаемых почв по структуре пахотного слоя и переходом в пылевидно-глинистый вид, уплотнением подпочвенного слоя, значительным ухудшением гранулометрического состава, вымыванием карбонатов в средние и глубокие слои почвенного профиля.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследований был выбран Мугано-Сальянский массив. В исследованиях использовали общепринятые методики; анализ водной вытяжки (полной) по методу, предложенному Е.В. Аринушкиной [1].

**Обсуждение результатов.** Классификация почв по степени и типу засоления была предложена многими исследователями. По данным В. Р. Волобуева (1959), около 60% почв Кура-Араксинской низменности в той или иной степени засолены. Нами были всесторонне изучены происходящие изменения солевого состава почв исследуемой территории. Полученные результаты представлены на рисунке 1. Были использованы градации количества солей, предложенные В.Р. Волобуевым (табл. 1)

Таблица 1. Шкала градации количества солей (В.Р.Волобуев)

Градация засоления	Количество солей, %
Не засоленные	<0,25
Слабозасоленные	0,25–0,50
Среднезасоленные	0,50–1,00
Сильнозасоленные	1,00–2,00
Очень сильно засоленные	2,00–3,00
Солончаки	>3,00

На основании результатов многолетних исследовательских работ, В.Р. Волобуев объясняет причины засоления почв в Кура-Араксинской низменности понижением уровня воды в Каспийском море. Исторически сложилось так, что в результате повышения уровня воды в море почва и грунты начали засоляться за счет испарения, которое происходило в его русле.



Анализ почвенных разрезов, взятых с территории (разр. №15) Саатлинского района, села Джафарханская опытная станция (39°19'24"N, 48°24'36"E) показали, что здесь минерализация за счет плотного остатка по профилю менялась в пределах 0,20–0,28%. По градации В.Р. Волобуева эти земли слабозасоленные (табл. 1). Количество ионов здесь изменяется в таком составе:  $\text{HCO}_3^-$  – 0,054–0,107%,  $\text{Cl}^-$  – 0,026–0,035%,  $\text{SO}_4^{2-}$  – 0,049–0,099%,  $\text{Ca}^{+2}$  – 0,013–0,035%,  $\text{Mg}^{+2}$  – 0,007–0,0028%.

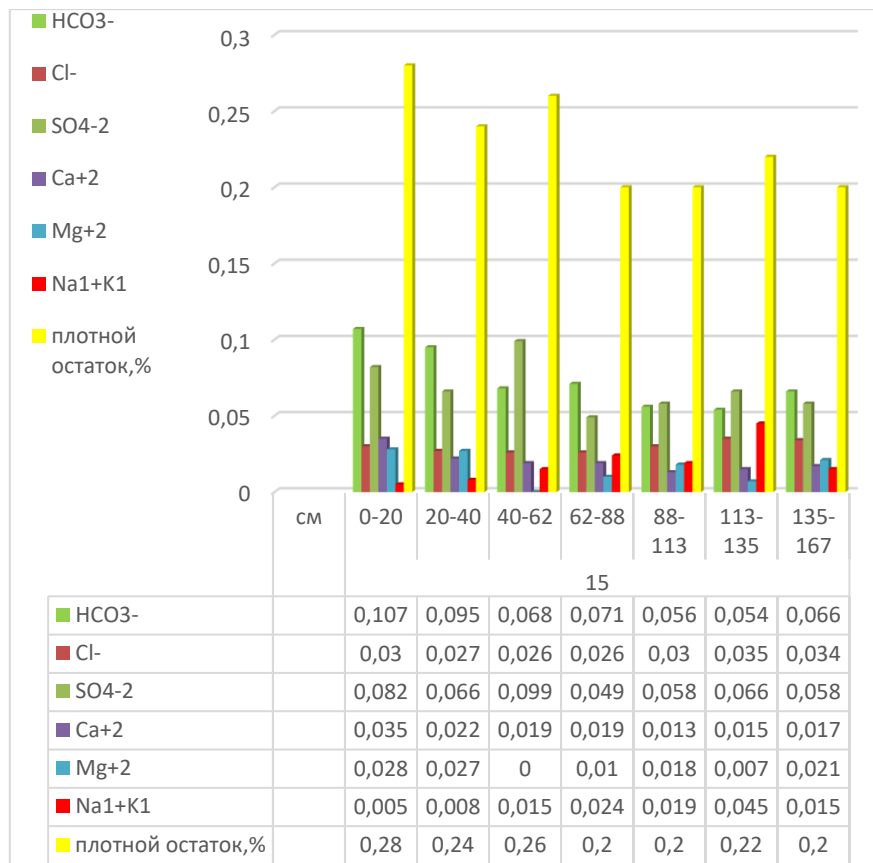


Рисунок 1. Солевой состав орошаемых лугово-сероземных почв, в % (раз. 15).

**Выводы.** К мерам борьбы с засолением орошаемых земель относятся: мелиоративно-эксплуатационные мероприятия; агротехнические мероприятия; гидротехнические мероприятия.

### Литература

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 1970. 488 с.
2. Алиева А.С., Бабаев М.П., Алиев С.П. Состав поливных вод, ирригационных наносов и их влияние на свойства почв Мугано-Сальянского массива / Почвоведение продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В.Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции (Москва-Белгород 15–22 августа 2016). Часть I. С. 103–104.
3. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Наджафова С.И., Гурбанов Э.А. Почвы Азербайджанской Республики (Орошаемые почвы Кура-Араксинской низменности и их производительная способность). М.: LAP-LAMBERT Academic Publishing. 2019.
4. Азизов К.З.–Научный анализ производственного опыта мелиорации засоленных земель Кура-Араксинской низменности. Тез.докл.сжезда. ВОП СССР, Новосибирск, 1998, т.5, С. 108.
5. Волобуев В.Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности. Баку: изд. АН Азербайджан, ССР, 1965. 246 с.
6. Мамедова А.С., Алиев С.П. Степень засоления орошаемых лугово-сероземных почв Мугано-Сальянского массива / Материалы международной научно-практической конфе-

ренции «Актуальность современных аграрных и биологических наук. Проблемы: глобальные вызовы и инновации». Баку, 2022. С. 332–336.

7. Mammadova A. Irrigated and Virgin Soil Comparative Characteristic in the Mugan-Salyan Massif // Бюллетень науки и практики. 2022. Т.8. №5. С. 202–206. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/78/27>

#### FACTORS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC IMPACT ON IRRIGATED MEADOW-GRAY SOILS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN

A.S. Mammadova

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, [aytan.amea@gmail.com](mailto:aytan.amea@gmail.com)

*Summary. The article tells about the influence of natural and anthropogenic factors affecting irrigated meadow-gray soils of the Republic of Azerbaijan. Studies show that anthropogenic impact and the proximity of groundwater to the surface significantly expanded the area of saline areas, which ultimately led to a reduction in acreage. As a result of the impact of technogenic and natural negative factors, 80–85% of arid areas have undergone the process of desertification.*

*Keywords: soil, anthropogenic factor, irrigation, salinization.*

УДК 631.45

#### АГРОПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА

**О.В. Матыченкова, Т.Н. Азаренок, Д.В. Матыченков, С.В. Дыдышко, Е.Д. Ананько**

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, [soil@tut.by](mailto:soil@tut.by), [tanik63@mail.ru](mailto:tanik63@mail.ru)

*Аннотация. Наиболее благоприятным агропроизводственным потенциалом для выращивания подсолнечника обладают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые слабogleеватые легкосуглинистые и связносупесчаные почвы, наибольшие площади которых сконцентрированы на пахотных землях Минской, Могилевской и Гродненской областей. Агропроизводственный потенциал продуктивности подсолнечника в республике составляет 45,0–52,3 ц/га, а фактический – 12,1–25,3 ц/га.*

*Ключевые слова: посевные площади, урожайность, тип почв, гранулометрический состав почв, сумма активных температур, агрохимические свойства, подсолнечник, агропроизводственный потенциал.*

Для решения вопросов продовольственной безопасности республики, улучшения качества кормовой базы животноводства, определяющей экспортный потенциал АПК республики, решения проблемы недостатка кормового белка. Территориальное размещение посевов подсолнечника должно базироваться на принципах экологически безопасного и ресурсосберегающего землепользования и адаптивно-ландшафтного земледелия, включающих тщательный учет агроэкологических и агроклиматических ресурсов, характеризующих условия произрастания, их агропроизводственный потенциал. Пахотные земли в республике характеризуются неоднородностью почвенного покрова, обусловленного разнообразием гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород, а, следовательно, и различным уровнем плодородия для выращивания культур и в компонентном составе пахотных земель насчитывается 332 почвенных разновидности [1]. Близкие по своим свойствам почвы были объединены в агропроизводственные группировки для оценки пригодности возделывания подсолнечника [2].

Цель исследований – анализ динамики посевных площадей и урожайности подсолнечника в областях республики, а также установление агропроизводственного потенциала пахотных земель Беларуси для выращивания этой культуры.

Анализ динамики посевных площадей и урожайности подсолнечника в Беларуси по сельскохозяйственным организациям и крестьянско-фермерским хозяйствам показал (рис. 1), что в 2018 году подсолнечником засеяли чуть более 740 га, а в 2022-м – уже 6710 га.

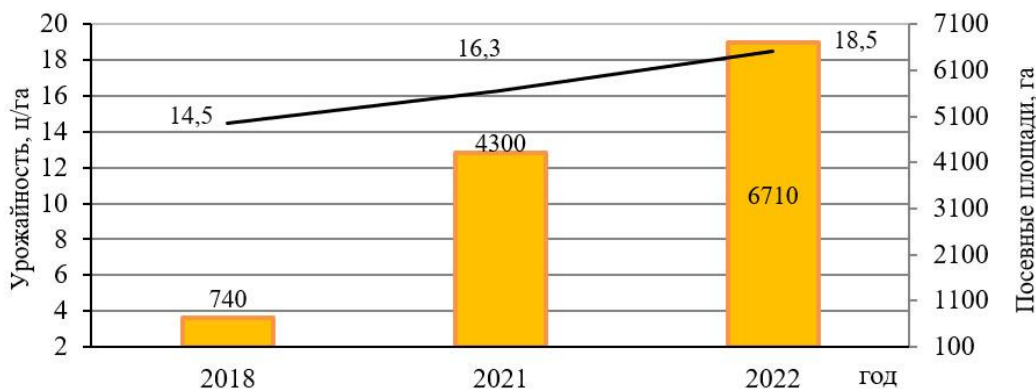


Рисунок 1. Динамика посевных площадей и урожайности подсолнечника по республике (сельскохозяйственные организации и крестьянские (фермерские) хозяйства).

Урожайность повысилась с 14,5 ц/га в 2018 году до 18,5 – в 2022 г. Это связано с двумя факторами: изменением агроклиматических показателей и повышением интереса у аграриев. С 2018 по 2022 г. посевная площадь этой культуры выросла в 9,1 раза, а урожайность – в 1,3 раза. Наибольшие посевные площади подсолнечника (рис. 2) в 2022 году (2170 га) и его урожайность (25,3 ц/га) были в Гродненской области.

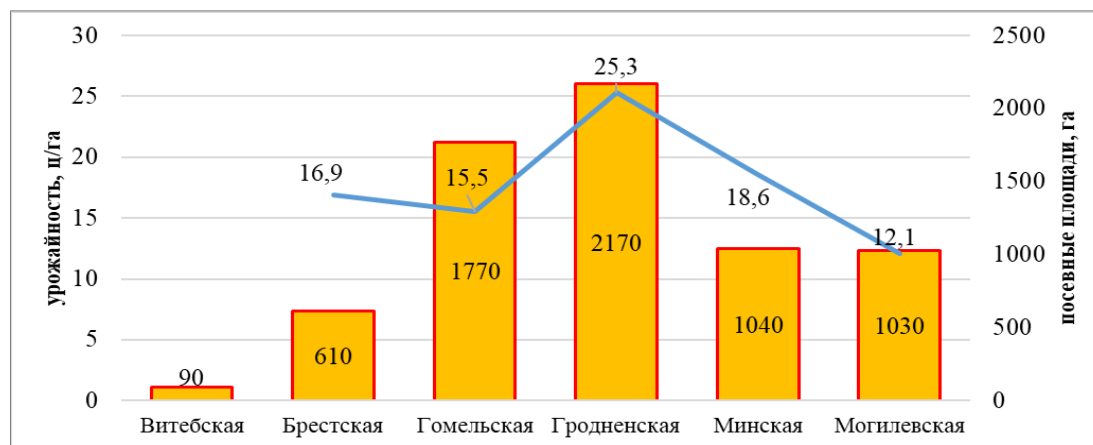


Рисунок 2. Посевные площади и урожайность подсолнечника в Беларуси (сельскохозяйственные организации и крестьянские (фермерские) хозяйства) в 2022 г.

Наименьшие посевные площади в Брестской области – 610 га, а урожайность – в Могилевской (12,1 ц/га). Впервые в 2022 году эту культуру посеяли в Витебской области – 90 га (данные о средней урожайности отсутствуют).

По данным сортоиспытательных станций и сортоучастков (табл. 1) за период с 2016 по 2018 гг. наибольшая урожайность подсолнечника была получена на ГСХУ «Жировичская – 52,4 ц/га, тогда как средняя урожайность по станциям составляла 41,4 ц/га.

Таблица 1. Средняя урожайность подсолнечника на сортоиспытательных станциях и сортоучастках в 2016–2018 гг.

№ п/п	Наименование сортоиспытательных станций и сортоучастков	Урожайность, ц/га			
		2016	2017	2018	Средняя за 2016-2018 годы
1	За период исследований	29,4	45,9	31,3	35,5
2	ГСХУ "Октябрьская СС"	32,2	37,5	38,1	35,9
3	ГСХУ "Жировичская СС"	53,0	53,5	50,8	52,4
4	ГСХУ "Несвижская СС"	43,3	42,7	38,6	41,5
Средняя		39,5	44,9	39,7	41,4





По гранулометрическому составу – это средне- и легкосуглинистые мощные, легкосуглинистые и связносупесчаные подстилаемые суглинком с глубины до 1,0 м, среднесуглинистые, легкосуглинистые, подстилаемые песком с глубины до 1,0 м, связносупесчаные мощные и подстилаемые песком с глубины до 1,0 м, рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинком с глубины до 1,0 м почвы.

Инвентаризация материалов последнего тура крупномасштабного почвенного обследования позволила установить площади основных почвенных разновидностей, обуславливающих различный агропроизводственный потенциал возделывания подсолнечника. Анализ почвенных условий показал, что в Витебской области наибольшие площади пригодных почв занимают 14%, в Гродненской, Минской и Могилевской областях – 11,0 % пахотных земель, а в Брестской и Гомельской областях менее 1,0 % пахотных земель. В таблице 2 представлены площадные данные потенциально пригодных почвенных разновидностей для возделывания подсолнечника.

Таблица 2. Компонентный состав пахотных земель республики (фрагмент)

№ п/п	Гранулометрический состав	Всего по республике		в том числе по областям					
				Витебская область		Гродненская, Минская, Могилевская		Брестская, Гомельская	
		га	%	га	%	га	%	га	%
<b>Дерново-подзолистые</b>									
5	- средне- и легкосуглинистые мощные	488666	9,44	111968	13,74	369350	11,03	7348	0,73
6	- средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песками	15398	0,30	1911	0,23	11579	0,35	1908	0,19
7	-связносупесчаные, подстилаемые суглинками	347604	6,72	60536	7,43	282313	8,43	4754	0,47
8	-связносупесчаные, подстилаемые песками	173896	3,36	8641	1,06	157159	4,69	8097	0,80
9	-рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинками..	470349	9,09	24757	3,04	429261	12,82	16331	1,62
<b>Дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные (слабоглееватые)</b>									
14	- средне- и легкосуглинистые мощные	387318	7,49	131855	16,18	251304	7,51	4159	0,41
15	-средне- и легкосуглинистые, подстилаемые песками	9158	0,18	2493	0,31	5837	0,17	828	0,08
16	-связносупесчаные, подстилаемые суглинками	249465	4,82	95445	11,71	152045	4,54	1976	0,20
17	-связносупесчаные, подстилаемые песками	114538	2,21	13470	1,65	96120	2,87	4949	0,49
18	-рыхлосупесчаные, подстилаемые суглинками...	219937	4,25	23722	2,91	179645	5,37	16570	1,64
Итого по республике		2612068	53,93	482006	9,95	2021155	41,73	108907	2,25

В зависимости от типового состава почв, степени увлажнения, гранулометрического состава и характера залегания почвообразующих пород, дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые мощные почвы оцениваются 72,3 баллами, а подстилаемые песками с глубины до 1,0 м – 56,2 балла. Согласно существующим регламентам в республике [3], оптимальные показатели кислотности (рН в КС1) для возделывания культуры составляют 5,8–6,8 единиц, содержание гумуса – более 2,0%, подвижного фосфора и обменного калия – более 150 мг/кг. Анализ данных агрохимического обследования за 2017–2020 гг. [4], показал, что средневзвешенный показатель кислотности почв суглинистого гранулометрического состава

по областям изменяется от 5,95 в Могилевской области до 6,38 в Гомельской области. Содержание подвижного фосфора – изменяется от 174 мг/кг в Витебской области, 204 мг/кг в Гомельской области, подвижного калия – от 201 мг/кг в Брестской области, до 314 мг/кг в Минской области, гумуса – от 1,90% в Гродненской области до 2,85% в Брестской области. Средневзвешенный показатель кислотности почв для супесчаных почв по областям изменяется от 5,77 в Минской области до 6,05 в Витебской области. Содержание подвижного фосфора – изменяется от 166 мг/кг в Минской и Могилевской областях до 220 мг/кг в Гомельской области, подвижного калия – от 180 мг/кг в Витебской области, до 258 мг/кг в Гомельской области, гумуса – от 1,88% в Гродненской области до 2,47% в Витебской области. Из этого следует, что лимитирующим фактором возделывания этой культуры в Гродненской области может являться содержание гумуса.

Таким образом, установлено, что агропроизводственный потенциал возделывания подсолнечника в республике обусловлен агроклиматическими факторами, компонентным составом (типичными различиями, степенью увлажнения, гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород, агрохимическими свойствами). Установившиеся новые показатели САТ в Витебской области позволяют рассматривать пахотные земли этой области как резерв (потенциально пригодные), не только для выращивания скороспелых, а раннеспелых и среднеспелых сортов подсолнечника на семена. Наиболее благоприятным потенциалом обладают дерново-подзолистые и временно избыточно увлажненные легкосуглинистые, связносупесчаные почвы, которые занимают от 9,95% пахотных земель Витебской до 41,73% в Минской, Могилевской и Гродненской областях в целом. Агропроизводственный потенциал продуктивности подсолнечника в республике составляет 45,0-52,3 ц/га (фактический – 12,1–25,3 ц/га).

#### Литература

1. Примерный Номенклатурный список почв Республики Беларусь / Г.С. Цытрон, Л.И. Шибут, Т.Н. Азаренок, С.В. Дробыш // Государственный Комитет по Имуществу РБ, РУП «Институт почвоведения и агрохимии», РУП «Проектный институт Белгипрозем». Минск. 2013. 64 с.
2. Агропроизводственная группировка почв пахотных земель Беларуси для возделывания подсолнечника / Азарёнок Т.Н., Матыченкова О.В., Матыченков Д.В., Дыдышко С.В., Ананько Е.Д. / Сборник докладов XVII междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука-сельскому хозяйству» / Алтайский государственный аграрный государственный университет, 9–10 февраля 2022 г., 10 марта 2022 г. Алтай: ФГБОУ «Алтайский государственный аграрный университет», 2022. С. 371–372.
3. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур, технических и кормовых растений: сб. отрасл. регл. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; рук. разработ: Ф.И. Привалов [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2022. 530 с.
4. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси. 2022. 276 с.

#### AGRICULTURAL PRODUCTION POTENTIAL OF CULTIVATION OF ARABLE LAND IN BELARUS FOR GROWING SUNFLOWERS

O.V. Matychenkova, T.N. Azaronak, D.V. Matychenkov, S.V. Dydysenko, E.D. Ananko  
Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, soil@tut.by, tanik63@mail.ru

*Summary. Sod-podzolic and sod-podzolic slightly gleyic light loamy and cohesive sandy soils have the most favorable agricultural production potential for growing sunflower, the largest areas of which are concentrated on arable lands of Minsk, Mogilev and Grodno regions. The agricultural production potential of sunflower productivity in the republic is 45,0-52,3 c/ha, and the actual one is 12,1-25,3 c/ha.*

*Keywords: creage, yield, soil type, granulometric composition of soils, sum of active temperatures, agrochemical properties, sunflower, agricultural production potential.*

УДК 631.445.2:631.82:631.458

## ПЛОДОРОДИЕ СРЕДНЕОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ДЕФИЦИТНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

Е.Г. Мезенцева

*Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь, e\_mezentseva@list.ru*

**Аннотация.** В статье приведены результаты многолетних исследований по оценке влияния различных систем удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур, длительность последствия фосфорных и калийных удобрений и плодородие дерново-подзолистой среднеоккультуренной супесчаной почвы. Установлено, что длительный дефицит того или иного элемента минерального питания оказывает существенное влияние на агрохимическую деградацию почвы. При высокой продуктивности возделываемых культур (около 60 ц к. ед./га) применение  $N_{80}P_{37}K_{95}$  является недостаточным для сохранения достигнутого уровня плодородия почвы. Исключение фосфорных и калийных удобрений из системы удобрения способствует усилению деградационных процессов в почве при ежегодных потерях подвижного фосфора около 3 мг/кг и калия 8 мг/кг почвы.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая супесчаная почва, дефицитные системы удобрения, деградация плодородия.

Плодородие почв является базой устойчивого развития аграрной отрасли. Нарращивание объёмов применения известковых материалов, органических и минеральных удобрений в период широкого внедрения в сельскохозяйственное производство интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур позволило снизить кислотность дерново-подзолистых почв, существенно повысить содержание в них гумуса, подвижных фосфатов и калия, увеличить продуктивность пахотных земель. В настоящее время в земледелии Республики Беларусь доля участия почвенного плодородия в формировании урожайности сельскохозяйственных культур составляет порядка 50 %, что свидетельствует о достаточно высоком потенциальном плодородии почв, созданном за предшествующий период использования удобрений [1]. Статистический анализ применения минеральных удобрений показал, что за последние годы в среднем по стране на 1 га пашни ежегодно применяли 167 кг д. в. НРК, из них азота – 76 кг д. в., фосфора – 18 кг д. в., калия – 74 кг д. в. Анализ баланса азота, фосфора и калия в почвах свидетельствует, что уменьшение объёмов внесения минеральных удобрений в стране на 36 % (за 2016–2020 гг.) по отношению к предыдущему периоду (2011–2015 гг.) обусловило изменение положительных показателей до слабоположительных. При уровне продуктивности 43,3 ц к. ед./га и средневзвешенных показателях содержания фосфатов и калия, соответственно, 181 и 215 мг/кг почвы, интенсивность баланса азота, фосфора и калия по республике характеризуется как положительная и в целом близка к оптимальным значениям (110–130 %).

Уровень плодородия почвы достаточно нестабильная величина, которая зависит от многих факторов, и, в первую очередь, от доз и сбалансированности применяемых под сельскохозяйственные культуры удобрений. В этой связи, научный интерес представляет прогнозирование изменения агрохимических свойств почв в зависимости от интенсивности применения удобрений. Исследований по изучению эффективного последствия минеральных удобрений в течение длительного времени крайне мало. В условиях резкого сокращения объёмов вносимых минеральных удобрений важно не допустить снижения почвенного плодородия, поскольку все процессы окультуривания антропогенно-преобразованных почв обратимы и неустойчивы; чем в большей степени они изменены по отношению к исходным показателям, тем в большей степени возникает неравновесное состояние [2].

Поскольку последствие азотных удобрений на последующие культуры несущественное, особый интерес представляет изучение длительности эффективного последствия фосфорных и калийных, пролонгированное действие которых оказывает положительное влияние на условия минерального питания возделываемых культур в течение ряда лет.

В исследованиях по изучению фосфатного режима почв [3, 4] показано, что фосфорные удобрения в прямом действии используются растениями лишь на 10–20 %. Остаточные фосфаты играют большую роль в фосфатном режиме окультуренных почв и обеспеченности растений фосфором, их доступность варьирует в зависимости от свойств почвы, количества внесенных ранее фосфатов, времени взаимодействия фосфорных удобрений с почвой, биологических особенностей культур и других факторов. Доказано, что последствие фосфорных удобрений может проявляться в течение нескольких десятилетий [5, 6].

Изучение последствия почвенного фонда калия, сформированного предшествующим внесением различных доз калийных удобрений, показало, что его длительность и эффективность закономерно зависят от исходного уровня содержания калия в почве, обусловленного ранее поддерживаемым балансом данного элемента, а также системами удобрения возделываемых культур и структурой севооборотов [7–10]. Наши исследования показали, что применение калий-дефицитных систем удобрения за ротацию севооборота, даже на почве с высоким содержанием калия, ведёт к развитию интенсивных деградационных процессов в отношении данного элемента и истощению калийного фонда почвы [11].

Цель исследований – оценить влияние различных систем удобрения, а также последствия остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период, на баланс элементов питания и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Исследования проводили на протяжении 1986–2018 гг. в длительном стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой среднеокультуренной супесчаной почве, подстилаемой с глубины 30–50 см песком. Пахотный слой почвы перед закладкой опыта в 1986 г. характеризовался следующими усреднёнными показателями: pH<sub>KCl</sub> 5,8, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 94, K<sub>2</sub>O – 225 мг/кг почвы, гумус – 2,1%.

В предыдущий период исследований (1986–1998 гг.) за счет известкования, применения органических и минеральных удобрений в трех ротациях культур зернопропашного севооборота, агрохимические свойства почвы были доведены до оптимального уровня. Суммарная доза внесенных органических удобрений в виде навоза КРС за весь период составила 120 т/га. За счёт среднегодового внесения минеральных удобрений в дозе 240–245 кг/га NPK на фоне органических удобрений (10 т/га/год) продуктивность культур севооборотов составила 61–65 ц/га к. ед./год, а содержание подвижных соединений фосфора достигло 161–176 мг/кг почвы при сохранении высокого уровня калия (207–230 мг/кг почвы).

Во второй период исследований (1999–2018 гг.) в опыте устанавливали длительность последствия остаточных количеств фосфора и калия, вносимых с минеральными и органическими удобрениями в предшествующий период на продуктивность сельскохозяйственных культур. Схема опыта включала варианты без применения удобрений, с внесением полного минерального удобрения (N<sub>80</sub>P<sub>37</sub>K<sub>95</sub>), азотного удобрения (N<sub>86</sub>), а также с исключением азотных (P<sub>42</sub>K<sub>96</sub>), фосфорных (N<sub>81</sub>K<sub>95</sub>) и калийных (N<sub>81</sub>P<sub>42</sub>) удобрений. Из минеральных удобрений применяли аммиачную селитру или мочевины, двойной суперфосфат и калий хлористый. Среднегодовые дозы и сочетания видов удобрений представлены по тексту. Органические удобрения внесены последний раз в 1995 г. и далее в системах удобрения не использовались.

Чередование культур было следующим: вико-овсяная смесь (1999) – озимое тритикале (2000) – люпин (2001) – картофель (2002) – ячмень (2003) – горохо-овсяная смесь (2004) – озимое тритикале (2005) – люпин (2006) – ячмень (2007) – горохо-овсяная смесь ((2008) – озимое тритикале (2009) – овес (2010) – яровой рапс (2011) – яровая пшеница (2012) – горохо-овсяная смесь (2013) – озимая пшеница (2014) – ячмень (2015) – яровой рапс (2016) – горохо-овсяная смесь (2017) – кукуруза (2018). Опыт был заложен в одном поле. Общий размер делянки 49,5 м<sup>2</sup> (5,5 м × 9,0 м). Агротехника возделывания культур – рекомендуемая для центральной зоны Республики Беларусь на супесчаных почвах в соответствии с рекомендациями [12].

Агрохимический анализ почвенных образцов включал определение: pH (KCl) – потенциометрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); содержания гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213 – 84); подвижных форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и



K<sub>2</sub>O в 0,2 М вытяжке HCl по методу А.Г. Кирсанова с последующим определением фосфора фотоколориметрическим методом, калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 26207 – 91).

Продуктивность культур севооборотов в значительной степени зависела от применяемых систем удобрения. За счёт сформированного плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы среднегодовая продуктивность культур составила 32,8 ц/га к. ед. Достоверная эффективность последствия органических удобрений отмечалась лишь в первые две ротации севооборотов, при среднегодовой продуктивности 34,7 ц к. ед. /га прибавка составила 1,9 ц/га, или 6 % к контролю. Максимальную продуктивность культур четырёх пятипольных ротаций (59,6 ц/га к. ед.) предсказуемо обеспечило применение полной минеральной системы удобрения (N<sub>80</sub>P<sub>37</sub>K<sub>95</sub>) на фоне последствия навоза – прибавка к фону составила 24,9 ц/га к. ед., или 82% к контролю.

Исключение из системы удобрения азота, фосфора или калия оказало негативное влияние на формирование продуктивности возделываемых культур. При последствии калийных удобрений (N<sub>81</sub>P<sub>42</sub>), и, как следствие, недостаточном калийном питании, продуктивность снизилась на 5,2 ц/га, или на 9 %, по отношению к полной минеральной системе, составив 54,4 ц/га к. ед. Дефицит фосфора (N<sub>81</sub>K<sub>95</sub>) проявился более существенным снижением урожайности культур на 16%, недобор составил 9,7 ц/га к. ед. Одновременное исключение из системы удобрения фосфора и калия (N<sub>86</sub>) обусловило получение 50,8 ц/га к. ед., или 85% к полной системе удобрения. Наибольшее же снижение продуктивности возделываемых культур отмечалось в варианте без применения азотных удобрений (P<sub>42</sub>K<sub>96</sub>), которое в среднем за 20 лет исследований составило 13,8 ц к. ед./га. Таким образом, ряд влияния дефицита элементов питания на снижение продуктивности культур представился следующим образом: N > P > PK > K. Анализ роли факторов в формировании максимальной среднегодовой продуктивности севооборотов показал, что значительная её часть (55%) формировалась за счёт потенциального плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы (рис. 1).

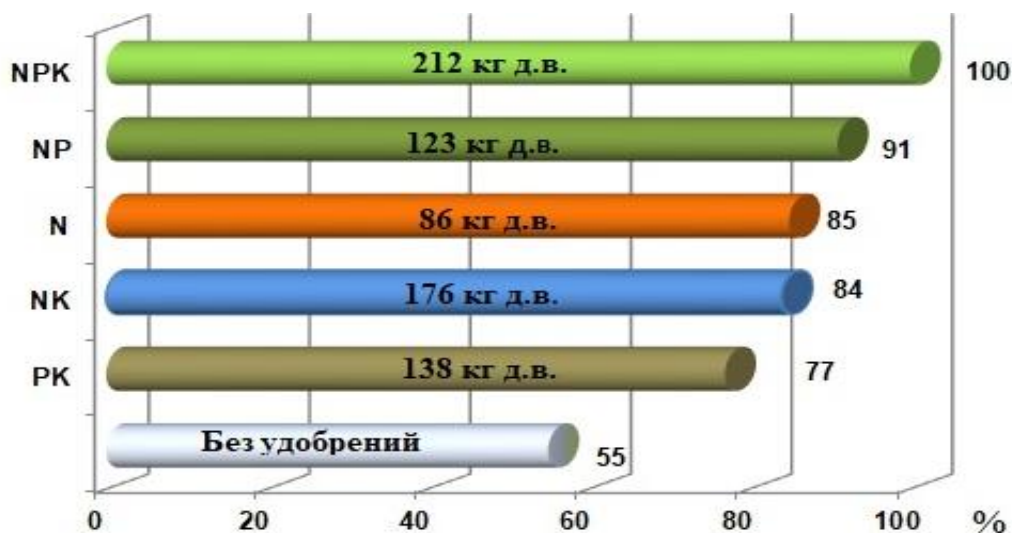


Рисунок 1. Влияние систем удобрения на уровень продуктивности сельскохозяйственных культур (%) на дерново-подзолистой супесчаной почве, среднее за 1998–2018 гг.

Наиболее точным и показательным критерием оценки плодородия почвы является фактическое изменение содержания элементов питания за период исследований. Установлено, что дефицит одного или нескольких питательных элементов в системе удобрения сельскохозяйственных культур способствовал истощению почвенных ресурсов. Расчёты показали, что в варианте без удобрений содержание подвижного фосфора в почве снизилось до исходного уровня (90 мг/кг почвы) через 10 лет (рис. 2), а ежегодные потери элемента на протяжении периода исследования составили 1,3 мг/кг почвы.

Максимальные значения потерь фосфатов характерны не только для вариантов с остаточным последствием фосфора при парной комбинации NK (- 69 мг/кг) и моноазотной системе удобрения (- 88 мг/кг), но также и при применении PK (- 77 мг/кг). Ежегодные потери

элемента за весь период исследований при таких системах удобрения составили 2,6-4,4 мг/кг почвы с наиболее интенсивным снижением содержания подвижного фосфора в варианте с внесением только азотных удобрений ( $N_{86}$ ). При внесении полного минерального удобрения в среднегодовой дозе  $N_{80}P_{37}K_{95}$  фактическое снижение содержания подвижных соединений фосфора в почве за 20 лет составило 19 мг/кг почвы, или около 1 мг/год.

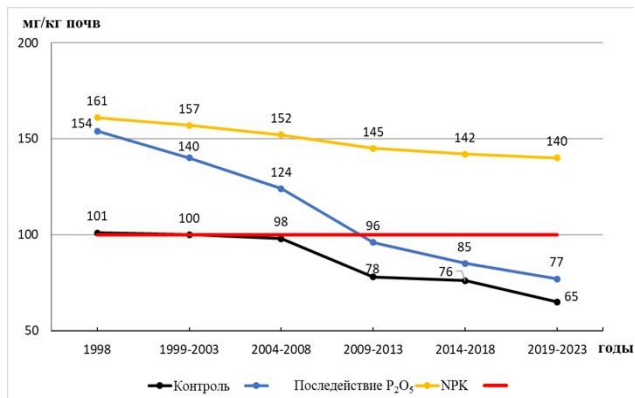


Рисунок 2. Динамика содержания подвижных соединений фосфора в почве, мг/кг

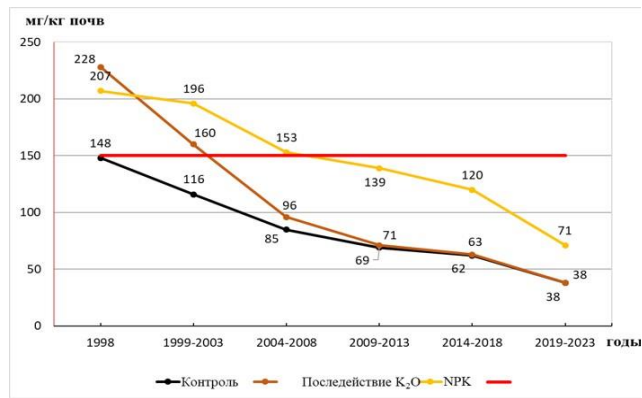


Рисунок 3. Динамика содержания подвижных соединений калия в почве, мг/кг

В варианте без внесения удобрений потери подвижного калия за 20-летний период исследований составили 86 мг/кг, или 4,3 мг/кг почвы ежегодно (рис. 3). Наиболее значительные потери элемента отмечены при системах удобрения с использованием последствия калийных удобрений – моноазотной ( $N_{86}$ ) и парной комбинации азотных удобрений с фосфорными ( $N_{81}P_{42}$ ), когда содержание подвижного калия за исследуемый период снизилось более чем в 3 раза к исходному при соответствующих ежегодных потерях 7,7 и 8,3 мг/кг почвы. Систематическое ежегодное применение калийных удобрений в дозе 95-96 кг д. в./га в комбинациях с азотными и фосфорными удобрениями несколько замедляло процесс потери подвижного калия, однако через 20 лет также привело к снижению его содержания более чем в 2 раза, с неблагоприятным прогнозом усиления потерь в 3 раза через 25 лет. Ежегодные потери элемента составили 5,1 и 2,6 мг/кг почвы соответственно. При внесении полного минерального удобрения в среднегодовой дозе  $N_{80}P_{37}K_{95}$  фактическое снижение содержания подвижных соединений калия в почве за 20 лет составило 87 мг/кг почвы, или 4,4 мг/год.

К началу проведения исследования (1998 г.) содержание гумуса составляло в среднем 2,10 %, увеличившись за предыдущие годы (1986–1997 гг.) на 0,16-0,55% за счёт комплексного применения минеральных и органических удобрений при возделывании культур. За 20-летний период применения дефицитных минеральных систем удобрения (без использования органических удобрений) содержание гумуса снизилось на 0,19–0,53%. Наименьшие его потери характерны для моноазотной (0,19%) и полной систем удобрения (0,26%). Максимальное снижение содержания гумуса отмечено в вариантах со среднегодовым внесением  $N_{81}K_{95}$  (0,41%),  $P_{42}K_{96}$  (0,46 %) и  $N_{81}P_{42}$  (0,53%).

Таким образом, длительный дефицит того или иного элемента минерального питания оказывает существенное влияние на агрохимическую деградацию и плодородие почв. При исключении фосфорных и калийных удобрений из системы удобрения ежегодные потери подвижного фосфора и калия составляют около 3 и 8 мг/кг почвы в год соответственно. К наиболее интенсивному истощению почвы подвижными формами фосфора и калия приводит моноазотная система удобрения. Применение полного минерального удобрения в дозе  $N_{80}P_{37}K_{95}$  является недостаточным для поддержания достигнутого уровня плодородия почвы. Для бездефицитного применения фосфорных и калийных удобрений их дозы для получения продуктивности 60 ц/га к. ед. на дерново-подзолистой супесчаной почве должны составлять около 50 кг/га  $P_2O_5$  и 120–130 кг/га  $K_2O$ .

## Литература

1. Мезенцева Е.Г., Кулеш О. Г., Зенькова С.М. Минеральные удобрения: современные тенденции эффективности в АПК Республики Беларусь // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–25 июня, 2021 г. – Институт почвоведения и агрохимии. – Минск. 2021. С. 114–118.
2. Шафран С. А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10
3. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Фосфатное состояние дерново-подзолистой суглинистой почвы в севообороте // Агрохимия. 2014. № 11. С. 20–25.
4. Сычев, В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений // М.: ВНИИА, 2012. 200 с.
5. Кирпичников, Н.А., Адрианов С.Н. Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой почве при различной степени известкования // Агрохимия. 2007. № 10. С. 14–23.
6. Якименко, В.Н. Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве // Агрохимия. 2015. № 4. С. 3–12
7. Никитина, Л.В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы // Плодородие. 2015. № 6. С. 3–5
8. Иванов А.И. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения // Агрохимия. 2009. № 4. С. 21–26
9. Прокошев В.В. О необходимости применения калийных удобрений // Плодородие. 2002. № 1. С. 18–20
10. Кулеш О.Г., Мезенцева Е.Г. Трансформация калийного состояния высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях применения калий-дефицитных систем удобрения // Почвоведение и агрохимия. 2021. № 1(66). С. 51–59
11. Лапа В.В. Справочник агрохимика // Минск: ИВЦ Минфина, 2021. 260 с.

### FERTILITY OF THE AVERAGE CULTURED SODDY-PODZOLIC SANDY SOIL UNDER THE CONDITIONS OF LONG-TERM DEFICIENCY FERTILIZER SYSTEMS

E.G. Mezentseva

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, Belarus, e\_mzentseva@list.ru

*Summary. The results of many years of research to assess the impact of various fertilizer systems on the productivity of crops, the duration of the aftereffect of phosphorus and potash fertilizers and the fertility of soddy-podzolic medium-cultivated sandy loamy soil is presents of the article. The long-term deficiency of one or another element of mineral nutrition has a significant impact on the agrochemical degradation of the soil it has been established. With a high productivity of cultivated crops (about 60 centner units/ha), the use of N<sub>80</sub>P<sub>37</sub>K<sub>95</sub> is insufficient to maintain the achieved level of soil fertility. The exclusion of phosphorus and potassium fertilizers from the fertilizer system contributes to the intensification of degradation processes in the soil with an annual loss of mobile phosphorus of about 3 mg/kg and potassium of 8 mg/kg of soil.*

*Keywords: soddy-podzolic sandy loamy soil, deficient fertilizer systems, degradation of fertility.*

УДК 631.58:631.111

## АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНАЯ СИСТЕМА ЗЕМЛЕДЕЛИЯ – ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ УСТОЙЧИВЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ

Н.М. Мудрых

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», Пермь, nata020880@hotmail.com

**Аннотация.** Данная статья посвящена определению возможности применения элементов адаптивно-ландшафтной системы земледелия в хозяйстве Пермского края. На территории предприятия выделено 3 агроэкологических типа земель, для которых разработаны севообороты, системы удобрения в них и спланированы мероприятия по сохранению почвенного плодородия.

**Ключевые слова:** почвы, бонитировка, агроэкологические типы земель, плодородие, дозы удобрений, севообороты.

Формирование почвенного покрова происходит под действием множества факторов. Плодородие почв определяется как факторами почвообразования, так и последующим использованием почв. Последнее может влиять как положительно, так и отрицательно на показатели плодородия и качество почв в целом. Поэтому необходимость проведения оценки качества земель является вопросом актуальным. Качество почв ученые оценивают по различным подходам и методикам [1–4]. Для рационального использования природного потенциала агроландшафтов и ресурсов предприятий В.И. Кирюшин [5] предложил комплексный подход. Разработанная им агроэкологическая типология земель, обусловленная требованиями адаптивно-ландшафтных систем земледелия, позволяет рационально более полно использовать ресурсы агропромышленных предприятий для получения стабильной продуктивности сельскохозяйственных угодий. Цель исследований – провести оценку почв и агроэкологическую типизацию земель для совершенствования системы севооборотов и удобрений в них на примере хозяйства.

Объектом исследований являются почвы СПК «Колхоз им. Чапаева» Кунгурского муниципального округа Пермского края. Территория колхоза по почвенно-географическим условиям и агроклиматической характеристике входит в зону Кунгурско-Красноуфимской лесостепи. Согласно почвенному районированию, предприятие входит, в ба подрайон – Куединско-Уинский дерново-среднеподзолистых, светло-серых лесостепных оподзоленных и коричнево-бурых почв тяжелого гранулометрического состава [6, 7]. Обследование проведено на пашне площадью 6035 га. Отбор и анализ почвенных образцов проведен в 2018 г. сотрудниками ФГБУ ФГЦАС «Пермский». В почвенных образцах определяли обменную кислотность по ГОСТ 26483-85, сумму обменных оснований по ГОСТ 27821-2020, содержание гумуса по ГОСТ 26213-2021, подвижного фосфора и калия по ГОСТ Р 54650-2011. В качестве эталона служит лучшая почва Пермского края – чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый. Данная почва характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 11,46%;  $pH_{KCl}$  – 5,6; сумма обменных оснований – 35,3 мг-экв/100 г почвы; содержание подвижного фосфора и калия соответственно 50 и 176 мг/кг почвы, содержание физической глины 50%. Математическая обработка результатов исследований проведена в приложении «Пакет анализа данных» программы Microsoft Excel и STATISTICA 8.

Исследования показали, что почвенный покров предприятия представлен аллювиально-дерновыми 675,4 га (11,2%), дерново-подзолистыми 862,9 (14,3 %) и серыми лесными (светло-серыми, серыми и темно-серыми) 4496,7 га (74,5%). По гранулометрическому составу преобладают тяжелые почвы 5415,8 га, из них на долю тяжелосуглинистых приходится 97,4 %.

В результате анализа почвенных образцов на основные агрохимические показатели установлено, что они варьировали в широком диапазоне (таблица 1).



Таблица 1. Агрохимические свойства в почвах хозяйства

Показатель	Почва				
	аллювиально-дерновые	дерново-подзолистые	светло-серые лесные	серые лесные	темно-серые лесные
Гумус, %	5,7±0,1*	1,9±0,1	3,2±0,1	3,9±0,1	5,2±0,2
pH <sub>KCl</sub>	5,5±0,1	5,0±0,1	5,0±0,0	5,2±0,1	5,2±0,1
Фосфор, %	112±13	155±13	126±6	155±12	79±10
Калий, %	56±5	106±10	96±3	93±4	77±4

Примечание. 5,7±0,1\* – среднее содержание ± стандартная ошибка.

Содержание гумуса варьирует от 1,3 до 7,7%, что говорит о нуждаемости почв в сохранении и/или повышении органического вещества. Наибольшее значение признака отмечено в аллювиально-дерновых и темно-серых лесных почвах, наименьшее – в дерново-подзолистых. Обменная кислотность изменяется от очень сильно кислой (4,1) до нейтральной (6,9). На площади 4172,5 га (69,1%) требуется известкование, из них на 2795,9 га пашни – коренное улучшение реакции среды. Содержание подвижного фосфора в почвах варьирует от очень низкого (12 мг/кг) до очень высокого (374 мг/кг), калия – от очень низкого (25 мг/кг) до очень высокого (329 мг/кг). Для выращивания сельскохозяйственных культур требуется повышение фосфатного уровня в почвах на площади 4185,6 га (69,4 %), а калийного – 5782,7 га (95,8%).

Оценку качества почв на предприятии провели по А.С. Фатьянову, результаты представлены на рисунке.

Качество почв на территории хозяйства изменялось от среднего до лучшего, так на аллювиально-дерновых варьирование баллов было в пределах от 58 до 81, дерново-подзолистых – 45–76, серых лесных – 52–85.

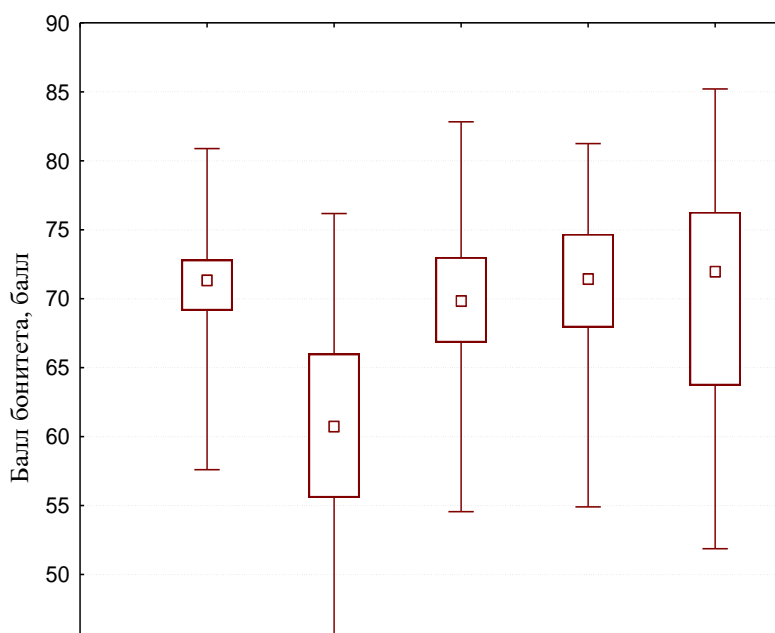


Рисунок. Бонитировочный балл почв по методу А.С. Фатьянова.

Почвы: 1 – аллювиально-дерновые, 2 – дерново-подзолистые, 3, 4, 5 – серые лесные (3 – светло-серые лесные, 4 – серые лесные, 5 – темно-серые лесные).

В хозяйстве выделено 3 агроэкологические группы земель: зональные (не смытые дерново-среднеподзолистые тяжело-, легко- и суглинистые; светло-, темно- и серые лесные тяжело- и среднесуглинистые), эрозийные (дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые слабосмытые, светло-серые, серые, темно-серые лесные, оподзоленные и не оподзоленные тяжелосуглинистые слабосмытые) и пойменные (аллювиально-дерновые мало-, средне- и многогумусные, тяжело- и среднесуглинистые, глинистые не смытые). Для агроэкологических

групп земель разработаны севообороты, мероприятия по повышению плодородия почв и системы удобрений в севооборотах (табл. 2).

Таблица 2. Системы удобрений в севооборотах

Группа земель, $\frac{S, \text{ га}}{\%}$	Мероприятия по повышению плодородия почв	Система удобрения в севооборотах
Зональные $\frac{4879,2}{80,9}$	Известкование (2,4–13,7 т/га*) и повышение фосфатного уровня (1,0–2,5 т/га**) в поле № 1	<i>Полевой севооборот.</i> Органические удобрения 21–35 т/га (поле № 1), заплата соломы и отавы многолетних трав; припосевное внесение удобрений: зерновые (поле № 2, 3, 6, 7) – P <sub>10-20</sub> ; подкормка озимых (поле № 2) – N <sub>30-45</sub> ; основное внесение (поле № 2, 3, 6, 7) – (NPK) <sub>30-40</sub> . <i>Кормовой севооборот.</i> Органические удобрения 30–40 т/га (поле № 5), заплата соломы и отавы многолетних трав; припосевное внесение удобрений: зерновые (поле № 1) – P <sub>10-20</sub> , пропашные (поле № 4, 5) – P <sub>7-10</sub> или N <sub>3</sub> P <sub>7</sub> , подкормка пропашные (поле № 4, 5) – (NP) <sub>20-30</sub> и (NK) <sub>20-40</sub> ; основное внесение (поле № 1) – (NPK) <sub>30-40</sub> , (поле № 4, 5) – N <sub>50-80</sub> P <sub>30-60</sub> K <sub>30-45</sub>
Эрозионные $\frac{480,4}{7,9}$	Известкование (3,6–12,6 т/га) и повышение фосфатного уровня (2,1–2,5 т/га) в поле № 1	Заплата отавы многолетних трав и соломы зерновых культур; припосевное внесение удобрений: зерновые (поле № 1) – P <sub>10-20</sub> ; подкормка озимых (поле № 5) – N <sub>30-45</sub> ; основное внесение (поле № 1, 5) – (NPK) <sub>30-40</sub>
Пойменные $\frac{675,4}{11,2}$	Известкование (11,4–16,5 т/га) и повышение фосфатного уровня (1,4–2,5 т/га) до посева культур	Подкормка N <sub>30-45</sub> K <sub>45-60</sub> на 3-й год пользования трав и последующие годы

Примечание. \* Известняковая мука – ГОСТ 14050-93 (Марка А, класс 1), \*\* фосфоритная мука – ГОСТ 5716-74 (Норма Б)

Таким образом, на основании проведенных исследований в хозяйстве выделено 3 агроэкологические группы земель (зональные, эрозионные и пойменные), разработаны севообороты и системы удобрений в них. При оценке качества почв установлено, что дерново-подзолистые почвы имеют среднюю качественную характеристику (61 балл), аллювиально-дерновые и серые лесные – лучшую (71–73 балла). Для повышения эффективности использования земель в хозяйстве рекомендуется изменить севообороты и применять системы удобрений, предусматривающие пополнение органического вещества в почве за счет растительных остатков и органических удобрений, а также внесение минеральных удобрений с учетом потребности сельскохозяйственных культур. Кроме того, предусмотрено проведение химической мелиорации почв и фосфоритования.

#### Литература

1. Власенко В.П., Шеуджен З.Р. Анализ методов оценки качества почв для сельскохозяйственных целей // В сборнике материалов всероссийской научно-практической конференции: Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений. Краснодар: ООО «Эпомен», 2019. С. 167–173.
2. Илюхин В.Д., Яшин М.А. Оценка качества городских почв с применением метода биотестирования и химического анализа // В сборнике материалов международной научно-

- практической конференции: Экономика. Экология. Безопасность. Уфа: УГАТУ, 2020. С. 113–116.
3. Смагин А.В. Физическое качество почв: подходы, модели, показатели, основные проблемы // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16. № 3. С. 12–32.
  4. Сорокина О.А. Использование метода площадок в оценке оптимальных параметров плодородия почв // В сборнике материалов всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора П.С. Бугакова: Почвенные ресурсы и их рациональное использование. Красноярск: КГАУ, 2022. С. 25–30.
  5. Кирюшин В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель: учебное пособие. С.-Пб: Лань, 2011. 288 с.
  6. Почвы Кунгурского района Пермской области и рекомендации по их использованию / Ю.К. Попов, Т.Г. Шамгунова. Пермь: ПГСХИ, 1976. 84 с.
  7. Самофалова И.А., Кондратьева М.А. Ознакомительная практика по геологии, почвоведению, ландшафтоведению, химии, физике, мелиорации, географии, эрозии и картографии почв (раздел география почв): учебно-методическое пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2022. 157 с.

#### ADAPTIVE-LANDSCAPE SYSTEM OF AGRICULTURE – THE BASIS FOR THE FORMATION OF HIGHLY PRODUCTIVE SUSTAINABLE AGRICULTURAL LANDSCAPES

N.M. Mudrykh

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov», Perm, [nata020880@hotmail.com](mailto:nata020880@hotmail.com)

*Summary.* This article is devoted to determining the possibility of using elements of the adaptive-landscape system of agriculture in the economy of the Perm kray. On the territory of the enterprise secreted 3 agro-ecological types of land have been identified, for which crop rotations have been developed, fertilizer systems in them, and measures have been planned to preserve soil fertility.

*Keywords:* soils, soils judging, agro-ecological land types, soil fertility, fertilizer doses, crop rotations.

УДК 631.559.2

#### ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛОДОРОДИЯ СЕРОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Г.М. Мусаева

Кыргызский научно-исследовательский институт земледелия, Бишкек, Кыргызская Республика, [musa-eva1950@mail.ru](mailto:musa-eva1950@mail.ru)

*Аннотация.* Данное исследование является актуальным с точки зрения создания равновесия между природой и человеком. Почва, как природный ресурс, испытывает особую нагрузку при интенсивном способе возделывания с/х культур. Состав и свойства почвы постоянно меняются под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов, климата, деятельности человека. Нарушаются естественные циклы практически всех процессов, происходящих в почве. Возрастает дозы и виды минеральных удобрений, средств химической защиты, осушительная мелиорация, орошение и другие воздействия на почву. В этой связи необходимо найти или уловить положительную или отрицательную взаимосвязь между возделываемой культурой и показателями почвы. Решение проблемы базируется на определении оптимальных параметров (показателей) свойств почв, и на оптимизации использования земельных ресурсов и увеличения продуктивности агроэкосистем. Для этого мы попытались изучить при разных уровнях урожайности озимой пшеницы и кукурузы те количественные агрохимические показатели почв, которые способствовали увеличению урожайности. Был собран огромный статистический материал сопряженных данных «растение-почва». Показатели урожая озимой пшеницы и кукурузы были разбиты на три

уровня (низкий уровень – до 30 ц/га; средний уровень – от 30 до 50 ц/га; высокий уровень – 50 ц/га и выше). Для кукурузы (низкий уровень – 45,5 ц/га; средний – 74,0 ц/га до 83 ц/га и высокий уровень – 124,1 ц/га и выше). Установлена нижняя граница содержания гумуса в сероземной почве, лимитирующая урожай при возделывании озимой пшеницы и кукурузы на зерно. Определено, что с увеличением продуктивности снижается коррелятивная зависимость между урожаем и содержанием гумуса. Множественный корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно с почвенными показателями (содержание гумуса, минерального азота и фосфора, а также обменного калия) показал тесную коррелятивную связь, где по мере увеличения продуктивности культур теснота связи снижается.

**Ключевые слова:** почва, оптимизация, гумус, азот, фосфор, калий, парная корреляция, множественная регрессия, урожай, пшеница, кукуруза.

**Актуальность.** Отсутствие разработок по установлению оптимальных параметров элементов плодородия почв существенно затрудняет понимание участвующих явлений деградации почв (дегумификация, техногенное загрязнение, уплотнение и др.), ограничивающих возможности создания законченных систем почвозащитного земледелия. За период реформы сельского хозяйства в Кыргызской Республике данная проблема не поднималась в данной плоскости, хотя еще с 80-х годов прошлого века эта проблема была предметом всестороннего обсуждения. Разработка концепции моделей плодородия почв [1, 2] была признана новым, весьма перспективным методологическим подходом в познании процессов антропогенного почвообразования и определения путей управления почвенным плодородием. Плодородие проявляется как результат сложного взаимодействия и взаимовлияния растений и почв. Наблюдается прогрессирующее снижение плодородия и выведение пахотного фонда и земельных угодий из оборота [3].

В этой связи суть предлагаемой работы заключается в конструировании моделей плодородия на основе обобщений результатов исследований по выявлению и анализу лимитирующих почвенных факторов, оценке отдельных элементов плодородия до уровней почвенных моделей. По исследованиям Т.Н. Кулаковской [1] наиболее обоснованы с теоретической и практической точки зрения оптимальные параметры для агрохимических свойств почвы. Из этих свойств, отражающих состояние плодородия почв, наибольший интерес представляют содержание гумуса, минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия.

**Объектом исследований** являлись сероземы обыкновенные малокарбонатные Чуйской долины в условиях орошения. Эти почвы занимают большую часть пахотных угодий Кыргызской Республики. За период реформы многие хозяйства перешли из интенсивного в экстенсивный тип ведения сельского хозяйства.

**Методы исследований.** Сложность полевых опытов заключалась в отборе образцов почвы и соответствующей культуры (озимой пшеницы и кукурузы) на исследуемом пахотном поле, где каждый сноп и почва (растение-почва) имел свой номер и соответственно на этих данных после определения урожайности и агрохимических показателей сероземной почвы создавался массив данных. Таким образом, нами собраны образцы в количестве 390 штук для озимой пшеницы и 90 для кукурузы, столько же образцов почвы для агрохимического анализа. Характеристика информационных блоков представлена в таблице 1.

Аналитические исследования проводились по следующим методикам [4]: гумус – по методу Тюрина в модификации Б.А. Никитина, минеральный фосфор ( $P_2O_5$ ) – по методу Мачигина, обменный калий ( $K_2O$ ) – на пламенном фотометре, азот нитратов ( $N-NO_3$ ) – иономером.

Собранный материал почвенных характеристик и параметров, отражающих закономерности взаимосвязи почва-растение, обработан с использованием методов вариационной статистики и моделирования. Это позволило на основе корреляционных и регрессионных связей определить функции урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно с учетом долевого участия отдельных свойств сероземной почвы.



Таблица 1. Характеристика информационных блоков

Культура	Кол-во наблюдений	Вариации урожая, ц/га	Варьирование содержания гумуса и питательных элементов почвы			
			Гумус, %	NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> , мг/100г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100г	K <sub>2</sub> O, мг/100г
Оз.пшеница, всего	390	13–80	1,0–3,5	0,8–14,0	1,0–20,0	1,8–172
из них	97	13–30	1,0–2,9	1,1–64,4	1,0–9,9	31–149
	181	30–50	1,1–3,0	0,8–12,0	1,0–14,0	18–172
	112	50–80	1,3–3,5	1,1–14,0	1,8–20,0	19–150
Кукуруза на зерно, всего	90	31–158	1,8–3,8	1,1–8,0	10,5–10,4	23,0–172
из них	14	31–57	1,8–3,3	2,2–7,0	10,5–24	23,0–84,0
	21	63–88	1,8–3,4	1,1–6,9	13,0–70,0	23,0–86,0
	55	93–158	2,1–3,8	1,1–8,0	17,0–104,0	32,0–172

**Обсуждение результатов.** Оптимальные параметры – это сочетание количественных и качественных показателей свойств почв, при котором наиболее благоприятное сочетание факторов способствует наилучшей продуктивности культур. Фактически, оптимизация заключается в сохранении принципов экологического земледелия [5]. Здесь работают несколько принципов: законы минимума, максимума, оптимума, лимитирующего фактора.

Из собранного материала показатели урожая озимой пшеницы и кукурузы были разбиты на три уровня. Для урожайности озимой пшеницы: низкий уровень – до 30 ц/га; средний уровень – от 30 до 50 ц/га; высокий уровень – 50 ц/га и выше. Для урожайности кукурузы: низкий уровень – 45,5 ц/га; средний – 74,0 ц/га до 83 ц/га и высокий уровень – 124,1 ц/га и выше. Эти показатели урожайности характеризовали почвы как низко-, средне- и высокопродуктивные по плодородию.

Поиск закономерностей урожайности от совокупных факторов позволяют построить модели урожайности в виде уравнения регрессии. Множественный корреляционно-регрессионный анализ (табл. 2) связи урожайности (высокого, среднего и низкого уровня) озимой пшеницы с содержанием гумуса, минерального фосфора и обменного калия показывает, что связь между урожаем и этими показателями существует ( $r=0,535$ ;  $r=0,383$ ;  $r=0,511$ , соответственно). В таблице 2 представлены данные корреляции и регрессии, где в математическом выражении показаны доля конкретного участия в формировании урожайности каждого из почвенных показателей.

На сероземных почвах при высокой продуктивности выше 50 ц/га урожайность озимой пшеницы положительно коррелирует с содержанием гумуса ( $r=0,257$ ), обменным калием ( $r=0,138$ ), в том числе с минеральным азотом ( $r=0,505$ ). Необходимо отметить, что при высоком уровне урожайности озимой пшеницы существует отрицательная корреляционная связь с минеральным фосфором ( $r= -0,112$ ).

При среднем уровне урожайности от 30 до 50 ц/га корреляционная взаимосвязь между содержанием гумуса ( $r= -0,176$ ) и минеральным фосфором ( $r= -0,216$ ) отрицательная. При этом наблюдается положительная корреляционная связь между урожайностью и минеральным азотом ( $r=0,306$ ) и обменным калием ( $r=0,128$ ).

При низком уровне продуктивности озимой пшеницы (до 30 ц/га) связь между содержанием гумуса ( $r=0,483$ ) и минеральным азотом ( $r=0,260$ ) тесная. Это говорит о том, что при низком уровне плодородия почвы содержание гумуса и азота играет ведущую роль в создании урожая. Отмечена отрицательная корреляционная связь между урожаем и обменным калием ( $r=-0,216$ ).

Зависимость совокупности почвенных свойств, таких как содержание гумуса, минерального азота и фосфора, обменного калия, при низком уровне урожайности составляет  $r=0,511$ , а при высоком уровне урожайности  $r=0,535$ . Это объясняет высокую степень зависимости урожая от этих факторов.

Таблица 2. Множественная корреляционно- регрессионная связь различной степени урожайности озимой пшеницы от агрохимических показателей сероземной почвы

Показатели	Сред. показания	Средний квадрат	Коэфф. корр.	Коэфф. регрессии	Погрешн. регрессии	Знач.Т
До 30 ц/га (ср. 22,1 ц/га)						
Гумус, %	2,157	0,514	0,483	3,671	0,885	4,147
N-NO <sub>3</sub> , мг/100 г	3,280	1,31	0,26	0,413	0,34	1,215
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	11,895	11,226	0,083	0,002	0,039	0,04
K <sub>2</sub> O, мг/100 г	62,082	35,549	-0,216	-0,016	0,012	-1,369
			=0,511		Фактич.-8	
От 30 до 50 ц/га (ср. 39,32 ц/га)						
Гумус, %	2,351	0,715	-0,176	-1,266	0,64	-1,979
N-NO <sub>3</sub> , мг/100 г	4,047	1,573	0,306	1,017	0,251	3,661
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	9,206	7,119	-0,216	0,07	0,062	-1,127
K <sub>2</sub> O, мг/100 г	45,519	29,979	0,128	0,026	0,014	1,904
			=0,383		Фактич.-8	
От 50 ц/га и выше (средн. 39,32 ц/га)						
Гумус, %	2,855	0,833	0,257	1,274	0,93	1,37
N-NO <sub>3</sub> , мг/100 г	6,301	2,883	0,505	1,305	0,24	5,239
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	6,638	3,866	-0,112	-0,227	0,186	-1,224
K <sub>2</sub> O, мг/100 г	64,17	33,288	0,138	-0,048	0,023	-2,077
			= 0,535	Фактич.	-11	

Анализ значений множественного коэффициента корреляции для четырех переменных (содержание гумуса, минерального азота и фосфора, обменного калия) при низком уровне урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно ( $r=0,511$ ,  $r=0,764$ , соответственно) показал, что эти показатели играют значительную роль в формировании урожая.

При увеличении продуктивности взаимосвязь урожая с показателями плодородия достаточно тесная ( $r=0,383$ ,  $r=0,675$  соответственно), но здесь увеличивается доля других неучтенных нами факторов. С увеличением продуктивности снижается коррелятивная связь между урожаем и гумусом, так как доля участия в повышении продуктивности озимой пшеницы снижается. При максимальном уровне урожайности связь между продуктивностью и параметрами плодородия ослабевает, так как на формирование урожайности действуют множество факторов, такие как погодные условия, осадки, влажность, полив, агротехника, сорт и т.д.

Предварительные показатели вариации содержания гумуса, минерального азота, фосфора и обменного калия в экспериментальных выборках во взаимосвязи с различными грациями урожайности зерновых культур показали, что по мере увеличения содержания гумуса наблюдается рост урожайности (табл. 2, 3.). Нижняя граница содержания гумуса в сероземной почве для озимой пшеницы и кукурузы составляет, соответственно, 2,35% и 2,585%, за пределами которой недостаток содержания гумуса ограничивает формирование высоких и устойчивых урожаев.

Установлена линейная зависимость урожайности озимой пшеницы от минерального азота, где с её увеличением возрастает теснота связи между этими двумя показателями. Нижней границей содержания минерального азота для озимой пшеницы и кукурузы (табл. 2, 3) на зерно является 4,047 мг/100г почвы и 2,78 мг/100 г почвы, соответственно, за пределами которых недостаток этого показателя ограничивает формирование высоких урожаев.

В высокоплодородных почвах с увеличением продуктивности озимой пшеницы (табл. 2) отмечается снижение среднего показателя минерального фосфора, что, по-видимому, связано с зафосфачиванием обследованных производственных массивов. Оптимальной границей содержания минерального фосфора для озимой пшеницы является 9,206 мг/100 г почвы, за

пределами которой недостаток этого показателя ограничивает формирование высоких и устойчивых урожаев озимой культуры.

Как техническая культура, кукуруза проявляет высокую потребность в минеральном питании (табл. 1). Наши данные показывают, что для получения высокого урожая в условиях сероземных почв оптимальная вариация содержания гумуса составляет – 2,1–3–8%, азота нитратов – 1,1–8,0 мг/100г почвы, минерального фосфора – 10,5–10,4 мг/100г, обменного калия – 23,0–172 мг/100г почвы.

Таблица 3. Множественная корреляционно-регрессионная связь различной степени урожайности кукурузы на зерно от агрохимических показателей сероземной почвы

Показатели	Сред. показания	Средний квадрат	Коэфф. корр.	Коэфф. регрессии	Погрешн. регрессии	Знач.Т
При урожае 45,5 ц/га						
Гумус, %	2,9	0,431	-351	-3,949	5,15	-0,767
N-NO <sub>3</sub> мг/100 г	3,367	1,273	-0,048	0,906	1,682	-0,361
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г	14,86	14,88	3,298	0,695	1,130	2,573
K <sub>2</sub> O мг/100 г	35,42	15,134	0,400	0,253	0,243	-1,044
			0,764		Фактич.-3	
При урожае 74,83 ц/га						
Гумус, %	2,585	0,387	-0,137	-7,290	4,712	-1,547
N-NO <sub>3</sub> мг/100 г	2,763	1,476	-0,283	-1,142	1,307	-0,874
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г	22,09	12,266	0,365	0,303	0,147	2,034
K <sub>2</sub> O мг/100 г	48,857	18,230	0,484	0,193	0,104	1,860
			= 0,675		Фактич.-3	
При урожае 124,17 ц/га						
Гумус, %	3,195	0,618	-0,028	0,442	5,214	-0,035
N-NO <sub>3</sub> мг/100 г	2,739	1,526	-0,080	-1,966	2,154	-0,913
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г	32,49	16,620	0,241	0,209	0,193	1,599
K <sub>2</sub> O мг/100 г	58,455	25,33	-0,176	0,148	0,129	1,140
			= 0,302	Фактич.	-1,0	

Для кукурузы на зерно оптимальным уровнем минерального фосфора является 32,49 мг/100г почвы. Оптимальное содержание обменного калия составляет: для озимой пшеницы – 64,17 мг/100г, для кукурузы – 58,45 мг/100г (табл. 2, 3).

При этом установлено отсутствие взаимосвязи между урожайностью озимой пшеницы и обменным калием, что, по-видимому, связано с достаточной обеспеченностью этим элементом сероземных почв Чуйской долины. Отмечается обратная коррелятивная связь урожайности кукурузы с показателями плодородия (табл. 3), где с повышением продуктивности корреляционная связь урожая кукурузы с показателями почвы ослабевает; так, если при низком уровне наблюдался высокий  $r=0,764$  коэффициент корреляции, то по мере увеличения продуктивности он составил  $r=0,675$ , далее при высоком уровне продуктивности  $r=0,302$ , то есть снижается почти в два раза. Это подтверждает тот факт, что для создания оптимального уровня урожая участвуют все больше факторов, снижая долю участия каждого показателя почвы.

**Выводы.** Нижней границей содержания гумуса в сероземной почве при возделывании озимой пшеницы и кукурузы является, соответственно, 2,1% и 2,58%, минерального азота, соответственно, 3,2 и 3,3 мг/100г почвы, за пределами которых их недостаток существенно ограничивает формирование высоких урожаев.

При низкой продуктивности озимой пшеницы до 30 ц/га между урожаем и содержанием гумуса ( $r=0,483$ ), а также минеральным азотом ( $r=0,260$ ) наблюдается тесная связь, т.е. это говорит о том, что при низком уровне плодородия почвы содержание гумуса и азота играет ведущую роль в создании урожая.

Множественный корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно от совокупности почвенных факторов (гумуса, минерального азота и фосфора, а также обменного калия) показал тесную коррелятивную связь, где по мере увеличения продуктивности этих культур теснота связи суммы исследованных почвенных факторов снижается. Это говорит о многомерности, где доля участия для повышения продуктивности каждого из факторов снижается, так как в формировании оптимального уровня урожая участвуют и другие не менее значимые факторы.

#### Литература

1. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1990. 218 с.
2. Математическое моделирование урожайности сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях. М.: ВИУА, 1988. 74 с.
3. Жумабеков Э.Ж. Почвы Кыргызстана, повышение их плодородия. Бишкек, 2019, 551 с.
4. Агрохимические методы исследования почв. М., 1975. 656 с.
5. Борбиева Д.Б., Сыдыкова Ш.С. Исследование химического состава почв Кыргызстана. КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, 2003.

#### OPTIMAL FERTILITY PARAMETERS OF GRAY-EARTH SOILS OF THE CHUI VALLEY IN THE CULTIVATION OF GRAIN CROPS

G.M. Musayeva

Kyrgyz Scientific Research Institute of Agriculture, Bishkek, Kyrgyz Republic,  
musa-eva1950@mail.ru

*Summary. This research is relevant from the point of view of creating a balance between nature and man. The soil as a natural resource is under special stress, with an intensive method of cultivation of agricultural crops. The composition and properties of the soil are constantly changing under the influence of the vital activity of microorganisms, climate, human activity. The natural cycles of almost all processes occurring in the soil are disrupted. The doses and types of mineral fertilizers, chemical protection agents, drainage reclamation, irrigation, and other effects on the soil are increasing. In this regard, it is necessary to find or catch a positive or negative relationship between the cultivated crop and soil indicators. The solution of the problem is based on determining the optimal parameters (indicators) of soil properties, and on optimizing the use of land resources and increasing the productivity of agroecosystems. To do this, we tried to study, at different levels of yield of winter wheat and corn, those quantitative agrochemical indicators of soils that contributed to an increase in yield. A huge statistical material of conjugate data "plant-soil" was collected. The yield of winter wheat and corn was divided into three levels (low level – up to 30 c/ha; average level – from 30 to 50 c/ha; high level – 50 c/ha and above). For corn (low level – 45,5 c/ha; average – 74.0 c/ha to 83 c/ha and high level – 124,1 c/ha. The lower limit of the humus content in gray-earth soil has been established, limiting the yield when cultivating winter wheat and corn for grain. It is determined that by increasing productivity, the correlative dependence decreases, where humus is not the main criterion between the yield of humus.*

*Keywords: soil, optimization humus, nitrogen, phosphorus, potassium, type pair correlation, multiple regression, yield, wheat, corn.*



УДК 631.4+631.811

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОУГЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И РОСТ ПШЕНИЦЫ

О.А. Некрасова, А.А. Бетехтина, А.В. Малахеева, С.А. Черепанов, В.В. Валдайских  
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, o\_nekr@mail.ru

**Аннотация.** В работе оценивается влияние биоугля из березового опила на физико-химические характеристики окультуренной дерново-подзолистой почвы и рост пшеницы твердой (*Triticum durum* L.). В результате проведения вегетационного эксперимента выявлено, что внесение биоугля увеличило рН и содержание общего азота в почве после выращивания растений, но отрицательно сказалось на росте пшеницы.

**Ключевые слова:** биоуголь, органическое вещество почв, дерново-подзолистая почва, физико-химические характеристики почвы, *Triticum durum*, морфометрические характеристики, микориза.

**Введение.** Вызовы современности стимулируют поиск возможностей секвестрации углерода, в том числе, за счет получения и внесения биоугля в почвы сельскохозяйственного назначения [1]. Помимо удержания углерода в составе биоугля, присутствие последнего оказывает влияние на физико-химические свойства почвы, а также на рост и развитие растений. Однако в соответствии с литературными данными [2, 3] внесение биоугля неоднозначно влияет на свойства почвы и произрастающие на ней растения. Биоуголь может как отдавать биогенные элементы [4], так и удерживать их, он может влиять на доступность питательных веществ через изменение рН почвы и микробной активности [5], кроме того, в его составе могут присутствовать токсичные для растений элементы [1]. Таким образом, новые материалы, полученные в результате эксперимента по внесению определенного биоугля в конкретную почву, в итоге позволят всесторонне оценить эффективность использования биоугольных мелиорантов.

**Целью** данной работы является оценка влияния биоугля на физико-химические свойства окультуренной дерново-подзолистой почвы и рост пшеницы твердой.

**Материалы и методы исследования.** В вегетационных стаканах, заполненных почвой из гумусового горизонта (0–20 см) окультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (контроль), с добавлением 2% биоугля, выращивали по одному растению твердой пшеницы (*Triticum durum*) в пяти повторностях. Эксперимент проводили в теплице в течение 53 суток при температуре  $25 \pm 5$  °С и относительной влажности почвы 60%. Биоуголь был получен из березового опила путем пиролиза при 540 °С.

В образцах исходной почвы, биоугля, почвы после выращивания пшеницы, а также почвы с внесенным биоуглем после выращивания пшеницы определяли объемную массу и плотность твердой фазы гравиметрическим методом; рН – с помощью потенциометра Анион 4100 (Россия); общий органический углерод ( $C_{орг.}$ ) – методом мокрого сжигания по Тюрину; общий азота ( $N_{общ.}$ ) – по Кьельдалю, подвижный фосфор ( $P_2O_5$ ) – по Кирсанову, подвижный калий ( $K_2O$ ) – пламенно-фотометрическим методом [6, 7].

Выкопанные целиком после эксперимента растения высушивали при 70 °С, разделяли на органы и взвешивали на аналитических весах. В листьях и зерновках определяли содержание общего азота и фосфора в растительном материале. Корневые системы отмывали от почвы водой и фиксировали в 70%-м этиловом спирте, на фрагментах тонких корней первого и второго порядков длиной по 1 см определяли микоризную колонизацию.

Достоверность различий между вариантами оценивали для количественных параметров, используя двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и критерий Тьюки; для признаков, измеренных в порядковой шкале – критерий Манна-Уитни.

**Результаты и обсуждение.** Почва, использованная в эксперименте по установлению влияния внесения биоугля на ее свойства и выращиваемую пшеницу (табл. 1), имеет благоприятную для произрастания растений объемную массу, кислую реакцию среды, высокое содержание органического углерода и общего азота, а также высокую степень обеспеченности подвижными формами калия и среднюю – подвижными формами фосфора.

Таблица 1. Среднестатистические характеристики биоугля, исходной и экспериментальной почвы

Вариант	Объемная масса	рН <sub>H2O</sub>	рН <sub>KCl</sub>	С <sub>орг</sub>	№ <sub>общ.</sub>	К <sub>2</sub> О	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>
	г/см <sup>3</sup>			%		мг/100 г почвы	
Биоуголь	0,08*	6,76	5,57	37,79	0,22	105,5	1,8
	0,005**	0,04	0,15	4,47	0,03	3,9	0,2
Исходная почва	0,78	4,90	4,16	7,13	0,48	18,6	8,1
	0,03	0,08	0,02	0,15	0,01	0,8	0,9
Почва после выращивания	0,62	4,85	4,23	6,81	0,32	5,5	7,3
	0,03	0,32	0,04	0,31	0,09	0,1	1,1
Исходные почва+биоуголь	0,77	4,94	4,19	7,75	0,48	20,3	8,0
	0,03	0,08	0,02	0,09	0,01	0,9	0,9
Почва+биоуголь после выращивания	0,58	5,26	4,33	7,21	0,50	5,7	7,6
	0,02	0,03	0,03	0,27	0,02	0,2	1,0

Примечание. \* Верхняя строка – среднее значение. \*\*Нижняя строка – стандартное отклонение.

Биоуголь, внесенный в почву в ходе вегетационного опыта (см. табл. 1), характеризуется низкой объемной массой, имеет нейтральную реакцию среды, содержит в своем составе около 38% углерода и 0,22 % азота, высокое количество подвижных соединений калия (более 100 мг/100 г) и очень низкое – подвижных соединений фосфора. Внесение биоугля в почву перед посевом семян растений существенно (на 9 %) увеличило содержание общего органического углерода и подвижных форм фосфора, остальные показатели изменились незначительно.

Сопоставление физико-химических характеристик субстратов после выращивания пшеницы (см. табл. 1) показало, что по сравнению с контролем, почва с внесенным биоуглем имеет большие значения рН водной и солевой вытяжки (5,26 и 4,33 против 4,85 и 4,23 соответственно), более высокое содержание С<sub>орг</sub>. (7,21 против 6,83%), а также №<sub>общ.</sub> (0,50% против 0,46%), выявленные различия значимы при  $p < 0,01$ . Объемная масса, плотность твердой фазы, содержание подвижных соединений К<sub>2</sub>О и Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> имеют близкие значения в сравниваемых субстратах.

Анализ динамики исследуемых физико-химических показателей в ходе эксперимента выявил (см. табл. 1), что выращивание пшеницы привело в обоих вариантах субстрата к существенному снижению объемной массы (на 21–25%), уменьшению содержания общего органического углерода (на 5–8% от исходного количества), подвижных соединений калия (на 71–72%) и фосфора (на 5–10%), а также к незначительному (на 1–3%) увеличению значений потенциальной кислотности.

Внесение биоугля в почву с посевом пшеницы по сравнению с контролем в среднем на 6% увеличило значения актуальной кислотности, незначительно – содержание органического азота и, в то же время, привело к большим потерям органического углерода (в среднем 7,5% от исходного количества по сравнению с 4,5% в почве).

Морфометрический анализ выращенной в эксперименте пшеницы выявил (таблица 2), что внесение биоугля практически не повлияло на высоту растений и массу листьев и незначимо снизило массу стеблей, а также массу корней. Оно отрицательно сказалось на общей массе растений и массе зерновок, которые снизились по сравнению с контролем соответственно на 15% и 18% (различия значимы на уровне  $p < 0,05$ ).

Анализ подземных органов показал (табл. 2), что при внесении биоугля в почву на 29% увеличилась микоризация корневой системы.

В проведенном эксперименте внесение биоугля привело к изменениям свойств почвы, зафиксированным после вегетации растений – увеличению рН, содержания общего органического углерода и общего азота. Полученные результаты сопоставимы с данными других исследований [8, 9]. Снижение кислотности обусловлено присутствием в составе

биоугля щелочных веществ; отсутствие потерь общего азота при выращивании растений, по-видимому, связано с изменением структуры бактериального сообщества и увеличением азотфиксирующей активности [10–13].

Таблица 2. Морфометрические характеристики растений *Triticum durum*, выращенных на почве без и с добавлением биоугля

Высота растения, см	Масса					Доля корней по массе	Интенсивность микоризации
	растения	листьев	зерновок	стеблей	корней		
	г					%	%
Контроль (почва)							
76,7*	4,80	0,34	1,70	1,64	1,13	23,8	22,7
1,1**	0,22	0,01	0,10	0,18	0,11	2,6	1,3
Почва + биоуголь							
74,1	4,09	0,34	1,39	1,33	1,00	24,4	32,0
2,4	0,17	0,01	0,11	0,10	0,11	2,1	1,7

Примечание. \*Верхняя строка – среднее значение. \*\*Нижняя строка – ошибка среднего.

Однако эффект благоприятного влияния внесения биоугля на рост пшеницы не выявлен. Несмотря на сдвиг рН в нейтральную сторону и увеличение содержания общего азота, в проведенном эксперименте произошло достоверное снижение массы растений и зерновок. Вероятно, это связано с тем, что биоуголь может поглощать элементы минерального питания и снижать их доступность для корней [13]. Кроме того, некоторые виды биоугля могут быть токсичны из-за содержания смол и маслянистых веществ [14].

Внесение биоугля в проведенном опыте оказало влияние на потери общего органического углерода в почве, которые почти в 2 раза превысили таковые в контроле. В некоторых инкубационных экспериментах [15, 16] также обнаружена повышенная эмиссия углекислого газа и минерализация органического вещества почвы.

Изменения в микоризации корней могут служить важным индикатором изменений свойств почвы при внесении биоугля [17, 18]. В проведенном эксперименте внесение биоугля способствовало увеличению микоризации корней, что в целом может свидетельствовать о низкой обеспеченности субстрата подвижными фосфатами [19].

Внесение биоугля из березового опила повлияло на состояние почвы и растений. Несмотря на улучшение свойств окультуренной дерново-подзолистой почвы, растения пшеницы отреагировали на присутствие биоугля снижением ряда морфометрических параметров. Таким образом, повышение содержания макроэлементов в системе почва-биоуголь неоднозначно влияет на рост растений; кроме того, в присутствии биоугля может усиливаться минерализация органического вещества почв. Полученные в работе результаты могут использоваться для оценки перспективности использования биоугольных мелиорантов в почвах разных условий формирования.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2023–0023).

#### Литература

1. Кудеяров В.Н. Влияние удобрений и системы земледелия на секвестрацию углерода в почвах // Агрохимия. 2022. № 12. С. 79–96. doi: 10.31857/S0002188122120092
2. Cornelissen G., Jubaedah, Nurida N.L., Hale S.E., Martinsen V., Silvani L., Mulder J. Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 634. PP. 561–568. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.380
3. Murtaza G., Ahmed Z., Usman M., Tariq W., Ullah Z., Shareef M., Iqbal H., Waqas M., Tariq A., Wu Y., Zhang Z., Ditta A. Biochar induced modifications in soil properties and its impacts on crop growth and production // Journal of plant nutrition. 2021. Vol. 44, № 11. PP. 1677–1691. doi:10.1080/01904167.2021.1871746

4. Purakayastha T.J., Kumari S., Pathak H. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues // *Geoderma*. 2015. Vol. 239–240. PP. 293–303. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.11.009
5. Mukherjee A., Zimmerman A.R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures // *Geoderma*. 2013. Vol. 193. PP. 122–130. doi: 10.1016/j.geoderma.2012.10.002
6. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: изд-во МГУ, 1970. 488 с.
7. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
8. Al-Wabel M.I., Hussain Q., Usman A.R.A., Ahmad M., Abduljabbar A., Sallam A.S., Ok Y.S. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: a review // *Land Degradation & Development*. 2018. Vol. 29. Iss. 7. PP. 2124–2161. doi: 10.1002/ldr.2829
9. Пономарев К.О., Первушина А.Н., Коротаева К.С., Юртаев А.А., Петухов А.С., Табакаев Р.Б., Шаненков И.И. Влияние биоугля на развитие яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и кислотность дерново-подзолистой почвы в Западной Сибири // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2022. Вып. 113. С. 110–137. doi: 10.19047/0136-1694-2022-113-110-137.
10. Gorovtsov A.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Perelomov L.V., Soja G., Zamulina I.V., Rajput V.D., Sushkova S.N., Mohan D., Yao J. The mechanisms of biochar interactions with microorganisms in soil // *Environmental Geochemistry and Health*. 2020. Vol. 42 (8). PP. 2495–2518. doi: 10.1007/s10653-019-00412-5
11. Ahmad Z., Mosa A., Zhan L., Gao B. Biochar modulates mineral nitrogen dynamics in soil and terrestrial ecosystems: A critical review // *Chemosphere*. 2021. Vol. 278. Article number 130378. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130378
12. Yin S., Suo F., Kong Q., You X., Zhang X., Yuan Y., Yu X., Cheng Y., Sun R., Zheng H., Zhang C., Li, Y. Biochar enhanced growth and biological nitrogen fixation of wild soybean (*Glycine max* subsp. *soja* Siebold & Zucc.) in a Coastal Soil of China // *Agriculture*. 2021. Vol. 11(12). Article number 1246. doi:10.3390/agriculture11121246
13. El-Naggar A., El-Naggar A.H., Shaheen S.M., Sarkar B., Chang S.X., Tsang D.C.W., Rinklebe J., Ok Y.S. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: a review // *Journal of environmental management*. 2019. Vol. 241. PP. 458–467. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.02.044
14. Godlewska, P., Ok Y.S., Oleszczuk, P. The dark side of black gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils // *Journal of hazardous materials*. 2021. Vol. 403. Article number 123833. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123833
15. Ling L., Luo Y., Jiang B., Lv, J., Meng C., Liao Y., Reid B., Ding F., Lu Z., Kuzyakov Y., Xu J. Biochar induces mineralization of soil recalcitrant components by activation of biochar responsive bacteria groups // *Soil Biology and Biochemistry*. 2022. Vol. 172. Article number 108778. doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108778
16. Орлова Н.Е., Орлова Е.Е., Банкина Т.А. Агроэкологическая оценка применения биоугля для повышения плодородия дерново-подзолистых низко гумусированных почв // *Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН*. 2018. С. 113–115.
17. Olmo M., Villar R., Salazar P., Albuquerque J.A. Changes in soil nutrient availability explain biochar’s impact on wheat root development // *Plant and Soil*. 2016. Vol. 399. PP. 333–343. doi: 10.1007/s11104-015-2700-5
18. Shen Q., Hedley M., Arbestain M.C., Kirschbaum M.U.F. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus? // *Journal of soil science and plant nutrition*. 2016. Vol. 16. No 2. PP. 268–286. doi: 10.4067/S0718-95162016005000022
19. Смит С.Э., Рид Д. Дж. Микоризный симбиоз / Пер. с 3-го англ. издания. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 776 с.



## EVALUATION OF THE BIOCHA INFLUENCE OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOD-PODZOLIC SOIL AND WHEAT GROWTH

O.A. Nekrasova, A.A. Betekhtin<sup>1</sup>, A.V. Malaheeva, S.A. Cherepanov, V.V. Valdaiskikh  
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg,  
o\_nekr@mail.ru

*Summary.* The paper evaluates the effect of biochar from birch sawdust on the physicochemical characteristics of sod-podzolic cultivated soil and the growth of durum wheat (*Triticum durum* L.). As a result of the vegetation experiment, it was revealed that the application of biochar increased the pH and total nitrogen content in the soil after growing plants, but negatively affected the growth of wheat.

*Keywords:* biochar, soil organic carbon, sod-podzolic soil, soil physico-chemical characteristics, *Triticum durum*, morphometric characteristics, mycorrhiza.

УДК 631.821

## ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ КИСЛЫХ ПОЧВ И ПУТИ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ

**А.И. Осипов**

ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург,  
aosipov2006@mail.ru

**Аннотация.** Химическая мелиорация почв является первостепенным и традиционным мероприятием, которое обеспечивает оптимизацию почвенных условий для развития растений и полезной микрофлоры, а также повышает эффективность применяемых минеральных удобрений. В работе раскрыты причины постоянного подкисления почв, вымывания кальция и магния за пределы корнеобитаемого почвенного слоя, механизмы, протекающие в почвенном поглощающем комплексе в результате внесения химических мелиорантов. Приводятся методы известкования и новые подходы к данному приему, связанные с использованием сыромолотой доломитовой муки грубого помола и дифференцированного внесения известковых мелиорантов, с учетом пестроты почвенной кислотности современными высокоэффективными машинами РМУ-8,10. Дана характеристика природным известковым удобрениям, а также местным карбонатным материалам и содержащим известь отходам промышленности. Ведутся исследования по селекции новых сортов сельскохозяйственных культур, толерантных к кислой реакции почвенной среды. Уделяется особое внимание поиску, изучению и использованию отдельных групп специфических микроорганизмов, позволяющих снизить фитотоксичное действие на растения алюминия, железа и марганца, повысить плодородие почв и экологическую безопасность вносимых известкосоудержающих мелиорантов.

**Ключевые слова:** Плодородие почв, химические мелиоранты, фитотоксичность, дифференцированное внесение, природные известковые удобрения, сыромолотая доломитовая мука, методы известкования, отходы промышленности, вымывание, периодичность известкования, дозы и сроки внесения извести.

Химическая мелиорация кислых почв является важнейшим приемом, повышающим плодородие почв, создающим оптимальные физико-химические условия для развития растений и позволяющим получать высокие, устойчивые урожаи возделываемых культур. В истории сельского хозяйства разных стран мира можно найти немало примеров коренного улучшения почв и повышения урожаев возделываемых культур в результате применения известковых удобрений. В тоже время встречались случаи злоупотребления известкованием на заре развития земледелия, когда еще не существовало теории питания растений, и в вопросах удобрения почв шли на ощупь. Так, в Англии еще во времена Плиния (господство римлян) употреблялся мергель, в котором видели как бы концентрированное богатство почвы- «её тучность». В Германии мергелевание также применялось с XII века. В XVI веке мергель сплавлялся на судах по Рейну в нижерейнские провинции. С XVII века начал уже

использоваться обожжённый известняк в целом ряде областей Германии, включая Силезию. В России первые сведения об удобрениях появляются в трудах Императорского Вольного Экономического Общества (ИВЭО). 7 сентября 1771 года. Андрей Нартов, член этого общества, публикует статью, в которой дает высокую оценку известкованию почв в Англии [1, 2]. С 1964 года в нашей стране началась работа по организации агрохимической службы, в задачу которой входило обследование почв колхозов и совхозов, а также проведение опытов с различными видами удобрений. В 1969 году была разработана программа известкования, позволившая за 20 лет создать положительный баланс кальция в земледелии и существенно уменьшить площади сильнокислых почв. Для сравнения следует отметить, что в Западной Европе известь в сельском хозяйстве используется более 200 лет, а США вышли на стабильный уровень применения известковых материалов 55 лет назад. Многолетними исследованиями доказано, что альтернативы известкованию нет. Известковые мелиоранты, нейтрализуя избыточную кислотность в почвах, повышают коэффициенты использования минеральных удобрений. Известно, что коэффициенты использования азота из удобрений и их окупаемость на сильнокислых почвах в 1,4–2,7 раза ниже, чем на слабокислых и нейтральных. При разбросном внесении фосфорных удобрений на сильнокислых почвах коэффициенты использования составляют всего 1,7–2,0%. На почвах с благоприятной реакцией 10–15%, а при локальном внесении – 30%. Улучшается экологическая обстановка окружающей среды.

В настоящее время хорошо известна важная роль микроорганизмов в восстановлении и повышении почвенного плодородия. На различных почвах урожаи растений тем выше, чем лучше в них развита деятельность групп микроорганизмов, способных превращать органические вещества почвы – в простые соединения, доступные для усвоения их растениями. В кислых почвах данная группа микроорганизмов развита очень слабо, что и является одной из основных причин низких урожаев сельскохозяйственных культур. Поэтому, применение биомелиорантов (специфических микроорганизмов и биопрепаратов на их основе) в комплексе с химическими мелиорантами выведет на качественно новый уровень решение проблемы мелиорации кислых почв; патогенная грибная микрофлора сменяется на бактериальную, растет число фосфатмобилизующих бактерий, азотфиксаторов, целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Данный агротехнический прием позволит разработать новую схему биохимической мелиорации кислых почв, снизить уровень внесения доз известки и минеральных удобрений, повысить урожайность сельскохозяйственных культур и их устойчивость к воздействию солей тяжелых металлов, уменьшить техногенную нагрузку на почву, а также успешно решить целый ряд экологических проблем, связанных с антропогенной деятельностью [2, 3].

К концу XX века площадь кислых почв в России достигла 50 миллионов гектаров. По расчётам учёных, с учетом пятилетнего цикла известкования, для достижения и поддержания оптимальной реакции среды необходимо ежегодно вносить мелиорант на площади 10 млн. га в дозе 10 т. Однако наибольших объемов известкования – 6,5 млн. га мы добились в 1990 году (табл. 1).

Таблица 1. Объемы применения агрохимикатов и урожайность культур

Показатели	Единицы измерения	Годы					
		1990	2000	2010	2014	2019	2020
Внесено минеральных удобрений	млн. тонн	9,9	1,4	1,9	2,1	2,7	3,1
	кг/га	112,0	25,0	36,0	38,0	38,0	37,0
Объемы известкования	тыс. га	6500,0	350,0	210,0	254,0	304,0	440,0
Внесено органических удобрений	т/га	10,5	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1
	млн. тонн	390,0	66,0	53,0	65,0	70,7	70,5
Урожайность зерновых и зернобобовых	ц/га	13,2	18,8	23,8	24,3	26,7	28,6

Было внесено также 112 кг минеральных и 10,5 тонн органических удобрений на гектар. Общие объемы минеральных удобрений составили 9,9 млн. тонн, а органических 390 млн.

тонн. Для того чтобы известковать такие большие объемы в ряде регионов, традиционных природных известковых материалов (известняковая и доломитовая мука) значительно не хватало. Поэтому одной из важнейших задач по повышению обеспеченности земледелия известковыми удобрениями с меньшими затратами является более широкое использование местных карбонатных материалов, применение которых для известкования известно давно и доказано практическим и научным опытом стран мира. Однако в настоящее время местные известьесодержащие материалы практически не используются, а между тем запасы их огромны. Другим весьма важным и довольно дешёвым источником пополнения запасов природных известковых материалов являются отходы промышленности, к которым относятся некоторые виды шлаков, шламов, золы сланцев, бурых углей, отходный мел, известково-доломитовые отходы, дефекал и др.

К началу третьего тысячелетия экономические условия функционирования сельского хозяйства нашей страны изменились. Резко снизилась государственная поддержка работ по поддержанию почвенного плодородия, а большинство хозяйств не имеют достаточных финансовых ресурсов для организации известкования. В результате этого темпы известкования почв начали резко падать и к 2010 году его объемы сократились до 210 т. га, дозы минеральных удобрений до 36 кг, а органики – до 1,0 тонны на гектар. В последующие годы отмечается незначительное повышение объемов известкования до 440,0 т. га (табл. 1). Несмотря на низкие дозы удобрений, урожайность зерновых и зернобобовых культур возрастала с 13,2 до 28,6 ц/га. Объяснить это можно только лишь тем, что за эти годы около 50 млн. гектаров почв с низким плодородием были выведены из оборота, а урожайность возделываемых культур формировалась в основном за счет почвенного плодородия. Так, по данным департамента растениеводства, механизации и защиты растений Минсельхоза России за период 2006–2016 годы отрицательный баланс элементов питания в сумме составил 64,8 млн. тонн действующего вещества [2].

Среди лидеров известкования кислых почв нашей стране следует выделить Республику Татарстан. В период с 2011 по 2013 годы Татарстан ежегодно известковал по 140 тысяч га или более 56% от объемов России. В Республике действует 28 карьеров по добыче и производству местных известковых удобрений с годовой производительностью около 2 млн. т. Доломитовая и известняковая мука вносится в сыромолотом виде с тониной помола менее 5 мм, что существенно снижает стоимость известкования. Окупаемость 1 руб. затрат в Республике составляет 2,26 руб., а срок окупаемости мелиоранта 2,0–2,5 года [4]. Однако с 2014 года объемы известкования стали снижаться и в 2016 год Республика произвела только 70 тысяч га, сравнявшись с Белгородской областью.

Известно, что свойства кислых почв настолько различны, что при использовании традиционных подходов расчета доз извести по величине рН, гранулометрическому составу и содержанию гумуса приходится сталкиваться как с очень высокой эффективностью известкования, так и с очень низкой, из-за недоучета отдельных факторов. Нами разработана усовершенствованная система расчета доз извести, которая наряду с такими показателями, как реакция почвенной среды, гранулометрический состав, содержащиеся гумуса использует еще и содержание фосфора, фитотоксичных элементов алюминия, марганца и железа, условия увлажнения, типы севооборотов, чувствительность растений к кислотности и ее составляющим. За счет максимально возможной, при современном уровне знаний, адаптации системы известкования к конкретным почвенным условиям и требованиям возделываемых культур можно сэкономить не менее 10–15% извести. Очень важно знать природу кислотности, чем она обусловлена. Так, например, на торфяных почвах культурные растения прекрасно развиваются при рН-4,5, поскольку кислотность здесь обусловлена ионами водорода. На избыточно увлажненных, глеевых почвах кислотность представлена присутствием в ППК ионов железа и марганца, поэтому на этих почвах доза извести рассчитывается до рН-6,5, так как только в этих условиях фитотоксичность этих элементов прекращается. В настоящее время нет достаточно точных методов прогноза продолжительности действия извести. Наиболее надежные данные могут быть получены в многолетних полевых опытах. Необходимую периодичность известкования могут своевременно показать и проводимые в регионе агрохимические обследования.

В настоящее время известно, что сорта одной и той же культуры различаются по устойчивости к кислотности и требуют разные по количеству дозы извести. Целенаправленная селекция на кислотоустойчивость позволяет существенно сократить потребность в известковании. Определенных успехов в селекции отдельных сельскохозяйственных культур на устойчивость к подвижному алюминию добились специалисты Ленинградского НИИСХ. Ими в 2005 году переданы на Государственное сортоиспытание сорта ярового ячменя Ленинградский и Северянин. В области земледелия при современных экономических условиях для более экономного использования известковых материалов целесообразно несколько изменить подходы к составлению севооборотов. В севообороты должны входить культуры по возможности с одинаковым или близким отношением к кислотности и ее составляющим. Необходимо отказаться от чистых паров и использовать повторные посевы для уменьшения потерь кальция, магния и других элементов питания за счет вымывания [5].

Известно, что относительно крупные частицы диаметром от 3 до 5 мм не являются «балластом», как считалось ранее, хотя и взаимодействуют с почвой гораздо медленнее, чем мелкие частицы. Чтобы поддерживать относительно постоянный уровень реакции почвенной среды в течение продолжительного времени известковые материалы должны содержать широкий спектр частиц различного размера. В Агрофизическом институте с 2013 года ведется работа по внедрению усовершенствованной технологии известкования кислых почв. Специалистами института в 2019 году создан программно-аппаратный комплекс на отечественном оборудовании для дифференцированного внесения известковых мелиорантов и других минеральных удобрений. Для выполнения работ в системе «точного земледелия» необходимо предварительно провести агрохимическое обследование сельскохозяйственных полей с топографической привязкой и создать на основе полученных лабораторных данных «карты-задания», которые будут использоваться бортовыми системами комплекса в поле [6]. В настоящее время в Ярославле фирма ПК «Ярославич» выпускает современные машины УРМ-10 и УРМ-10М для внесения химических мелиорантов и удобрений. Они доказали свое превосходство по отношению других машин, обладая большей производительностью и надежностью в работе, высоким качеством внесения мелиорантов (неравномерность у новых машин от 3 до 10%, а у старых 20–25%), а также возможностью работать по точному земледелию с электронными картами полей, позволяющими учитывать пестроту плодородия и почвенной кислотности. Для реализации программы повышения плодородия почв и увеличения площадей по известкованию в Ленинградской области компанией ООО «Инко-Балт» в 2021 году смонтированы и введены в эксплуатацию две линии по производству мелиорантов для химической мелиорации кислых почв ДСМ (доломит сыромолотый мелкозернистый) и ПДМ (пылевидная доломитовая мука). В 2023 году они прошли государственную регистрацию; мощность производства данных мелиорантов составляет 500 т. тонн в год.

### Литература

1. Осипов А.И. Известкование кислых почв – основа их плодородия // Сельскохозяйственные вести, 2016.4 С. 40–42.
2. Осипов А.И. Современные проблемы известкования кислых почв и пути их решения. // Материалы международной научной конференции «Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства» ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия, 14–15 апреля 2022 г. СПб: ФГБНУ АФИ, 2022. С. 763–770.
3. Якушев В.П., Осипов А.И. Химическая мелиорация почв - вчера, сегодня, завтра // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2013. 30. С.68–72.
4. Якушев В.П., Осипов А.И. Миннуллин Р.М., Воскресенский С.В. К вопросу об известковании кислых почв в России. // Агрофизика, 2013. № 2(10). С. 18–22.
5. Осипов А.И. Экологические аспекты известкования кислых почв // Сельское хозяйство России: состояние, проблемы и перспективы развития. СПб, 2014, С. 38–46
6. Осипов А.И., Якушев В.П., Якушев В.В. Потенциал развития отрасли растениеводства в РФ с использованием информационных технологий точного земледелия // Материалы



Шестого Международного форума «Продовольственная безопасность» Санкт-Петербург, г. Пушкин, 2016. С. 66–73.

## PROBLEMS OF CHEMICAL RECLAMATION OF ACIDIC SOILS AND WAYS TO SOLVE THEM EFFECTIVELY

A.I. Osipov

Agrophysical Research Institute Saint Petersburg, aosipov2006@mail.ru

*Summary. Chemical melioration of soils is a primary and traditional measure that ensures the optimization of soil conditions for the development of plants and useful microflora, and also increases the effectiveness of mineral fertilizers used. In this study the reasons for the constant acidification of soils, the washing out of calcium and magnesium beyond the root-soil layer, the mechanisms that occur in the soil absorbing complex as a result of the introduction of chemical meliorants are disclosed. Presented the liming methods and new approaches to this method, which are associated with the use of coarse-grained dolomite meal and differentiated application of calcareous ameliorates, taking into account variability of soil acidity by modern high-performance machines such as RMU-8,10. Characteristics of natural calcareous fertilizers, as well as local carbonate materials and lime containing industrial wastes are provided. Studies are underway to select new varieties of agricultural crops tolerant to an acid reaction of the soil environment. Special attention is paid to the search, study and use of specific groups of specific microorganisms that allow to reduce the phytotoxic effect on plants of aluminum, iron and manganese, to increase the fertility of soils and the ecological safety of lime containing containing ameliorants.*

*Keywords: Soil fertility, chemical meliorants, phytotoxicity, differentiated application, natural calcareous fertilizers, damp-ground flour, liming methods, industrial wastes, leaching, liming frequency, doses and terms of lime application.*

УДК 631.174:001.891:001.63:001.9:631.95.091:09:045

### ИСТОРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ НОВОСИБИРСКИХ УЧЕНЫХ В ЖУРНАЛЕ «АГРОХИМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»

И.С. Прохоров<sup>1</sup>, Л.Н. Пирумова<sup>2</sup>, М.В. Царева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АНО «Редакция «Химия в сельском хозяйстве», Москва, agrochem\_herald@mail.ru

<sup>2</sup>Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, Москва, pln@cnsnb.ru

*Аннотация. Представлена краткая информация об истории журнала «Агрохимический вестник» («Удобрение и Урожай», «Химизация социалистического земледелия», «Химия в сельском хозяйстве», «Химизация сельского хозяйства») с 1929 г. по настоящее время. Дано описание рубрик журнала, выдающихся ученых – членов редакционной коллегии, сотрудников редакции и издательств, в которых выходил журнал. В связи с проведением Всероссийской научной конференции с международным участием «Почвы и окружающая среда», посвященная 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН рассмотрены найденные публикации новосибирских ученых, посвященные различным аспектам почвенно-агрохимических и агроэкологических исследований.*

*Ключевые слова:* научный журнал, история, почвоведение, агрохимия, агроэкология.

Журнал «Агрохимический вестник» является правопреемником журнала «Удобрение и Урожай», что подтверждено письмом НПО «Всесоюзная книжная палата» от 02.12.1992 № 0212, которое дает право редакции указывать на титульном листе издания формулировку «Основан в июне 1929 г.» [1].

Одним из инициаторов выхода в свет журнала, основанного Комитетом по химизации народного хозяйства СССР при СНК СССР и Научным Институтом по Удобрениям НТУ ВСНХ СССР, стал академик Д.Н. Прянишников. В первый редакционный совет входили: Э.В. Брицке – редактор, Л.Л. Балашев – зам. редактора, М.М. Вольф, С.И. Вольфович, Н.В. Гаврилов, А.А. Горяинов, П.И. Дубов, А.В. Казаков, Э.И. Квириг, В.П. Кочетков, А.Н. Лебедянцева, А.П. Левицкий, Д.Н. Прянишников, А.Н. Розанов, Г.Д. Угрюмов, А.И. Юлин.

Первыми авторами вместе с членами редсовета были: В.И. Влодавец, Б.А. Скопинцев, Н.П. Ремезов, И.И. Траут, Ф.Т. Перитулин, Т.А. Рунов, В.М. Васильков, А.А. Чучупал, С.П. Лебедев, Н.В. Овчининский [1–13]. Тираж журнала первоначально составлял 2000 экз.

Будучи единственным органом, специально посвященным проблемам химизации земледелия, журнал «Удобрение и Урожай» из-за малого объема не мог достаточно полно освещать вопросы защиты растений, поэтому с мая 1932 г. отдел журнала «Химические средства борьбы с вредителями и болезнями растений» стал выпускать самостоятельное издание «На защиту социалистического урожая». Сегодня – это журнал «Защита и карантин растений», а журнал «Удобрение и урожай» в 1932 г. был переименован в «Химизацию социалистического земледелия» и стал органом Наркомзема СССР и Всесоюзного НИИ удобрений, агротехники и агропочвоведения им. К.К. Гедройца (ВИУАА) [1, 5, 6, 9–11]. В это время в состав редколлегии входили: К.К. Гедройц, О.К. Кедров-Зихман (отв. редактор), А.Н. Лебедянцева, Е.Е. Магарам, Я.П. Никулихин, С.С. Сигаркин, С.И. Теумин, А. Федяев, Н.В. Феоктистов. Авторами в это время помимо членов редколлегии были: М.М. Вольф, Л.Н. Барсуков, Е.В. Бобко, Д.А. Сабинин, В.С. Буткевич, М.А. Егоров, С.П. Молчанов, А.А. Ширшов.

Журнал также публиковал официальные документы: «Об организации Всесоюзного института удобрений», «Об объединении Института удобрений и агропочвоведения», а также хронику и статьи – персоналии. Содержание журнала было продублировано на английском и немецком языках, тираж журнала составлял 1 875 экз., достигнув в 1938 г. – 9 660 экз.

В 1941 г. последним, вышедшим номером журнала, стал № 6 с тиражом 8 770 экз., так как началась Великая Отечественная Война. Среди его авторов были: В.В. Церлинг, В.В. Бернгард, Е.Н. Мишустин, М.Г. Голик, О.М. Джумаев, Е.Ф. Березова, Л.В. Судакова, А.В. Соколов, Н.Н. Соколов, В.Н. Перегудов, Р.В. Витоль, П.И. Садовский, М. Бабаков.

В 1956 г. журнал был восстановлен под названием «Удобрение и Урожай» как ежемесячный научно-производственный журнал Минсельхоза СССР и Министерства совхозов СССР. Членами редколлегии журнала были: В.Е. Егоров (гл. ред.), П.А. Баранов, А.Ф. Кабанов, Н.П. Карпинский, О.К. Кедров-Зихман, В.М. Ключковский, И.П. Мамченков, Я.В. Пейве, И.И. Самойлов, П.Г. Найдин, Н.Д. Смирнов, Ф.В. Турчин. Начальный тираж 14 000 экз., который достиг 19 600 экз. в 1957 г.

В 1960 г. журнал «Удобрение и урожай» и серии массовой библиотечки обмена опытом в сельском хозяйстве («Зерновые и кормовые культуры», «Технические и масличные культуры») объединяют в качестве рубрики в ежемесячный журнал «Земледелие», в круг рассматриваемых вопросов которого вошло возделывание сельскохозяйственных культур, разработка севооборотов, а также теория и практика применения удобрений.

В 1963 г. Государственный комитет химической и нефтяной промышленности при Госплане СССР и Министерство сельского хозяйства СССР восстановили журнал под названием «Химия в сельском хозяйстве», который выходил в свет в Госхимиздате. Состав редколлегии: В.Н. Антонов (гл. ред.), Д.А. Катренко (зам. гл. ред.), С.В. Беньковский, К.А. Гар, И.И. Гунар, М.В. Каталымов, Л.И. Королев, В.В. Краснушкин (зам. гл. ред.), Н.Н. Мельников (зам. гл. ред.), К.В. Новожилов, Б.Г. Овчаренко, П.В. Попов, А.В. Соколов, В.Г. Стативкин, Ф.В. Турчин, Г.А. Черемисинов (зам. гл. ред.), А.Ф. Шаров, Н.А. Шманенков, О.В. Яковлева. Тираж первого номера журнала составлял 1 200 экз., а в 1964 г. он достиг пика за все время издания – 63 000 экз.

В 1964 г. добавились рубрики «Новые препараты», «Обмен опытом», «В помощь лектору», «Библиография», а в 1965 г. – «Экономика», «Консультации» (вместо «В помощь лектору», которая в 1979 г. стала «Наши справки»). В 1975 г. в № 2 появляется первая найденная в архивах публикация Геннадия Павловича Гамзикова совместно с П.С. Поставской, посвященная определению подвижного фосфора в почвах [14]. Изучали связи между количеством подвижного фосфора в почвах перед посевом и прибавками урожая от суперфосфата. Подвижные формы фосфора определяли по методам Чирикова, Францесона, Эгнера-Рима, Буриеля-Гернандо; нитратный азот в водной вытяжке – по Грандваль-Ляжу. Установили, что прогноз эффективного действия фосфорных удобрений оправдывается лишь в том случае, если в почве содержалось достаточно много азота или были внесены азотные

туки. Сделан вывод о возможности использования всех 5 методов определения подвижного  $P_2O_5$  в почвах в целях диагностики потребности в фосфорных удобрениях сельскохозяйственных культур при выращивании их на некарбонатных черноземах лесостепи и степи. Применение кислотных вытяжек по Чирикову и Францесону не дает возможность объективно судить о содержании  $P_2O_5$ . Указанные методы следует применять для анализа почв с глубоким залеганием карбонатов, например для анализа черноземов северной и центральной лесостепи. Рекомендуемый ЦИНАО для черноземов и других почв метод Эгнера-Рима можно широко использовать для поточных анализов при агрохимическом обследовании черноземов степи и лесостепи Западной Сибири.

В следующем году вышла статья Любови Павловны Антипиной о внесении фосфорных удобрений в запас [15]. Изучали целесообразность применения удобрений в запас при планировании урожайности. Эффективность способов внесения суперфосфата изучали в звене севооборота: яровая пшеница, яровая пшеница, овес. Возделывали 2 сорта пшеницы: Новосибирская 67 и Мильтурум 553. Сделан вывод, что в годы с засушливым маем и первой половины июня более отзывчив на удобрения позднеспелый сорт Мильтурум 553. При нормальном увлажнении в период до выхода в трубку и при засушливой второй половине вегетационного периода лучше реагирует на удобрения среднеспелый сорт Новосибирская 67. Сделан вывод об отсутствии преимущества разового внесения суперфосфата перед ежегодным при возделывании зерновых. В звене севооборота при посеве сорта пшеницы Новосибирская 67 и овса сорта Победа сбор зерна при ежегодном внесении суперфосфата был выше, чем при однократном применении удобрения, на 1,902 ц/га, а в звене с сортом Мильтурум 553 – на 6,2 ц/га.

В 1982 г. в журнале вышла статья Виктора Борисовича Ильина, посвященная ПДК тяжелых металлов [16]. При нормировании содержания тяжелых металлов (ТМ) в почве, точнее в системе «почва – растение», нужно учитывать конкретную ситуацию загрязнения. Сделан вывод, что большой практический смысл имеет определение подвижной формы ТМ, которая в основном формирует поток токсичных ионов из почвы в растения. Для извлечения подвижной формы химических элементов из почвы применяют различные экстрагенты. Однако предпочтение следует отдавать тем из них, которые можно использовать в широком диапазоне рН. К таким экстрагентам относятся органические кислоты с хелатирующими свойствами, в частности, забуференный в нужном интервале рН раствор ЭДТА. Будучи относительно мягкими, они тем не менее извлекают токсичные ионы из минерального и органического компонентов почвы.

В том же году в продолжение темы тяжелых металлов опубликована статья коллектива авторов (Перцовская А.Ф., Панникова Е.Л., Тонкопий Н.И., Григорьева Т.И., Шестопалова Г.Е., Донерьян Л.Г., Лихачева А.А.) [17]. Экспериментально обосновывали схему наиболее информативных показателей, обеспечивающих раннюю диагностику неблагоприятного воздействия нормируемого ТМ на биологическую активность и процессы самоочищения почвы, а также упрощение и усовершенствование экспериментального нормирования по общесанитарному показателю вредности. Сравнивали 20 показателей, характеризующих биологическую активность и процессы самоочищения почвы. Наиболее чувствительными показателями действия ТМ были азотфиксация, ферментативная активность, дыхание, которые позволяют установить угнетающее влияние ТМ, из микроорганизмов – почвенные грибы, из ферментов – инвертаза. Целесообразно при изучении действия ТМ в опытах по экспериментальному нормированию из комплекса почвенных микроорганизмов определять не только группу почвенных грибов, но и группу почвенных сапрофитных бактерий. А из ферментов, кроме инвертазы, активность протеазы и целлюлазы. Отрицательными изменениями можно считать торможение процесса самоочищения почвы от кишечных палочек, которые служат индикатором поведения патогенной микрофлоры; угнетение численности сапрофитных бактерий; снижение ферментативной активности; дыхания, азотфиксации и накопления азота нитратов; рост численности почвенных грибов, являющихся активнейшими токсинообразователями. Концентрация нормируемого вещества, приводящая в сроки наблюдения к изменениям любого из показателей (до 25% – для биохимических и до

50% – для микробиологических), принимается за предельно допустимую (ПДК). Определение общесанитарного показателя вредности проводится в 2 этапа, по предложенной схеме.

Исследованиям в лесостепи УССР была посвящена статья В.Н. Якименко с соавторами [18], в которой приведены результаты изучения доз органических и минеральных удобрений при их сочетании, применительно к новым, все более устойчивым к полеганию высокоурожайным сортам. Авторы установили, что в центральных районах правобережной лесостепи Украины на высокоплодородных черноземах внесение навоза в дозе 20 т/га по фону  $N_{40}P_{60}K_{60}$  обеспечивало незначительное, но систематическое увеличение урожая пшеницы, наибольший прирост был после гороха (2, 7 ц/га), после трав – только 1,4 ц/га. Повышение доз навоза от 20 до 40 т/га по фону  $N_{40}P_{60}K_{60}$  после кукурузы на ранний силос практически не влияло на урожай озимой пшеницы. Сделан вывод, что на фоне 20 т/га навоза оптимальная норма минеральных удобрений под озимую пшеницу при посеве после многолетних трав, кукурузы (при ранней уборке ее на силос) и гороха –  $N_{20-40}P_{30-60}K_{30-60}$ . Наиболее высокий урожай зерна при этом бывает после гороха. Многолетние травы на 1 укос и кукуруза на силос являются практически равноценными предшественниками, но качество зерна пшеницы лучше при посеве ее по пласту трав. Размещение пшеницы по пшенице приводит к значительному снижению урожая зерна.

В 1983 г. найдена публикация Григория Александровича Гармаша о выбросах тяжелых металлов [19], в которой автор рассматривал закономерности поступления, соотношение нерастворимой и водорастворимой форм элементов ТМ в выбросах и темп загрязнения территории. Были исследованы территории в районе действующего металлургического комбината. Сделаны выводы, что поступление промышленных выбросов в почву резко убывает с удалением от предприятия. Выбросы предприятия черной металлургии насыщены щелочными и щелочноземельными элементами, что можно рассматривать как благоприятный факт: происходит подщелачивание почвенного раствора и снижение подвижности ТМ. Относительная водорастворимость выбросов с увеличением расстояния растет за счет снижения доли нерастворимой формы элементов при относительной постоянной концентрации водорастворимых соединений. Практически все железо поступает в почву в нерастворимом виде. Растения накапливают меньше тяжелых металлов в плодах, клубнях и корнеплодах, чем в листьях и стеблях; это можно использовать для ограничения поступления металлов в пищевую цепь.

В 1985 г. первая публикация Нины Юрьевны Гармаш [20], в которой автор определяла закономерности изменения показателей качества товарной продукции зерновых культур под воздействием ТМ в субстрате. Сделан вывод, что одним из важнейших показателей качества урожая пшеницы следует считать содержание в зерне ТМ. Остальные показатели не подвергаются столь значительным изменениям при избытке металлов в субстрате, чтобы лимитировать использование товарной продукции для питания человека и животных. Содержание металлов в урожае может возрастать в десятки и даже сотни раз, приводя к различным отрицательным последствиям. В большей степени это относится к кадмию, как к более мобильному и легко проникающему в вегетативные и репродуктивные органы элементу, чем к свинцу и цинку. Для объективной оценки качества продукции, получаемой с загрязненной ТМ территории, наряду с другими показателями необходимо знать ПДК ТМ в растительных объектах. Зная реальное содержание металлов и его ПДК в продуктах питания, можно делать соответствующие выводы об их качестве, а значит и о пригодности для пищевых целей.

С 1986 г. на всех обложках журнала «Химия в сельском хозяйстве» черно-белые фото или картинки. Учредитель до 1986 г. – Министерство сельского хозяйства и Министерство по производству минеральных удобрений, министерство химической промышленности, с 1986 г. – Госагропром СССР, Министерство по производству минеральных удобрений и Министерство химической промышленности.

Новая публикация Л.П. Антипиной совместно с Н.К. Пашкевич вышла в 1986 г. [21]. В основу распределения фосфорных удобрений по зонам и области были положены следующие данные: оптимальная структура посевных площадей; содержание подвижного фосфора в почве; потребность в фосфорных удобрениях для возделывания пшеницы по интенсивной



технологии; площади орошаемых и осушенных земель; почвенно-климатические условия по зонам области; окупаемость фосфорных удобрений; их годовые фонды и перспективы роста урожайности пшеницы. Предложены 2 варианта распределения фосфорных удобрений: фактический, рассчитанный на реальные объемы поступления туков в настоящее время и планируемый на получение урожайности зерновых 18–20 ц/га и обеспечение животноводства кормами.

Продолжение исследований Н.Ю. Гармаш по содержанию тяжелых металлов в пшенице нашло свое отражение в новой статье в 1987 г. [22], в которой оценивали влияние высоких концентраций цинка, свинца и кадмия на содержание элементов питания в растениях пшеницы. Сделаны выводы, что цинк, свинец и кадмий значительно различаются по характеру взаимодействия с элементами питания растений. Свинцу в большей степени присущи взаимодействия внешнего характера, проявляющихся в антагонистических отношениях ионов свинца с ионами кальция и в образовании труднорастворимых соединений с анионом РО на самом первом этапе поступления их в корневую систему, что обуславливает дефицит кальция и фосфора в начальные фазы развития пшеницы. В результате нарушения питания отмечалось высокое содержание в зерне азота и пониженное – фосфора, кальция и магния.

В статье «Диагностика азотного питания полевых культур» [23] Г.П. Гамзиковым представлена сибирская система диагностики азотного питания, основанная на выборочном осеннем обследовании полей типичного опорного хозяйства и аналоговом переносе результатов обследования на другие хозяйства единого хозяйственно-экологического района, которая может быть использована в других регионах страны. Закономерности накопления доступных или потенциально доступных растениям форм азота складываются однотипно в одинаковой природной обстановке. Возможность охвата значительной территории пахотных земель агрохимическим прогнозом потребности в азотных удобрениях по аналоговому принципу отличается простотой и эффективностью.

Новая публикация В.Б. Ильина в 1987 г. также посвящена проблемам накопления тяжелых металлов в растениях [24], в которой представлен материал, характеризующий область критических концентраций ТМ в наземной массе растений, которые несут практическую информацию для поиска ПДК и предварительной оценки степени загрязнения почвенного покрова. Альтернативой ПДК можно считать найденное опытным путем содержание подвижной формы элементов – токсикантов в почве. Надежность ПДК подвижной формы во многом будет определяться выбором экстрагента, его «извлекающей» способностью по отношению к минеральным и органическим компонентам почвы и к поступающим в почву при техногенном загрязнении инородным соединениям, содержащим токсичные элементы. Раствор  $\text{HNO}_3$  может быть рекомендован для извлечения из почвы только подвижных форм свинца и меди, а раствор  $\text{CaCl}_2$  или  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  – цинка и кадмия, тогда как комплексообразователи ТДПА и ЭДТА одинаково пригодны для извлечения подвижных форм всех четырех элементов. Рекомендуемые экстрагенты способны извлекать из почвы значительную (50% и более) часть ТМ, накопленных в почве.

Осенью 1987 г. журнал «Химия в сельском хозяйстве» был передан ВО «Агропромиздат» и № 1 – 1988 получил название «Химизация сельского хозяйства», так как в издательстве был журнал «Защита растений», который по мнению дирекции тоже был о химии в сельском хозяйстве. Журнал полностью сменил свой облик и формат (его можно было положить в широкий карман), но не потерял своей важности. В состав редколлегии входили: Г.И. Алергант, И.Г. Важенин, Н.В. Войтович, А.И. Волков (зам. гл. ред.), Ю.А. Вяткин, Н.С. Беспярых (глав. ред.), В.С. Груздев, В.М. Габидуллин, Л.М. Державин, В.Ф. Кармышов, Ю.И. Касицкий, Д.А. Кореньков, А.И. Кушков, И.А. Мельник, А.И. Мигач, Э.Ф. Нейгебаур, П.Д. Попов, А.В. Постников, В.И. Сахненко, В.А. Светов, В.Г. Уточкин, В.В. Шувалов. Позднее членами редколлегии стали: И.М. Богдевич, В.Ф. Ладонин, А.И. Мячин, В.И. Панасин, И.Н. Чумаченко. Тираж составлял 11 000–13 000 экз.

Лев Алексеевич Игнатьев в 1988 г. свою статью посвятил исследованию ретарданта ССС [25], в которой было установлено, что применяя ССС в более ранние сроки можно повысить устойчивость растений к засухе и посевам к полеганию, оптимизировать условия для закладки элементов урожая; совокупный эффект зависит от конкретно складывающихся погодных

условий. При этом необходимо учитывать, что яровая пшеница в фазе 3 листьев по сравнению с фазой кущения более чувствительна к любым экстремальным воздействиям, в т.ч. и к ретарданту ССС. Поэтому для сортов интенсивного типа, обладающих невысокой засухоустойчивостью лучшие результаты дает обработка при снижении нормы препарата до 2 кг д.в. на 1 га. Для сортов с высокой засухоустойчивостью дозы ССС не снижают.

В публикации Владимира Николаевича Якименко совместно с Владимиром Митрофановичем Назарюком [26] предложена формула расчета доз удобрений на планируемый урожай огурца, по которой можно определить потребность огурца в элементах питания, не создавая избыточной их концентрации в субстрате. При внесении доз удобрений, рассчитанных по предлагаемой формуле, полученный урожай огурца был близок к планируемому. В весенних пленочных теплицах в зоне БАМ на субстрате из торфа оптимальная доза удобрений составляет  $N_{28}P_{18}K_{55}$ . Целесообразно вносить микроудобрения в виде внекорневых подкормок. Оптимальные дозы составляют (г/м<sup>3</sup> за вегетацию): медь сернокислая – 3,0, борная кислота, сульфаты цинка и марганца – по 0,5, молибдат аммония – 0,1. Использованный способ расчета доз микроудобрений на планируемый урожай огурца позволяет в течение вегетации обеспечивать необходимое для культуры содержание элементов питания в субстрате.

В 1990 г. вышла новая статья Н.Ю. Гармаш, посвященная органическим удобрениям [27]. В ней было определено влияние органических удобрений на фракционный состав гумуса дерново-подзолистой почвы в контролируемых условиях. Сделан вывод, что внесение в дерново-подзолистую почву осадка сточных вод и сеного навоза не только увеличивало содержание в ней органического вещества и гумуса, но и улучшало качество последнего. Это происходило благодаря внесению готовых гумусовых веществ, содержащихся в удобрениях. Интенсивность минерализации органического вещества свиного навоза значительно выше, чем у ОСВ, особенно в первые 2 месяца компостирования, что определяется в основном составом органического вещества этих удобрений.

Вопросам содержания кадмия в почве была посвящена новая публикация В.Б. Ильина [28]. Предельно допустимая концентрация кадмия в почве, предложенная А. Клоке, при возделывании огородных культур в зоне техногенного загрязнения не обеспечивает требуемого качества растительной продукции и должна быть существенно понижена. Предложены более жесткие нормативы содержания кадмия в почве. Для культур, товарная часть которых хорошо защищена от избыточных ионов тяжелых металлов (капуста, томаты), предельно допустимая норма содержания кадмия в почве 2 мг/кг, для картофеля – 1,5, корнеплодов – не более 0,5 мг/кг. Предлагаемые ПДК близки или равны фоновому количеству кадмия в почве, которое приводится в литературе. Сделан вывод, что если нативное количество кадмия в почве принять за 0,1–0,2 мг/кг, снижение ПДК до 0,5 мг/кг не выглядит сомнительным.

В 1991 г. Владимир Николаевич Якименко начал цикл статей, посвященных калийным удобрениям [29]. Определено влияние калийных удобрений на урожайность овощных культур и качество продукции, а также оценена обеспеченность почв обменным калием в Новосибирской области. Сделан вывод, что выращивание культур с большим выносом калия даже в почвах с относительно высоким исходным его содержанием быстро приводит к снижению количества этого элемента до уровня, не обеспечивающего получение планируемого для данных условий урожая. Использование калийных удобрений (на фоне азотно-фосфорных) в дозах, близких к выносу, позволяет существенно повысить урожайность овощных культур и качество получаемой продукции. Обменный калий, достигая при интенсивном сельскохозяйственном освоении почв своего минимального уровня и в дальнейшем мало изменяясь, зачастую служит индифферентным индексом обеспеченности культур этим элементом. При оценке плодородия почв в отношении калия целесообразно использовать наряду с обменной и кислоторастворимые его формы.

В следующем 1992 г. вышла совместная статья В.М. Назарюка, О.П. Якутиной, Ф.Р. Калимуллиной и М.И. Кленовой, посвященная овощеводству [30].

В 1992 г. журнал возглавил к.с.-х.н. В.А. Макаренко и в номерах 2 и 4 редакция опубликовала анкету, в которой представила читателям несколько вариантов названий:

«Химизация сельского хозяйства», «Химия в сельском хозяйстве», «Удобрение и Урожай», «Плодородие и Урожай», «Плодородная нива». В результате анкетирования большинство читателей (более 50%) остановилось на названии «Химия в сельском хозяйстве», так как оно более полно отвечает содержанию и тематике журнала. Такое же решение принял учредитель – Совет объединения «Россельхозхимия» и под таким названием журнал начал выходить с января 1993 г. В составе редколлегии появились: А.М. Артюшин, В.Я. Евсюков, С.Ф. Маслов, И.И. Прохорова, Ю.Ф. Федоров. С этого времени учредителем журнала становится Министерство сельского хозяйства РФ. На страницах журнала значительное место стало уделяться работе специалистов центров и станций Государственной агрохимической службы, которая в 2024 г. отметит свой 60-летний юбилей. В 1994 г. главным редактором журнала становится И.И. Прохорова, работавшая в редакции с 1986 г. и ныне возглавляющая АНО «Редакция «Химия в сельском хозяйстве». Тираж журнала в этот период – 3 000 экз.

Продолжая изучение калийных удобрений, Владимир Николаевич Якименко опубликовал еще 2 статьи в 1993–1994 гг. [31, 32]. В них изучали влияние калийных удобрений на урожайность зерновых культур и содержание калия в почве в Новосибирской области. Сделан вывод, что, несмотря на слабое влияние калийных удобрений, на урожайность зерновых культур в благоприятные годы, регулярное использование этих удобрений целесообразно. Будучи важнейшим элементом механизма устойчивости растений, калий способен в значительной степени нивелировать воздействие неблагоприятных внешних факторов, в частности, дефицита влаги. Достаточное количество калия в почве – дополнительная существенная гарантия получения приемлемого урожая зерновых в засушливые годы.

В 1996 г. обнаружена первая публикация Ивана Николаевича Шаркова с соавторами [33] о повышении плодородия почв. Проводили сравнительный анализ процессов минерализации в почвах, имевших в предшествующий период различную степень дефицита углерода для определения состояния органического вещества сегодняшних почв в будущем. Исследовали влияние известкования и удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв и урожай культур в Томской обл. Установили, что при диагностике известкования кислых почв необходимо учитывать природу почвенной кислотности, содержание токсичных элементов (алюминия и марганца), количество обменного кальция и подвижных фосфатов. Дозировки известкового удобрения будут меняться не только в зависимости от почвенных условий, но и от биологии культур, возделываемых в севообороте.

После длительного перерыва вновь публикации И.Н. Шаркова совместно с Л.Н. Иодко [34], в которой обобщены результаты по сравнительной оценке повышения урожайности яровой пшеницы от применения азотных удобрений на гербицидных и безгербицидных фонах. Авторы установили, что на фоне гербицидов прибавка урожая от средней дозы  $N_{48}$  снизилась на 14% по сравнению с эффектом от удобрения на вариантах, где гербициды не применяли. Под влиянием гербицидов окупаемость азота прибавкой зерна снизилась с 8,8 до 7,5 кг/кг. Причиной снижения послужило более значительное увеличение урожайности пшеницы от гербицидов на не удобренном фоне в сравнении с удобренными – соответственно 3,1 и 2,5 ц/га. Сделан вывод, что при применении под яровую пшеницу на черноземах Западной Сибири удобрений и гербицидов на их приобретение и внесение следует планировать затраты, не превышающие стоимости 3,5–4,0 ц/га зерна. Такие же затраты целесообразно планировать дополнительно к минеральным удобрениям на приобретение всего комплекса защиты растений (гербицидов, фунгицидов, инсектицидов) при возделывании яровой пшеницы по интенсивной технологии.

Следует отметить, что журнал постоянно ищет новые решения для привлечения читателей, расширения аудитории. В журнале постоянно дается информация о состоявшихся совещаниях, конференциях, выставках (на 3-ей странице обложки), отдельных НИУ (на 2-й странице обложки) с нарезкой цветных фото. С 2001 г. журнал проводил конкурс «Агрохимик года» по работам, опубликованным в журнале «Агрохимический вестник за... год» с различными номинациями, результаты с именами победителей, конечно, публикуются в журнале, привлекая внимание читателей к особо интересным или дискуссионным работам. После распада Советского союза публикация многих исследований в бывших республиках началась в ряде региональных изданий, однако благодаря сотрудничеству редакции с рядом

Вузов и НИИ позволяет и сейчас привлекать авторов из ближнего зарубежья. Значительное внимание уделяется редакцией истории развития науки и ее выдающимся деятелям и исследователям.

С 2005 г. журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) на сайте российской научной электронной библиотеки ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)). В настоящее время этот агрегатор выступает главным «мерилом» публикационной активности ученых и преподавателей.

В 2010 г. журнал стал Лауреатом Национальной премии им. П.А. Столыпина «Аграрная Элита России» в номинации «Пропаганда новых технологий и научных достижений в повышении плодородия и возрождении земель сельскохозяйственного назначения». Не забывают в журнале и о будущих поколениях агрохимиков, почвоведов и агроэкологов, для которых существует рубрика «Работы молодых ученых».

С 2012 г. главным редактором журнала стал к.с.-х.н. И.С. Прохоров, работающий в редакции со студенческой поры и который в настоящее время готовит материал для докторской диссертации.

С 2015 г. журнал включен в базу данных российских научных журналов Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Также подтверждено включение журнала с 1963 г. в международную базу данных химических научных журналов Chemical Abstracts (CAS (pt)), осуществлена регистрация в международной исследовательской базе данных Research Bible. С 2018 г. статьям, публикуемым в журнале, присваивается Digital Object Identifier (DOI) на базе Российской государственной библиотеки ([www.cyberleninka.ru](http://www.cyberleninka.ru)).

Благодаря обновлению Перечня ВАК РФ, в журнале «Агрохимический вестник» в настоящее время публикуются материалы по многим специальностям и отраслям науки: микробиология (сельскохозяйственные науки); экология (биологические и химические науки); почвоведение (биологические, сельскохозяйственные и химические науки); общее земледелие растениеводство (биологические и сельскохозяйственные науки); агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (биологические, сельскохозяйственные и химические науки). Одним из направлений публикаций благодаря этому стали исследования по оценке земель, а также в особо охраняемых природных территориях (заповедниках и национальных парках).

Редакции журнала остается надеется, что сотрудничество с учеными Института почвоведения и агрохимии СО РАН возобновиться уже в ближайшее время и пожелать коллективу успехов и крепкого здоровья!

### Литература

1. Прохорова И.И. Из истории журнала // Химия в сельском хозяйстве. 1993. № 1–2. С. 4–5.
2. Пирумова Л.Н., Садовская Л.К. Система информирования по вопросам экологически безопасных технологий в АПК // Агрохимический вестник. 2017. № 3. С. 60–64.
3. Пирумова Л.Н., Милевская И.А. Тезаурус как система отражения состояния предметной отрасли «Регуляторы роста» // Агрохимический вестник. 2018. № 6. С. 61–64.
4. Пирумова Л.Н. Листая страницы издания: к юбилею журнала «Агрохимический вестник» // Агрохимический вестник. 2019. № 3. С. 8–14.
5. Прохоров И.С. От истории публикаций по агрохимии до юбилея научного журнала // Агрохимический вестник. 2019. № 3. С. 3–7.
6. Осипов А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России // Агрохимический вестник. 2019. № 3. С. 28–36.
7. Ткачева Е.В., Ивановский А.А. «Агрохимический вестник» в базе данных Web of Science // Агрохимический вестник. 2019. № 4. С. 74–77.
8. Прохоров И.С. История научных публикаций по агрохимии / I Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах» Материалы Международной научной конференции (19–22 ноября 2019 г.). Пермь: ФГБОУ ВО «Пермский ГАТУ им. академика Д.Н. Прянишникова». С. 459–465.
9. Прохоров И.С. Из истории публикаций по агрохимии / Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири: сборник научных статей, посвященный 70-



- летию академика РАН Храмцова Ивана Федоровича, 95-летию основания отдела земледелия (Омск, 5 февраля 2020 г.). Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. С. 99–108.
10. Прохоров И.С. Роль научного журнала в освещении вопросов агрохимии, радиологии и агроэкологии (на примере истории журнала «Агрохимический вестник») / Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: (к 50-летию со дня образования ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии): сборник докладов международной научно-практической конференции (Обнинск, 16-18 сентября 2020 г.). Обнинск: ВНИИРАЭ, 2020. С. 291–294.
  11. Осипов А.И., Якушев В.П., Якушев В.В. История научных исследований в агрохимии и перспективы применения удобрений в России // Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 73–80.
  12. Прохоров И.С. Первый номер журнала «Химия в сельском хозяйстве» // Агрохимический вестник. 2021. № 1. С. 81.
  13. Прохоров И.С. 65 лет возобновления выпуска журнала «Удобрение и урожай» // Агрохимический вестник. 2021. № 1. С. 82.
  14. Гамзиков Г.П., Поставская С.М. Характеристика методов определения подвижного фосфора в черноземах Западной Сибири // Химия в сельском хозяйстве. 1975. № 2. С. 51–55.
  15. Антипина Л.П. Внесение фосфорных удобрений в запас на черноземах Центральной Барабы // Химия в сельском хозяйстве. 1976. № 12. С. 6–10.
  16. Ильин В.Б. О предельно допустимой концентрации тяжелых металлов в почве // Химия в сельском хозяйстве. 1982. № 3. С. 5–7.
  17. Перцовская А.Ф., Панникова Е.Л., Тонкопий Н.И., Григорьева Т.И., Шестопалова Г.Е., Донерьян Л.Г., Лихачева А.А. Схема гигиенического нормирования тяжелых металлов в почве // Химия в сельском хозяйстве. 1982. № 3. С. 12–14.
  18. Якименко В.Н., Теселько В.Л., Одреховский А.Ф., Петрова Е.Т., Сирота В.Г. Влияние предшественников и удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы в лесостепи УССР // Химия в сельском хозяйстве. 1982. № 4. С. 13–17.
  19. Гармаш Г.А. Поступление элементов в почву с выбросами предприятий черной металлургии // Химия в сельском хозяйстве. 1983. № 10. С. 45–48.
  20. Гармаш Н.Ю. Тяжелые металлы и качество зерна пшеницы // Химия в сельском хозяйстве. 1985. № 6. С. 48–49.
  21. Антипина Л.П., Пашкевич Н.К. Распределение фосфорных удобрений в Новосибирской области // Химия в сельском хозяйстве. 1986. № 7. С. 48–49.
  22. Гармаш Н.Ю. Влияние тяжелых металлов на содержание элементов питания в пшенице // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 3. С. 57–60.
  23. Гамзиков Г.П. Диагностика азотного питания полевых культур // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 5. С. 61–65.
  24. Ильин В.Б. О нормировании содержания тяжелых металлов в растениях // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 8. С. 63–65.
  25. Игнатьев Л.А. Ретардант ССС при возделывании яровой пшеницы // Химизация сельского хозяйства. 1988. № 4. С. 47–48.
  26. Якименко В.Н., Назарюк В.М. Удобрение тепличного огурца // Химизация сельского хозяйства. 1989. № 6. С. 59–60.
  27. Гармаш Н.Ю. Влияние органических удобрений на состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Химизация сельского хозяйства. 1990. № 11. С. 22–25.
  28. Ильин В.Б. Кадмий в почве // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 9. С. 16–17.
  29. Якименко В.Н. Калийные удобрения под овощные культуры // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 9. С. 48–50.
  30. Назарюк В.М., Якутина О.П., Калимуллина Ф.Р., Кленова М.И. Нитраты в овощеводстве Западной Сибири // Химизация сельского хозяйства. 1992. № 4. С. 51–53.
  31. Якименко В.Н. Калийные удобрения и урожайность зерновых культур // Химизация сельского хозяйства. 1993. № 3–4. С. 22–23.

32. Якименко В.Н. Калийные удобрения и урожайность зерновых культур // Химизация сельского хозяйства. 1994. № 2. С. 14–15.
33. Каличкин В.К., Усенко В.И., Шарков И.Н. Проблемы повышения плодородия почв в Сибири // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 5. С. 22–25.
34. Шарков И.Н., Иодко Л.Н. Эффективность минеральных удобрений при применении средств защиты растений // Агрохимический вестник. 2009. № 6. С. 12–13.

HISTORY OF PUBLICATIONS OF NOVOSIBIRSK SCIENTISTS  
IN «AGROCHEMICAL HERALD» JOURNAL  
I.S. Prokhorov<sup>1</sup>, L.N. Pirumova<sup>2</sup>, M.V. Tsareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ANO «Editorial board «Chemistry in Agriculture», Moscow, [agrochem\\_herald@mail.ru](mailto:agrochem_herald@mail.ru)

<sup>2</sup>Central Scientific Agricultural Library, Moscow, [pln@cnsnb.ru](mailto:pln@cnsnb.ru)

*Summary. Information on history of Agrochemical Herald journal (Fertilizer and Harvest, Chemization of Socialistic Agriculture, Chemistry in Agriculture, Chemization of Agriculture) from 1929 to the present is presented. Description of headings of the journal, outstanding scientists – members of the editorial board and publishing houses in which journal was published is given. Description of headings of the journal, outstanding scientists – members of the editorial board and publishing houses in which journal was published is given. In connection with the holding of the All-Russian scientific conference with international participation «Soils and the Environment», dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS, the found publications of Novosibirsk scientists devoted to various aspects of soil-agrochemical and agroecological research are considered.*

*Keywords: scientific journal, history, soil science, agrochemistry, agroecology.*

УДК 631.43:631.5

**ПРИЧИНЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПОСЕВОВ  
КОРМОВЫХ КУЛЬТУР НА ПЛОДОРОДИЕ ОРОШАЕМЫХ ЛУГОВО-  
СЕРОЗЕМНЫХ ПОЧВ АЗЕРБАЙДЖАНА**

**Ф.М. Рамазанова**

Институт почвоведения и агрохимии МО и Н Азербайджана, Баку,

[firoza.ramazanova@rambler.ru](mailto:firoza.ramazanova@rambler.ru)

*Аннотация.* Климатические условия сухой полупустынной зоны Азербайджана при орошении позволяют получить с 1 га в год три урожая зеленой массы (Рожь+вика+рапс → Кукуруза+соя+сорго+амарант → ячмень+вика – 1309 ц/га) и накопить в слое почвы 0–50 см 188,55 ц/га ( $r = 0,55$  ц/га) воздушно-сухого вещества стерне-корневых остатков и углерода – 6175,01 кг/га, что по органическому веществу соответствует 120 тоннам навоза. Со стерне-корневыми остатками в почву поступило 299,79 кг/га биологически связанного азота;  $P_2O_3$  – 150,84 кг/га;  $K_2O$  – 399,70 кг/га и накопление калия выше, чем фосфора и азота (1:0,50:1,33). Это способствовало увеличению гумуса на 0,49% ( $HCP_{05} = 0,26$ ), оказало положительное влияние на гранулометрический и микроагрегатный состав почвы. Ежегодно повышалось содержание новообразованного гумуса на 0,02%. Гранулометрический состав находился на грани тяжелого суглинка (<0,01 мм – 59,09%) и легкой глины (<0,01 мм – 61,57%). На основании полученных данных определено название орошаемых лугово-сероземных почв по WRB(2014): лугово-сероземная глеевая окультуренная давно орошаемая карбонатная тяжелосуглинистая – Irragric Gleyic Calcisols (Calcic, Endosalic, Clayic/Loamic, Fluvic)

*Ключевые слова:* лугово-сероземная почва, стерневые и корневые остатки, гумус, гранулометрический и микроагрегатный состав, WRB.

**Актуальность.** Для восстановления потерь элементов плодородия, отчуждаемых из почвы с урожаями, наряду с применением минеральных удобрений немаловажное значение имеет применение биологического азота, одним из источников которого является стерне-корневые остатки растений. Ежегодное их поступление в почву, по результатам исследователей (А. А. Бялый, Н.Г. Гутшг, С.С. Ильин, Н.А. Качинский, Г.М. Меерсон, Ф.М. Надъярный, Я.Л.

Робшювич, И.С. Сидоров), доходит от 20 до 160 ц/га воздушно-сухого вещества. Особое значение имеют стерне-корневые остатки бобовых культур, содержащих 2 и более процента азота, в значимой части взятого из воздуха [1–2].

В аридной зоне Азербайджана в связи с реформированием сельского хозяйства с 1991 г., особенно на Кура-Араксинской низменности, содержание гумуса в орошаемых лугово-сероземных почвах в пахотном слое (0–25 см) почвы снизилось с 2,41 (1991 г.) до 2,23% (2010 г.) [3]. Поэтому воспроизводство почвенного плодородия является важнейшим условием стабильного агропроизводства в этом регионе [4–5]. Несмотря на важное агрономическое значение стерне-корневых остатков, учет и правильное использование их в сельскохозяйственном производстве на орошаемых лугово-сероземных почвах Кура-Араксинской низменности Азербайджана еще не налажены. В связи с этим, актуальным является проведение различных схем промежуточных посевов с видовым разнообразием культур, обеспечивающих непрерывное поступлению в почву растительных остатков для воспроизводства плодородия орошаемых лугово-сероземных почв и укрепление кормовой базы в сухой полупустынной зоне Кура-Араксинской низменности.

Цель исследований – оценка современного состояния трансформации растительных остатков различных схем промежуточных посевов кормовых культур для регулирования плодородия орошаемых лугово-сероземных почв сухой полупустынной зоны Кура-Араксинской низменности и определение название данной почвы по WRB-2014.

**Объекты и методы исследования.** Экспериментальная работа проводилась в 2010–2021 гг. на Уджарской подсобно-опытной станции Института Почвоведения и Агрохимии Министерства Науки и Образования Азербайджана на тяжелосуглинистых орошаемых лугово-сероземных (Irragic Gleyic Calcisols, WRB-2006) почвах. Климат – субтропический, полупустынный, с сухим жарким летом, температура января составляет 3,9–5,2 °С. Сумма активных температур >10°C – 3907–4600°C; КУ – 0,09–0,25; ИС – 3–4; количество осадков – 180–330 мм в год, количество дней с температурой воздуха >10°C – 300–330 и почвы >5°C – 350–360 дней. В этой зоне почвы без орошения невозможно использовать [6]. Агрохимические показатели почвы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Агрохимические показатели пахотного слоя (0–25 см) почв под опытами, 2010 г.

Гумус, %	рН (водн.)	Ca/Mg	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Общий, %		
				азот	фосфор	калий
2,3	7,7	2,8	5,1	0,22	0,39	2,20

**Схема опыта:** I – целина; II – рожь на з/м (1 урожай) → кукуруза на силос (2-й урожай); III – люцерна на з/м; IV – рожь + вика + рапс, з/м (1 урожай) → кукуруза + соя + сорго + амарант, силос (2-й урожай) → ячмень + вика, з/м, (3-й урожай). Площадь одной делянки – 70 м<sup>2</sup> (учетная – 45 м<sup>2</sup>), повторность – 4-х кратная. Агротехника зональная (периодическое внесение 20 т/га навоза и ежегодно-N<sub>90</sub>P<sub>120</sub>K<sub>60</sub>), с включением изучаемых в опытах ежегодно технологий: а) озимый посев – 2–4 октября, 1-ый урожай: вспашка (25–27 см)+навоз 20 т/га и P<sub>120</sub> кг/га. Посев с внесением 20% N и K из расчета N<sub>90</sub>K<sub>60</sub> кг/га, остальную норму – весной дробно – 50% в фазе кушения и 30% – выходе в трубку; б) поукосный посев – 18–20 мая, 2-ой урожай: дискование двукратное на глубину 10–12 см. N<sub>60</sub>K<sub>60</sub> вносили дробно: под вспашку – 30%, в фазе 3–5 листьев – 50%, при 8–10 листьев – 20%, уборка – 1–4 августа; в) 2-ой поукосный посев – 6–8 августа, 3-ий урожай: плоскорезная обработка почвы на глубину 15–17 см, N<sub>60</sub> вносили в три приема: 30%-под обработкой, 50%-в фазе кушения и 20% – выход в трубку, уборка – 1–4 октября. Влажность почвы поддерживалась орошением на уровне 75–80% НВ. Постановка опытов и полевые работы проводили по [7]. Учёт урожая и стерневых остатков проводили весовым методом в 2-х несмежных повторностях по диагонали в трех точках по 1 м<sup>2</sup>; учет массы корней – там же монолитным путем на площадках (25x25 см<sup>2</sup>) и глубинах почвы 0–25 и 25–50 см в 3-х кратной повторности. Подземную массу отмывали водой на сите с ячейками диаметром 1 мм. Массу растительных остатков и урожайность пересчитывали, выражая в ц/га по [7]. В растительных (в урожае, остатках) образцах

определяли: общий азот по Къельдаю, фосфор – по Дениже, калий – на пламенном фотометре, углерод – по Ганнербергу-Штоману; в почвенных образцах определяли: общий азот и гумус – по Тюрину, физико-химические анализы и математическую обработку – по [8–10], запас и баланс гумуса – расчетным путем по [11].

**Обсуждение результатов.** Использование орошаемых лугово-сероземных почв в зависимости от биологических особенностей культур, количества и качества поступающих в почву растительных остатков оказывает существенное влияние на гумусное состояние и свойства почвы [12], вследствие этого изменяется баланс гумуса [13] и, в целом, плодородие почвы [14]. Растительные стерне-корневые остатки компенсируют потери в размерах до 20–25% азота, 19–21% фосфора и калия от суммарного наличия в биомассе [2].

Наши наблюдения показали, что удлинение срока пользования люцерны до 6 лет привело к снижению массы растительных остатков до 97,94 ц/га. При получении трех урожаев зеленой массы (среднее – 1309 ц/га) в год с 1 гектара вариант рожь + вика + рапс → кукуруза + соя + сорго + амарант → ячмень + вика оставил в слое 0–50 см почвы 188,55 ц/га ( $\tau = 0,55$  ц/га) воздушно-сухого вещества стерне-корневых остатков и углерода – 6175,01 кг/га, что по органическому веществу соответствует 120 тоннам навоза. Промежуточные кормовые культуры оставляют в почве не только неодинаковое количество корневых и стерневых остатков, но они имеют также разное содержание в них питательных веществ (NPK). Одновременно со стерне-корневыми остатками при получении 3-х урожаев в год с 1 га в слой 0–50 см почвы поступило 299,79 кг/га биологически связанного азота;  $P_2O_5$  – 150,84 кг/га;  $K_2O$  – 399,70 кг/га) (табл.2). В этом варианте в стерне-корневых остатках накопление калия выше, чем фосфора и азота при соответствующем их соотношении 1:0,50:1,33. Содержание гумуса – наиболее важный показатель плодородия почвы [15]. Сопоставляя содержание гумуса за 11 лет по вариантам в слое 0–50 см почвы, выявили повышение его на 0,49% ( $HCP_{05} = 0,26$ ) при сборе трех урожаев зеленой массы с 1 га в год и снижение при получении двух урожаев (Рожь → кукуруза) на 0,11% ( $HCP_{05} = 0,13$ ) по сравнению с исходным его содержанием. Отмечен положительный баланс гумуса (0,59 т/га) в слое 0–50 см почвы при получении 3-х урожаев в год (табл. 2), положительного влияния стерне-корневых остатков на содержание в почве азота, фосфора и калия (табл. 3).

Основополагающим физическим свойством почвы является гранулометрический состав [16], оказывающий влияние на почвообразование и плодородие, а орошение относится к факторам, существенно влияющих на почвенные процессы [17]. Выявлено, что под вариантом Озимая рожь → кукуруза почвенный профиль был относительно более уплотненным (табл. 4). Профиль почвы под вариантом Озимая рожь + вика + рапс → Кукуруза + соя + сорго + амарант → Ячмень + вика рыхловатая, во всем 50-см слое почвы отмечались полуразложившиеся остатки прошлогодней запаханной стерни, ходы червей и поры, что и придавало рыхлость профилю. Несмотря на устойчивость в почвообразовательных процессах гранулометрического и микроагрегатного составов, в орошаемой лугово-сероземной почве наблюдается изменения в гранулометрическом составе. Гранулометрический состав в слое 0–25 см целинной лугово-сероземной почвы несколько легче ( $<0,01$  мм – 55,96% и  $<0,001$  – 20,00%) и оглинение профиля (25–50 см) выражено слабо, а в орошаемых вариантах – более тяжелый. Количество фракции 0,25–0,05 мм в слое 0–25 см по вариантам колебалось в пределах 16,94–18,80%. Минимальное значение крупной пыли (0,05–0,01 мм) в пахотном слое отмечено под вторым вариантом, остальные частицы занимали промежуточное положение. Фракция частиц размером 0,01–0,005 мм обуславливают связанность и пластичность почвы, удерживает влагу [13]. Тяжелосуглинистый гранулометрический состав целины объясняется содержанием фракции  $<0,01$  мм 55,96–59,22%, а орошаемой – нахождением фракции на границе перехода тяжелого суглинка к легкой глине (59,09–61,91%). Наиболее ценными являются микроагрегаты размером 0,25–0,05 и 0,05–0,01 мм. Среднее значение совокупности фракций 0,25–0,01 мм с 95%-м уровнем вероятности на оптимальном варианте (4) находилось в доверительном интервале  $\pm 0,686 \pm 0,453$ , а коэффициент вариации составил  $V = 1,78–1,86\%$  (табл. 5).



Таблица 2. Поступление в почву С и питательных веществ с растительными остатками и показатели плодородия почв (в слое 0–50 см, в среднем за 2010–2021 гг.)

Варианты	Масса стерне-корневых остатков в сухом состоянии, ц/га	Поступило в почву со стерне-корневыми остатками, кг/га				Гумус, %	Запас гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га
		С	N	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O			
Исходная орошаемая почва	-	-	-	-	-	2,23	-	-
Целина	30,89	1235,6	31,14	12,36	31,81	2,44	158,6	+ 0,28
Рожь (з/м) → Кукуруза на силос (В сумме за 2 урожая)	95,89	3356,15	113,07	43,66	97,89	2,12	129,6	- 0,20
Люцерна на з/м (за 4 укоса)	97,94	3525,84	191,88	80,31	182,17	2,66	163,7	+0,43
Рожь + вика + рапс (з/м) → Кукуруза + соя + сорго + амарант (силос) → Ячмень + вика (з/м) В сумме за 3 урожая	188,55	6175,01	299,79	150,84	399,70	2,72	168,92	+ 0,62

Таблица 3. Агрохимические показатели лугово-сероземной почвы под естественным травостоем и промежуточными посевами кормовых культур

№	Варианты	Глубина, см	Общее содержание, %			Легкогидролизуемый азот, мг/кг почвы	Подвижный фосфор, мг/кг почвы	Обменный калий, мг/кг почвы
			азот	фосфор	калий			
1	Исходная орошаемая почва	0–25	0,13	0,15	1,48	15,2	16,0	157,1
		25–50	0,09	0,10	1,41	13,0	15,0	140,1
		50–75	0,03	0,08	1,23	7,8	11,4	99,1
2	Целина	0–25	0,20	0,30	2,10	17,2	30,8	270,0
		25–50	0,12	0,20	1,81	11,0	13,7	248,6
		50–75	0,07	0,15	1,69	6,13	9,8	193,0
3	Рожь (з/м) → кукуруза (на силос)	0–25	0,15	0,16	1,56	18,8	21,9	166,0
		25–50	0,12	0,13	1,46	17,0	18,9	145,0
		50–75	0,05	0,09	1,38	13,5	12,0	111,2
4	Люцерна	0–25	0,18	0,20	1,89	23,8	28,1	210,0
		25–50	0,13	0,16	1,60	21,6	24,0	166,6
		50–75	0,08	0,12	1,52	19,4	16,7	133,0
5	Рожь + вика + рапс (з/м) → Кукуруза + соя + сорго + амарант (на силос) → Ячмень + вика (з/м)	0–25	0,21	0,24	2,00	29,5	35,3	237,1
		25–50	0,16	0,16	1,77	26,7	25,2	186,3
		50–75	0,10	0,13	1,60	24,3	18,9	154,0

Таблица 4. Гранулометрический и микроагрегатный состав целинных и орошаемых лугово-сероземных почв

Варианты	Глубина, см	Фракции в мм и их содержание в %							Коэффициент дисперсности	Степень агрегированности по доминирующим фракциям
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01		
Целина	0–25	<u>0,79</u> 0,69	<u>18,80</u> 25,11	<u>24,45</u> 38,09	<u>9,87</u> 10,65	<u>26,09</u> 20,83	<u>20,00</u> 4,63	<u>55,96</u> 36,11	23,15	76,85
	25–50	- 0,96	<u>16,90</u> 31,56	<u>23,88</u> 34,00	<u>10,99</u> 9,38	<u>25,17</u> 19,10	<u>23,06</u> 5,00	<u>59,22</u> 33,48	21,68	78,32
	50–75	- 0,80	<u>14,90</u> 29,11	<u>27,00</u> 32,02	<u>9,02</u> 12,32	<u>27,21</u> 18,69	<u>21,87</u> 5,44	<u>58,10</u> 38,09	24,87	75,13
2	0–25	<u>0,30</u> 1,07	<u>17,59</u> 24,13	<u>20,20</u> 38,60	<u>11,31</u> 8,92	<u>23,20</u> 21,30	<u>26,40</u> 5,98	<u>61,91</u> 36,20	22,65	77,35
	25–50	-	<u>11,64</u> 21,66	<u>26,70</u> 38,60	<u>10,20</u> 7,00	<u>24,19</u> 26,80	<u>26,27</u> 5,94	<u>61,66</u> 45,74	22,61	77,39
	50–75	<u>1,07</u> 0,70	<u>15,33</u> 38,20	<u>21,00</u> 26,80	<u>13,60</u> 4,40	<u>14,60</u> 22,80	<u>25,00</u> 7,10	<u>62,60</u> 34,30	28,40	71,60
3	0–25	<u>0,17</u> 0,82	<u>18,36</u> 31,63	<u>22,20</u> 41,55	<u>9,60</u> 7,02	<u>22,80</u> 13,20	<u>26,87</u> 5,78	<u>59,27</u> 26,00	21,51	78,49
	25–50	<u>0,16</u> 0,90	<u>17,64</u> 28,98	<u>20,40</u> 39,69	<u>10,20</u> 6,01	<u>23,80</u> 18,27	<u>27,80</u> 6,15	<u>61,80</u> 30,43	22,12	77,88
	50–75	<u>0,04</u> 1,17	<u>16,23</u> 36,38	<u>24,13</u> 32,67	<u>10,53</u> 6,30	<u>22,67</u> 16,26	<u>26,40</u> 7,22	<u>59,60</u> 29,78	27,35	72,65
4	0–25	<u>0,08</u> 0,69	<u>16,94</u> 37,94	<u>23,89</u> 36,08	<u>8,69</u> 5,08	<u>22,57</u> 15,71	<u>27,83</u> 4,50	<u>59,09</u> 25,29	16,17	83,83
	25–50	<u>0,17</u> -	<u>13,86</u> 39,86	<u>24,40</u> 33,90	<u>10,11</u> 5,91	<u>23,13</u> 15,59	<u>28,33</u> 4,74	<u>61,57</u> 26,24	16,73	83,27
	50–75	<u>0,09</u> 0,70	<u>15,02</u> 39,98	<u>23,30</u> 35,05	<u>12,00</u> 5,79	<u>22,32</u> 12,00	<u>27,27</u> 6,48	<u>61,59</u> 24,27	23,76	76,24

Примечание.

- а) 1. Целина (карган, карганно-полынный и полынно-эфемероидный ценоз); 2. Озимая рожь (1-ый урожай) → кукуруза (2-ой урожай); 3. Люцерна; 4. Озимая рожь+вика+рапс (на з/м, 1-ый урожай) → кукуруза+соя+сорго+амарант (2-ой урожай) → ячмень+вика (3-ий урожай);  
б) в числителе – гранулометрический состав, в знаменателе – микроагрегатный состав.

Таблица 5. Статистическая обработка гранулометрического и микроагрегатного составов лугово-сероземной почвы

Варианты	n	Глубина, см	Доверительный интервал при 05 уровне значимости: $x \pm t_{05} S_x$			
			<0,001 мм	<0,01 мм	фракции 0,25-0,01 мм	
					гранулометрический	микроагрегатный
1	8	0–25	20,27±0,460	56,02±1,277	43,46±0,986	62,21±1,44
		25–50	23,22±0,524	59,68±1,344	40,93±0,932	65,54±1,49
2	10	0–25	33,44±0,360	67,90±0,175	38,88±0,885	63,03±0,693
		25–50	27,25±0,409	61,90±1,017	38,39±0,869	69,93±0,670
3	10	0–25	35,24±0,358	60,40±0,966	40,76±0,922	93,09±0,689
		25–50	31,05±0,414	62,16±1,017	38,26±0,878	69,62±0,723
4	15	0–25	39,00±0,356	59,75±0,968	43,54±0,453	97,91±0,686
		25–50	32,46±0,414	61,80±1,090	41,12±0,426	74,92±0,728

Примечание. 1. Целина (карган, карганно-полынный и полынно-эфемероидный ценоз); 2. Озимая рожь (1-ый урожай) → кукуруза (2-ой урожай); 3. Люцерна; 4. Озимая рожь+вика+рапс (на з/м, 1-ый урожай) → кукуруза+соя+сорго+амарант (2-ой урожай) → ячмень+вика (3-ий урожай)

**Заключение.** Проведение промежуточных посевов кормовых культур на орошаемых лугово-сероземных почвах сухой полупустынной зоны Кура-Араксинской низменности, обеспечивающих круглогодичное поступлению в почву стерне-корневых остатков, привело к существенному изменению физических и химических свойств почвы, определяющих эффективное ее плодородие.

Оптимальный вариант (Озимая рожь+вика+рапс→кукуруза+соя+сорго+амарант→ ячмень + вика) способствовал ежегодному поступлению в слой 0–50 см почвы 188,55 ц/га воздушно-сухого вещества стерне-корневых остатков, 6175,01 кг/га – углерода, 299,79 кг/га – биологически связанного азота, 150,84 кг/га – фосфора и 399,70 кг/га – калия. Это привело к увеличению гумуса за 11 лет на 0,49% ( $HCP_{05}=0,26$ ), оказало положительное влияние на гранулометрический и микроагрегатный состав почвы.

На основании полученных данных определено место орошаемых лугово-сероземных почв в системе международной классификации WRB (2014): лугово-сероземная (иригационно-аккумулятивная) (более 200 лет), глеевая окультуренная давно орошаемая карбонатная тяжелосуглинистая – Irragic Gleyic Calcisols (Calcic, Endosalic, Clayic/Loamic, Fluvic).

#### Литература

1. Почвоведение. Под ред. И.С. Кауричева. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Колос, 1975. 496 с.
2. Витко А.М. Роль пожнивных и корневых остатков культур зерно-свекловичного севооборота в пополнении органического вещества и элементов минерального питания растений в почве // Почвоведение. 1961. № 10. С. 99–104.
3. Бабаев М.П., Гурбанов Э.А., Рамазанова Ф.М. Основные виды деградации почв в Кура-Аразской низменности Азербайджана // Почвоведение. 2015. № 4. С. 501–512.
4. Рамазанова Ф.М. Влияние кормовых культур на биологические процессы орошаемых серобурых почв // *Azərbaycan Elmi Jurnalı*, Bakı, 2008. №2. S. 23–25.
5. Гурбанов Э.А., Рамазанова Ф.М., Гусейнова С.М., Гурбанова З.Р. Изменение противозерозионной стойкости орошаемых серо-коричневых почв сухой субтропической зоны Азербайджана в зависимости от давности их орошения // Вестник Томского государственного университета, Биология, 2021. № 56. С. 33–59.
6. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Гурбанов Э.А. Влияние промежуточных посевов кормовых культур на гранулометрический состав генетически различных почв сухой субтропической зоны Азербайджана // *Агрохимия*. М.: «Наука», ООО «ИКЦ «Академкнига», «Российская академия наук», 2020. № 3. С. 11–23.
7. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами // М.: Подразделение операт. полигр. ВИК, 1987. 197 с.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Московский ун-т, 1970. 487 с.
9. Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Кравченко В.А. Методические указания (переиздание). Елец, 2007. 40 с.
11. Кротких Т.А., Михайлова Л.А. Воспроизводство и оптимизация плодородия почв при возделывании с.х. культур в севооборотах и выводных полях. Методическое пособие к практическим занятиям по системе удобрений. Пермь: ФГОУ ВПО «Пермский ГСХА». 2009. 24 с.
12. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование, охрана. М.: Наука, 1981. 182 с.
13. Терпелец В.И., Плитинь Ю.С. Гумусное состояние чернозема выщелоченного в агроценозах Азово-Кубанской низменности // Краснодар, КубГАУ. 2015. 127 с.
14. Плитинь Ю.С. Гумусное состояние чернозема выщелоченного в агроценозах Азово-Кубанской низменности // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, Краснодар, 2014. 24 с.
15. Скрябина О.А., Боталов И.С. Физические свойства генетически различных почв Юсьвинского района Пермского края // Пермские аграрные вести. 2014. № 4(8). С. 51–56.
16. Макарычев С.В., Зайкова Н.И. Агрофизические особенности орошаемых черноземов правобережья р. Оби // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. 2014. №2(112). С. 40–45.
17. Рамазанова Ф.М. Влияние промежуточных посевов кормовых культур на агрофизические орошаемых почв сухой субтропической зоны Азербайджана // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. №4. С. 47–50.

## REASON OF POSITIVE INFLUENCE OF INTERMEDIATE CROPS OF FODDER CROPS ON FERTILITY IN THE IRRIGATED MEADOW-SEROZEM SOILS OF AZERBAIJAN

F.M. Ramazanova

Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Institute of Soil Science and Agrochemistry, Baku, firoza.ramazanova@rambler.ru

*Summary. Climatic conditions of the arid semidesert zone in Azerbaijan permit to get from 1h green mass (Secale cereale+Vicia+Brassica napus → Zea mays+Glycine+Sorghum+Amaranthus →Hordeum+Vicia – 1309 c/h) for three years and accumulate 188,55 c/h ( $r=0,55$  c/h) of air-dry substance in 0-50 cm, and stubble-root residues and carbon – 617,01 kg/h, wich in terms of organic matter corresponds to 120 tons of manure during irrigation, 299,79 kg/h of biologically bound nitrogen with stubble and root residues entered the soil;  $P_2O_3$  – 150,84 kg/h;  $K_2O$  – 399,70 kg/h and accumulation of potassium are higher than phosphorus and nitrogen (1:0,50:1,33), This contributed to an increase in the humus content by 0,49% over 11 years ( $HCP_{05} = 0,26$ ), had a positive effect on the granulometric and microaggregate composition of the soil, The content of newly formed humus increased annually by 0,02%, Granulometric composition was on the verge of heavy loam (<0,01 mm – 59,09%) and light clay (<0,01 mm – 61,57%), On the basis of the obtained data, the denomination of irrigated meadow-serozem soils is determined on WRB(2014): meadow-serozem gleyey cultivated long-term irrigated calcareous heavy loamy – Irragric Gleyic Calcisols (Calcic, Endosalic, Clayic/Loamic, Fluvic).*

*Keywords: meadow-serozem soils, stubble- and root residues, humus, granulometric and microaggregate composition.*

УДК 631.42

## КАДАСТРОВАЯ СТОИМОСТЬ АГРОЛАНДШАФТОВ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

П.М. Сапожников<sup>1</sup>, Н.И. Данилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, sap-petr@yandex.ru

<sup>2</sup>Ассоциация «Русское общество оценщиков», Москва, nadya01091998@mail.ru

**Аннотация.** *Определены удельные показатели кадастровой стоимости агроландшафтов Новосибирской области. Максимальные показатели кадастровой стоимости отмечены в четвертой агроклиматической подзоне с наиболее высокими значениями агроклиматического потенциала, кадастровая стоимость оподзоленных черноземов может достигать 8,25 руб./м<sup>2</sup>. Деградационные процессы в почвах (переувлажнение, осолонцевание, осолодение, эрозия) значительно снижают показатели кадастровой стоимости.*

**Ключевые слова:** *агроландшафты, агроклиматические условия, негативные свойства почв, удельные показатели кадастровой стоимости.*

**Актуальность.** В Российской Федерации вот уже более 20 лет развивается институт кадастровой оценки. Кадастровая оценка является массовой и так же, как и кадастр объектов недвижимости, имеет государственный статус. Такой высокий статус кадастровой оценки придаёт ей особую значимость, приоритет, а заодно и возлагает большую ответственность на организаторов и исполнителей работ. Государственная кадастровая оценка в Российской Федерации берет свое начало с 1999 года с выхода Постановления правительства РФ № 945 «О государственной кадастровой оценке земель». В 2000 году Правительством Российской Федерации установлены Правила проведения государственной кадастровой оценки земель, в 2001 году введен в действие новый Земельный кодекс Российской Федерации, и в этом же году Правительством Российской Федерации принята Федеральная целевая программа «Создание автоматизированной системы ведения государственного земельного кадастра и государственного учета объектов недвижимости» [1]. Характеристики качества почв являются источником информации для вычисления кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения. Базой для этих данных служат материалы крупномасштабных почвенных исследований, проведенных во всех субъектах нашей страны



в середине 90-х годов прошлого века [2]. Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях, в различных элементах ландшафта, будут дифференцированы по кадастровой стоимости, и изучение характера такой дифференциации является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость. Необходимо отметить, что в современных материалах о государственной кадастровой оценке отсутствуют данные о кадастровой оценке различных почв. Данные по кадастровой стоимости приведены для различных участков в разрезе кадастровых кварталов. Зная площади почв и кадастровую стоимость конкретной почвы на различных участках, можно легко вычислить средневзвешенную кадастровую стоимость конкретного земельного участка. Это делает работу по определению кадастровой стоимости различных почв особенно актуальной и важной для государственного бюджетного учреждения (ГБУ Новосибирской области кадастровой оценки и инвентаризации), занимающегося кадастровой оценкой земель сельскохозяйственного назначения и для независимых оценщиков, оспаривающих результаты определения кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий Новосибирской области.

Новосибирская область расположена в южной части Западной Сибири. Почвы Новосибирской области разнообразны и их расположение очень мозаично. Это объясняется большим разнообразием природных условий. На Севере, в лесной зоне, преобладают дерново-подзолистые почвы под хвойными лесами и торфяно-болотные почвы в условиях, где грунтовые воды подходят близко к поверхности. Дерново-подзолистые почвы встречаются и на Юго-востоке области, в районе Салаирского кряжа. Южнее, под мелколиственными лесами формируются серые лесные почвы, а также распространены лугово-чернозёмные почвы. В лесостепной зоне преобладают различные чернозёмы: выщелоченные, оподзоленные, темно-серые лесные почвы, формирующиеся под травяной растительностью и берёзово-осиновыми колками. Есть также лугово-чернозёмные солонцеватые почвы, часто занимающие гривы. Распространены серые лесные, болотные, пойменно-луговые почвы по долинам рек, солонцы и солончаки – в межгривных понижениях. В степи на возвышенных местах преобладают южные чернозёмы, а в понижениях и западинах – солонцы и солончаки. Ввиду заболоченности и засоленности почвообразующих пород и грунтовых вод здесь широко развиты почвы засоленного ряда, глеевые, лугово-черноземные, луговые, болотные, солончаки, солонцы и солоды.

По данным государственного кадастрового учета на 01.01.2021 года земельный фонд Новосибирской области составляет 17775,6 тыс. га, большая часть – это земли сельскохозяйственного назначения, которые занимают 11112,8 тыс. га и составляют 62,5% от общей площади региона, при этом площадь сельскохозяйственных угодий составляет 8398,6 тыс. га, при этом площадь пашни составляет 44,9% от площади сельскохозяйственных угодий, сенокосов – 26,2%, пастбищ – 27,6% [3].

Согласно справочнику агроклиматического зонирования субъектов Российской Федерации [4] Новосибирская область разделена на 4 агроклиматические подзоны. Величина агроклиматического потенциала, включающая в себя показатели суммы активных температур больше 10 градусов ( $\sum t^{\circ} > 10^{\circ}C$ ) и коэффициента увлажнения, колеблется от 3,0 до 5,0. Самые высокие показатели агроклиматического потенциала (5,0) отмечены в четвертом агроклиматическом районе на востоке области, в почвенном покрове которого преобладают различные подтипы черноземов и лугово-черноземных почв.

Приказом № 3017 от 27.10.2022 г. Министерством имущественных и земельных отношений утверждены результаты определения кадастровой стоимости земельных участков на территории Новосибирской области и среднего уровня кадастровой стоимости по муниципальным районам [5]. Необходимо отметить невысокий уровень средневзвешенной кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий Новосибирской области – 2,15 руб./м<sup>2</sup>. Самый высокий уровень кадастровой стоимости отмечен для 4 агроклиматической подзоны на востоке области ((Ордынский, Искитимский, Новосибирский, Мошковский, Тогучинский районы), где самые высокие значения агроклиматического потенциала.

**Целью** настоящей работы является выявление характера дифференциации кадастровой стоимости различных почв Новосибирской области.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являлись почвы земель сельскохозяйственного назначения Новосибирской области. Работа включала в себя анализ

основных типов-подтипов почв по шкалам ВИСХАГИ (областные списки почв). Данные шкалы были разработаны в 2005 году и согласованы в управлении Росреестра по Новосибирской области. В данном документе находится необходимая для расчётов информация о содержании гумуса (%), мощности гумусового горизонта (см), содержании физической глины (%), преобладающем уклоне рельефа местности (°), негативных свойствах типов и подтипов почв области. Расчет кадастровой стоимости проводился в соответствии с приказом № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке» (от 17 декабря 2021 года) [6], а также при помощи системного программного обеспечения «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения» [7].

**Обсуждение результатов.** В таблице 1 приведены свойства исследуемых почв и удельные показатели кадастровой стоимости (УПКС). Максимальные показатели кадастровой стоимости отмечены для четвертой агроклиматической подзоны. УПКС для оподзоленных черноземов составляет 8,25 руб./м<sup>2</sup>. Высокие показатели кадастровой стоимости отмечены и для темно-серых лесных почв без негативных признаков, влияющих на плодородие почв – 5,13 руб./м<sup>2</sup>. В условиях эродированности агроландшафтов на среднесмытых почвах снижение показателей УПКС снижается на порядок. Такое значительное снижение обусловлено невозможностью выращивания пропашных культур (наиболее доходных) и увеличения технологических затрат (увеличения доз внесения удобрений) на эродированных почвах. На юге Новосибирской области в 3 агроклиматической подзоне УПКС обыкновенных и южных черноземов без негативных признаков составляет 1,35–1,22 руб./м<sup>2</sup>. Низкие значения кадастровой стоимости обусловлены невысокими значениями агроклиматического потенциала. Данный факт был отмечен и при анализе кадастровой стоимости черноземов Сибири [8]. В условиях процессов осолонцевания и осолодения отмечается значительное снижение УПКС, в данных условиях почвы пригодны только для возделывания кормовых культур.

Таблица 1. Свойства рассматриваемых почв Новосибирской области и удельные показатели кадастровой стоимости (руб./м<sup>2</sup>)

Тип, подтип почв	Содержание гумуса, %	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание физической глины, %	Коды дополнительных свойств почв	УПКС, руб./м <sup>2</sup>
Агроклиматический потенциал 4,7					
Дерново-подзолистая	3,6	18	45		1,06
Дерново-подзолистая	3,6	27	45	27	0,42
Агроклиматический потенциал 3,7					
Светло-серая	3,0	20	42	3	0,13
Светло-серая	3,9	29	30		1,49
Светло-серая	4,2	25	18	31	0,17
Светло-серая	2,3	20	26		1,82
Светло-серая	2,2	20	17		1,51
Светло-серая	3,9	24	19	29	1,03

Агроклиматический потенциал 3,0					
Чернозем обыкновенный	6,0	40	39	31	0,63
Чернозем обыкновенный	5,2	33	40		1,35
Чернозем обыкновенный	5,6	43	28	19	0,23
Чернозем южный	6,6	25	50	19	0,19
Чернозем южный	4,3	23	50		1,22
Лугово-черноземная	5,2	33	70	19,43	0,28
Лугово-черноземная	6,0	48	70	12,43	0,34
Агроклиматический потенциал 5,0					
Темно-серая	3,6	22	46	3	0,63
Темно-серая	3,2	19	46	3	0,55
Темно-серая	6,0	30	45		5,13
Чернозем оподзоленный	6,0	55	33	2	7,23
Чернозем оподзоленный	6,0	48	28	3	0,32
Чернозем оподзоленный	6,0	38	45		8,25

Примечание. Коды дополнительных свойств почв: 2 – слабосмытые; 3 – среднесмытые; 12 – солончаковатые среднесолонные; 19 – среднесолонцеватые; 27 – поверхностно- и профильно-глеевые; 29 – глубоко-глееватые; 31 – осолоделые; 43 – слабо уплотненные.

**Заключение.** Агроландшафты Новосибирской области дифференцированы по кадастровой стоимости. Дифференциация обусловлена агроклиматическими параметрами, свойствами почв и негативными факторами, определяющими плодородие. Агроклиматические параметры (сумма активных температур и агроклиматический потенциал) выше для четвертой агроклиматической подзоны (восточная часть области), в связи с чем, показатели кадастровой стоимости в этой подзоне характеризуются более высокими значениями. Кадастровая стоимость оподзоленных черноземов может достигать 8,25 руб./м<sup>2</sup>. Север области характеризуется самыми низкими значениями кадастровой стоимости. Деграционные процессы в почвах (переувлажнение, осолонцевание, осолодение, эрозия) значительно снижают показатели кадастровой стоимости.

**Финансирование.** Работа выполнена по теме государственного задания номер ЦИТИС: 121040800146-3 «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

## Литература

1. Сапожников П.М., Рыбальский Н.Г. Двадцатилетие кадастровой оценки в России – основные проблемы и трудности // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2019. № 4. С. 93–97.
2. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. / Под ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. М., 2012. 157 с.
3. Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году». М., 2022. [rosreestr.gov.ru](https://rosreestr.gov.ru)
4. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации. Учеб. практическое пособие // Под ред. С.И. Носова. М., 2010. 200 с.
5. Приказ Департамента имущественных и земельных отношений Новосибирской области №3017 от 20.10.2022 «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости земельных участков на территории Новосибирской области и среднего уровня кадастровой стоимости по муниципальным районам Новосибирской области».
6. Методические указания о государственной кадастровой оценке. Утверждены Приказом Росреестра от 7 августа 2021 г. №П/0336, М, 149 с.
7. Пшеничников А.П., Носов С.И., Оглезнев А.К., Сапожников П.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611028 «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения», 2019. С. 1–5.
8. Сапожников П.М., Данилова Н.И. Кадастровая стоимость агроландшафтов Сибири. Сборник научных трудов / Международная научная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения Бурлаковой Лидии Макаровны (г. Барнаул, 16–21 августа 2022 г.). С. 179–185.

## CADASTRAL VALUE OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE NOVOSIBIRSK REGION

P.M. Sapozhnikov<sup>1</sup>, N.I. Danilova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Department of Soil Science, Moscow, [sap-petr@yandex.ru](mailto:sap-petr@yandex.ru)

<sup>2</sup>Russian Society of Appraisers, Moscow, [nadya01091998@mail.ru](mailto:nadya01091998@mail.ru)

*Summary. Specific indicators of the cadastral value of agrolandscapes in the Novosibirsk region have been determined. The maximum cadastral value indicators are observed in the fourth agroclimatic subzone with the highest values of agroclimatic potential, the cadastral value of podzolic chernozems can reach 8.25 rubles/m<sup>2</sup>. Degradation processes in soils (over-moistening, alkalization, salinization, erosion) significantly reduce cadastral value indicators.*

*Keywords: agrolandscapes, agroclimatic conditions, negative properties of soils, specific indicators of the cadastral value.*



УДК 631.4:631.8

## ВЛИЯНИЕ ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ НА ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕМНО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ АЛГИНСКОГО РАЙОНА АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

М.А. Сатыбалдин<sup>1, 2</sup>, Л.В. Яковлева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТОО «Janinvest», г. Актобе, Республика Казахстан, [satybaldin.maksat@mail.ru](mailto:satybaldin.maksat@mail.ru)

<sup>2</sup> Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, г. Астрахань, Россия, [yakovleva\\_lyudmi@mail.ru](mailto:yakovleva_lyudmi@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье отражены результаты исследований изменения химических свойства почв под искусственными лесными насаждениями вяза перистоветвистого возрастом от 10 лет до 51 года на темно-каштановых почвах в сравнении с целинной. При наличии острой необходимости воспроизводства поле- и почвозащитных, противоэрозионных лесов остается малоизученной вопрос влияния лесных насаждений на химический состав почвенного покрова. Для улучшения почвы, подобные исследования практически не проводились. Исследования проводились путем закладки основных разрезов глубиной 1,0-1,2 метра в лесных насаждениях и на целине. Основные исследования проводились в лаборатории ТОО «АГЛ-Актобе», по общепринятым методам определялся химический состав почв. Почва под лесными насаждениями окрашена в более темные цвета, чем на целине, в почвенном профиле под насаждениями вяза отсутствуют солевые отложения. Анализ химического состава почв показал, что содержание гумуса в почвах под насаждениями выше, чем на целине, реакция почвенного раствора слабокислая и нейтральная по всему профилю, тогда как на целине почва имеет слабощелочную реакцию, величина которой вниз по профилю возрастает. В почвенном профиле под насаждениями прослеживается уменьшение сульфат-, хлорид ионов, ионов натрия и сухого остатка. Основные изменения связаны, главным образом, с длительным влиянием лесных насаждений на темно-каштановые почвы. Однако необходимо отметить тот факт, что в лесных насаждениях отмечается дефицит почвенной влаги, особенно в верхних горизонтах почвы. Поэтому необходимо строго соблюдать схему посадки лесных культур.

**Ключевые слова:** почвообразование, защитные лесные полосы, целина, темно-каштановые почвы, химические свойства почв.

**Введение.** Алгинский район, согласно схеме физико-географического районирования Республики Казахстан, относится к степной ландшафтной зоне умеренного пояса, южной подзоне (типчакково-ковыльных) степей, Приуральско-Тургайской области, Приуральской провинции, округу юго-западной части Приуральского плато, Актюбинскому району [3].

Северная и северо-восточная граница административного района лежит в пределах расчлененной равнины Подуральского плато. Юго-восточная граница проходит по слабоволнистой равнине, осложненной руслами временных водотоков, являющимися притоками р. Илек. Южная граница проходит по волнистой равнине, осложненной повышениями. Восточная граница проходит по руслу Ащысай.

Алгинский район расположен в пределах сухостепной зоны. Зональными типами почв являются темно-каштановые почвы различного механического состава и степени засоления, формирующиеся под типчакково-ковыльными степями. Темно-каштановые солонцеватые и нормальные почвы приурочены к приподнятым хорошо дренированным равнинам. В растительном покрове целинных степей преобладают дерновинные злаки (ковылок, ковыль тырса, типчак, житняк, тонконог) и ксерофитное разнотравье (зопник, грудница, ромашник). Для солонцеватых разновидностей характерно снижение роли ковыльников [16].

На юге района незначительное распространение получили темно-каштановые карбонатные почвы. Почвообразующими породами являются верхнемеловые отложения. Видовой состав растительности на темно-каштановых карбонатных почвах аналогичен темно-каштановым нормальным почвам, но синюзия разнотравья менее выражена и образована главным образом кальцефитными видами. В центральной части района к высоким отметкам приурочены темно-каштановые неполноразвитые и малоразвитые почвы с петрофитноразнотравно-ковыльно-овсецовой, типчакково-ковыльной растительностью [14].

В настоящее время темно-каштановые почвы почти полностью распаханы. На участках

многолетних залежей идет восстановление растительного покрова в сторону формирования условно-коренных сообществ, в которых ковыли практически отсутствуют; из злаков преобладает типчак.

Цель работы – изучение влияния защитных лесных полос на химические свойства почв на территории Алгинского района Актюбинской области.

Задачи исследования – изучить особенности почвообразования и почвенный покров территорий, отведенных под лесомелиоративное возделывание, провести химическое изучение свойств почв, выявить влияние защитных лесных полос на химические свойства и плодородие почв.

**Материалы и методы.** Почвенные разрезы были заложены на следующих типах почв:

- разрез №1 (насаждения, возраст 51 год), №2 (целина), 5 (насаждения, возраст 36 лет), 6 (насаждения, возраст 10 лет), 8 (насаждения, возраст 46 лет) и 9 (целина) расположены на темно-каштановых солонцеватых почвах в комплексе с солонцами, сформированных по выложенным участкам водораздельных поверхностей, верхним террасам рек. Солонцы широко распространены по долинам рек, озерным понижениям и водоразделам, образуя местами крупные самостоятельные массивы. Реакция солонцов в основном щелочная и сильнощелочная и только в степной зоне надсолонцовые горизонты имеют местами реакцию близкую к нейтральной.

- разрезы №3 (насаждения, возраст 46 лет), 4 (насаждения, возраст 23 года), 7 (целина), 10 (насаждения, возраст 36 лет) расположены на темно-каштановых солонцеватых почвах, сформированных по выложенным участкам водораздельных поверхностей, верхним террасам рек. Характерной особенностью почв является относительно близкое к поверхности залегание выделений растворимых солей. С глубины 90–110 см в почвах обнаруживаются гипс и легкорастворимые соли. Мощность гумусового горизонта колеблется в пределах 20–30 см. Комплексы темно-каштановых солонцеватых почв с солонцами сопутствуют тяжелым породам на высоких террасах или близкому залеганию от поверхности тяжелых засоленных пород.

Основные почвенные разрезы заложены непосредственно в насаждениях на расстоянии 50–70 см от деревьев. Разрезы на целине были заложены на участках непокрытых лесом. В процессе закладки разрезов были отобраны 27 почвенных образцов в соответствии с ГОСТ 12071-2014, ГОСТ 25100-2020 [4; 5]. Почвенные образцы отбирались методом конверта. Для последующего проведения химического анализа пробы почвенных образцов отбирали по всей ширине каждого горизонта почвенного профиля и высушивали до воздушно-сухого состояния. Анализы почвенных образцов были произведены в лаборатории ТОО «АГЛ-Актобе» (Республика Казахстан, город Актобе) по общепринятым методикам согласно нормативным документам: ГОСТ 27753.2-88 [6], ГОСТ 26423-85 [7], ГОСТ 26426-85 [8], ГОСТ 26424-85 [9], ГОСТ 27753.9-88 [10], ГОСТ 27753.11-88 [11], ГОСТ 27753.6-88 [12], ГОСТ 23740-79 [13].

**Результаты.** Разрезы №1, 4, 5, 8, 10 расположены на сухостепных ландшафтах относительно приподнятых равнин, образованных денудационными пластовыми равнинами и структурными плато. Наибольшее распространение в районе исследования получили пластовые холмисто-увалистые равнины с эрозийным расчленением, сложенные глинами, песчаниками, известняками с типчаково-ковыльковой, нитрозовопольнно-типчаковой разнотравно-красноковыльной с кустарниками растительностью на темно-каштановых солонцеватых почвах, солонцах степных и лугово-каштановых почвах. К более высоким отметкам приурочены петрофитноразнотравно-ковыльно-овсецовые, типчаково-ковыльные сообщества на темно-каштановых неполноразвитых почвах.

Разрезы №2, 3, 6, 7, 9 расположены на поймах и надпойменных террасах рек Кара-Хобда, Илек сложены суглинками, глинами, песками и представлены разнотравно-пырейной, луговоразнотравно-злаковой, кустарниковой растительностью на аллювиально-луговых почвах и солонцах луговых.

Разрез №7 расположен на структурных плато, распространенных на юге района, сложены глинами, песчаниками, известняками с типчаково-овсецово-ковыльковой, нитрозовопольнно-типчаковой, типчаково-ромашниково-ковыльковой растительностью на темно-каштановых карбонатных и неполноразвитых почвах.

*Гумус в темно-каштановых почвах.* Содержание гумуса в почвах объектах исследования составляет 0,36–2,1%. Исследования на содержание гумуса проводились в верхнем горизонте почвы. Из рис.1 видно, что наибольшее содержание гумуса отмечается под насаждениями возрастом 51 год – 2,1%, наименьшее количество отмечают на участках целины: разрез 2 (0,54%), 7 (0,36%), 9 (0,51%).

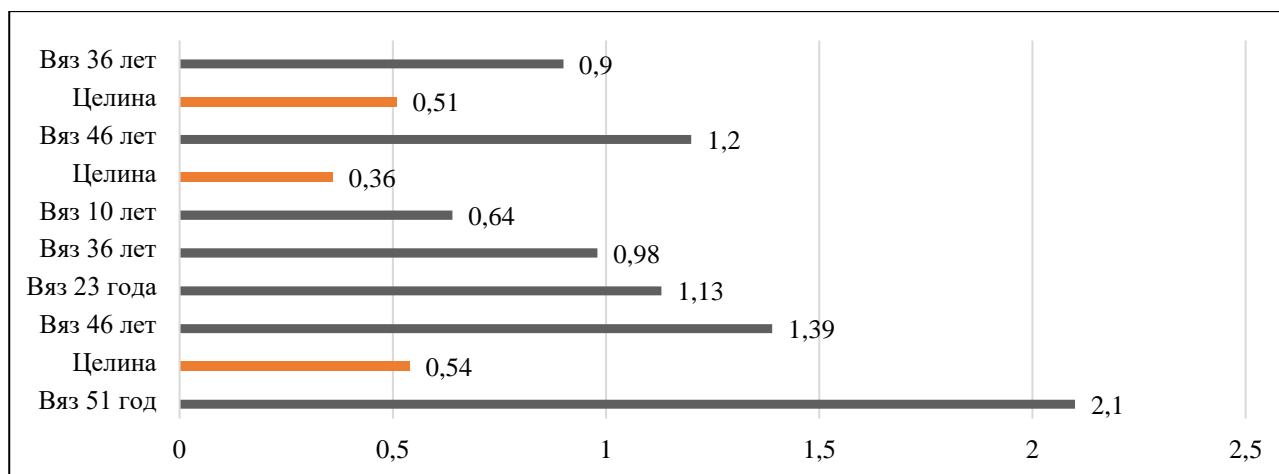


Рисунок 1. Содержание гумуса на темно-каштановых почвах в слое 0–30см, %.

*Реакция среды темно-каштановых почв.* Оценить влияние лесомелиорации на изменение свойств почв, можно изучив их химические показатели (табл. 1).

Таблица 1. Результаты анализа водной вытяжки и содержание гумуса в почвенных образцах с территории Алгинского района Актюбинской области [15]

№ ПР	Горизонт, см	Плотный остаток, %	pH	Гумус, %	Содержание ионов, ммоль / 100 г					Степень засоления
					K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Разрез №1, темно-каштановая почва, под лесонасаждениями, возраст 51 год										
1.	A (0–30)	0,119	7,2	2,1	0,366	1,25	0,3	0,2657	1,05	Незасоленная
	BC (30–120)	-	7,2	-	-	-	0,25	1,217	0,45	Незасоленная
Разрез №2, темно-каштановая солонцеватая почва, целина										
2.	A (0–20)	3,197	7,5	0,54	27,54	14,25	2,25	44,190	0,35	Сильнозасоленная
	BC (20–70)	-	7,8	-	-	-	0,5	1,937	0,25	Сильнозасоленная
	C (70–120)	-	8,8	-	-	-	0,375	43,71	1,55	Сильнозасоленная
Разрез №3, темно-каштановая солонцеватая почва, под лесонасаждениями, возраст 46 лет										
3.	A (0–20)	0,115	7,2	1,39	0,3056	1,25	0,25	0,5056	0,8	Незасоленная
	BC (20–70)	-	7,6	-	-	-	0,15	0,2057	0,15	Незасоленная
	C (70–120)	-	7,5	-	-	-	0,1	0,1371	0,7	Незасоленная

Разрез №4, темно-каштановая солонцеватая почва, под лесонасаждениями, возраст 23 года										
4.	A (0–20)	0,077	7,2	1,13	0,2614	0,5	0,15	0,1114	0,75	Незасоленная
	BC (20–70)	-	7,5	-	-	-	8,1	2,879	0,5	Незасоленная
	C (70–120)	-	7,4	-	-	-	5,9	20,68	0,35	Незасоленная
Разрез №5, темно-каштановая солонцеватая почва, под лесонасаждениями, возраст 36 лет										
5.	A (0–20)	0,129	7,5	0,98	0,4071	1,25	0,1	0,2571	1,3	Незасоленная
	BC (20–70)	-	7,7	-	-	-	0,8	1,3969	0,4	Незасоленная
	C (70–120)	-	7,2	-	-	-	1,1	12,05	0,35	Незасоленная
Разрез №6, темно-каштановая солонцеватая почва, под лесонасаждениями, возраст 10 лет										
6.	A (0–30)	0,071	7,7	0,64	0,4128	0,5	0,1	0,1628	0,65	Незасоленная
	BC (30–120)	-	7,2	-	-	-	0,1	0,14	0,6	Незасоленная
Разрез №7, темно-каштановая фосфоритная почва, целина										
7.	A (0–20)	1,157	7,9	0,36	13,33	3,25	1,0	15,280	0,3	Среднезасоленная
	BC (20–70)	-	7,7	-	-	-	0,75	15,42	0,2	Среднезасоленная
	C (70–120)	-	8,6	-	-	-	0,5	17,180	0,9	Среднезасоленная
Разрез №8, темно-каштановая солонцеватая почва, под лесонасаждениями, возраст 46 лет										
8.	A (0–20)	0,184	7,3	1,2	0,3756	2,0	0,1	0,6256	1,65	Незасоленная
	BC (20–70)	-	7,6	-	-	-	0,25	0,9341	0,45	Незасоленная
	C (70–120)	-	7,6	-	-	-	0,7	8,3472	0,4	Незасоленная
Разрез №9, темно-каштановая солонцеватая почва, целина										
9.	A (0–20)	3,250	7,6	0,51	35,56	8,5	3,0	43,710	0,35	Сильнозасоленная
	BC (20–70)	-	7,6	-	-	-	0,5	41,886	0,2	Сильнозасоленная
	C (70–120)	-	7,6	-	-	-	0,5	46,220	1,0	Сильнозасоленная
Разрез №10, темно-каштановая солонцеватая почва, под лесонасаждениями, возраст 36 лет										
10.	A (0–30)	0,437	7,3	0,9	4,256	2,75	5,5	0,206	1,3	Незасоленная
	BC (30–120)	-	7,3	-	-	-	0,4	1,2684	0,25	Незасоленная



**Дискуссия.** Исследования показывают, что лесомелиоративные приемы в целом благоприятно влияют на почвенный покров. Более длительное лесомелиоративное воздействие окрашивает почву в более темный окрас, чем на целине. Почвы под насаждениями менее уплотненные, а глубокая корневая система способствует глубокому промачиванию почвенного покрова, тем самым ускоряет процесс рассоления почвенного покрова.

Более глубокое залегание карбонатов, высокое содержание агрономически ценных водопрочных агрегатов под насаждениями дуба и березы в сравнении с залежными участками отмечают Ю.В. Белых, Е.Г. Сизов и А.А. Лёвин [1]. Аналогично отмечают улучшение гумусного состава почв под лесными насаждениями на черноземах и выщелачивание почвенного профиля до глубины 55 см Н.И. Васильченко, Г.А. Звягин и А.А. Петрова [2]. Однако на черноземах вопрос дефицита почвенной влаги не стоит так остро как для почв аридных территориях.

В лесных насаждениях, с преобладанием вяза перистоветвистого наблюдается дефицит влаги, что в дальнейшем может привести к развитию процессов засоления. Такие же выводы сделаны в результатах исследования А.А. Роде [17], когда отмечалось истощение запасов подземных вод в загущенных посадках к их 20-летнему возрасту, ведущее к неизбежному засолению почв. Поэтому при планировании и выполнении работ по воспроизводству лесов необходимо предусмотреть обеспечение оптимальной площади питания для культивируемых растений и разработать методику высадки этих растений.

**Заключение.** Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Содержание гумуса в темно-каштановых почвах под лесными насаждениями выше по сравнению с целинными почвами на 0,10 % (насаждения возрастом 10 лет), на 0,59 % (насаждения возрастом 23 года), на 0,36–0,44 % (насаждения возрастом 36 лет), на 0,66–0,85% (насаждения возрастом 46 лет), на 1,56 % (насаждения возрастом 51 год).

2. Кислотно-щелочной баланс почвы под насаждениями можно отнести к нейтральному (рН 7,2–7,6), тогда как почвы на целине можно отнести к слабо- и сильнощелочному (рН 7,6–8,8).

3. С возрастом насаждения вяза перистоветвистого оказывают лучшее влияние на химические свойства почв.

4. В лесных насаждениях заметны признаки дефицита почвенной влаги. Санитарное состояние деревьев в средневозрастных насаждениях так же свидетельствует о загущении посадок.

Проведение сравнительного анализа влияния лесных насаждений на почвенные свойства позволяет определить перспективу их воспроизводства для улучшения почвенного покрова. В экстремальных условиях опустынивания необходима поддержка сельскохозяйственного производства путем проведения лесомелиоративных работ. Какие результаты можно ожидать при лесомелиоративных воздействиях на почву, в какие сроки - исследования в рамках данной проблемы имеют большие перспективы для дальнейшего развития.

#### Литература

1. Белых Ю.В., Сизов Е.Г., Лёвин А.А. Физические свойства чернозема выщелоченного под различными древесными породами полезащитных лесных полос. Вестник Алтайского государственного аграрного университета №8 (130), 2015. С. 61–65
2. Васильченко Н.И., Звягин Г.А., Петрова А.А. Влияние полезащитных лесополос на основные показатели плодородия черноземов южных Северного Казахстана. Вестник РГАТУ, №1 (45), 2020. С. 9–14
3. Вилесов Е.Н., Науменко А.А., Веселова Л.К., Аубекеров Б.Ж. Физическая география Казахстана: учебное пособие. Алматы: Изд-во «Казак университет», 2009. 362 с.
4. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116021>
5. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302>
6. ГОСТ 27753.2-88. Грунты тепличные. Метод приготовления водной вытяжки. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023534>
7. ГОСТ 26423-85. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023484>
8. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023487>

9. ГОСТ 26424-85. Почвы. Методы определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023485>
10. ГОСТ 27753.9-88. Грунты тепличные. Методы определения водорастворимых кальция и магния. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023544>
11. ГОСТ 27753.11-88. Грунты тепличные. Методы определения хлорида. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023546>
12. ГОСТ 27753.6-88. Грунты тепличные. Методы определения водорастворимого калия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023540>
13. ГОСТ 23740-79. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001089>
14. Кудрин Р.Д. Агроклиматический справочник по Актюбинской области. Алма-Ата: Изд-во «Казгосиздат», 1960. 119 с.
15. Рабочий проект закладки зеленой зоны в Алгинском районе. Проектировщик: ТОО «Jan invest». Актобе 2021 г.
16. Рабочий проект реконструкции насаждений зеленой зоны в Актюбинском ЛХПП (Алгинское л-во) Актюбинской области. «Союзгипролесхоз» Северо-Казахстанский филиал. Щучинск 1991 г.
17. Роде А.А. Методы изучения водного режима почв. Издательство: Гидромет. 1960. 243 с.

INFLUENCE OF FOREST RECLAMATION ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF DARK CHESTNUT SOILS OF THE ALGA DISTRICT OF THE AKTOBE REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

M.A. Satybaldin<sup>1,2</sup>, L.V. Yakovleva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Janinvest LLP, Aktobe, Republic of Kazakhstan, satybaldin.maksat@mail.ru

<sup>2</sup> Astrakhan State University V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russia, yakovleva\_lyudmi@mail.ru

*Summary. This article reflects the results of a study of changes in the chemical properties of soils under artificial forest plantations of pinnate elm aged from 10 to 51 years on dark chestnut soils in comparison with virgin soils. In the presence of an urgent need for the reproduction of field and soil protection, anti-erosion forests, the issue of the influence of forest plantations on the chemical composition of the soil cover remains poorly understood. To improve the soil, such studies have practically not been carried out. The studies were carried out by laying the main cuts with a depth of 1.0-1.2 meters in forest plantations and virgin lands. The main studies were carried out in the laboratory of LLP "AGL-Aktobe", the chemical composition of soils was determined according to generally accepted methods. The soil under forest plantations is darker in color than in virgin soil; there are no salt deposits in the soil profile under elm plantations. An analysis of the chemical composition of soils showed that the humus content in soils under plantations is higher than on virgin soil, the reaction of the soil solution is slightly acidic and neutral throughout the profile, while on virgin soil the soil has a slightly alkaline reaction, the value of which increases down the profile. In the soil profile for plantings, a decrease in sulfate, chloride ions, sodium ions and dry residue can be traced. The main changes are associated mainly with the long-term influence of forest plantations on dark chestnut soils. However, it should be noted that there is a deficit of soil moisture in forest plantations, especially in the upper soil horizons. Therefore, it is necessary to strictly observe the scheme of planting forest crops.*

*Keywords: soil formation, protective forest belts, virgin soil, dark chestnut soils, chemical properties of soils.*

УДК 631.8:633.11:631.559:631.445.2

## УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЯЕМЫХ УДОБРЕНИЙ И СПОСОБА ИХ ЗАДЕЛКИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, Т.М. Кирдун, Т.В. Мачок

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Минск, seraya@tut.by

**Аннотация.** В статье рассматриваются трехлетние результаты, полученные в полевом опыте с озимой пшеницей на дерново-подзолистой супесчаной почве Республики Беларусь. Установлено, что заделка соломы без компенсирующей дозы азота при среднем и повышенном содержании гумуса не оказала негативного влияния на урожайность зерна озимой пшеницы. За счет применения удобрений в блоке со вспашкой почвы урожайность зерна в среднем выросла на 68%, в блоке с дискованием – на 82% при существенном увеличении содержания белка и клейковины.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, вспашка, дискование, урожайность, белок, клейковина, удобрения, почва.

**Актуальность.** Для решения проблемы обеспечения Республики Беларусь продовольственным зерном пшеницы высокого качества важнейшее значение имеет дальнейшее совершенствование основных элементов технологии возделывания этой культуры. В настоящее время озимая пшеница в структуре зерновых культур занимает 22% площадей с довольно широким пределом колебаний урожайности по годам: например, в среднем по республике в 2018 г. получено 29,3 ц/га зерна озимой пшеницы в амбарном весе, в 2022 г. – 41,5 ц/га [1, 2]. Нестабильность урожайности связана с высокой зависимостью продуктивности в Беларуси от погодных условий года. В целом для территории республики влияние климата на урожайность оценивается для озимых в пределах 22–38%, яровых – 35–81% [3, 4], в то время как в Англии, Швеции, Германии – только 7–10% [5]. В связи с этим оптимизация основных агроприемов возделывания озимой пшеницы с учетом конкретных условий ее произрастания имеет важное значение, т.к. позволит в максимальной степени реализовать потенциал продуктивности этой культуры в разные по погодным условиям годы.

**Объекты и методы исследования.** Полевые исследования проводили в стационарном опыте, заложенном на опытном поле Института почвоведения и агрохимии, расположенном в центральной части Беларуси на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве. Объектом исследования была озимая пшеница белорусской селекции сорт Августина. Дерново-подзолистая супесчаная почва имела слабокислую реакцию почвенной среды (рН 5,52–5,80), среднее и повышенное содержание гумуса (1,96–2,40%) и подвижных форм фосфора (134–177 мг/кг), низкое и среднее содержанием подвижных форм калия (134–195 мг/кг) [градации согласно 6].

Исследования проводили в трех полях, на каждом поле в двух блоках: в 1-м блоке в качестве основной обработки почвы применяли вспашку на глубину 20 см, во 2-м блоке – дискование в один след на глубину 10–12 см. Первое поле открыто в 2019 г., второе – в 2020 г., третье – в 2021 г. Повторность вариантов опыта четырехкратная, общий размер делянки – 31,2 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 24,0 м<sup>2</sup>. Применяли минеральную систему удобрения и органоминеральную, где в качестве органических удобрений использовали подстилочный навоз КРС и солому предшественника.

Предшественник озимой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зерно. Урожайность соломы в среднем за 3 года составила 3,0 т/га с содержанием (на сухое вещество) N – 0,52%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,25%, K<sub>2</sub>O – 1,50%. После уборки предшественника, измельченную солому равномерно распределяли по полю, вносили компенсирующие дозы азота в виде КАС или микробное удобрение Жыцень в дозе 3 л/га и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след. Удобрение жидкое азотное КАС – это водный раствор аммиачной селитры и карбамида в соотношении 1:1. Удобрение микробиологическое «Жыцень» – целлюлозразлагающее удобрение с содержанием Pseudomonas sp.–11 – не менее 1×10<sup>9</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>; Bacillus sp.– 49, не менее 1×10<sup>9</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>.

Подстилочный навоз вносили после уборки предшественника: в дозе 40 т/га (солому убирали с поля) и в дозе 30 т/га (по соломе предшественника). Подстилочный навоз КРС

(соломистый) имел следующие показатели (в расчете на естественную влажность): N – 0,64%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,32%, K<sub>2</sub>O – 0,64 %, влажность – 73%.

Минеральные удобрения внесены в полной дозе, рассчитанной под планируемую урожайность (N70+40+40P65K115), в вариантах с подстилочным навозом КРС в дозе 40 т/га – N60+30+40P40K35, в дозе 30 т/га – N60+40+40P50K50. Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации (КАС), в фазу первый узел (карбамид), в фазу флаг лист (карбамид) и в одном варианте проводили некорневую подкормку карбамидом N10 в период колошения. В вариантах с учетом содержания калия и фосфора в запаханной соломе предшественника в среднем за три года внесено N70+40+40P55K45. Комплексное удобрение Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га вносили в некорневую подкормку осенью в фазу начало кушения и в период начала весенней вегетации (фосфорные и калийные удобрения в почву в данном варианте не вносили).

**Обсуждение результатов.** Погодные условия в годы проведения исследований существенно отличались. Наиболее благоприятные условия перезимовки отмечались в период 2019/2020 гг. Беснежная зима при температурах воздуха близких к нулю обеспечила практически 100% перезимовку растений озимой пшеницы. Однако засушливые и прохладные март, апрель и май не позволили в максимальной степени реализовать потенциал продуктивности этой культуры.

В период вегетации озимой пшеницы в 2020/2021 гг. неблагоприятные погодные условия в осенний период отрицательно сказались на всходах (полевая всхожесть составила 78%).

Выпадение снега на слабозамерзшую почву (среднесуточная температура в декабре 2020 г. – -1,2 °С), обильные осадки в виде снега в январе 2021 г. (в 2,3 раза выше нормы) и длительное сохранение снежного покрова (до середины марта) способствовали сильному развитию снежной плесени на озимой пшенице. В результате после перезимовки осталось 2,8 млн. растений пшеницы (66%).

В вегетационный период 2021/2022 гг. при существенных отличиях температуры воздуха и количества осадков по месяцам от нормы, в целом, погодные условия были достаточно благоприятными для получения высокого урожая озимых зерновых культур.

В результате максимальная по годам исследования урожайность озимой пшеницы в блоке вспашки получена в 2022 г., а в блоке дискования – в 2020 и 2022 годах урожайность в удобренных вариантах была близкой (табл. 1).

В среднем за 3 года за счет эффективного плодородия среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы урожайность зерна озимой пшеницы на фоне вспашки составила 40,9 ц/га, изменяясь по годам исследования от 33,2 ц/га в 2021 г. до 45,6 ц/га в 2022 г. (табл. 1). Содержание сырого белка в данном варианте составило 8,22 %, клейковины – 17,01%, т.е. зерно пшеницы, выращенной без удобрений, было пригодно только на фураж.

Внесение N70+40+40P65K115 обеспечило рост урожайности зерна на 25,9 ц/га или 68 %. Кроме роста урожайности внесение удобрений способствовало увеличению содержания в зерне сырого белка с 8,77% до 13,23% и клейковины – с 17,43 до 26,21%. В результате зерно по содержанию клейковины соответствует требованиям, предъявляемым к продовольственному зерну 3 класса качества.

В варианте, где озимая пшеница посеяна без фосфорных и калийных удобрений, двукратная некорневая обработка комплексным удобрением Адоб Профит 4-12-38 в дозе по 2 кг/га по действию на урожайность (68,5 ц/га) была аналогичной внесению P<sub>65</sub>K<sub>115</sub>. Снижение доз фосфорных и калийных удобрений на 25 и 80 кг д.в., соответственно, и азотных удобрений на 20 кг/га на фоне внесения 40 т/га подстилочного навоза КРС, не оказало существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с минеральной системой удобрения, отмечена только тенденция к увеличению (+2,9 ц/га).

Запашка 3 т/га соломы, что в переводе в условный навоз составило 10,5 т/га, снижение дозы подстилочного навоза КРС с 40 до 30 т/га и внесение на этом фоне N60+40+40P50K50 не повлияло существенно на урожайность зерна по сравнению с внесением ПН КРС, 40 т/га + N60+30+40P40K35.



Таблица 1. Влияние удобрений и способа обработки почвы на урожайность озимой пшеницы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, 2020–2022 г.

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка, ц/га
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	
<b>Вспашка</b>					
Без удобрений (контроль)	43,9	33,2	45,6	40,9	–
N70+40+40P65K115	64,5	56,5	79,5	66,8	25,9
Адоб Профит 4-12-38, 4 кг/га + N70+40+40	64,4	60,4	80,8	68,5	27,6
ПН КРС, 40 т/га + N60+30+40P40K35	68,3	58,9	82,0	69,7	28,8
Солома+ПН КРС, 30 т/га+N60+40+40P50K50	70,9	58,3	82,9	70,7	29,8
Солома + N70+40+40P65K115	65,1	54,4	79,7	66,4	25,5
Солома + N70+40+40+10P65K115	68,2	53,7	78,6	66,8	25,9
Солома + Жыщень, 3 л/га+N70+40+40P65K115	69,9	54,4	83,0	69,1	28,2
Солома + N20(КАС) + N70+40+40P65K115	74,9	53,3	79,5	69,2	28,3
Солома + N20(КАС) + N70 <sub>до опт</sub> +40+40P65K115	69,8	52,0	81,5	67,8	26,9
Солома + N20(КАС) + N70+40+40P55*К45*	72,2	52,9	80,6	68,6	27,7
<b>Дискование</b>					
Без удобрений	46,3	37,4	31,2	38,3	–
P65K115 + N70+40+40	72,7	56,6	73,9	67,7	29,4
ПН КРС, 40 т/га + N60+30+40P40K35	68,7	59,3	82,1	70,0	31,7
Солома + N70+40+40P65K115	72,1	56,0	76,0	68,0	29,7
Солома +ПН КРС, 30 т/га+N60+40+40P50K50	71,7	57,8	77,3	68,9	30,6
Солома + Жыщень, 3 л/га+N70+40+40P65K115	77,7	65,4	76,9	73,3	35,0
Солома + N20(КАС) + N70+40+40P65K115	75,7	60,8	74,1	70,2	31,9
<i>НСР05 (удобрения)</i>	5,3	4,3	5,2	4,9	
<i>НСР05 (обработка почвы)</i>	2,3	2,3	3,1	2,6	

Примечание. \* Фосфорные и калийные удобрения внесены с учетом содержания фосфора и калия в поступившей в почву соломе.

Запашка соломы без компенсирующей дозы азота в варианте Солома + N70+40+40P65K115 в среднем за 2 года не оказала существенного влияния на урожайность зерна по сравнению с аналогичным вариантом без соломы. Дополнительная некорневая подкормка N10 в период колошение – налив зерна в годы проведения исследований была неэффективной как по влиянию на урожайность, так и на содержание белка и клейковины.

Обработка соломы микробным удобрением Жыщень в дозе 3 л/га обеспечила выраженную тенденцию роста урожайности зерна в 2020 г. (+4,8 ц/га) и 2022 г. (+3,1 ц/га) и не оказала влияния в 2021 г. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе (N20) в виде КАС увеличило урожайность зерна на 9,8 ц/га в 2020 г. и не оказало существенного влияния в погодных условиях вегетации озимой пшеницы в 2021 и 2022 годах.

Ранневесенняя подкормка озимой пшеницы азотом в 2020 г. проведена в два срока: 18 марта, когда у растений появились белые корешки (Солома + N20(КАС) + N70<sub>до опт</sub> + 40 + 40 P65K115) и 6 апреля в остальных вариантах. После 18 марта по 6 апреля наблюдались аномально низкие температуры воздуха – среднесуточная температура за этот период составила 3,8 °С, поэтому, несмотря на появление белых корешков уже к 18 марта, оптимальным сроком подкормки считаем 6 апреля, при установлении среднесуточных температур выше 5 °С.

В 2021 г. первая подкормка озимой пшеницы азотом проведена 31 марта (вар. Солома + N20(КАС) + N70<sub>до опт</sub>+40+40P65K115), однако со 2 по 9 апреля наблюдались ночные заморозки, а среднесуточная температура не превышала 3,9 °С, поэтому проведение подкормки 9 апреля, когда среднесуточная температура воздуха превышала +5 °С, считаем оптимальным сроком. В результате при оптимальном сроке подкормки в 2020 г. урожайность была на 5,1 ц/га выше, чем при более раннем; в 2021 г. – разница была несущественной.

Снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом поступления данных элементов с соломой способствовало получению урожайности на уровне внесения полных доз этих удобрений с аналогичным содержанием белка и клейковины.

Урожайность озимой пшеницы в блоке с поверхностной обработкой в качестве основной обработки почвы в среднем за 3 года была на 0,5 ц/га выше по сравнению с аналогичными вариантами в блоке с традиционной обработкой почвы при достоверной разнице в урожае в варианте, где солому обработали микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га и составила 4,2 ц/га. Урожайность соломы озимой пшеницы в блоке вспашки составила в удобренных вариантах 34,7–52,7 ц/га, в блоке дискования – 39,9–47,7 ц/га, в вариантах без удобрений – 25,7 ц/га и 14,2 ц/га, соответственно.

### Выводы

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве в полевом опыте в среднем за 3 года за счет эффективного плодородия супесчаной почвы получено 40,9 ц/га зерна озимой пшеницы в блоке вспашки и 38,3 ц/га в блоке дискования.

2. Заделка соломы без компенсирующей дозы азота не оказала негативного влияния на растения озимой пшеницы. Заделка соломы, обработанной микробным удобрением Жыцень, дисками гораздо эффективнее по влиянию на урожайность, чем ее запашка, т.к. микробное целлюлозоразлагающее удобрение Жыцень гораздо эффективнее работает в аэробных условиях.

3. В блоке вспашки оптимальной была система удобрения, включающая внесение N70+40+40P55K45 на фоне соломы, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 68,6 ц/га с содержанием сырого протеина 12,98%, клейковины – 25,74%. Для повышения плодородия почвы рекомендуется система удобрения Солома + ПН КРС, 30 т/га + N60+40+40P50K50, в опыте обеспечила формирование урожайности зерна 70,7 ц/га с содержанием сырого протеина 13,11 %, клейковины – 26,38%.

5. При дисковании почвы вместо вспашки лучшей была система удобрения, включающая внесение N70+40+40P65K115 на фоне соломы, обработанной микробным препаратом Жыцень в дозе 3 л/га, в среднем за 3 года обеспечила формирование урожайности зерна озимой пшеницы 73,3 ц/га с содержанием сырого протеина 13,30%, клейковины – 25,11%.

### Литература

1. Статистический ежегодник, 2022 // Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева и др. Минск, 2022. С. 221–204.
2. Статистический ежегодник, 2018 // Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева и др. Минск, 2018. С. 308–311.
3. Камышенко Г.А. Погодные условия Беларуси и урожайность сельскохозяйственных культур. Математико-статистический анализ. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 158 с.
4. Сачок Г. И., Камышенко Г.А. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси. Минск: Бел. Наука, 2006. 243 с.
5. Банкина Т.А. Оптимизация цикла азота в дерново-подзолистых почвах агроценозов // Вестник СПбГУ. Сер. 3 2006. Вып. 1. С. 168–176.
6. Справочник агрохимика. Под ред. Лапа В.В. Минск: ИВЦ Минфина, 2021. С. 238–239.

### YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN DEPENDING ON THE APPLIED FERTILIZERS AND THE METHOD OF THEIR EMBEDDING ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

T.M. Seraya, E.N. Bogatyreva, T.M. Kirdun, T.V. Machok

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, seraya@tut.by

*Summary. The article discusses three-year results obtained in a field experiment with winter wheat on sod-podzolic sandy loam soil of the Republic of Belarus. It was found that the sealing of straw without a compensating dose of nitrogen with an average and increased humus content did not have a negative effect on the yield of winter wheat grain. Due to the use of fertilizers in the block with tillage, grain yield increased by 68% on average, in the block with disking – by 82% with a significant increase in protein and gluten content.*

*Keywords: winter wheat, plowing, disking, yield, protein, gluten, fertilizers, soil.*

УДК 579.64, 633.1

## **РОЛЬ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ В ПОВЫШЕНИИ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

**М.Л. Сидоренко<sup>1</sup>, А.Г. Клыков<sup>2</sup>**

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии  
ДВО РАН, Владивосток, sidorenko@biosoil.ru

Федеральный научный центр Агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки  
ДВО РАН, Уссурийск, alex.klykov@mail.ru

**Аннотация.** *Микроорганизмы, составляющие основу биопрепаратов, рассматривают как альтернативу минеральным удобрениям. Нами запатентованы штаммы бактерий и их сочетания, обладающие азотфиксирующей, фосфат- и калийсольбилизирующей, фитопротекторной и ростостимулирующей активностью, используемые для улучшения питания растений, оздоровления биоценоза и повышения урожая зерновых культур. Экспериментально установлена прибавка урожайности ярового ячменя до 25,9%, яровой пшеницы - до 16,2%.*

**Ключевые слова:** *биопрепараты, зерновые культуры, увеличение урожайности.*

Активное использование земель в сельском хозяйстве сопровождается постоянным внесением больших доз минеральных удобрений, что значительно увеличивает урожай, но при долговременном использовании приводит к ухудшению качества продукции растениеводства, загрязнению окружающей среды и нарушению естественных процессов восстановления почв. В противоположность химическим удобрениям и присадкам, биологические препараты представляют собой более безопасный вариант для окружающей среды и окончательного потребителя аграрной продукции, а также обладают рядом преимуществ: не причиняют вред окружающей среде, не опасны для людей и животных, не являются фитотоксичными и не обладают мутагенной способностью, поскольку представляют из себя культуры естественных микроорганизмов, обитающих в почве. Распространенное использование биологических препаратов в сельском хозяйстве способствует уменьшению воздействия на окружающую среду и производству более полезной продукции. Фермеры и агрохолдинги активно интегрируют биологические препараты в свою производственную деятельность. Биологизация представляет собой ключевое направление для сельского хозяйства, как в России, так и в мире, и притягивает все больше передовых научных исследований. Эффект от такой стратегии заключается в создании динамичного ассортимента экологически чистой продукции, для которого спрос превышает предложение.

Цель настоящего исследования заключалась в выделении эффективных аборигенных штаммов бактерий из почв подверженных длительному внесению минеральных удобрений и создание на их основе бактериальных препаратов для использования в растениеводстве.

Бактериальные штаммы выделяли из почв, подверженных длительному (74 года) внесению удобрений. Почвы расположены на территории опытного поля ФНЦ Агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки ДВО РАН (Приморский край, г. Уссурийск, п. Тимирязевский). Исследованы два варианта почв: 1) почвы с внесением минеральных удобрений; 2) почвы с внесением минеральных удобрений, навоза и извести. Тестирование штаммов бактерий проводили на семенах ярового ячменя и яровой пшеницы. Качественную оценку способности бактерий мобилизовать труднодоступные соединения фосфора определяли по наличию зоны растворения трикальцийфосфата вокруг выросших колоний микроорганизмов. Ростостимулирующее и фитопротекторное действие изучали посредством выявления потенциального эффекта исследуемых бактерий при воздействии на прорастание семян злаковых растений. Энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян оценивали путем замачивания 100 штук семян в рабочем растворе, содержащем  $1 \times 10^4$  клеток бактерий на 1 мл, время экспозиции составляло 30 минут. Оценивали фунгицидную и бактерицидную активность штаммов путем протравки 1 кг семян перед посевом 100 мл раствора бактерий в

концентрации  $1 \times 10^4$  КОЕ/мл. Полевые исследования были заложены опытных полях ФНЦ Агробиотехнологий ДВО РАН. Использовали различные композиции из выделенных штаммов в качестве бактериальных удобрений.

Из исследуемых почв выделено около 100 штаммов, обладающих, в той или иной мере, целевыми признаками. Среди этих штаммов, отобраны три, которые в дальнейшем были депонированы в ВКПМ и запатентованы: штамм бактерий *Acinetobacter johnsonii* A1, обладающий азотфиксирующей, фитопротекторной и ростостимулирующей активностью, депонирован во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ) под регистрационным номером В-13867; штамм бактерий *Pantoea agglomerans* Ф19, обладающий фосфатсольбилизирующей, фитопротекторной и ростостимулирующей активностью, депонирован в ВКПМ под регистрационным номером В-13869; штамм бактерий *Pseudarthrobacter equi* S2, обладающий калийсольбилизирующей, фитопротекторной и ростостимулирующей активностью и депонированный в ВКПМ под регистрационным номером В-13868.

Установлена нитрогеназная активность бактерий *Acinetobacter johnsonii* A1 ВКПМ В-13867 на уровне 5,4 наномоль этилена в час, что говорит о высокой способности этих бактерий фиксировать газообразный азот. Диаметр зоны растворения трикальцийфосфата в экспериментах с культурой бактерий *Pantoea agglomerans* Ф19 ВКПМ В-13869 составлял 16–21 мм. Количественная оценка показала, что в опытных образцах содержание растворимого фосфора обнаруживалось в 10 раз больше, чем в контроле. Результаты исследований свидетельствуют о том, что исследуемые бактерии активно мобилизуют фосфаты из труднорастворимых неорганических соединений.

В серии лабораторных экспериментов было показано, что исследуемые штаммы увеличивают энергию прорастания семян пшеницы на 18-20%, ячменя – на 18-22% по сравнению с контролем в зависимости от используемого штамма бактерий. Наблюдали увеличение лабораторной всхожести семян пшеницы на 18-22%, ячменя – на 15-18%, яровой пшеницы – на 20% по сравнению с контролем в зависимости от используемого штамма бактерий. Установили увеличение длины надземной части ячменя на 21-24 %, пшеницы – на 7-9%; увеличение длины корня ячменя на 30-40%, пшеницы – на 60-70% по сравнению с контролем в зависимости от используемого штамма. Протравка семян ячменя и пшеницы перед посевом штаммами исследуемых бактерий приводила к 100% обеззараживанию семян во всех вариантах эксперимента.

По результатам 4-х летних полевых исследований получено и запатентовано два препарата: Препарат для увеличения урожайности ярового ячменя, в композицию которого вошли все три штамма бактерий в соотношении 1:1:1 и Препарат для увеличения урожайности яровой пшеницы, в композицию которого вошли только 2 штамма (азотфиксатор и фосфатсольбилизирующий) в соотношении 1:1. Использование препаратов для обработки семян и почвы по всходам стимулирует жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, повышая биогенность почвы в 3 раза по сравнению с контролем. При этом коэффициент минерализации в 4,5 раза превышает контрольные показатели. Урожайность по вариантам представлена в таблице 1. Как следует из представленных результатов, применение заявляемого препарата способствует прибавке к урожаю ярового ячменя 0,7 т/га, к урожаю пшеницы 0,6 т/га, что превышает контрольные показатели на 25,9% и на 16,2%, соответственно.

Таблица 1. Урожайность злаковых культур

Вариант	Урожайность ярового ячменя, т/га	Урожайность яровой пшеницы, т/га
Контроль	2,7	3,7
Заявляемый препарат	3,4	4,3
Экстрасол (эталон)	2,8	3,9

Таким образом, использование заявляемого препарата, включающего новые природные штаммы бактерий, обладающих азотфиксирующей, фосфатсольбилизирующей, калий–



солюбилизирующей, фитопротекторной и ростостимулирующей активностями, расширяет ассортимент препаратов для восстановления биоценоза почвы и повышения урожая яровой пшеницы и ярового ячменя.

## THE ROLE OF BACTERIAL PREPARATIONS IN INCREASING SOIL FERTILITY AND YIELD OF GRAIN CROPS

M.L. Sidorenko<sup>1</sup>, A.G. Klykov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia FEB RAS, Vladivostok, sidorenko@biosoil.ru

<sup>2</sup>Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki FEB RAS, Ussuriysk, alex.klykov@mail.ru

*Summary.* Microorganisms that make up biological products are considered as an alternative to mineral fertilizers. We have patented strains of bacteria and their needs, which have nitrogen-fixing, phosphate- and potassium-solubilizing, phytoprotective and growth-stimulating activity, used to improve plant nutrition, improve biocenosis and crop yields. An increase in the yield of spring barley up to 25.9%, spring wheat - up to 16.2% was experimentally established.

*Keywords:* biological products, grain crops, increase in productivity.

УДК 635.21: 631.8 (571.56)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ КАРТОФЕЛЯ РЕГУЛЯТОРОМ РОСТА И МИКРОУДОБРЕНИЕМ НА МЕРЗЛОТНО-ПОЙМЕННЫХ ПОЧВАХ ЯКУТИИ

Т.В. Слепцова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова – обособленное подразделение Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук

<sup>2</sup>Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, SlepsovaTV@yandex.ru

*Аннотация.* В условиях Центральной Якутии на мерзлотно-пойменной супесчаной почве показано, что обработка картофеля в фазе цветения регулятором роста Новосил повышала урожайность клубней на 6,4 т/га (34%), магниевое-борным удобрением в дозе 5 г/л – на 2,5 т/га (14%). В варианте Маг-Бор 10 г/л урожайность в среднем за три года исследований была на уровне контроля, а в условиях засухи снижалась на 0,5–0,9 т/га. Влияние препаратов на урожайность составило 68%, погодных условий 26%, взаимодействия факторов 4%.

*Ключевые слова:* картофель, мерзлотно-пойменная почва, регулятор роста, микроудобрение, урожайность, качество, сохранность.

**Актуальность исследования.** Картофель характеризуется повышенной требовательностью к наличию питательных веществ в почве, что связано с высоким их выносом с урожаем. При интенсивном ведении земледелия комплексное применение минеральных удобрений и необходимых микроэлементов приводит к росту урожайности до 30% и более за счет увеличения синтеза ферментов, ускорения биохимических реакций, повышения иммунитета растений к болезням и устойчивости к неблагоприятным факторам [1–3]. Несбалансированное содержание микроэлементов в почве является одной из причин низких и некачественных урожаев сельскохозяйственных культур [4–7]. Применение микроудобрений на почвах с низким и средним содержанием их подвижных форм обеспечивает оптимальное соотношение макро- и микроэлементов в питании растений, значительно повышает урожай и его качество [8–12]. Усвоение растениями микроэлементов существенно зависит от способа их внесения. В последние годы широкое применение в технологии выращивания картофеля находят листовые подкормки макро- и микроэлементами, которые обеспечивают более полное усвоение питательных элементов растениями в критические периоды, прежде всего, вначале клубнеобразования и формирования урожая клубней. Известно, что при некорневой подкормке растения используют до 60–70% микроэлементов, в то время как при внесении в почву – всего несколько процентов [13, 14]. В Якутии длительное промерзание верхнего слоя

почвы и многолетнемерзлые грунты подавляют разложение минералов, вследствие чего концентрация макро- и микроэлементов в почве, в том числе магния и бора, значительно ниже в сравнении с другими регионами [15]. Влияние этих элементов на урожайность и качество клубней картофеля в регионе не изучено.

Одной из причин низкой урожайности и рентабельности картофеля в Республике Саха (Якутия) является отсутствие адаптивных технологий возделывания с использованием современных биологических регуляторов роста растений, одним из которых является Новосил – биопрепарат, представляющий собой водную эмульсию суммы тритерпеновых кислот (100 г/л), выделенных из зеленой массы пихты сибирской [16, 17]. Исследования, проведенные в разных регионах, показали, что Новосил ускорял рост и развитие растений, повышал устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, урожайность и его качество, снижал потери при хранении [18–20]. В Якутии исследования по влиянию регулятора роста Новосил на рост, развитие растений, урожайность и качество клубней картофеля не проводились.

**Цель исследования** – изучить влияние обработки посадок картофеля регулятором роста Новосил и магниевоборным удобрением на рост, развитие растений, урожайность, качество и сохранность клубней в условиях Центральной Якутии.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проведены на стационаре Якутского НИИСХ, расположенного в пойме реки Лена, Хангаласский район (улус) Республики Саха (Якутия). Почва опытного участка слабощелочная мерзлотно-пойменная супесчаная по механическому составу. Пахотный слой характеризуется низким содержанием общего (0,23%) и нитратного (0,7–1,2 мг/100 г) азота и гумуса (1,8–2,2%), высоким содержанием подвижного фосфора (21,0–24,0 мг/100 г) и обменного калия (20,6–25,3 мг/100 г), недостаточной обеспеченностью подвижными соединениями магния (1,25 мг/100 г), микроэлементов молибдена (0,03 мг/кг), марганца (29,0 мг/кг), бора (0,30 мг/кг). Объектом исследования были растения и клубни картофеля районированного среднераннего сорта Якутянка. Схема опыта включала шесть вариантов: 1) Контроль – опрыскивание водой; 2) Новосил; 3) Маг-Бор 5 г/л; 4) Маг-Бор 10 г/л; 5) Новосил+Маг-Бор 5 г/л; 6) Новосил+Маг-Бор 10 г/л. Опрыскивание растений проводили в начале цветения, в период массового цветения и через 7 дней после второй обработки с нормой расхода рабочей жидкости 3 л/100 м<sup>2</sup>. Маг-Бор – комплексное водорастворимое микроудобрение, содержащее 15% магния (MgO) и 1,3% бора (B). Учетная площадь делянки 24,5 м<sup>2</sup>, ширина защитной полосы 5 м, размещение вариантов рендомизированное, повторность 4-кратная. Технология выращивания картофеля – общепринятая для региона [21]. Вегетационный полив осуществляли в третьей декаде июня-первой декаде июля по 350 м<sup>3</sup>/га. Агрохимические анализы почвы проведены в аналитической лаборатории Якутского НИИСХ и аккредитованной аналитической лаборатории Служба земледелия Республики Саха (Якутия). Фенологические наблюдения, учеты и анализы проводили по методике ВНИИКХ [22]. Площадь листьев и фотосинтетический потенциал (ФП) растений рассчитывали по А.А. Ничипоровичу [23]. Влагообеспеченность вегетационного периода оценивали по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК) [24]. Экспериментальный материал обработан статистически по Б.А. Доспехову [25] с использованием пакета прикладных программ [26].

**Обсуждение результатов.** В годы исследования агрометеорологические условия значительно различались, что позволило получить более объективные результаты. Сумма среднесуточных температур воздуха за вегетационный период (июнь-август) изменялась от 1451 °С до 1676 °С при норме 1443 °С, сумма осадков – от 60 мм до 187 мм при норме 127 мм, условия влагообеспеченности – от оптимальных (ГТК = 1,29) до сильной засухи (ГТК = 0,37). Установлено, что обработка посадок картофеля регулятором роста Новосил, в сравнении с контролем, достоверно увеличивала высоту (в среднем на 8%) и массу (24%) растений, площадь листьев (6%) и ФП (7%). Опрыскивание магниевоборным удобрением в дозе 5 г/л уменьшало высоту растений, повышало массу растений всего на 9%, показатели фотосинтетической деятельности – на 2% при уменьшении высоты растений на 1,4–2,8 см (3–6%). В варианте Маг-Бор 10 г/л масса растений увеличивалась на 8%, другие показатели были на уровне контроля. Наибольший вклад в изменчивость показателей роста и фотосинтетической деятельности растений внесли препараты (37–67%), влияние погодных

условий было также достоверно, но менее значительно (7–19%). Выявлена существенная прямая связь массы растений с их высотой и количеством в кусте ( $r = 0,71 \dots 0,81$ ), площади листьев – с высотой, количеством и массой растений ( $r = 0,66 \dots 0,82$ ), значений ФП за вегетацию – с высотой, количеством и массой растений ( $r = 0,56 \dots 0,77$ ), площадью листьев ( $r = 0,82 \dots 0,90$ ). Регрессионный анализ показал, что при увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г (x) площадь листьев растений ( $y_1$ ) повышалась на 1,9 тыс. м<sup>2</sup>/га:

$$y_1 = 0,0190 x + 26,017; \quad R^2 = 0,6919. \quad (1)$$

Разница между фактической и рассчитанной площадью листьев была не более 4,4%, что позволяет оперативно и точно определять площадь листьев по массе растений.

Урожайность клубней картофеля сорта Якутянка изменялась от 16,9 до 27,6 т/га ( $V = 16\%$ ) при среднем значении в контроле 18,9 т/га. В вариантах Новосил и Новосил+Маг-Бор 5 г/л она превышала контроль на 6,4–6,6 т/га (34–35%) (табл.), применение магниевоборного удобрения в дозе 5 г/л повышало ее на 2,5 т/га (14%). В вариантах Маг-Бор 10 г/л и Новосил+Маг-Бор 10 г/л урожайность была на уровне контроля (–0,1 т/га) или больше на 1,6 т/га (8,5%), а в засушливых условиях снижалась на 0,5–0,9 т/га. Доля влияния препаратов на изменчивость урожайности составила 68%, погодных условий 26%, взаимодействия факторов 4%.

Таблица. Влияние регулятора роста Новосил и магниевоборного удобрения на урожайность, качество и сохранность клубней картофеля (среднее за 3 года)

Вариант (фактор)	Урожайность, т/га	Товарность, %	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Витамин С, мг/100 г	Убыль продукции, %
Контроль	18,9	91,7	21,2	10,1	11,9	13,5
Новосил	25,3	94,0	21,4	10,7	12,4	10,6
Маг-Бор 5 г/л	21,4	95,1	21,3	10,0	11,9	11,0
Маг-Бор 10 г/л	18,8	94,3	21,2	10,2	12,2	11,8
Новосил+Маг-Бор 5 г/л	25,5	92,2	21,1	10,3	12,7	11,3
Новосил+Маг-Бор 10 г/л	20,5	93,2	20,4	10,3	12,0	12,0

Корреляционный анализ выявил существенную прямую связь урожайности клубней с высотой ( $r = 0,68$ ), количеством ( $r = 0,73$ ) и массой ( $r = 0,93$ ) растений в кусте, площадью листьев ( $r = 0,86 \dots 0,93$ ) и значениями ФП за межфазные периоды ( $r = 0,77 \dots 0,94$ ). Регрессионный анализ показал, что увеличение в фазе цветения сырой массы растений на 100 г/куст (x) вызывало повышение урожайности клубней ( $y_2$ ) на 6,5 т/га:

$$y_2 = 0,0647x - 12,28; \quad R^2 = 0,8681. \quad (2)$$

Разница между фактической и рассчитанной урожайностью в среднем составила 5,4% или 1,2 т/га, что дает возможность оперативно и с высокой точностью прогнозировать урожайность клубней уже в фазе цветения по массе растений.

Опрыскивание посадок картофеля в фазу цветения регулятором роста Новосил и магниевоборным удобрением повышало товарность клубней в сравнении с контролем на 2,3–3,4%, а их совместное применение – на 0,5–1,5% (см. табл.). Наибольшее влияние на изменчивость показателя оказали погодные условия (56%), в меньшей степени – препараты (30%) и взаимодействие факторов (13%). Корреляционный анализ выявил положительную связь товарности клубней с высотой и массой растений, площадью листьев и ФП в период налива клубней, урожайностью ( $r = 0,24 \dots 0,33$ ), отрицательную – с поражением обыкновенной паршой ( $r = -0,66$ ) и ризоктониозом ( $r = -0,40$ ).

Различия между вариантами по содержанию в клубнях сухого вещества были незначительными, только в варианте Новосил+Маг-Бор 10 г/л наблюдалось снижение показателя на 0,7–1,0%. Достоверное превышение контроля по содержанию в клубнях крахмала и витамина С на 0,5–0,8% наблюдалось в вариантах с обработкой растений Новосилом. По содержанию нитратов в клубнях в большинстве случаев варианты различались незначительно, а их значения были в 1,8–2,3 раза меньше ПДК. Убыль продукции во время хранения клубней изменялась от 7,6 до 16,8% ( $V = 28\%$ ) при среднем значении в контроле

13,5%. Обработка посадок картофеля регулятором роста Новосил снижала убыль продукции при хранении клубней на 2,9%, магниево-борным удобрением на 1,7–2,5% (см. табл.). Влияние погодных условий на изменчивость показателей химического состава клубней и убыли продукции при хранении составило 31–88%, препаратов 5–22%, взаимодействия факторов 3–5%.

Наибольшая прибыль (245–247 тыс. руб./га) и рентабельность (200–201%) получены в вариантах Новосил и Новосил+Маг-Бор 5 г/л, что было больше на 69–71 тыс. руб./га и 21–22%, чем в контроле. В варианте Маг-Бор 5 г/л прибыль и рентабельность превышали контроль на 29 тыс. руб./га и 17% соответственно. При увеличении в два раза концентрации магния и бора в рабочем растворе и опрыскивании им растений (варианты Новосил+Маг-Бор 10 г/л и Маг-Бор 10 г/л), условно чистый доход в первом случае был больше контроля всего на 4,7 тыс. руб./га, во втором – меньше на 4,3 тыс. руб./га, а норма рентабельности снижалась на 8–20%. В условиях засухи из-за низкой урожайности на указанных вариантах прибыль была меньше контроля на 12–27 тыс. руб./га, рентабельность на 12–37%. Наименьшая себестоимость продукции (4,8 тыс. руб./т при 5,2 тыс. руб./т в контроле) и наибольшая окупаемость дополнительных затрат (2,3 раза) получены в вариантах Новосил и Новосил+Маг-Бор 5 г/л.

**Заключение.** В условиях Центральной Якутии обработка посадок картофеля регулятором роста Новосил и в комплексе с Маг-Бор 5 г/л повышает урожайность клубней на 6,4–6,6 т/га (34–35%) за счет увеличения массы растений на 19–24%, площади листьев и фотосинтетического потенциала на 5–7%. При этом увеличивается товарность клубней на 2,3%, содержание в них сухого вещества на 0,2%, крахмала на 0,6%, витамина С на 0,5 мг/100 г, прибыль на 69–71 тыс. руб./га, рентабельность на 21–22%, а себестоимость продукции снижается на 400 руб./т при окупаемости дополнительных затрат в 2,3 раза. Применение магниево-борного удобрения (вариант Маг-Бор 5 г/л) увеличивает урожайность на 2,5 т/га (14%), а при концентрации 10 г/л в засушливых условиях снижает ее на 0,5–0,9 т/га. Наибольший вклад в изменчивость показателей роста, фотосинтетической деятельности растений и урожайности клубней вносят препараты (37–68%), менее значительный – погодные условия (7–26%) и взаимодействие факторов (3–33%). Доля влияния препаратов в изменчивости товарности клубней, их химического состава и убыли при хранении составляет 5–22%, погодных условий 31–88%, взаимодействия факторов 3–5%. Выявлена существенная прямая связь урожайности клубней с высотой ( $r = 0,68$ ) и массой растений ( $r = 0,93$ ) площадью листьев ( $r = 0,86 \dots 0,93$ ) и значениями ФП за межфазные периоды ( $r = 0,77 \dots 0,94$ ). Рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие оперативно и с высокой точностью прогнозировать площадь листьев и урожайность клубней по массе растений в фазе цветения. Разница между фактическими и рассчитанными значениями составляет 4,4–5,4%.

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.*

#### Литература

1. Владимиров В.П. Картофель в лесостепи Поволжья: учеб. пособие. Казань, 2006. 308 с.
2. Державин Л.М. Роль химизации и биологизации земледелия в отечественном производстве сельскохозяйственной продукции и обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации // Агрохимия. 2010. № 9. С. 3–18.
3. Гуревич А.С. Изменение гормонального баланса растений картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) под действием предпосадочной обработки материнских клубней сульфатом меди // Известия КГТУ. 2012. № 27. С. 132–140.
4. Горлова Н.Ю., Мерзлякова В.М., Сентемов В.В. Изучение влияния комплексных соединений и солей микроэлементов на урожайность огурца F1 «Раис» в зимне-весеннем обороте // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 3 (32). С. 17–19.
5. Азаренко Ю.А. Микроэлементы и урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник КрасГАУ. 2013. № 10. С. 56–60.
6. Тимофеева Я.О., Голов В.И., Кошелева Ю.А. Микроэлементы в растениях сои Дальневосточного региона России // Вестник ДВО РАН. 2017. № 2. С. 31–35.



7. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. [и др.]. Агрохимия. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
8. Сентемов В.В., Соколова Е.В., Коконов С.И. Координационные соединения микроэлементов в агропромышленном комплексе Удмуртии: Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. 107 с.
9. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения: М.: Колос, 2002. 320 с.
10. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения взаимосвязи микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири. Омск: Вариант-Омск, 2013. 232 с.
11. Молявко А.А., Марухленко А.В., Борисова Н.П., Белоус Н.М. Применение микроэлементов под меристемный картофель в защищенном грунте // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4 (86). С. 23–28.
12. Галеев Р.Р., Ковалев Е.А., Шульга М.С. Урожайность и качество картофеля в зависимости от применения микроэлементов в северной лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2021. № 1. С. 27–35.
13. Hadi M.R., Taheri R., Balali G. R. Effect of iron and zinc fertilizers on the accumulation of Fe and Zn ions in potato tubers // Journal of Plant Nutrition. 2015. Vol. 38 (2). P. 202–211.
14. Gaj R., Borowski J. Effect of foliar fertilization with potassium and micronutrients on potato yield and quality // Eur. J. Sci. 2020. Vol. 85(6). P. 394–400.
15. Бойнов А.И. Северное земледелие: учеб. пособие. – Якутск, 2007. – 232 с.
16. Карпиленко Г.П., Витол И.С., Гаврилина О.В. Препарат-фиторегулятор «Новосил» и его влияние на белково-протеиназный комплекс пивоваренного ячменя // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.35. № 9. С. 78–83.
17. Шаповал О.А., Можарова И.П. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве // Защита и карантин растений. 2019. № 4. С. 9–14.
18. Вышегуров С.Х. Биологические особенности и интегрированная защита картофеля от болезней и вредителей. Новосибирск: Агро-Сибирь, 2005. 81 с.
19. Бутов А.В., Мандрова А.А. Урожай, качество и сохранность картофеля при использовании регуляторов роста растений // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 2 (45). С. 13–19.
20. Альберт М.А., Петров А.Ф., Шульга М.С., Галеев Р.Р. Особенности использования инновационных регуляторов роста при возделывании картофеля и сои в лесостепи Приобья // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 2 (36). С. 45–51.
21. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021–2025 годы / под ред. Л.Н. Владимировой. Белгород: Изд-во Сангалова К.Ю., 2021. 592 с.
22. Методика исследований по культуре картофеля. М.: Колос, 1967. 263 с.
23. Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. 2006. № 2. С. 98–105.
24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 386 с.
25. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. 222 с.

## EFFICIENCY OF POTATO TREATMENT WITH GROWTH REGULATOR AND MICROFERTILIZER ON PERMAFROST FLOODPLAIN SOILS OF YAKUTIA

T.V. Sleptsova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – Division of Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,

<sup>2</sup>Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, [SleptsovaTV@yandex.ru](mailto:SleptsovaTV@yandex.ru)

*Summary. In the conditions of Central Yakutia on permafrost floodplain sandy loam soil it was shown that treatment of potatoes in the flowering phase with growth regulator Novosil increased tuber yield by 6,4 t/ha (34%), magnesium-boron fertilizer at a dose of 5 g/l – by 2,5 t/ha (14%). In the variant Mag-Bor 10 g/l, the yield on average for three years of research was at the level of control,*

*and under drought conditions decreased by 0.5–0.9 t/ha. The influence of preparations on yield amounted to 68%, weather conditions 26%, interaction of factors 4%.*

*Keywords: potatoes, frozen floodplain soil, growth regulator, microfertilizer, yield, quality, safety.*

УДК 630.114.52

## **ПРОБЛЕМЫ ИЗВЕСТКОВАНИЯ КИСЛЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

**И.Б. Сорокин**

ФГБУ Станция агрохимической службы Томская, Томск, sorokin.ib@mail.ru

**Аннотация.** По данным мониторинга в Томской области 83% пахотных почв являются кислыми. За последние 20 лет увеличилась площадь кислых почв ( $pH < 5$ ) на 26%, а средневзвешенная кислотность пахотных земель ухудшилась на 0,2 единицы. В 2016 году агрохимической службой заложен многолетний стационарный опыт на серой оподзоленной почве, который показывает эффективность химической мелиорации - известкования. При полной дозе (7,2 т/га) внесения известняковой муки за 6 лет средняя прибавка урожая – 4,5 ц/га (22%). При дозах внесения 3,6 т/га прибавка урожая – 2,6 ц/га з.ед. (12,5%). После внесения  $\frac{1}{4}$  дозы (1,8 т/га) – через 5 лет уже не отмечено прибавки урожая.

**Ключевые слова:** известкование, известняковая мука, кислые почвы, кальций.

Продовольственная безопасность страны базируется на эффективной системе земледелия, главным звеном которой является воспроизводство почвенного плодородия. Понятие плодородия почв и повышение урожайности тесно связано с регулированием кругооборота веществ в земледелии. Это особенно относится к такому важнейшему элементу, как кальций, который В.Р. Вильямс назвал "стражем" плодородия, но этот элемент занимает первое место по миграции из корнеобитаемого слоя.

Декальцирование почв является началом их деградации. Недостаток кальция в почве обуславливает избыточную кислую среду для растений, снижение содержания и подвижности элементов питания, биологической активности почвы, уменьшение содержания гумуса, снижение эффективности удобрений, ухудшение качества растениеводческой продукции. Сельскохозяйственное производство с устойчиво высокими урожаями культур ведет к резкому повышению расхода кальция и магния из почв. Этим и объясняется расширение площадей кислых почв. Восполняются потери кальция в кислой почве путем известкования. Известкование – неизбежный шаг на пути дальнейшего повышения урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства на кислых почвах, как в интенсивном, так и в органическом земледелии [1–3].

Наиболее высокие темпы известкования кислых почв в Томской области были в 1985–1990 гг. – 77 тыс. га. В настоящее время в области наблюдается некоторый рост площадей известкования: в 2018 году произвестковано 0,076 тыс. га, а в 2022 году – 0,150 тыс. га, но этого явно недостаточно для решения проблемы кислых почв. По данным гос. мониторинга в Томской области за 20 лет увеличилась площадь кислых почв ( $pH < 5$ ) на 26%, а средневзвешенная кислотность пахотных земель ухудшилась на 0,2 единицы. В настоящее время 83% пахотных почв являются кислыми. В сущности, идет процесс трансформации почв с нейтральной реакцией среды в направлении от слабой до сильной степени кислотности. Процесс ухудшения кислотного режима обусловлен практически полным прекращением известкования почв к середине 90-х годов.

В области 519,630 тыс. га кислых почв, для известкования которых потребуется около 3,5 млн. т карбоната кальция. В качестве известковых материалов целесообразнее всего использовать известняковую муку.

Основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в области, относятся к культурам, очень чувствительным к повышенной кислотности. Правильно проведенное известкование может оказывать положительный эффект на урожайность этих культур в течение 8–10 лет [4, 5].

В 2019 году Министерством сельского хозяйства России была активизирована работа по возобновлению известкования на кислых почвах. Этому были посвящены ряд мероприятий. Например, проводились еженедельные совещания в режиме видео конференций со всеми регионами России с четкой постановкой задач и отчетами о выполнении. Наиболее важным стимулом стало введение государственной поддержки по возмещению из федерального бюджета 90% затрат на известкование кислых почв в 2019–2020 годах. Аграрии прониклись важностью этого мероприятия для восстановления почвенного плодородия.

В Томской области была проведена большая работа по разработке Государственной программы "Химическая мелиорация - известкование кислых почв на территории Томской области на 2019–2025 годы", а также приняты меры для выполнения вышеуказанной Программы:

- по данным агрохимического обследования ежегодно составляли план известкования по сельхозтоваропроизводителям, работающим на кислых почвах;

- проведены десятки областных и районных совещаний, на которых был доведен и согласован с сельхозтоваропроизводителями план известкования, доведена информация о поставщиках мелиорантов, ценах, технологии внесения, экономической и агрономической эффективности известкования, о государственной поддержке (субсидиях на возмещение затрат) и необходимых документах для получения субсидии, проанализирована информация о технике для внесения и необходимых ее закупках и др. вопросы;

- Томской агрохимической службой разработано и опубликовано «Методическое пособие по известкованию кислых почв в Томской области». Эти брошюры доведены до специалистов и руководителей АПК, также проводились индивидуальные консультации; были разработаны проектно-сметные документации (ПСД) на весь объем планируемого известкования.

Однако программа химической мелиорации была сорвана по причине отсутствия зарегистрированного мелиоранта в Сибирском регионе.

Ближайшее производство известняковой муки ООО "ТТК Сибирский альянс", подавшее в январе 2019 году заявку на регистрацию мелиоранта, расположено в п. Топки Кемеровской области (130 км от Томска), Другие поставщики зарегистрированных мелиорантов расположены на расстоянии более 2000 км. Соответственно цена известняковой муки с учетом доставки возрасала от 1500 до 6000 руб. за тонну. Такое увеличение затрат оказалось несопоставимо с финансовыми возможностями большинства сельхозтоваропроизводителей.

Регистрация известняковой муки ООО "ТТК Сибирский альянс", даже с непосредственной поддержкой профессионалов агрохимиков России, заняло nepозволительно долгое время в Росприроднадзоре (более 2-х лет).

Руководителю Федеральной службы по надзору в сфере природопользования были направлены письма от глав областей СФО с просьбой сократить сроки регистрации данного мелиоранта, необходимого для выполнения Государственной программы известкования в Сибирском регионе. Вызывает недоумение, почему агрохимикат природного происхождения - известняковая мука (карбонат кальция), который во всем мире разрешен к применению даже в экологическом органическом производстве, был подвергнут такой длительной проверке и перепроверке параметров уже подтвержденных уважаемыми институтами РАН, которые оперативно провели свою часть работы в регистрации данного мелиоранта. Может настало время оптимизировать количество проверяющих организаций и их функциональные обязанности?

Наконец, в июне 2021 года было получено свидетельство о регистрации известняковой муки Топкинского месторождения Кемеровской области. Но время было упущено: утратили актуальность сделанные ранее проектно-сметные документы на внесение мелиоранта, отменили гос. поддержку сельхозтоваропроизводителям в виде 90% возмещения затрат на химическую мелиорацию, органы власти переключились на выполнение других задач.

В настоящее время работа по продвижению известкования кислых почв агрохимиками продолжается: увеличилась площадь известкования от 76 га в год до 150 га в год, но для выполнения программы известкования необходимо известковать в год до 10% кислых почв, что составляет (только для используемой пашни) в Томской области более 30 тыс. га в год.

Томским институтом переподготовки кадров и агробизнеса разработана программа обучения по теме химической мелиорации кислых почв и ежегодно проводится обучение

специалистов сельского хозяйства. Агрохимическая служба разрабатывает проектно-сметную документацию, участвует в повышении квалификации, проводит агроэкологические обследования, осуществляет контроль за качеством работ по известкованию, анализирует корма, а также проводит научно - практические исследования по повышению эффективности химической мелиорации в местных условиях.

Для изучения влияния разных доз известняковой муки на плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в 2016 году сотрудниками Томской агрохимической службы заложен многолетний стационарный опыт на серой оподзоленной тяжелосуглинистой почве.

**Объекты и методы исследования.** Объекты исследований - почвенный покров пахотных земель Томской области, известняковая мука, данные многолетних агрохимических обследований.

Лабораторные испытания проведены по следующим стандартам: ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО; ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности; ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова; ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом; ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО; ГОСТ 26213-91 Почвы. Определение органического вещества.

Почва опытного поля серая лесная, характеризуется сильнокислой реакцией среды (рН<sub>KCl</sub> 4,4–4,5), слабой гумусированностью (2,6%); содержание нитратного азота высокое (28,3 мг/кг почвы), подвижного фосфора - высокое (171 мг/кг), обменного калия – низкое (52 мг/кг).

Дозы внесения известняковой муки: полная доза – 7,2 т/га (рассчитана на основе агрохимических данных), ½ и ¼ от полной дозы – 3,6 т/га и 1,8 т/га. Статистическая обработка проведена с помощью программы Снедекор.

**Обсуждение результатов.** При дозе внесения 7,2 т/га отмечена максимальная прибавка урожая – 4,45 ц/га (21,6 %). При дозах внесения 3,6 т/га и 1,8 т/га прибавки урожая составили 2,6 ц/га з.ед. (12,5%) и 1,4 ц/га з.ед. (6,9%) соответственно (табл.). Однако следует отметить, что в 2021 году при внесении ¼ дозы мелиоранта уже не отмечено прибавки урожая.

Таблица. Урожайность сельскохозяйственных культур при внесении разных доз извести, 2017–2021гг.

Вариант	Урожайность, ц/га (зерновых единиц)								
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	среднее	откл.	
								ц/га	%
1. Контроль	24,4	13,7	21,3	22,4	22,2	19,4	20,57	-	-
2. Известь – 7,2 т/га	31,8	21,7	24,5	26,1	25,7	20,3	<b>25,02</b>	<b>4,45</b>	<b>21,63</b>
3. Известь – 3,6 т/га	28,3	15,7	23,5	25,4	24,3	21,6	<b>23,13</b>	<b>2,57</b>	<b>12,50</b>
4. Известь – 1,8 т/га	26,3	15,3	23,5	24,9	22,3	19,6	<b>21,98</b>	<b>1,42</b>	<b>6,90</b>
НСР <sub>05</sub>	3,8	3,8	1,6	2,5	1,7	3,0		1,24	

Общее снижение существенной разницы между контролем и вариантами с известкованием в 2022 году обусловлено сменой на опытном поле выращивания зерновых культур на многолетние травы, которые менее восприимчивы к кислотности почвы.

Существенное увеличение на 3% содержания белка в зерне отмечено в варианте с дозой извести 7,2 т/га. Известно, что дефицит белка и углеводов в рационах кормления восполняется добавлением концентрированных кормов (шротов, жмыха и др.), которые, как правило, хозяйства покупают дополнительно. При повышении содержания белка в зерне, которое выращивается в хозяйстве, эти затраты можно существенно сократить. Кроме повышения качества зерна, на землях, удобренных карбонатом кальция, также повышается качество грубых кормов, что позволит сократить применение концентратов в кормлении КРС. В свою очередь, качественные грубые корма позволят избежать такого тяжелого расстройства организма коров, как лактатный ацидоз, который часто проявляется при избыточном кормлении концентратами.



Очень важен и сам Кальций – это незаменимый элемент для правильного роста и развития растений, а также животного организма. Животным кальций необходим для построения тканей костей и для выработки молока. У коров в начальный период лактации часто проявляется гипокальцемия (острый недостаток кальция), которая плохо поддается восстановлению с помощью искусственных добавок кальция в корма, но практически не возникает, если кальция достаточно содержится в грубых кормах.

**Заключение.** Известкование существенно повышает содержание кальция в грубых кормах, поэтому напрямую влияет на молочную продуктивность и здоровье коров. Существенное увеличение на 3% содержания белка в зерне отмечено в варианте с дозой извести 7,2 т/га. А также качественные продукты питания - залог здоровья человека.

В среднем за 6 лет при полной дозе внесения известняковой муки 7,2 т/га отмечена максимальная прибавка урожая – 4,5 ц/га (22%). При дозах внесения 3,6 т/га и 1,8 т/га прибавки урожая составили 2,6 ц/га з.ед. (12,5%) и 1,4 ц/га з.ед. (7%) соответственно.

На пятый год (2021г.) после внесения  $\frac{1}{4}$  дозы (1,8 т/га) мелиоранта уже не отмечено прибавки урожая. Очевидно, такая доза известняковой муки обеспечивает прибавку урожая четыре года после внесения.

Ещё одно не учитываемое при расчетах экономической эффективности следствие известкования – улучшение экологической ситуации сельскохозяйственных угодий.

#### Литература

1. Бакина Л.Г., Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Изменение содержания и состава гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном полевом опыте по известкованию // Почвоведение. 2011г. № 5. С. 572–581.
2. Бездудная А.Г., Трейман М.Г. Известкование кислых почв как один из показателей решения региональных экологических проблем Северо-Западного региона / Биологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы. Мат-лы 5-ой Междунар. научно-практ. конф. (Самара 14 декабря 2014г). Изд-во: Самарский государственный социально-педагогический университет. 2016г. С. 202–206.
3. Гладышева О.В., Пестряков А.М., Полянский С.Я. Химическая мелиорация в системе мер повышения плодородия и продуктивности почв Нечерноземной зоны // Вестник Верхневолжья. 2016г. № 2 (34). С. 25–30.
4. Сорокин И.Б., Сиротина Е.А. Известкование – один из факторов повышения плодородия почв Томской области // Агрохимический вестник. 2019. Т.1. №1. С. 7–10.
5. Чекмарев П.А., Сорокин И.Б., Катаев М.Ю. Агроэкологическое состояние пахотных земель Томской области и перспективы применения методов дистанционного зондирования Земли // Земледелие. 2017. № 5. С. 7–10.

#### PROBLEMS OF LIMING ACIDIC SOILS IN THE TOMSK REGION

I.B. Sorokin

FGBI Agrochemical Service Station Tomsk, Tomsk,  
sorokin.ib@mail.ru

*Summary.* According to monitoring data in the Tomsk region, 83% of arable soils are acidic. Over the past 20 years, the area of acidic soils ( $pH < 5$ ) has increased by 26%, and the weighted average acidity of arable land has deteriorated by 0,2 units. In 2016, the agrochemical service laid down many years of stationary experience on gray podzol soil, which shows the effectiveness of chemical reclamation liming. With a full dose (7,2 t/ha) of limestone flour for 6 years, the average yield increase is 4,5 c/ha (22%). At doses of 3.6 t/ha, the yield increase is 2,6 c/ha of grain units (12,5%). After applying a  $\frac{1}{4}$  dose (1,8 t / ha) - after 5 years, there was no increase in yield.

*Keywords:* liming, limestone flour, acidic soils, calcium.

УДК 634.0.114

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ЗАЛЕЖЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

О.А. Сорокина

ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», Красноярск, geos0412@mail.ru

***Аннотация.** Обсуждены материалы многолетних исследований в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи по оценке трансформации показателей потенциального и эффективного плодородия серых почв залежей при их освоении в пашню, использовании под сенокос и зарастании сосновым лесом. По статистическому показателю силы влияния (ПСВ, %) факторов установлен более существенный вклад характера использования залежи в изменение биогенных и агрофизических свойств почв по сравнению со свойствами, определяющими состояние почвенно-поглощающего комплекса.*

***Ключевые слова:** плодородие, залежь, постагrogenная серая почва, освоение, зарастание лесом, вклад факторов, характер использования.*

Одним из последствий экономического кризиса перестройки в Российской Федерации явилось резкое увеличение площади залежных земель. Консервация земель и луговых угодий в Сибири привела к очень быстрой смене сукцессии растительного покрова, а также зарастанию лесом залежей основных округов земледельческой части. Определение перспективных направлений исследования земель, выведенных из оборота, причем не только в традиционном сельскохозяйственном русле, но значительно шире, в плане минимизации негативного экологического воздействия – важнейшее направление стратегического планирования и управления ландшафтами [1, 2].

Залежные почвы включаются в процесс постагrogenной трансформации, которая в целом направлена на восстановление свойств и морфологических признаков, соответствующих естественно сформированным почвам [3, 4]. Постагrogenные сукцессии отражаются на динамике всего комплекса свойств почв. В результате происходит кардинальное изменение закономерностей формирования и функционирования почв, что в свою очередь приводит к эволюции и существенному изменению их экологических функций [5, 6]. В этой связи отслеживать изменение основных показателей плодородия почв бывших залежей при различном направлении их использования – одна из насущных задач мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. В условиях Красноярского края эта проблема остается малоизученной [7].

Исследования проводились в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи на серых постагrogenных почвах залежей при различном направлении их использования с 2012 по 2022 гг.

Были выбраны сопоставимые пары чистых залежей и залежей, используемых под пашню, сенокос, а также зарастающих молодым сосновым лесом, расположенные на близком расстоянии в одинаковых геоморфологических условиях. Пробные площадки разбивали на 10 элементарных участков (ЭУ). С каждого ЭУ отбирали представительный (смешанный) образец почвы из слоев 0–10 и 10–20 см, для составления которого отбирали не менее 20 индивидуальных (точечных) проб.

Изучен комплекс показателей эффективного и потенциального плодородия, характеризующий биогенные свойства, состояние почвенно-поглощающего комплекса, агрофизические свойства и содержание минеральных элементов питания. Определяли следующие почвенно-агрохимические показатели: гумус по Тюрину, общий азот (N<sub>общ</sub>) по Кьельдалю, отношение углерода к азоту (C:N), актуальную (pH<sub>H2O</sub>) и обменную (pH<sub>KCl</sub>) кислотность ионометрически, гидролитическую (H<sub>г</sub>) кислотность по Каппену, сумму обменных оснований (S) по Каппену-Гильковицу, степень насыщенности основаниями (V) расчетом, нитратный азот (N-NO<sub>3</sub>) с дисульфифеноловой кислотой в модификации Шаркова, аммонийный азот (N-NH<sub>4</sub>) с реактивом Несслера, подвижный фосфор (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и обменный калий (K<sub>2</sub>O) по Кирсанову. Структура почвы определялась методом сухого просеивания по Саввинову, плотность сложения методом взятия почвенных проб в металлических цилиндрах с ненарушенным сложением по Качинскому. Подсчитывалась сумма агрономически ценных фракций (АЦФ).

Чтобы установить, какой фактор (характер использования залежи или регион исследования) больше повлиял на различия свойств постагрогенных серых почв в слое 0–20 см подсчитали показатель силы влияния (ПСВ, %), указывающий на зависимость свойств почв от этих факторов. За фактор "Тип" принята: чистая залежь; залежь, повторно введенная в пашню; залежь, используемая в качестве сенокоса; залежь, зарастающая сосновым лесом. Приведены обобщенные результаты изучения комплекса показателей плодородия постагрогенных серых почв в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи (фактор - "Регион") и представлено их взаимодействие. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программы MS Excel, а также с помощью пакета StatSoft® STATISTICA 6.0.

По комплексу природных условий указанные лесостепи несколько отличаются друг от друга. Более благоприятными гидротермическими условиями характеризуется Ачинско-Боготольская лесостепь (ГТК 1,2–1,4). В зоне расположения объектов исследования Красноярской лесостепи отмечается периодический дефицит увлажнения, величина ГТК колеблется от 0,8 до 1,2. Запасы надземной фитомассы выше в биоценозах Ачинско-Боготольской лесостепи. Серые почвы здесь отличаются более высоким плодородием по сравнению с Красноярской лесостепью [8].

Генетическое единство постагрогенных серых почв объектов исследования очевидно. Оно отражается в абсолютной идентичности морфологических признаков иллювиальных горизонтов и почвообразующей материнской породы. Различия проявляются только в серогумусовом горизонте верхней части профиля.

В таблице 1 приведены результаты дисперсионного анализа показателей потенциального плодородия серых почв (в слое 0–20см) по типу использования залежей в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи.

Таблица 1. Вклад факторов в различия показателей потенциального плодородия постагрогенных серых почв залежей (слой 0–20см) в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи (n=10)

Фактор	Показатель плодородия	Показатель силы влияния фактора, %	Уровень значимости, p
Тип	Гумус, %	60,7	нет
Регион		1,6	<0,001
Взаимодействие факторов		13,0	<0,01
Тип	N общ., %	48,4	нет
Регион		11,9	<0,001
Взаимодействие факторов		21,3	нет
Тип	C:N	12,7	<0,01
Регион		41,0	нет
Взаимодействие факторов		21,8	<0,001
Тип	S, м-моль/100г	38,8	нет
Регион		22,9	нет
Взаимодействие факторов		13,5	<0,01
Тип	pH <sub>H2O</sub>	37,3	нет
Регион		42,2	нет
Взаимодействие факторов		10,9	<0,001
Тип	pH <sub>KCl</sub>	32,3	нет
Регион		44,8	нет
Взаимодействие факторов		10,1	<0,001
Тип	Hg, м-моль/100г	10,6	нет
Регион		84,8	нет
Взаимодействие факторов		2,8	нет
Тип	V, %	4,6	<0,001
Регион		81,8	нет
Взаимодействие факторов		3,5	<0,001

В большинстве случаев увеличение гумуса в постагрогенных серых почвах залежи и сенокоса Красноярской лесостепи по результатам наших исследований является статистически доказуемым. При освоении залежей и введении их в пашню содержание гумуса резко снижается, что связано с механическими потерями органического вещества при работе почвообрабатывающей техники. Со времен классических работ В.В. Докучаева установлено, что основные потери гумуса (от 15–20% до 50–70%) происходят при освоении и дальнейшем сельскохозяйственном использовании почв, а также при развитии эрозионных процессов.

Наибольшие потери гумуса наблюдаются в два-три первых десятилетия. Факты сохранения или накопления гумуса в освоенных пахотных почвах отмечаются значительно реже, в основном при систематическом внесении органических удобрений. Особенно значительные различия установлены между почвами залежи и пашни. ПСВ вклада фактора направления использования залежи по содержанию гумуса составляет 60,7% (табл. 1). Для постагрогенных серых почв залежей Ачинско-Боготольской лесостепи характерны такие же закономерности, как в Красноярской лесостепи. Они выражаются в существенном снижении содержания гумуса, валового азота, расширении отношения углерода к азоту, уменьшении суммы обменных оснований при вовлечении залежей в пашню. Установлено характерное слабое подкисление серых почв залежей под восстанавливающимся сосновым лесом по сравнению с чистой залежью, а также увеличение содержания гумуса в самом верхнем слое и незначительное уменьшение степени насыщенности основаниями.

Различия актуальной ( $pH_{H_2O}$ ), обменной ( $pH_{KCl}$ ) и гидролитической кислотности ( $H_g$ ) определяются спецификой физико-географических особенностей природного округа. ПСВ по формам и видам кислотности максимальное и составляет от 42,2 до 84,4 % в зависимости от региона, а не от характера использования залежи. Состояние почвенно-поглощающего комплекса характеризуется по величине степени насыщенности основаниями ( $V$ , %). Вполне логично, что такая же закономерность отмечена и для этого показателя. Установлено, что различия физико-химических свойств определяются спецификой физико-географических особенностей природных округов, генетическими особенностями почв, а не характером использования залежи.

Содержание нитратного и аммонийного азота в большей степени зависит от характера повторного использования залежи (ПСВ от 26 до 89%), а не от района исследований (табл. 2). Проявляется более существенное влияние резкой смены экологических условий при агрогенных воздействиях на основные показатели эффективного плодородия почв.

Таблица 2. Вклад факторов в различия показателей эффективного плодородия постагрогенных серых почв залежей (слой 0–20см) в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи ( $n=10$ )

Фактор	Показатель плодородия	Показатель силы влияния фактора, %	Уровень значимости, $p$
Тип	N-NO <sub>3</sub>	26	<0,01
Регион		13,8	<0,001
Взаимодействие факторов		11,4	<0,001
Тип	N-NH <sub>4</sub>	89,3	нет
Регион		0,8	<0,001
Взаимодействие факторов		2,2	<0,001
Тип	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11,3	<0,01
Регион		59,8	нет
Взаимодействие факторов		5,8	<0,001
Тип	K <sub>2</sub> O	23,7	<0,01
Регион		43,2	нет
Взаимодействие факторов		23,1	<0,01



При вовлечении залежей в пашню активизируются процессы минерализации органического вещества, при этом значительная часть аммонийного азота быстро подвергается нитрификации за счет аэрации почвы.

Обеспеченность элементами фосфорного и калийного питания в целом несколько выше в почве чистой залежи и под восстанавливающимся сосновым лесом по сравнению с распаханymi участками и сенокосом, особенно в слое 0–10 см, что указывает на биогенную аккумуляцию этих элементов в самом верхнем слое. Освоение залежей и их дальнейшее использование в пашне несколько снижает в почве содержание подвижного фосфора и обменного калия. По всем изученным показателям эффективного плодородия почвы залежей, используемых под сенокос, занимают промежуточное положение.

Таблица 3. Вклад факторов в различия агрофизических свойств постагрогенных серых почв залежей (слой 0-20см) в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи (n=10)

Фактор	Показатель плодородия	Показатель силы влияния фактора, %	Уровень значимости, p
Тип	АЦФ, %	42,2	нет
Регион		37,3	нет
Взаимодействие факторов		10,9	<0,001
Тип	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	44,8	нет
Регион		32,3	нет
Взаимодействие факторов		10,1	<0,001

Существенное возрастание доли АЦФ установлено в почвах залежей всех объектов исследования, зарастающих лесом, где содержание этих фракций в самом верхнем слое почвы достигает 80 и более процентов. При этом значительно уменьшается доля глыбистой фракции, характерной для почв чистых залежей, особенно в самом верхнем слое. Максимальное количество глыб отмечено на сенокосе, что связано с более высокой плотностью сложения почвы за счет уплотняющего действия техники при сенокосении. Содержание пылевой фракции в почвах всех сравниваемых объектов очень низкое, что также оптимизирует свойства почвы. При распашке залежи и на сенокосе структурное состояние почв в обоих слоях несколько ухудшается в сравнении с почвой залежи, но также оценивается как «отличное». Содержание АЦФ составляет здесь от 71,3% до 75,8%. На залежах, зарастающих лесом, происходит уменьшение плотности сложения.

Из таблицы 3 следует, что содержание агрономически ценных фракций и величина плотности сложения в большей степени зависят от характера повторного использования залежи (ПСВ от 42,2 до 44,8 %), а не от района исследований. Это говорит о существенном влиянии резкой смены экологических условий при агрогенных воздействиях на агрофизические свойства почв. В то же время, обнаруживается достаточно существенная связь агрофизических свойств со спецификой региона исследований и генетическими особенностями тяжелосуглинистых серых почв, сформированных на коричнево-бурых глинах.

При освоении и механической обработке почвы залежи выравнивается пространственная пестрота показателей эффективного плодородия за счет нивелирования куртинистости напочвенного травянистого покрова и подземной массы органических остатков, характерных для чистых залежей и сенокосов. На вовлеченных и освоенных в пашню залежах уменьшается величина коэффициента пространственного варьирования большинства показателей почвенного плодородия, снижая "пестрополье", повышая качественное состояние почвы при одновременной трансформации количественных показателей.

По комплексной оценке плодородия почвы и продуктивности биоценозов оптимальными показателями характеризуются чистые залежи обоих районов исследования. В Ачинско-Боготольской лесостепи почвы залежей при всех характерах использования отличаются более высоким плодородием. При освоении залежей и использовании их под посевы в обоих районах установлена достаточно высокая урожайность сельскохозяйственных культур, которая близка

к средней по Красноярскому краю. Продуктивность травянистой фитомассы чистых залежей в пересчете на сухое вещество ниже, что позволяет сделать вывод об эффективности повторного освоения залежей и дальнейшего их использования в сельскохозяйственном производстве.

### Литература

1. Владыченский А.С., Телеснина В.М., Чалая Т.А. Изменение экологических функций постагрогенных почв. //Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Томск, 2010. Т. II. С. 32–38.
2. Иванов Д.А., Ковалев Н.Г. Почвенно-агроэкологическое исследование процессов трансформации агроэкосистем при различном использовании. //Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. //Материалы Всерос. научн. конф. Москва, 2008. С. 299–303.
3. Зыбалов В.С., Кокорева М.Н. Агроэкологическая оценка агроценозов и залежных почв южной лесостепи Челябинской области. //Вестник ЧГАУ, 2005. Т. 45. С. 91–93.
4. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваяева Н.А., Нефедова Т.Г., Денисенко Е.А. Закономерности вывода из оборота сельскохозяйственных земель России и мире и процессы постагрогенного развития залежей. //Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. Москва, 2008. С. 45–71.
5. Кузнецова И.В. Тихонравова П.И., Бондарев А.Г. Кузнецова И.В. Изменение свойств залежных серых лесных почв. //Почвоведение, 2009. №9. С. 1142–1150.
6. Овчинникова М.Ф., Перова И.А., Карева О.В., Макаров О.А. Изменение свойств дерново-подзолистой почвы в постагрогенный период //Агрохимический вестник. №1, 2013. С. 2–5.
7. Сорокина О.А. Постагрогенная трансформация серых почв залежей. Красноярск / изд-во ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, 2016. 239 с.
8. Бугаков П.С. Агрономическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края. Красноярск, 1995. 174 с.

### TRANSFORMATION OF THE FERTILITY OF POSTAGROGENIC SOILS IN FALLOWERS UNDER DIFFERENT USE

O.A. Sorokina

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Krasnoyarsk State Agrarian University", geos0412@mail.ru

*Summary. The materials of long-term studies in the Krasnoyarsk and Achinsk-Bogotol forest-steppes on the assessment of the transformation of indicators of the potential and effective fertility of gray fallow soils during their development into arable land, use for haymaking and overgrowing with pine forests are discussed. According to the statistical indicator of the strength of influence (PSV, %) of factors, a more significant contribution of the nature of the use of the fallow to the change in the biogenic and agrophysical properties of soils was established in comparison with the properties that determine the state of the soil-absorbing complex.*

*Keywords: fertility, fallow, post-agrogenic gray soil, development, overgrowing with forest, contribution of factors, nature of use.*

УДК 631.811.2

## ПРОБЛЕМЫ ПОЧВЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ФОСФОРНОГО ПИТАНИЯ ЗЕРНОВЫХ НА ЧЕРНОЗЁМАХ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

Г.И. Ткаченко

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, da012gala@mail.ru

***Аннотация.** Представлены результаты изучения 3 химических методов для периодической диагностики фосфорного питания зерновых на чернозёме выщелоченном Новосибирского Приобья. Из испытанных методов, метод Николова наиболее отчётливо оценивал фосфатное состояние почвы, о чём свидетельствует высокое положительное действие фосфорных удобрений на урожай яровой пшеницы.*

***Ключевые слова:** чернозём, почва, фосфор, метод, содержание, дозы, удобрение, урожай.*

Важнейшим условием эффективного применения минеральных удобрений является грамотная оценка состояния плодородия почвы. В этой связи возрастает значение точной диагностики минерального питания. Имеющаяся научная информация по фосфатному состоянию почв юга Западной Сибири и доступности его растениям не позволяет в полной мере судить о характере превращения фосфора и эффективности вносимых удобрений. Связано это с отсутствием надёжных методов оценки доступных растениям фосфатов на пахотных почвах.

На некарбонатных чернозёмах для периодической оценки условий фосфорного питания сельскохозяйственных культур в качестве стандарта в нашей стране рекомендован метод Чирикова [1]. Практическое использование данного метода в полевых исследованиях сибирского региона выявило несоответствие между обеспеченностью почв фосфором и эффективностью удобрений. На почвах с повышенным и даже высоким содержанием  $P_2O_5$  отмечалось положительное действие фосфорсодержащих туков [2, 3]. Причиной этого является высокая доля недоступных растениям трёхосновных соединений  $Ca^{**}$ , которые извлекаются 0,5 н уксусной кислотой [4]. Только в западной части региона вытяжка Чирикова отражает реальную обеспеченность почв для зерновых культур [5]. Для решения проблемы периодической диагностики фосфорного питания на почвах Новосибирской области проведена большая методическая работа, на основе которой откорректирована рекомендованная шкала [6]. Однако этот подход так и не решил проблемы диагностики минерального питания.

По данным ряда зарубежных авторов [7] в аграрной практике для диагностики фосфорного питания, вместо кислотных, используются солевые и буферные вытяжки. Данный подход в решении проблемы периодической диагностики питания определил цель наших исследований – выбрать адекватный химический метод обеспеченности почвы подвижным фосфором. Задачи исследований:

1. Испытать 3 химических метода определения подвижного  $P_2O_5$  в почве;
2. Определить отзывчивость методов в условиях вегетации яровой пшеницы;
3. Дать оценку исследованных методов.

Исследования проводили в 2022 г. на чернозёме выщелоченном Новосибирского Приобья в Ордынском (МО «Пролетарский сельский совет») районе Новосибирской области.

Варианты опыта: 1 – НК (контроль); 2 – НКР30; 3 – НКР60; 4 – НКР90. Дозы азотных и калийных удобрений – из расчёта 60 кг д.в./га. Из азотных туков применяли аммиачную селитру, калийных – калий хлористый, фосфорных – аммофос. Площадь делянки в опытах – 9 м<sup>2</sup>, повторность – 4-х кратная. Удобрения вносили разбросным способом, заделывали в почву. Высевалась яровая пшеница сорта Новосибирская 31. При закладке и по окончании опыта отбирали почвенные образцы из пахотного слоя. Подвижный фосфор в почве определяли следующими химическими методами (табл. 1): Чирикова (0,5 н.  $CH_3COOH$ ) [1], Карпинского-Замятиной (0,03 н.  $K_2SO_4$ ) [1] и Николова (аммоний яблочнокислый, рН 5,7) [8].

Исследуемая почва характеризуется значительным потенциальным плодородием (табл. 2). Содержание гумуса, валовых количеств азота, фосфора и калия, в целом, характерны для почв чернозёмного ряда. Количество обменного калия очень высокое, нитратного азота после парования почвы – среднее.

Таблица 1. Шкалы обеспеченности почв подвижным фосфором для разных методов, мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /кг

Степень обеспеченности растений фосфором	Метод Чирикова		Методы	
	шкала агрохим-службы	шкала Л.П. Антипиной для Приобья	Карпинского - Замятиной	Николова
Очень низкая	< 20	-	-	-
Низкая	21-50	40-120	< 0,35	< 17
Средняя	51-100	120-190	0,36-0,65	18-35
Повышенная	101-150	-	0,66-1,0	36-52
Высокая	151-200	> 250	> 1,0	> 52
Очень высокая	> 200	-	-	-

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Показатели для слоя 0-20 см	Содержание, обеспеченность
Гумус, %	6,8
Азот общий, %	0,33
Фосфор валовой, %	0,16
Калий общий, %	1,08
pH водн.	7,25
N-NO <sub>3</sub> , мг/кг для слоя 0-40 см	13,1 (средняя)
K <sub>2</sub> O по Чирикову, мг/кг	398,4 (очень высокая)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> по Чирикову, мг/кг	90,0 (средняя)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> по Карпинскому, мг/кг	0,37 (средняя)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> по Николу, мг/кг	14,6 (низкая)

По содержанию доступного фосфора по методу Чирикова обеспеченность зерновых культур на этой почве оценивается как средняя. Содержание элемента по методу Карпинского также среднее. Метод Николова свидетельствует о низком исходном количестве P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Внесение P30 повысило сбор зерна на 16 % (табл. 3). Удвоение дозы не способствовало значительному увеличению сбора зерна. Максимальная эффективность тука отмечена в варианте P90. Урожайность зерна пшеницы здесь повысилась на 50 %. С увеличением дозы тука закономерно повышался вынос фосфора.

Таблица 3. Урожайность и вынос фосфора яровой пшеницей в полевом опыте на чернозёме при внесении фосфорного удобрения

Показатель	NK	NK+ P30	NK + P60	NK + P90
Урожайность, т/га	1,64	1,90	1,95	2,46
Прибавка к NK, т/га	-	0,25	0,31	0,82
Прибавка к NK, %	-	16	19	50
НСР <sub>05</sub> частных средних	0,19			
Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> с биомассой, кг/га	10,1	12,4	13,3	20,0

Структурный анализ урожая яровой пшеницы позволил выявить роль отдельных элементов в его формировании (табл. 4). Установлено, что количество растений не зависело от дозы вносимого удобрения. В условиях вегетации 2022 г. яровая пшеница практически не кустилась. Отмечалось лишь достоверное повышение этого показателя на максимальной дозе аммофоса – 90 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.



Таблица 4. Влияние фосфорных удобрений на формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы на чернозёме выщелоченном в Новосибирском Приобье

Вариант опыта	Количество растений, млн/га	Коэффициент кущения	Масса зерна, г	
			1 колоса	1000 зёрен
NK	3,17	1,00	0,525	29,9
NKP30	3,46	1,01	0,566	31,0
NKP60	3,14	1,01	0,647	31,8
NKP90	3,49	1,03	0,715	32,0
НСР <sub>05</sub> частных средних	0,55	0,02	0,105	0,87

Добавочный фосфор не влиял на массу 1000 зёрен. Между тем, отчётливо прослеживалась значимость массы 1 колоса в росте урожайности зерна. Повышение дозы фосфора с 60 до 90 кг увеличивало массу зерна 1 колоса в сравнении с контролем с 23 до 36 %, соответственно.

Данные по динамике содержания фосфора в почве позволили дать предварительную оценку объективности изучаемых методов диагностики условий фосфорного питания растений (табл. 5). Согласно методу Чирикова, содержание фосфора в почве не изменялось в зависимости от варианта опыта. От весны к осени, независимо от характера удобренности, оно оставалось средним. Метод Карпинского-Замятиной был более чувствителен к фосфатному состоянию почвы. В вариантах без внесения фосфорного удобрения и низких его дозах чётко прослеживалась сезонная убыль фосфора в посевах пшеницы. На фоне P90 содержание элемента оставалось стабильным в течение сезона.

Таблица 5. Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см при разных дозах фосфорных удобрений

Вариант опыта	Метод Чирикова		Метод Карпинского		Метод Николова	
	мг/кг	обеспеченность	мг/кг	обеспеченность	мг/кг	обеспеченность
Весной перед закладкой опыта						
Фон	90	средняя	0,37	средняя	14,6	низкая
Осенью после уборки урожая						
NK	74	средняя	0,10	низкая	8,7	низкая
NKP30	79	средняя	0,21	низкая	9,7	низкая
NKP60	84	средняя	0,33	низкая	13,4	низкая
NKP90	84	средняя	0,38	средняя	18,4	средняя

При анализе почвы методом Николова было установлено, что в почве на контрольном варианте, а также P30 и P60 наблюдалось снижение содержания фосфора в течение вегетации, что связано с выносом его растениями. Разовое внесение в почву 90 кг д.в. удобрения способствовало накоплению подвижного фосфора. В верхнем 20-см слое почвы осенью здесь было обнаружено среднее количество элемента.

Изложенные выше результаты позволяют сделать следующее заключение: на чернозёме выщелоченном Новосибирского Приобья при отсутствии нуждемости растений в добавочном внесении фосфора по Чирикову, метод Николова наиболее адекватно оценивал условия фосфорного питания пшеницы. Об этом свидетельствует высокое положительное действие фосфорных удобрений на урожай зерна яровой пшеницы.

#### Литература

1. Агрохимические методы исследования почвы. М.: Наука, 1975. 494 с.
2. Гамзиков Г.П., Поставская С.М. Характеристика методов определения подвижного фосфора в чернозёмах Западной Сибири // Химия в сельском хозяйстве. 1975. № 2. С. 71–75.
3. Лангольф В. Д., Аверкина С.С., Никитин А.С., Васильев В.А., Тихобаева З.И. Содержание доступного фосфора и эффективность фосфорных удобрений на чернозёмах Новосибирской области // Сиб. вестник с.-х. науки. 1976. № 3 (33). С. 1–5.

4. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Е.Д., Диагностика условий фосфорного питания сельскохозяйственных культур в Западной Сибири // Агрохимия. 1989. № 6. С. 112–116.
5. Берхин Ю.И., Яковлева Л.В. Содержание подвижного фосфора в почвах юга Западной Сибири. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1982. № 2. С. 17–21.
6. Антипина Л.П., Малыгина Л.П., Южаков А.И., Попцов С.П. Оптимизация фосфатного режима почв Новосибирской области // Метод. рекомендации. Новосибирск, 1990. 22 с.
7. Христенко А.А. Использование национальных стандартов для диагностики азотного, фосфорного и калийного состояния почв Украины. // Агрохимия. 2014. № 7. С. 60–68.
8. Николов Н. А. 9-th World Fertilizer Congress Proceedings. Budapest, 1984. pp. 274.

## PROBLEMS OF SOIL DIAGNOSTICS OF PHOSPHORUS NUTRITION OF CEREALS IN THE CHERNOZEM OF THE NOVOSIBIRSK OB

G.I. Tkachenko

Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, da012gala@mail.ru

*Summary: the results of the study of 3 chemical methods for the periodic diagnosis of phosphorus nutrition of cereals on leached chernozem of the Novosibirsk Ob region are presented. Of the tested methods, the Nikolov method most clearly assessed the phosphate state of the soil, as evidenced by the high positive effect of phosphorus fertilizers on the spring wheat crop.*

*Keywords: chernozem, soil, phosphorus, method, content, doses, fertilizer, yield.*

УДК 631.472.56: 631.611

## ОЦЕНКА И ОСВОЕНИЕ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

Ю.Н. Трубников, А.А. Шпедт

Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»,  
Красноярск, trubnikov124@yandex.ru, shpedtaleksandr@rambler.ru

*Аннотация.* В залежных дерново-подзолистых почвах содержание гумуса увеличилось за 10 лет в 1,6 раза, в серых лесных – в 1,2 раза по сравнению с пахотными аналогами. Формирование новообразованных гумусовых веществ в почвах шло преимущественно по фульватно-гуматному типу. Доля АЦФ возрастает в почве залежи по сравнению с пашней на 5–15%. Количество ЛОВ в почвах залежей увеличивается в среднем на 60%. Внесение удобрений по 2-х и по 10-ти летней залежи увеличивает урожай озимой ржи в среднем на 20–23%.

*Ключевые слова:* залежные земли, почва, гумус, агрофизические свойства, освоение, удобрения, озимая рожь.

**Введение.** Проведённая в 2016 г. сельскохозяйственная перепись показала, что общая площадь неиспользуемых сельхозугодий в России составляет 97,2 млн. га. Перепись выявила огромные площади, которые по данным Росреестра числятся пашней, а по существу, представляют из себя залежь. Часто встречаемая оценка площади заброшенных земель (около 40 млн. га [1]) занижает этот показатель почти в 2,5 раза. В Красноярском крае по данным Росреестра площадь залежных земель составляет 123,5 тыс. га. [2]. Фактически же не используется еще 1153,6 тыс. га пахотных земель. В Приенисейской Сибири, включающей земледельческие территории Красноярского края, Хакасии и Тывы в залежном состоянии находятся около 1,5 млн. га земель различных сроков выведения из пашни – от 2 до 25 лет [3]. Площадь залежей возрастом до 2 лет составляет 71 тыс. га, от 2 до 10 лет – 349 тыс. га, более 10 лет – 734 тыс. га. Состояние этих земель различно – от сформировавшихся со временем луговых растительных сообществ до сплошных лесных массивов. Значительные площади (около 610 тыс. га.) покрыты кустарником и 10–20-ти летним древостоем; для их восстановления требуется уже коренная мелиорация. В перспективе в Красноярском крае планируется ввести в пашню 454 тыс. га залежных земель [4]. Увеличение площади пашни должно произойти, главным образом, в лесостепной зоне (344 тыс. га), в частности, в Красноярском (115 тыс. га), Чулымо-Енисейском (98 тыс. га) и Канском (65 тыс. га)

природных округах. В степной зоне планируется ввести в оборот 67 тыс. га, в тайге величина этого показателя значительно меньше – всего 40 тыс. га.

Предшествующие исследования проводились преимущественно на черноземных почвах [5]. Наибольшие площади неиспользуемой пашни расположены в подтаёжной (60–90 % от ранее распаханной территории) и северной лесостепной (40–60 %) зонах края.

Актуальность проблемы освоения залежных земель заключается в их представлении как резервного фонда для расширения площадей пашни, необходимых для увеличения объёмов производства сельскохозяйственной продукции, в том числе, по технологиям биологического земледелия.

Цель исследований заключалась в оценке гумусного состояния почв залежных земель и разработки технологий их первичного освоения.

**Объекты и методы исследований.** Исследования по влиянию разновозрастных залежей на гумусное состояние почв проводились в подтаёжной и лесостепной зонах Красноярского края, приуроченных к Ачинско-Боготольскому и Назаровскому природным округам. Использовался сравнительный анализ почв – аналогов залежных и пахотных участков по вариантам: 1 – пашня длительного срока пользования; 2 – 8–10-летняя залежь. Полевые опыты по первичному освоению залежных земель проводились с озимой рожью сорта Красноярская универсальная на дерново-подзолистых почвах со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 2,1–2,4%;  $pH_{\text{сол.}}$  – 4,4–4,6;  $N_g$  – 4,1 мг-экв./100 г почвы;  $S$  – 9,0 мг-экв./100 г почвы; содержание  $P_2O_5$  – 2,3;  $K_2O$  – 6,2 мг/100 г почвы. Эта территория входит в южнотаежно-лесной, плоскоравнинный, дерново-подзолистый и болотно-подзолистый район Западно-Сибирской провинции [6]. Для нивелирования пестроты почвенного плодородия, каждый объект характеризовался десятью смешанными почвенными образцами, которые отбирали в слое 0–25 см при помощи агрохимического бура. Каждый смешанный образец состоял из 10–15 единичных проб.

Содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина [7]. Для извлечения подвижной части гумуса использовали 0,1 н. раствор щелочи ( $C_{0,1н.NaOH}$ ) при соотношении почвы и реактива 1:20. Данную фракцию гумусовых веществ разделяли на гуминовые кислоты и фульвокислоты. Гуминовые кислоты (ГК) осаждали серной кислотой, а содержание фульвокислот (ФК) определяли по разности общего количества гумусовых веществ в 0,1 н. NaOH вытяжке и гуминовых кислот.

Полевые опыты с озимой рожью проводили на делянках площадью 50 м<sup>2</sup> в четырехкратной повторности. Размещение вариантов последовательное в четыре яруса. Схема опыта: 1. Контроль (без удобрений); 2. Р60К60 осенью при посеве; 3. Р60К60 при посеве + N60 весной. Подготовка почвы в год посева озимой ржи заключалась в весенней вспашке (15–20 мая) и двух культиваций. На участке залежи двухлетнего возраста преобладала бурьянистая растительность [8], которая равномерно запахивалась. На участке 10-ти летнего возраста, кроме травяного покрова с преобладанием пырейного фитоценоза, распространение получили лесные сообщества – берёза (70%), осина (20%) и другие (10%).

Первичная обработка этого участка заключалась во вспашке 3-х корпусным плугом ПЛН 3-35 с последующей уборкой древесной растительности вручную. Этот участок, как и предыдущий, до посева озимой ржи ещё дважды обрабатывался культиватором КПС 4,2. В качестве удобрений использовали аммиачную селитру, аммофос, сернокислый калий.

**Результаты исследований.** Заращение пашни и превращение ее в залежь влечет нарушение стабильности почвенных процессов и свойств. В качестве индикатора трансформации почвенного плодородия залежных земель можно использовать гумусное состояние почв, как наиболее информативную и широко используемую характеристику, определяющую плодородие и положительно влияющую на другие свойства почвы. Изменение свойств почв в залежный период, по мнению некоторых исследователей, протекает неоднозначно. Имеются сведения [9], что содержание и состав гумуса в серых лесных почвах на молодых залежах (10–12 лет) изменяется незначительно. Полученные нами экспериментальные данные по содержанию форм гумусовых веществ в почвах на пашне и залежи также позволяют говорить о различной интенсивности их накопления (табл. 1). Исследования, проведенные в условиях подтаёжной зоны, показывают, что пребывание дерново-подзолистой почвы в залежном состоянии оказало положительное влияние на её

гумусное состояние. Установлено, что содержание гумуса в почве залежи увеличилось за 10 лет в 1,6 раза по сравнению с пахотным аналогом. Накопление гумуса было обусловлено поступлением, разложением и гумификацией растительных остатков в почве. Содержание подвижных гумусовых веществ также достоверно возросло (в 2,2 раза) в почве под залежью. В составе новообразованного гумуса доминируют гуминовые кислоты. Количество гуминовых кислот в почве залежных участков, по сравнению с пашней, повысилось в 2,7 раза, а содержание фульвокислот – в 1,8 раза. Таким образом, формирование новообразованных гумусовых веществ в почве шло преимущественно по фульватно-гуматному типу.

Таблица 1. Изменение гумусного состояния почв под влиянием залежи (0–25 см)

Наименование почвы	Вариант опыта	Гумус, %	C <sub>0,1</sub> н. NaOH, мг/100 г				
			сумма	ГК	ФК	ГК:ФК	
Ачинско-Боготольский природный округ, подтайга. Тюхтетский район							
Дерново-подзолистая глубоко-дерновая слабоглееватая среднесуглинистая	Пашня (пшеница) – контроль	2,55	339	155	184	0,84	
То же	Залежь 10 лет	4,08*	751*	420*	331*	1,27*	
НСР <sub>05</sub>		0,48	148	58	117	0,41	
Среднегодовой тренд изменения содержания гумуса и форм гумусовых веществ		0,15	41,2	26,5	14,7	0,43	
Серая лесная среднemocная глубококовскипающая тяжелосуглинистая	Пашня (пшеница) – контроль	3,56	540	273	267	1,02	
То же	Залежь 10 лет	4,72	756	460	296	1,55*	
НСР <sub>05</sub>		1,34	292	204	230	0,49	
Среднегодовой тренд изменения содержания гумуса и форм гумусовых веществ		0,12	21,6	18,7	2,9	0,05	
Назаровский природный округ, лесостепь. Шарыповский район							
Серая лесная среднemocная глубококовскипающая среднесуглинистая	Пашня (пшеница) – контроль	2,90	327	115	212	0,54	
То же	Залежь 8-и лет	3,59*	396*	160*	236	0,68	
НСР <sub>05</sub>		0,51	60	44	43	0,25	
Тренд накопления содержания гумуса и форм гумусовых веществ (в среднем за год)		0,07	8,6	5,6	2,4	0,02	

Примечание. \*Достоверные различия.

Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам увеличилось, по сравнению с контролем, на 0,43, тип гумуса трансформировался из гуматно-фульватного в фульватно-гуматный.

Десятилетнее пребывание серой лесной почвы в залежном состоянии также улучшило ее гумусное состояние. Однако в связи с очень высокой вариабельностью свойств почвы на данных объектах, статистически значимое увеличение под влиянием залежи отмечалось только для отношения углерода ГК к углероду ФК, которое увеличилось на 0,53, что обусловило трансформацию типа гумуса из фульватно-гуматного в гуматный.

В Назаровском лесостепном природном округе под влиянием залежной растительности существенно изменилось гумусное состояние серой лесной почвы. За 8 лет содержание гумуса в ней увеличилось в 1,2 раза по сравнению с пахотным аналогом. Содержание гумусовых веществ, извлекаемых 0,1 н. NaOH, также увеличилось на статистически достоверную величину. Новообразованные подвижные гумусовые соединения формировались



преимущественно за счет гуминовых кислот. По отношению углерода ГК и ФК тип гумуса остался гуматно-фульватным.

Расчет среднегодового тренда изменения содержания гумуса и форм гумусовых веществ показал, что бюджет показателей гумусового состояния зависит от генезиса почв и их географического расположения. Наибольший прирост исследуемых показателей отмечался на залежных землях дерново-подзолистых почв подтаёжной зоны и далее, по убывающей, располагались серая лесная почва подтайги и серая лесная почва лесостепи. Полагаем, что различия в содержании гумуса и подвижных гумусовых веществ на разных объектах обусловлены, главным образом, неодинаковым поступлением в почву растительной массы.

Исследования показывают, что пребывание почв в залежном состоянии приводит к изменению их агрофизических показателей. Установлено, что за 10 лет пребывания серой лесной почвы в залежи плотность пахотного горизонта увеличилась с 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup> (пашня) до 1,2–1,4 г/см<sup>3</sup>. За такой же период плотность дерново-подзолистой почвы увеличилась с 1,2–1,3 (пашня) до 1,3–1,5 г/см<sup>3</sup>. Изменяется и доля агрономически ценных фракций (АЦФ) почвенных агрегатов размером 0,25–10 мм. В серой лесной почве доля АЦФ в пашне составляет 50 – 65%, в залежном аналоге – 65–70%. В дерново-подзолистой почве доля АЦФ также возрастает под влиянием залежи с 45–50% (пашня) до 55– 60%. В среднем, доля АЦФ возрастает в почве залежи по сравнению с пашней на 5–15%.

В качестве агрохимического индикатора оценки возраста залежи предлагается использовать содержание в почве легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ). По сравнению с содержанием гумуса данный показатель более мобилен и значительно интенсивнее накапливается в почве в условиях залежи. Установлено, что содержание ЛОВ в почвах залежей зависит от агроэкологических условий и изменяется от 0,63 до 4,25%. По сравнению с почвой агроценозов количество ЛОВ в почвах залежей увеличивается на 59% или в 2,5 раза, а по сравнению с почвой, находящейся под чистым паром, увеличение еще более выраженное – на 71% или в 3,5 раза. Доля ЛОВ в составе ОВП существенно возрастает и составляет в зависимости от срока залежи 13,8–55,9% [10].

Опыты по изучению технологий освоения залежных земель, проводились на дерново-подзолистых и серых лесных почвах подтаёжной зоны (Зареченский стационар ФИЦ КНЦ СО РАН). Использовался минимальный набор энергетических средств и сельскохозяйственных орудий, что характерно для большинства хозяйств этой зоны. Экспериментальные участки располагались на разновозрастных залежах – трёх - и десятилетнего возраста.

Вспашка участка 10-ти летней залежи представляет технологически более сложную и более затратную операцию по сравнению с 2-х летней залежью. В дополнительные затраты входят расходы на содержание (кроме тракториста) рабочих для удаления травянистых и кустарниковых остатков, повышенный расход ГСМ и др.

Через месяц после вспашки проведена первая культивация залежных земель, которая заметно улучшила структурно-агрегатное состояние почвы обрабатываемых полей. На залежи двухлетнего возраста одновременно с культивацией проводилось боронование поля. При культивации поля 10-ти летней залежи боронование исключалось, так как на поле оставалось ещё много неразделанной дернины и кустарниковых остатков. Вторая (предпосевная) культивация проводилась 14–19 августа.

Почва на поле 2-х летней залежи приобретала удовлетворительное структурно-агрегатное состояние. На поле 10-ти летней залежи ещё сохранялось много крупных остатков дернины, что затрудняло обработку поля и не обеспечивало создание удовлетворительного структурно-агрегатного состояния почвы. Эти ограничения могут быть сняты предварительной обработкой поля дисковыми почвообрабатывающими орудиями. При любой технологии освоения необходимо максимально сохранять гумусовый горизонт.

В полевом опыте на почвах, освоенных после залежей разного возраста, посев озимой ржи сорта Красноярская универсальная производили 16–20 августа (в зависимости от погодных условий года). Полученные результаты показывают, что в первый год освоения залежных земель 2-х и 10-ти летнего возраста можно получать хозяйственно значимый урожай озимой ржи даже без удобрений (табл. 2).

Таблица 2. Влияние минеральных удобрений и возраста освоенной залежи на урожай озимой ржи, ц/га

Удобрения	Возраст залежи 2 года			Возраст залежи 10 года		
	2020 г.	2021 г.	Среднее	2020 г.	2021 г.	Среднее
Контроль	18,5	16,8	17,6	17,2	14,8	16,0
P60K60	23,2	20,4	21,8	20,9	18,6	19,7
P60K60+N60 (весной)	27,1	25,3	26,2	24,3	22,1	23,2
НСР <sub>05</sub>	3,1	3,6		2,5	2,8	

Применение удобрений существенно увеличивает продуктивность культуры. Внесение фосфорно-калийных удобрений по 2-х и по 10-ти летней залежи увеличивает урожай озимой ржи в среднем на 23%. Весеннее внесение азотных удобрений обуславливает увеличение урожая ещё на 20% и 17%, соответственно по возрасту залежи.

Следует отметить, что засоренность посевов озимой ржи была низкой, несмотря на то, что гербициды не применяли. Это подчеркивает значимую роль озимой ржи как первой культуры в севообороте по предшествующим залежным землям.

**Заключение.** В залежных дерново-подзолистых почвах содержание гумуса увеличилось за 10 лет в 1,6 раза по сравнению с пахотным аналогом. Содержание подвижных гумусовых веществ также достоверно возросло (в 2,2 раза) в почве под залежью. В этих почвах подтаёжной зоны тип гумуса в условиях залежи трансформировался из гуматно-фульватного в фульватно-гуматный, в серых лесных – из фульватно-гуматного в гуматный. На серых лесных почвах лесостепной зоны тип гумуса остался гуматно-фульватным. Наибольший годовой прирост гумусовых веществ отмечался на залежных землях дерново-подзолистых почв подтаёжной зоны и далее, по убывающей - серая лесная почва подтайги и серая лесная лесостепи. Доля АЦФ возрастает в почве залежи по сравнению с пашней на 5–15%. Содержание ЛОВ в почвах залежей зависит от агроэкологических условий и изменяется от 0,63 до 4,25%. По сравнению с почвой агроценозов количество ЛОВ в почвах залежей увеличивается в среднем на 60%. Внесение фосфорно-калийных удобрений по 2-х и по 10-ти летней залежи увеличивает урожай озимой ржи в среднем на 23%. Весеннее внесение азотных удобрений обуславливает увеличение урожая ещё на 20% и 17% соответственно по возрасту залежи.

### Литература

1. Иванов А.Л. Состояние, рациональное использование и охрана земельных (почвенных) ресурсов Российской Федерации // Почвенные и земельные ресурсы: состояние. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. С. 13–33.
2. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году». Красноярск, 2023. С. 124.
3. Савостьянов В.К. Консервация земель как способ предотвращения их дальнейшей деградации и продвижения к устойчивому развитию // Сибирский вестник сельскохозяйственных наук. 2003. № 2. С. 96–98.
4. Закон Красноярского края «О государственной поддержке субъектов агропромышленного комплекса края» от 21.02.2006г. №17-4487. <http://docs.cntd.ru/document/802055177>.
5. Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Гумусное состояние и рациональное использование почв залежных земель Приенисейской Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 5. С. 5–8.
6. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / Под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 336 с.
7. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
8. Черепнин Л.М. Флора и растительность южной части Красноярского края. Автореф. дисс. д-ра биологических наук. Л.: БИН АН СССР, 1953. 28 с.

9. Полякова Н.В. Изменение содержания и состава гумуса в светло-серых лесных почвах при трансформации пахотных угодий в естественные биоценозы // Вопросы сельского хозяйства: междунар. сб. науч. тр. / КГТУ. Калининград, 2004. С. 35–39.
10. Мукина Л.Р., Шпедт А.А. Запасы лабильного органического вещества в почвах агроценозов и залежей // Мелиорация и водн. хоз-во. 2008. № 1. С. 11–14.

#### ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF FALLOW LANDS OF YENISEI SIBERIA

Yu.N. Trubnikov, A.A. Shpedt

Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS", Krasnoyarsk,  
trubnikov124@yandex.ru shpedtaleksandr@rambler.ru

*Summary. In fallow sod-podzolic soils, the humus content has increased 1.6 times in 10 years, in gray forest soils – 1,2 times compared to arable analogues. The formation of newly formed humic substances in soils was mainly of the fulvate-humate type. The share of ACF increases in the soil of the deposit compared to arable land by 5–15%. The amount of fishing in the soils of deposits increases by an average of 60%. The application of fertilizers for 2 and 10-year deposits increases the yield of winter rye by an average of 20–23%.*

*Keywords: fallow lands, soil, humus, agrophysical properties, development, fertilizers, winter rye.*

УДК 631.445:631.67 (571.54)

#### ОЦЕНКА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ХАЛЮТИНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

А.К. Уланов, А.С. Билтуев

Бурятский НИИСХ – филиал СФНЦА РАН, Улан-Удэ, burnish@inbox.ru

*Аннотация. Рассмотрено современное состояние каштановых почв Халютинской оросительной системы и дана оценка их эффективного использования при орошении. Продуктивность почв лимитируется легким гранулометрическим составом, криоаридным климатом, вызывающим их глубокое промерзание зимой, резкое перегревание и непродуктивную потерю влаги в вегетационный период. В этой связи большое значение приобретает разработка мер по снижению зависимости земледелия от условий увлажнения и предопределяет его устойчивость напрямую от водной мелиорации.*

*Ключевые слова: оросительная система, каштановая почва, морфологический профиль, агрохимические показатели.*

Расчлененный рельеф, возникающие вследствие него ороклиматические эффекты, пространственная пестрота литологических и биогеохимических факторов среды обусловили разнообразие климатических и почвенных условий Республики Бурятия. Сельскохозяйственные угодья занимают, в основном, межгорные понижения, которые представлены сухостепным, степными и лесостепными ландшафтами. В этих условиях, переход на модель устойчивого развития сельскохозяйственного производства, невозможен без проведения широкомасштабных мелиоративных мероприятий. В настоящее время площадь орошаемых земель в республике составляет 149,3 тыс. га [1]. Водная мелиорация позволяет управлять продукционным процессом агрофитоценозов и получать запланированный урожай. Оптимизация условий питания и аэрации на фоне поливов позволяет получать в Бурятии в среднем на 40-60% больше урожая, чем на богаре. Реализация потенциальных возможностей орошаемого поля возможна при условии внедрения научно обоснованной и экологически адаптированной системы мелиоративного земледелия, учитывающей не только региональные, но и местные и локальные почвенные и почвенно-климатические, топо- и микроклиматические условия, на основе которых выстраивается комплекс агротехнических и агрохимических мероприятий, способы и техника полива, режим орошения.

В связи с реконструкцией «Халютинской» оросительной системы в рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (Постановление Правительства

Российской Федерации от 14.07.2012 г. №717 в ред. от 18.03.2021 г. № 415), нами в 2020 году проведено обследование почвенного покрова системы, в частности, каштановых почв с целью оценки современного состояния и определения эффективного использования мелиорируемых земель вышеуказанной территории.

Агрохимический анализ почвы выполнен в аккредитованной лаборатории ФГБУ ГСАС «Бурятская», аттестат аккредитации № РОСС. RU.001.511019. Отбор почвенных образцов произведен в соответствии с Национальным стандартом ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Отбор проб» [3].

Площадь орошаемых земель, реконструируемой Халютинской ОС составляет – 4109 га и согласно природно-мелиоративного районирования Республики Бурятия относится к зоне интенсивного орошения с многоотраслевым организационно-хозяйственным направлением. По почвенному районированию территория орошаемых земель принадлежит Удинско-Гусиноозерскому степному округу Восточно-Сибирской провинции степей межгорных впадин и горных лесов. Климатические особенности, рельеф, разнообразие растительности обусловили довольно пестрый почвенный покров на территории предполагаемого орошения (табл. 1). При этом ярко выражена вертикальная поясность почв. Днище Иволгинской долины представлено почвами гидроморфного ряда: аллювиальными, аллювиально-болотными и солончаками. Нижние части бортов представлены лугово-каштановыми почвами. Выше по склону, сложенными рыхлыми песчаными отложениями, сформированы почвы каштанового типа. Практически у всех почв легкий механический состав. В пределах будущего орошения выявлено 20 контуров с различными почвенными разновидностями.

Таблица 1. Структура почвенного покрова Халютинской оросительной системы

№ п/п	Наименование почвы	Площадь	
		га	%
1	Каштановая	1400	34,1
2	Лугово-каштановая	126	3,1
3	Гидроморфный солончак	112	2,7
4	Аллювиальная луговая	1917	46,6
5	Аллювиальная болотная	554	13,5
Всего		4109	100

Почвы каштанового типа (табл. 2) сформированы по склонам горных образований, окаймляющих долину.

Таблица 2. Классификация каштановых почв орошаемых земель

№ контура	Наименование почвенных разновидностей	Площадь	
		га	%
15	Каштановая маломощная среднесуглинистая слабодэфлированная	196	14
16	Каштановая среднемощная супесчанная слабодэфлированная слабозасоленная	448	32
17	Каштановая маломощная супесчанная слабодэфлированная	210	15
18	Каштановая среднемощная легкосуглинистая слабодэфлированная	154	11
19	Каштановая среднемощная супесчанная среднедефлированная	392	28
Всего		1400	100

В вертикальном распределении почв они сформированы по склону выше, чем почвы полугидроморфного ряда, но ниже черноземов. Почвообразующими породами здесь послужили делювиальные карбонатные отложения легкого механического состава. Этим



почвам свойственны все характерные особенности каштановых почв Забайкалья: малая мощность почвенного профиля при четкой дифференцированности его по генетическим горизонтам, мучнистость, хорошая выраженность карбонатного горизонта, отсутствие в профиле гипса, слабые проявления солонцеватости [5]. Практически все изученные почвы участка имеют легкий механический состав, содержат в профиле много камня и щебня, средне или маломощны, подвержены дефляционным процессам. Вскипание от HCl наблюдается только в карбонатном горизонте. Выделен на участке солонцеватый представитель каштановых почв (контур 16).

Морфологическое строение профиля каштановой мучнистокарбонатной среднеспесчаной среднедефлированной почвы (контур 19) представлено в виде типичных горизонтов:

$A_{\text{пак}}$ <u>0–20</u> см 20	Коричневый с каштановым оттенком, супесчаный, влажный, непрочнокомковатой структуры, однородный, слабо уплотнен. Пронизан корнями растений. Переход в горизонт $A_{\text{п/п}}$ постепенный по цвету, резкий по плотности.
$A_{\text{п/п}}$ <u>20–30</u> см 10	Коричневато-бурый, неравномерно окрашен, супесчаный, влажный, непрочнокомковатой структуры. Слабо пронизан корнями. Переход в горизонт $B_1$ по цвету заметный.
$B_1$ <u>30–40</u> см 10	Буровато-желтый, супесчаный, влажный, непрочнокомковатой структуры, уплотнен, пористый, встречаются корни растений. Переход в горизонт $B_k$ заметный по цвету, ясный по линии вскипания.
$B_k$ <u>40–90</u> см 50	Беловато-желтый, супесчаный, бесструктурный, влажный, уплотнен, вскипает бурно от HCl. Встречаются одиночные корни. Переход в горизонт $BC_k$ по цвету постепенный.
$BC_k$ <u>90–140</u> см 50	Палево-желтый, супесь с песком, рыхлый свежий, бесструктурный, вскипает сильно. Переход в горизонт $C_k$ постепенный.
$C_k$ <u>140–170</u> см 30	Желтый, неоднородный – разнозернистые слои, рыхлый, свежий, бесструктурный, вскипает сильно.

В почве преобладают фракции мелкого и среднего песка – 83–89%. Большую часть мелкозема по всему профилю почвы составляют частицы диаметром 1–0,25 и 0,25–0,05 мм. Содержание ила не превышает 15%, оно относительно равномерно распределено по генетическим горизонтам. По агрогидрологическим свойствам данная почва отражает дефицит увлажнения. Влажность завядания в гумусовом горизонте составляет 4 мм, а запасы продуктивной влаги при НВ в метровом слое – 100 мм.

Морфологическое описание почвенного разреза каштановой мучнистокарбонатной среднеспесчаной легкосуглинистой слабодефлированной почвы (контур 18):

$A$ <u>0–30</u> см 30	Серый, темновато-комковатый, легкосуглинистый, уплотнен, слабощебнистый, переход ясный.
$B_1$ <u>30–45</u> см 15	Серовато-бурый, легкосуглинистый, хрящеватый, непрочнокомковатый, переход ясный по вскипанию.
$B_k$ <u>45–100</u> см 55	Белесовато-бурый, супесчаный, имеются белесые, бурно вскипающие от HCl пятна, плотный, сухой, вскипает от HCl, содержание дресны до 20%, переход ясный.
$BC_k$ <u>100–120</u> см 20	Светло-бурый, супесчаный, бесструктурный, вскипает слабее.
$C_k$ <u>120–180</u> см 30	Бурый, супесчаный, с прослойками грубого песка.

Механический и микроагрегатный состав почвы свидетельствует о слабой оструктуренности и средней степени агрегированности почвы. В составе мелкозема преобладают песчаные и крупнопылеватые фракции, содержание илистой фракции в пахотном слое составляет 13,2–14,8%, а физической глины – 22,5–26,5%. Степень

агрегированности почвы в гумусовом горизонте уменьшается сверху вниз; если в слое 0–10 см фактор дисперсности по Н.А.Качинскому составляет 6,6%, то в слое 20–30 см увеличивается до 15,7%. Почва опытного участка почти бесструктурна. Результаты сухого просеивания показали, что в верхних почвенных горизонтах содержание агрегатов крупнее 0,25 мм невелико и составляет всего 37%. К тому же агрономическая ценность этой структуры очень низкая, т.к. под действием воды агрегаты быстро разрушаются. Так, при мокром просеивании количество водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм в диаметре уменьшилось до 20%.

Почва контурного участка имеет неблагоприятные водно-физические свойства (контур 18) и по профилю не отмечается больших различий. Удельная масса твердой фазы почвы не меняется. Объемный вес в верхнем горизонте в пределах 1,4–1,5 г/см<sup>3</sup>, ниже увеличивается до 1,7 г/см<sup>3</sup>, в связи, с чем и с глубиной уменьшается скважность почвы. Значение максимальной гигроскопичности невысокое, соответственно незначительны и величины влажности устойчивого завядания. Величина НВ зависит от механического состава и сложения почвы и для данных почв она не велика. В верхнем горизонте НВ равняется 10–11%, несколько увеличивается в карбонатном (до 12,6%). Если в слое 0–10 см 27% от общего содержания влаги при НВ находится в недоступном состоянии для растений, то в последующих недоступно уже около 40%. Следовательно, диапазон активной влаги мал и составляет в активном слое 0–30 см – 32,3 мм.

По агрохимическим свойствам каштановые почвы отражают типичную панораму плодородия. Реакция среды близка к нейтральной. Содержание органического вещества в интенсивно используемых под пашню почвах низкое (контур 16–19), а в каштановой почве выведенной более 25 лет назад произошло восстановление потенциального плодородия – Сорг составляет 3,35% (контур 15). По содержанию подвижных элементов фосфора и калия почва относится к градации обеспеченных (табл. 3).

Таблица 3. Агрохимическая характеристика каштановых почв (слой почвы 0–20 см)

№ контура	рН сол	Сорг,%	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> подв	К <sub>2</sub> О обм
			мг/100 г (по Чирикову)	
15	7,3	3,35	12,1	19,9
16	7,2	1,77	16,2	14,2
17	6,8	1,84	17,9	15,5
18	6,7	1,57	20,9	14,0
19	6,7	1,00	31,7	9,4

Результаты анализа водной вытяжки каштановых почвы не выявили признаков засоления (табл. 4).

Таблица 4. Состав водной вытяжки каштановой почвы (0–20 см)

№ контура	Плотный остаток, %	мг-экв/ 100 почвы						
		НСО <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg
15	0,16	0,80	0,60	0,7	0,38	0,52	2,00	4,75
16	0,22	0,25	0,20	0,7	0,11	0,02	1,75	2,50

Резюмируя экспериментальный материал в приложении к современным подходам эффективного ведения земледелия на орошении, выделим основные характеристики изученных каштановых почв:

1. В связи со своеобразным экологическим фоном каштановые почвы характеризуются безгипсовостью почвенного профиля, отсутствием легкорастворимых солей и аномально высоким содержанием карбонатов в виде «мягкой» мучнистой и «твердой» форм (литоморфная карбонатизация почв).

2. Ярко выраженный крио-ксерофитный растительный покров как отклик на постоянную аридность климата сухой степи.

3. Доминирующими почвообразующими породами выступают песчаные отложения разного генезиса с грубодисперсным составом и, как следствие, широким и повсеместным развитием дефляционных процессов, как одним из самых распространенных негативов этих почв.

4. Низкое содержание органического вещества почвы и достаточная обеспеченность подвижными формами фосфора и калия предполагает преимущественное внесение азотных минеральных удобрений.

5. Каштановые почвы повсеместно являются маловлагоемкими, в которых преобладают крупные поры некапиллярной разновидности. Поэтому эти почвы не в состоянии удерживать большое количество подвешенной влаги при наличии легкого гранулометрического состава. Как правило, при НВ в метровом слое удерживается - не более 120–200 мм влаги.

6. По характеру мерзлотности каштановые почвы относятся к сезонномерзлотным и за холодный период промерзают до 3,5 м. При этом сезонная мерзлота в профиле слабо сцементирована вследствие высокой увлажненности.

7. Низкая водоудерживающая способность и высокая аэрируемость характеризует их как достаточно неблагоприятными в агромелиоративном понимании; при напряженном ветровом режиме они легко и непродуктивно расходуют влагу и подвергаются дефляции.

9. По тепловым ресурсам каштановые почвы региона отличаются повышенной теплопроводностью и низкой теплоемкостью. Именно это сочетание теплофизических коэффициентов приводит к быстрому прогреванию и перегреванию почв в весенне-летний период.

Таким образом, почвы каштанового типа Халютинской оросительной системы, согласно агропочвенного районирования, относятся ко второй группе: почвы среднего качества, выборочно пригодные под пашню, но требующие при освоении и использовании комплекса мероприятий по борьбе с эрозией и влагонакоплению, и, в частности, ко второй подгруппе (А) – почвы требующие применения комплекса агролесомелиоративных мероприятий по борьбе с ветровой эрозией. По плодородию их следует отнести к почвам среднего уровня плодородия и в зависимости от выраженности лимитирующего фактора определить как почвы с жестким водным режимом, которые при освоении требуют комплекса мероприятий по влагонакоплению, борьбе с эрозией и оптимизации минерального питания растений.

#### Литература

1. Система земледелия Республики Бурятия: научно-практические рекомендации / Д-Ж.Ш. Чирипов, И.А. Калашников, А.П. Батудаев и др. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2018. 349 с.
2. Постановление Правительства Российской Федерации «О государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» от 14 июля 2012 года N 717 (с изм. на 13 июня 2023 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902361843> (Дата обращения: 13.07.2023).
3. ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Отбор проб». Дата введения 2020-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168814> (Дата обращения: 13.07.2023).
4. Куликов, А.И. Мерзлотные почвы: Экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. Улан-Удэ, 1997. 312 с.

#### ASSESSMENT OF CHESTNUT SOILS OF THE KHALYUTINSK IRRIGATION SYSTEM OF THE REPUBLIC OF BURYATIA

A.K. Ulanov, A.S. Biltuev

Buryat Research Institute of Agriculture - branch of the Federal Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, burnish@inbox.ru

*Summary. The current state of chestnut soils of the Khalyutn irrigation system is considered and an assessment is made of their effective use for irrigation. Soil productivity is limited by light granulometric composition, cryoarid climate, which causes deep freezing in winter, sharp overheating and unproductive loss of moisture during the growing season. In this regard, the development of measures to reduce the dependence of agriculture on moisture conditions and determines its stability directly from water reclamation is of great importance.*

*Keywords: irrigation system, chestnut soil, morphological profile, agrochemical parameters.*

УДК 631.45

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗАЛЕЖНЫХ ПОЧВ ПРИГОРОДОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Е.Ю. Чебыкина, Е.В. Абакумов, Т.И. Низамутдинов, В.И. Поляков

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e.chebykina@spbu.ru

***Аннотация.** В материалах представлены результаты исследований залежных почв в черте окраин Санкт-Петербурга. Объектами исследования послужили залежи сельскохозяйственных угодий на территории бывших совхозов Ленсоветский и Кузьмино, а также огородов СПбГАУ. Изучение направления и скорости изменения свойств залежных почв будет способствовать оптимизации почвенно-экологического состояния земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота, в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.*

***Ключевые слова:** тяжелые металлы, залежь, сукцессия, суммарный индекс загрязнения почв, Zс, сельское хозяйство.*

Общая площадь сельскохозяйственных угодий в составе всех категорий земель в России превышает 222 млн га. В агроландшафтах человек целенаправленно изменяет такие параметры, как химический состав, свойства и режим почвы для того, чтобы наиболее эффективно использовать ее важнейшую функцию – плодородие.

Ежегодно отмечается снижение доли земель сельскохозяйственного назначения в России. В случае прекращения агрогенного воздействия почвы включаются в процесс постагрогенной трансформации, которая в целом направлена на восстановление естественного профиля почв, существовавшего до агрогенного вмешательства. Продолжительность процесса постагрогенной трансформации измеряется десятками и первыми сотнями лет и зависит от регенеративной способности почв [1]. Переход в залежь и зарастание лесом сельскохозяйственных угодий – следствие общественно-экономических условий, характерных не только для последних двух десятилетий. С целью вовлечения залежных земель в сельскохозяйственный оборот и развития мелиоративных мероприятий в мае 2021 г. было выпущено Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 г. № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» [2], согласно которому на период от 2022 до 2031 гг. необходимо обеспечить вовлечение в оборот 13,2 млн га неиспользуемых земель и сохранение в сельхозобороте мелиорированных почв на площади не менее 3,6 млн га. В документе также сформулированы задачи по сбору информации об актуальном состоянии земель сельхозназначения. Поэтому важным остается вопрос об инвентаризации залежных, целинных и уже используемых в сельском хозяйстве земель.

Действующие и залежные агроэкосистемы являются уникальным объектом, который представлен моделями развития, деградации, проградации и, в целом, – эволюции компонентов биогеоценозов во времени и пространстве в связи с положительной и отрицательной динамикой агрогенного воздействия в течение XX века на территории РФ. Северо-Западный регион в этом смысле представляет особый интерес, поскольку здесь происходило как масштабное освоение земель, так и неконтролируемый перевод их в залежное состояние и выведение их из залежного состояния в последнее время. Имели место также процессы осушения и орошения, интенсивной мелиорации. Все это привело к формированию хронорядов почв с разной степенью воздействия агрогенных факторов.

В Санкт-Петербурге, как и во всех других крупных городах-мегаполисах, существуют негативные тенденции использования сельскохозяйственных земель. Главной особенностью сельхозугодий Санкт-Петербурга является то, что они располагаются, в основном, на мелиорированных землях с почвами, отличающимися высоким плодородием. Именно по этой причине их изъятие для осуществления на данных землях иной деятельности (например, строительство новых зданий, сооружений, элементов инфраструктуры), никак не связанной с сельским хозяйством, воспринимается столь болезненно сельскохозяйственными товаропроизводителями.

Поэтому вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения является существенным вызовом перед РФ, однако имеет ряд минусов и проблем, а именно, отсутствие



мониторинговых работ на предполагаемых участках вовлечения и отсутствие перспективы развития тех земель, которые будут вовлечены. В связи с этим, данное исследование является актуальным и востребованным для экономики Северо-Запада России.

В качестве объектов для изучения экологического состояния и постагрогенной трансформации залежных почв пригородов г. Санкт-Петербурга выбраны земли агрохолдингов Пушкинского района г. Санкт-Петербурга на территории бывшего совхоза Ленсоветский и Кузьмино, а также огородов СПбГАУ.

На сельскохозяйственных угодьях, находящихся в административных границах Санкт-Петербурга, наиболее часто встречаются агроестественные почвы и агроземы. Характерной чертой всех почв сельскохозяйственных земель является наличие агрогенно-преобразованного горизонта. Свойства этого горизонта различны и зависят не только от характера, продолжительности и интенсивности антропогенных воздействий, но и от строения исходных почв. В агроестественных почвах города (агродерново-элювиально-метаморфических, агродерново-подзолистых) под агрогенно-преобразованным горизонтом сохраняются в ненарушенном состоянии элювиальные и другие типодиагностические горизонты. Агроестественные почвы составляют более половины (54,1%) площади пахотных почв. Агроземы диагностируются по наличию гомогенного горизонта мощностью более 25 см, залегающего непосредственно на срединном горизонте и имеющего отличную от естественных почв организацию почвенной массы, характеризующуюся изменением вещественного состава и особыми водно-физическими, физико-химическими и биологическими показателями. На территории Санкт-Петербурга агроземы занимают значительные площади. Среди них наиболее распространены агроземы текстурно-дифференцированные, альфегумусовые, структурно-метаморфические, торфяные, окисленно-глеевые, торфяно-минеральные. Большинство почв города осушены. При эффективной работе дренажной сети признаки переувлажнения почвы постепенно исчезают. Преобладание ржавых и охристых пятен и разводов в бывшем глеевом горизонте позволяет диагностировать такие почвы как окисленно-глеевые подтипы в типах агроестественных почв и агроземов.

В рамках исследования была определена степень загрязнения изученных почв тяжелыми металлами. Во всех исследованных почвах выявлено превышение ПДК по мышьяку. Наиболее загрязненными оказались почвы бывшего совхоза «Кузьмино» - превышение предельно допустимых концентраций установлено практически по всем элементам, кроме кадмия, ртути и нефтепродуктов. По суммарному индексу загрязнения  $Z_c$  исследуемые почвы можно охарактеризовать как умеренно опасные.

Кроме того, были проанализированы основные агрохимические свойства изученных почв. Согласно полученным результатам, содержание фосфора максимально в верхних горизонтах изученных почвенных профилей (от 124 до 694 мг/кг). В срединных и нижних горизонтах содержание  $P_2O_5$  снижается (от 70 до 115 мг/кг). Содержание  $N-NH_4$  колеблется от 0,54 до 7,05 мг/кг в верхних горизонтах изученных почв, от 0,87 до 1,88 мг/кг в нижних горизонтах, что не позволяет выявить четкий тренд вертикального распределения аммонийного азота. Содержание нитратов значительно ниже, чем  $N-NH_4$ , и варьирует в широком диапазоне от 0,07 до 5,77 мг/кг, при этом среднее значение не превышает 1 мкг/кг.

Исследования показали, что в изученном районе отмечается существенное сокращение объемов применения всех видов удобрений, известки, сокращения распашки земель, увеличение площади мелиорированных почв, находящихся в неудовлетворительном состоянии. Многие почвы сельскохозяйственных территорий приобрели признаки необратимой деградации.

Таким образом, исследование свойств залежных земель позволяет проследить закономерности изменений, происходящих в этих почвах с течением времени. Это впоследствии позволит проводить научно-обоснованное прогнозирование позитивных и негативных, с точки зрения сельского хозяйства, процессов в почвах, оставшихся без антропогенной нагрузки. Знание направленности протекающих процессов позволит найти оптимальное решение, касающееся вопроса о повторном введении тех или иных земель в сельскохозяйственный оборот или, напротив, об отказе их использования, а также разработке рекомендаций для использования залежных земель в других целях (например, под сенокос, пастбище или для лесохозяйственных нужд). В этой связи выявление направленности и

скорости процессов изменения плодородия залежных и агропочв Санкт-Петербурга представляется актуальным, так как в дальнейшем поможет правильно проводить мероприятия по его восстановлению.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 23-16-20003.

Работа посвящена 300-летию Санкт-Петербургского государственного университета.

#### Литература

1. Почвообразовательные процессы. Коллектив авторов; под ред М.С. Симаковой, В.Д. Топкопогова. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 510 с.
2. Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 г. № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации».

#### ECOLOGICAL STATE AND PRODUCTIVITY OF FALLOWE SOILS IN ST. PETERSBURG SUBURBS

E.Yu. Chebykina, E.V. Abakumov, T.I. Nizamutdinov, V.I. Polyakov  
Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, e.chebykina@spbu.ru

*Summary. The results of a detailed study of fallow soils within the St. Petersburg suburbs boundaries are presented. Study objects were fallow soils of agricultural holdings on the territory of the former state farms Lensovetsky and Kuzmino, as well as vegetable gardens of St. Petersburg State Agrarian University. The study of the direction and changes rate in properties of fallow soils will favor to optimize the soil-ecological state of lands excluded from agricultural circulation in St. Petersburg and the Leningrad region.*

*Keywords: heavy metals, fallow, succession, total soil contamination index, Zc, agriculture.*

УДК 631.417.2

#### ВОСПРОИЗВОДСТВО ГУМУСА В СИБИРСКИХ ЧЕРНОЗЕМАХ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ПШЕНИЦЫ

И.Н. Шарков

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, humus3@yandex.ru

*Аннотация. Оценены возможности повышения содержания  $C_{org}$  в пахотных черноземах за счет увеличения количества растительных остатков вследствие интенсификации агротехнологий. С помощью  $^{14}C$  показано, что каждая тонна соломы, ежегодно применяемая в течение 5–7 лет, обеспечивала накопление в пахотном слое не более 0,03%  $C$ . Сделан вывод о весьма ограниченных возможностях увеличения  $C_{org}$  в пахотных черноземах из-за быстрого установления равновесия между поступлением растительного вещества и его минерализацией.*

*Ключевые слова:  $C_{org}$  почвы, гумус, яровая пшеница, растительные остатки.*

Основу пахотных земель в Сибири составляют черноземы (оподзоленные, выщелоченные, обыкновенные, южные) и лугово-черноземные почвы. В структуре пашни их доля достигает 70%, а в таких регионах, как Новосибирская область и Алтайский край, – 90% и более [1, 2]. Поэтому проблема воспроизводства гумуса в земледелии Сибири в основном связана с обеспечением рационального использования черноземов.

Традиционно необходимость воспроизводства в пахотных почвах научно-обоснованных уровней содержания органического вещества (ОВ) связывается с поддержанием благоприятных агрофизических, агрохимических и биологических свойств почвы, оказывающих существенное влияние на продуктивность культур. В последние десятилетия исследования по воспроизводству почвенного ОВ получили новый, «экологический» импульс в связи с проблемой изменения климата под влиянием накопления в атмосфере Земли парниковых газов, одним из которых является  $CO_2$ . Дело в том, что почвах одновременно протекают процессы минерализации и консервации имеющегося и вновь поступающего ОВ, т.е. для атмосферы почва может выступать в качестве как нетто-источника, так и нетто-стока

СО<sub>2</sub>. Вполне естественно, что интерес исследователей стал концентрироваться на поиске режимов функционирования почвы, при которых она способна понижать концентрацию СО<sub>2</sub> в атмосфере, т.е. служить для нее нетто-стоком. В частности, активизировались исследования с целью увеличения депонирования в почвах углерода остающихся на поле растительных остатков [3], в том числе путем разработки так называемых регенеративных технологий [4].

Важно отметить, что приоритеты исследований ОБ как фактора почвенного плодородия и средства дополнительного депонирования атмосферного СО<sub>2</sub> полностью совпадают. Так, улучшение свойств почвы за счет оптимизации режима ОБ предполагает создание в ней положительного баланса углерода, что одновременно приводит к увеличению связывания атмосферного СО<sub>2</sub>, т.е. ослаблению парникового эффекта. Поэтому большинство ранее полученных результатов по изучению ОБ как фактора почвенного плодородия представляют интерес и для решения вопросов депонирования почвами атмосферного СО<sub>2</sub>.

Основным средством повышения содержания ОБ в почвах агроценозов является интенсификация агротехнологий за счет применения удобрений и пестицидов. Под их влиянием происходит рост урожайности культур и соответственно увеличивается поступление в почвы растительных остатков. Насколько значительно при этом в почвах может повышаться содержание углерода? Этот вопрос рассматривается в данной работе применительно к черноземам лесостепной зоны, используемым для выращивания зерновых культур. Почему именно зерновых? Во-первых, они занимают наибольшую долю (примерно 62%) в структуре посевных площадей в Сибири. Во-вторых, по степени уменьшения потерь гумуса различные виды использования пашни располагаются в ряд: чистый пар – пропашные – зерновые культуры – многолетние травы. Но пропашные культуры занимают в полевых севооборотах Сибири сравнительно небольшие площади, причем основная из них – кукуруза на силос возделывается, как правило, вблизи ферм на полях, где за счет применения навоза в почвах складывается достаточно благоприятный баланс органического вещества. В почвах, занятых многолетними травами, создаются наилучшие условия для воспроизводства гумуса. Поэтому внимания требуют, прежде всего, севообороты с зерновыми культурами, особенно с чистым паром, занимающие основные массивы почв пашни, повышение запасов гумуса в которых в большинстве случаев возможно только за счет увеличения поступления растительных остатков.

Экспериментальные данные получены на полях Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства, которые расположены в левобережной части Новосибирского Приобья (земли Опытной станции «Элитная» – филиала СФНЦА РАН). Методики получения и оценки минерализации в почве тотально меченой <sup>14</sup>C растительной массы описаны в работах [5, 6]. Прирост урожайности культур благодаря интенсификации агротехнологий определяли по данным полевых опытов [7–9]. Количество растительных остатков оценивали по урожаю зерна на основе данных Н.Г. Шатохиной [10, 11], ранее проводившей здесь исследования. Почва – старопахотный чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый, содержащий в слое 0–25 см около 6% гумуса (3,5%С). Территория относится к подзоне центральной лесостепи, среднегодовое количество осадков составляет примерно 450 мм, сумма температур воздуха выше 10°C – около 2100°C.

Последовательность изложения материала следующая: 1) с помощью возрастающих доз меченой <sup>14</sup>C пшеничной соломы определены максимально возможные уровни накопления в почве С орг, 2) оценено дополнительное поступление растительных остатков в почву под влиянием интенсивных технологий выращивания пшеницы, 3) рассчитано возможное увеличение С орг в почве вследствие интенсификации агротехнологий.

Отметим, что в старопахотных почвах (то есть используемых в пашне многие десятки лет) количества углерода гумуса и углерода ОБ (Сорг) почвы практически одинаковые. Как известно, гумус представляет собой ОБ почвы за исключением остатков, не утративших тканевую структуру. Но в старопахотных почвах доля таких остатков по отношению к С орг невелика и, как показано в работе [12], удаление их из почвы перед определением содержания гумуса по Тюрину не оказывает заметного влияния на результаты. Поэтому в количественном отношении для старопахотных почв понятия «воспроизводство гумуса» и «воспроизводство ОБ почвы» практически тождественны. Добавим к этому, что в старопахотных черноземах

обычно поддерживается стационарный (равновесный) уровень содержания Сорг, если отсутствуют эрозионные потери почвы [13].

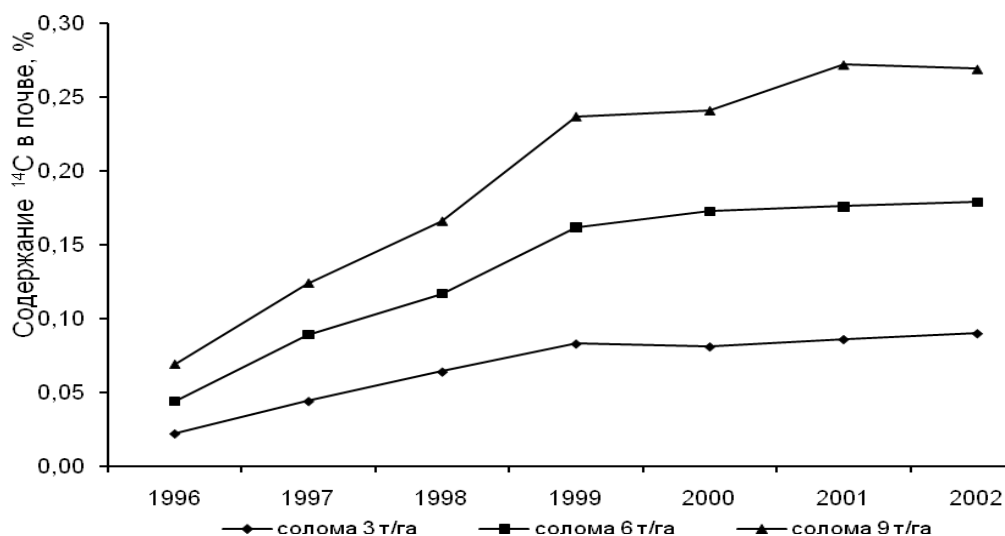


Рисунок. Увеличение содержания углерода в пахотном слое чернозема выщелоченного под влиянием ежегодного внесения возрастающих доз меченой <sup>14</sup>C пшеничной соломы.

В микрополевом опыте на протяжении 7 лет в слой 0–20 см чернозема выщелоченного ежегодно вносили измельченную пшеничную солому из расчета 3, 6 и 9 т/га, имитируя ее заделку в почву при вспашке [13]. Результаты показали, что после 5-го года опыта, независимо от дозы соломы, прирост углерода в почве практически прекращался (рисунок). Следовательно, к этому времени устанавливалось равновесие между процессами минерализации и закрепления в почве меченого <sup>14</sup>C органического вещества. При этом к окончанию опыта наибольший прирост углерода в почве при внесении соломы в дозах 3, 6 и 9 т/га соответственно составил 0,09, 0,18 и 0,27% С от массы почвы в слое 0–20 см. Таким образом, можно рассчитать, что каждая тонна соломы, ежегодно вносимая в почву на протяжении 5–7 лет, обеспечила накопление в этом слое примерно 0,03% С. Эта величина использована нами для расчета возможного накопления углерода в верхнем слое под влиянием дополнительного поступления растительных остатков вследствие интенсификации технологии выращивания яровой пшеницы.

По данным [10, 11], количество растительных остатков яровой пшеницы увеличивается с повышением урожайности, но их доля по отношению к массе зерна в диапазоне 1,5–4,3 т/га снижается почти в 2 раза (табл. 1).

Таблица 1. Поступление растительного вещества в слой почвы 0–30 см при разной урожайности яровой пшеницы, т/га сухого вещества

№ п/п	Показатель	Урожай зерна, т/га			
		1,5	2,4	3,1	4,3
1	Надземная нетоварная фитомасса	3,1	4,0	4,3	5,7
2	Корни	1,3	1,2	1,8	1,3
3	Суммарная нетоварная фитомасса (пожнивно-корневые остатки при отчуждении с поля только зерна)	4,4	5,2	6,1	7,0
4	Отношение № 3 к урожаю зерна	2,9	2,2	2,0	1,6

На основании данных таблицы 1 рассчитаны количества растительных остатков, которые дополнительно поступали в почву при интенсификации технологии выращивания яровой пшеницы в трех севооборотах, охарактеризованных ранее [7–9]. Под влиянием интенсивных технологий в севооборотах (табл. 2) увеличилась урожайность зерна и, соответственно, поступление в почву растительных остатков (с полей отчуждалось только зерно). Однако



возможный прирост С орг в пахотном слое почвы во всех севооборотах оказался незначительным – меньше 0,1% С.

Таблица 2. Возможное накопление С орг в пахотном слое чернозема выщелоченного под влиянием увеличения урожайности пшеницы в различных севооборотах

Севооборот	Срок использования, лет	Средняя урожайность зерна (т/га) при технологии		Увеличение за счет интенсификации технологии		Возможный прирост С орг в почве, %
		экстенсивной	интенсивной	зерна, т/га	растительных остатков, т/га пашни	
1. Пшеница – ячмень	12	2,24	3,42	1,18	1,3	0,039
2. Чистый пар + 3 пшеницы	12	2,13	3,78	1,65	1,2	0,036
3. Чистый пар + 2 пшеницы	14	3,25	3,68	0,43	0,5	< 0,03

Этот результат подтверждает данные прямого определения изменений С орг в почвах при длительном применении в полевых опытах минеральных удобрений. Например, обобщение таких данных показало [14], что под влиянием многолетнего (в среднем около 20 лет) применения NPK содержание С орг пахотном слое дерново-подзолистых и серых лесных почв увеличилось только на 0,06%, черноземов – 0,08%. По этому поводу американский агрохимик У. Эндриус [15] еще в середине прошлого столетия писал, что уровень содержания органического вещества в почве «не может быть повышен внесением зеленых удобрений, навоза или минеральных удобрений, если применять эти удобрения в экономически выгодных дозах».

Причины незначительного увеличения С орг в почвах агроценозов нами неоднократно обсуждались [13, 14], хотя это явление, безусловно, требует специального более глубокого исследования. По-видимому, начав механически обрабатывать почву, земледельцы резко ухудшили условия для закрепления в ней свежееобразующихся гумусовых веществ, что и приводит к довольно быстрому установлению равновесия между поступлением растительного вещества и минерализацией ОВ почвы в целом (см. рисунок).

В заключении проанализируем полученные результаты с точки зрения изменения плодородия почвы и содержания СО<sub>2</sub> в атмосфере. Если отсутствуют эрозионные потери почвы, лесостепные черноземы после распашки целины до установления стационарного уровня содержания ОВ утрачивают примерно 25% С орг [13]. Как уже отмечалось, исследуемый старопашотный чернозем выщелоченный содержит примерно 6% гумуса, что соответствует 3,5% С. Можно полагать, что в целинном состоянии он содержал примерно 4,6% С, т.е. потери составили около 1,1% С. Следовательно, применение интенсивных технологий в зерновых агроценозах способно восполнить не более 10% утраченного почвами углерода (0,1% С от 1,1% С). Хотя это и немного, но безусловно благоприятно для плодородия почвы, тем более, что это восполнение не требует специальных затрат, а является следствием мероприятий, применяемых с целью повышения урожайности культур и экономической эффективности производства. Сложнее ответить на вопрос, будут ли интенсивные агротехнологии усиливать статус почвы как нетто-стока СО<sub>2</sub>, т.е. способствовать снижению содержания СО<sub>2</sub> в атмосфере. Дело в том, что интенсификация растениеводства требует большего применения минеральных удобрений, пестицидов, горючего, электроэнергии, т.е. техногенных средств, производство которых сопряжено с дополнительными выбросами СО<sub>2</sub> в атмосферу. К тому же следует иметь в виду, что этих средств больше придется применять всегда пока используются интенсивные технологии, тогда как дополнительное (в сравнении с

экстенсивными технологиями) депонирование атмосферного CO<sub>2</sub> будет происходить только в начальный период интенсификации выращивания культур.

### Литература

1. Основы использования и охраны почв Западной Сибири / отв. ред. И.М. Гаджиев. Новосибирск: Изд-во Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 226 с.
2. Романенко Г.А., Комов Н.В., Тютюнников А.И. Земельные ресурсы России, эффективность их использования. М.: 1996. 307 с.
3. Кудеяров В.Н. Влияние удобрений и системы земледелия на секвестрацию углерода в почвах // Агрохимия. 2022. № 12. С. 79–96.
4. Столбовой В.С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 19–26.
5. Шарков И.Н., Иодко Л.Н. Влияние ежегодного внесения растительных остатков на накопление органического вещества в почве (опыты с 14C) // Почвоведение. 1996. № 9. С. 1073–1077.
6. Шарков И.Н., Букреева С.Л. Способ получения тотально (равномерно) меченной 14C растительной биомассы // Почвоведение. 1998. № 1. С. 121–122.
7. Шарков И.Н., Колбин С.А., Самохвалова Л.М. Проблема азота при использовании чернозема выщелоченного по интенсивной технологии в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2021. № 2. С. 3–10.
8. Шарков И.Н., Колбин С.А., Прозоров А.С., Самохвалова Л.М. Эффективность азотного удобрения при увеличении поступления в почву растительных остатков в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2022. № 3. С. 22–30.
9. Шарков И.Н., Колбин С.А., Васильева Н.В. Возможности интенсификации технологии выращивания яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2023. № 6. С. 3–11.
10. Шатохина Н. Г. Продукционный процесс в зерновых агроценозах на выщелоченных черноземах Приобья // Плодородие почв и питание растений. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1986. С. 25–53.
11. Шатохина Н.Г., Новиков В.М. Биологическая продукция и круговорот элементов питания в агроценозах пшеницы при различных уровнях интенсификации возделывания // Интенсификация возделывания зерновых культур в Западной Сибири. Новосибирск, 1990. С. 165–186.
12. Самохвалов С.Г., Прижукова В.Г., Приваленкова С.Я. Диагностика азотного питания растений по содержанию гумуса в почвах и методика его массового определения // Оперативная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1984. С. 74–87.
13. Шарков И. Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21–27.
14. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // Агрохимия. 2010. № 12. С. 72–81.
15. Эндриус У.Б. Применение органических и минеральных удобрений / Пер. с англ. М.: ИЛ, 1959. 399 с.

### HUMUS REPRODUCTION IN SIBERIAN CHERNOZEMS AT INTENSIFICATION OF WHEAT GROWING TECHNOLOGY

I.N. Sharkov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, humus3@yandex.ru

*Summary. The possibilities of increasing the C org content in arable chernozems by increasing the amount of plant residues due to the intensification of agro-technologies have been evaluated. Using 14C it is shown that each ton of straw, annually applied for 5-7 years, provided accumulation of no more than 0.03% C in the arable layer. It was concluded that the possibilities of increasing C org in arable chernozems are very limited due to the rapid establishment of equilibrium between the input of plant matter and its mineralization.*

*Keywords: soil C org, humus, spring wheat, plant residues.*

УДК 631.4:631.459

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПОЧВАХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ

Ю.К. Шашко, А.В. Юхновец, А.М. Устинова, С.А. Касьянчик

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, [brissa\\_secretary@mail.ru](mailto:brissa_secretary@mail.ru)

***Аннотация.** Приведены принципы формирования противоэрозионных комплексов на эродированных почвах пахотных земель, основанные на учете ландшафтных особенностей территории, количественной оценке интенсивности эрозионных процессов, противоэрозионной устойчивости почв, нормативной оценке элементов почвозащитного земледелия и эколого-экономической эффективности применения этих комплексов, что позволит минимизировать процессы эрозионной деградации почв, обеспечит их достаточную производительную способность, а также экологическую устойчивость агроландшафтов.*

***Ключевые слова:** эрозия почв, противоэрозионные комплексы, эколого-экономическая эффективность.*

**Введение.** В Беларуси установлено более 20 видов и форм деградации почв и земель [1]. Основными из них являются водная и ветровая эрозия почв сельскохозяйственных земель, радиоактивное загрязнение земель, минерализация органического вещества органогенных почв, дегумификация и уплотнение почв, заболачивание земель.

В силу особенностей рельефа, геоморфологии, характера почвообразующих пород и интенсивной антропогенной нагрузки на почвенный покров, для Беларуси крайне актуальной является проблема эрозионной деградации почв.

На территории республики эрозионные процессы проявляются во всех видах и разновидностях. Водная эрозия вызывается талыми и ливневыми водами и проявляется на склонах в виде смыва верхней части почвенного покрова (плоскостная и струйчатая эрозия) или в виде размыва в глубину (линейная эрозия). Уже на склонах 1–2 градуса проявляется плоскостная эрозия. С возрастанием крутизны она усиливается, увеличивая ложбинность полей, и перерастает в линейную эрозию [2].

Водной и ветровой эрозии подвержено 556,5 тыс. га сельскохозяйственных земель, что составляет 7,2% от общей площади, в том числе, водной эрозии подвержено 473,3 тыс. га или 85%, дефляции – 83,2 тыс. га или 15% [3]. Причем большинство эродированных и дефлированных почв приурочено к пахотным землям – 479,5 тыс. га или 86%. Из общей площади почв, подверженных водной эрозии, слабоэродированные распространены на 268,3 тыс. га (56%), среднеэродированные – на 120,0 тыс. га (25%), сильноэродированные – на 20,2 тыс. га (4%).

Земли с потенциально возможным смывом составляют 1,4 млн га, а дефляционноопасные почвы в Белорусском Полесье – около 1 млн га [3]. Такие почвы при нерациональном их использовании могут быть подвержены эрозии. При этом, в ряде районов вполне отчетливо прослеживается тенденция расширения ареалов действия процессов эрозионной деградации.

Эрозия наносит существенный эколого-экономический ущерб. Проведенные исследования показывают, что на пахотных землях ежегодно с одного гектара водосборной площади с поверхностным стоком смывается или выносится ветром с осушенных земель в среднем до 10–15 т твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 кг кальция и магния [4].

Потери органического вещества и элементов питания растений, ухудшение агрофизических, биологических и агрохимических свойств дерново-подзолистых почв с маломощным гумусовым горизонтом отрицательно сказываются на их производительной способности [5]. В наибольшей степени реагируют на эродированность почвы пропашные культуры, урожайность которых снижается на слабосмытых почвах на 20%, на среднесмытых – на 40 и на сильносмытых почвах – на 60%. Недоборы урожая зерновых и зернобобовых культур на слабоэродированных почвах в среднем составляют 12%, на среднеэродированных – 28 и на сильноэродированных почвах – 40 %. Продуктивность многолетних трав может уменьшаться в зависимости от эродированности почвы на 5–30% [2].

Экологический ущерб от эрозии выражается в том, что в условиях холмистого рельефа и близкого расположения пахотных земель к акватории водоемов, смываемый мелкозем и

биогенные элементы способствуют заилению и загрязнению рек и озер нитратами, фосфатами, хлоридами, пестицидами. Кроме того, ухудшается качество поверхностных вод и водных ресурсов в целом [5].

**Результаты и обсуждение.** В Республике Беларусь прилагаются огромные усилия для установления особенностей формирования процессов эрозионной деградации в различных почвенно-экологических провинциях и разработке эффективных мероприятий по борьбе с эрозией. Основное внимание при этом уделяется адаптации противоэрозионных приемов к конкретным почвенно-экологическим условиям.

Территория Беларуси характеризуется разнообразием геоморфологических, почвенных, агротехнологических, экологических и других условий. Поэтому основными принципами при проектировании противоэрозионных комплексов являются:

- *Учет ландшафтных особенностей территории.* Согласно проведенному почвенно-экологическому районированию, территория республики разделена на три почвенно-экологические провинции (ПЭП) и сорок почвенно-экологических районов (ПЭР) независимо от административно-территориального деления. Каждая ПЭП и ПЭР характеризуется определенными агроэкологическими условиями, от которых зависят темпы водно-эрозионных процессов. Этот принцип реализуется путем адаптации противоэрозионных комплексов к конкретным условиям агроландшафтов [5].

- *Количественная оценка интенсивности процессов эрозионной деградации, устойчивости почв к проявлению эрозии и противоэрозионной роли элементов почвозащитного земледелия.* Для оценки этих показателей используются расчетные методы, а также нормативы, разработанные в лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии (таблица 1–4), позволяющие получить объективные данные по каждому полю и рабочему участку [4, 6, 7].

Таблица 1. Коэффициенты противоэрозионной эффективности агрофонов

Агрофон		$K_A$
Культура	Обработка почвы	
Зябрь + чистый пар	Отвальная вспашка	0,00
Пропашные	Отвальная вспашка	0,10
Яровые зерновые и зернобобовые	Отвальная вспашка	0,35
	Безотвальная и минимальная	0,46
Однолетние травы	Отвальная вспашка	0,34
	Безотвальная и минимальная	0,45
Озимые зерновые	Отвальная вспашка	0,84
	Безотвальная и минимальная	0,86

Таблица 2. Нормативные показатели потерь гумуса и элементов питания дерново-подзолистых почв под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почво-образующая порода	Гумус		$P_2O_5$		$K_2O$	
		содержание, %	норматив потерь, %	содержание, %	содержание, %	содержание, %	норматив потерь, %
неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–	100	–
слабая		85–95	5–15	70–80	20–30	75–80	20–25
средняя		70–95	15–30	60–70	30–40	70–75	25–30
сильная		55–70	30–45	50–60	40–50	60–70	30–40
неэродированная	моренные супеси	100	–	100	–	100	–
слабая		80–90	10–20	75–85	15–25	80–85	15–20
средняя		70–80	20–30	70–75	25–30	70–80	20–30
сильная		55–75	35–45	60–65	35–40	60–70	30–40
неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–	100	–
слабая		85–95	5–15	80–90	10–20	80–90	10–20
средняя		75–85	15–25	70–80	20–30	70–80	20–30
сильная		60–70	30–40	60–70	30–40	60–70	30–40



Таблица 3. Нормативные показатели снижения урожайности сельскохозяйственных культур под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почво-образующая порода	Сельскохозяйственная культура						
		однолетние травы	многолетние травы	озимые зерновые и озимый рапс	яровые зерновые и яровой рапс	лен-долгунец	сахарная свекла	кукуруза (з/м)
неэродированная	моренные суглинки	–	–	–	–	–	–	–
слабая		0–15	0–10	0–15	10–15	–	–	10–20
средняя		15–25	10–20	15–30	15–25	–	–	20–40
сильная		25–30	20–25	30–45	25–35	–	–	40–60
неэродированная	лессовидные суглинки	–	–	–	–	–	–	–
слабая		0–10	0–10	0–15	10–15	5–15	0–10	10–20
средняя		10–20	10–15	15–30	15–30	15–20	15–25	20–40
сильная		20–30	15–25	30–45	30–40	30–35	40–45	40–50

Таблица 4. Степень устойчивости сельскохозяйственных культур к водно-эрозионным процессам

Степень устойчивости	Культуры	Снижение урожайности от эрозии, %		
		степень эродированности почв		
		слабая	средняя	сильная
Высокая	Однолетние травы, многолетние травы	менее 5	6–15	15–20
Средняя	Озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, лен-долгунец, сахарная свекла	менее 15	15–30	31–45
Низкая	Кукуруза (зеленая масса)	10–20	21–40	41–60

- *Приоритетность элементов почвозащитного земледелия в почвенно-экологических районах.* С учетом масштабов и разносторонности отрицательных последствий эрозии почв главной задачей для растениеводческой отрасли является внедрение противоэрозионных комплексов. Только на их фоне устраняются другие негативные явления.

- *Дифференциация противоэрозионных приемов.* В зависимости от морфометрии рельефа, степени эродированности и величины потенциально возможного смыва почвы на обрабатываемых землях проводится внутрихозяйственное районирование с разделением земель на группы по возможной интенсивности их сельскохозяйственного использования. На примере хозяйств, наиболее типичных для каждой из выделенных ПЭП разработаны базовые модели организации территории в эрозионных агроландшафтах.

- *Формирование севооборотов, выбор приемов основной и специальной обработок почвы, а также системы удобрения на основе нормативной оценки их противоэрозионной роли.* Выделенные группы земель служат в качестве первичных территориальных единиц, применительно к которым разрабатываются элементы почвозащитного земледелия на основе нормативной оценки их противоэрозионной роли.

- *Эколого-экономическая эффективность противоэрозионных комплексов.* Экологический эффект достигается при условии, что остаточные потери почвы после применения противоэрозионного комплекса будут меньшими или, в крайнем случае, равными величине предельно допустимой эрозии (ПДЭ). Значение ПДЭ для преобладающих в Беларуси дерново-подзолистых почв изменяется от 3,0 т/га (слабоэродированные) до 1,5 т/га (сильно и очень сильноэродированные). Средневзвешенная величина составляет 2,0 т/га в год [4].

Экономический эффект обусловлен предотвращением потерь органического вещества почвы и элементов питания растений. Он определяется исходя из стоимости органических и

минеральных удобрений, требующихся для компенсации потерь, затрат на их транспортировку, хранение и внесение. Для условий республики экономическая эффективность применения почвозащитной системы земледелия на дерново-подзолистых почвах изменяется от 3,3 USD/га на слабоэродированных до 29,9 USD/га на сильноэродированных.

Такой подход в использовании земель республики позволяет в максимальной степени адаптировать земледелие к конкретным почвенно-экологическим условиям, предотвратить дальнейшее развитие водно-эрозионных процессов и обеспечить их достаточную производительную способность, а также экологическую устойчивость агроландшафтов.

**Заключение.** Приведенные принципы формирования противоэрозионных комплексов на эродированных почвах сельскохозяйственных земель Республики Беларусь позволяют адаптировать земледелие к конкретным почвенно-экологическим условиям, минимизировать процессы эрозионной деградации почв, обеспечить их достаточную производительную способность, а также экологическую устойчивость агроландшафтов.

#### Литература

1. Черныш А.Ф., Устинова А.М., Цырибко В.Б., Червань А.Н., Касьяненко И.И. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка // Почвоведение и агрохимия. Минск, 2016. № 2(57). С. 7–17.
2. Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Червань А. Н., Касьяненко И. И., Романенко С. С., Цырибко В. Б. Эрозионная деградация почв Беларуси // Земледелие и защита растений. Приложение к журналу № 2 (117), 2018 г. «Плодородие почв и эффективное применение удобрений». С. 7–26.
3. Кузнецов Г.И., Н.И. Смяян, Цытрон Г.С. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие /под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смяяна. Минск: Оргстрой, 2001. 432 с.
4. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси. Рекомендации. РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А.Ф. Черныша. Минск, 2005. 45 с.
5. Черныш А.Ф., Юхновец А.В., Устинова А.М. Принципы формирования противоэрозионных комплексов на пахотных землях Беларуси //Черноземы Молдавии – эволюция, защита и рациональное использование: мат. Междунар. науч.-практич. конф., посвященной 60-летию Института почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Р. Димо, 12-13 сентября 2013, Молдова. С. 127–130.
6. Цыбулько Н.Н. Противоэрозионная эффективность основной обработки почв // Земледелие и защита растений. 2018. № 5 (120). С. 6–12.
7. Устинова А.М., Цырибко В.Б., Логачев И.А., Митькова А.А., Воронвич С.Д. Система нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате эрозионных процессов // Почвоведение и агрохимия. 2023. № 1(70). С. 7–15.

#### THEORETICAL ASPECTS OF THE CREATION OF ANTI-EROSION COMPLEXES ON THE SOILS OF ARABLE LANDS OF BELARUS

Y.K. Shashko, A.V. Yuknavets, G.M. Ustsinava, S.A. Kas'yanchik

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, brissa\_secretary@mail.ru

*Summary.* The principles of the formation of anti-erosion complexes on eroded arable soils of Belarus, based on the inventory of regional features, quantitative assessment of the intensity of the manifestation of erosion processes, anti-erosion stability of soils, regulatory assessment of elements of soil protection agriculture and ecological and economic efficiency are presented. The using of anti-erosion complexes will minimize the processes of erosion degradation of soils, ensure their sufficient productive ability, as well as environmental sustainability of agricultural landscapes

*Keywords:* soil erosion, anti-erosion complexes, ecological and economic efficiency.

УДК 631.46

## ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИНВЕРТАЗЫ В ЧЕРНОЗЕМАХ МИГРАЦИОННО-СЕГРЕГАЦИОННЫХ ПРИ ПОДТОПЛЕНИИ

А.О. Шевченко, С.А. Тищенко

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, [alena\\_sh14@mail.ru](mailto:alena_sh14@mail.ru)

**Аннотация.** Изучена активность инвертазы в поверхностном горизонте чернозема миграционно-сегрегационного при его подтоплении грунтовыми водами. Установлено статистически достоверное (при  $p < 0,05$ ) возрастание ее активности при переувлажнении черноземов относительно автоморфного пахотного аналога. Достаточный уровень увлажнения гумусово-аккумулятивного горизонта без смены окислительно-восстановительного равновесия становится причиной восстановления активности инвертазы по сравнению с пахотным горизонтом.

**Ключевые слова:** грунтовое подтопление, черноземы миграционно-сегрегационные,  $\beta$ -фруктофуранозидаса, инвертаза.

Постоянная хозяйственная деятельность в степных зонах Ростовской области способствует подъему грунтовых вод, а в сочетании с естественными факторами это приводит к существенным изменениям водного режима территорий [1]. При этом автоморфные чернозёмы приобретают признаки гидроморфизма, обуславливающие ряд деграционных процессов в почве, изменение растительности на гигрофитную, снижение ценности полей для сельскохозяйственного производства. Появившись однажды, участки локального переувлажнения длительно существуют на сельскохозяйственных полях, от года к году лишь изменяя свою площадь и конфигурацию в зависимости от количества выпавших осадков. Поскольку протекание данных процессов неприметно, а интенсивно возрастающая деграция почв может угрожать продовольствию страны, увеличение территорий локального избыточного увлажнения поставило задачу всестороннего исследования изменения режимов и свойств черноземов, затронутых этим процессом.

Состояние таких почв обусловлено изменением их морфологических, биологических, физических, физико-химических показателей [2, 3]. Известно, что ферментативная активность гидролаз повышается при подтоплении и положительно связана с содержанием органического углерода в почве [4, 5].

Целью исследования стало изучение активности инвертазы ( $\beta$ -фруктофуранозидазы) в поверхностном горизонте чернозема миграционно-сегрегационного при его подтоплении грунтовыми водами.

Объектом изучения стал агроценоз в Зерноградском районе Ростовской области, на территории которого в результате подтопления территории района грунтовыми водами и особенностей рельефа данного поля сформировался локально-переувлажненный ландшафт. Почва на территории изучаемого сельскохозяйственного поля представлена агрочерноземом миграционно-сегрегационным, почва на территории участка переувлажнения классифицируется как чернозем квазиглееватый. Фитоценоз участка исследования представлен влаголюбивыми растительными группировками с доминированием тростника обыкновенного *Phragmites australis* и вейника наземного *Calamagrostis epigeios*. При отборе поверхностных образцов (до глубины 15 см) использовался метод линейных трансект с шагом 1 м (рис. 1). Две трансекты (№1 и №2) были заложены в пределах территории локально-переувлажненного ландшафта, одна (№3) – за ее пределами, на пашне.

Отбор образцов проводился в октябре 2022 года. Для определения активности инвертазы пользовались колориметрическим методом определения с реактивом Феллинга [5]. Математическая обработка полученных результатов проводилась с помощью программы Statistica 13.

В результате исследования активности инвертазы в пределах того же ландшафта было установлено, что при избыточном увлажнении она увеличивается в сравнении с пашней, особенно в центральном участке пятна переувлажнения, где уровень влажности наибольший среди всех изученных участков (рис. 2).



Рисунок 1. Схема расположение трансект на территории агроценоза.

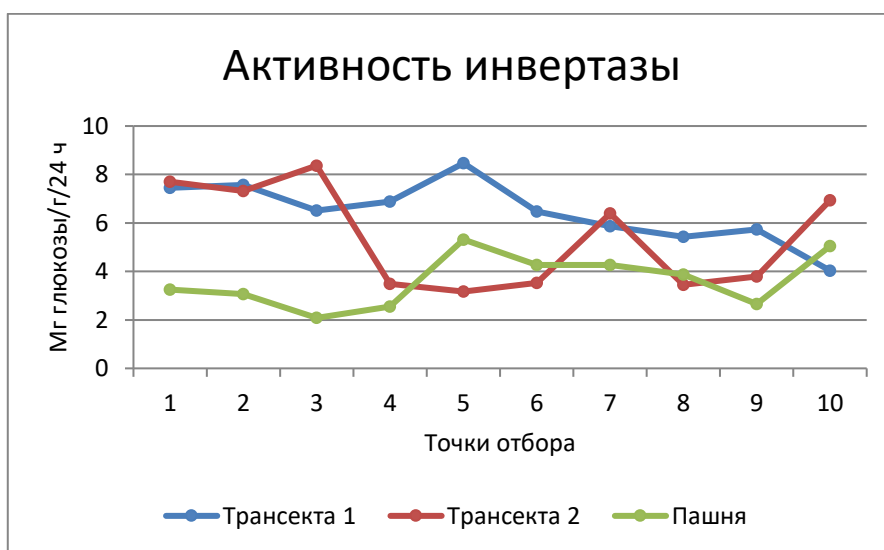


Рисунок 2. Активность инвертазы в пределах локально-переувлажненного ландшафта, мг глюкозы/г/24 ч.

Было выявлено статистически достоверное увеличение активности инвертазы (при  $p < 0,05$ ) для центра переувлажнения относительно пашни. Значения для центра переувлажнения и пашни варьировали меньше, чем для трансекты на периферии переувлажнения. При сравнении средних значений были выявлены значимые различия между трансектами на участке подтопления и пашней (рис. 3).

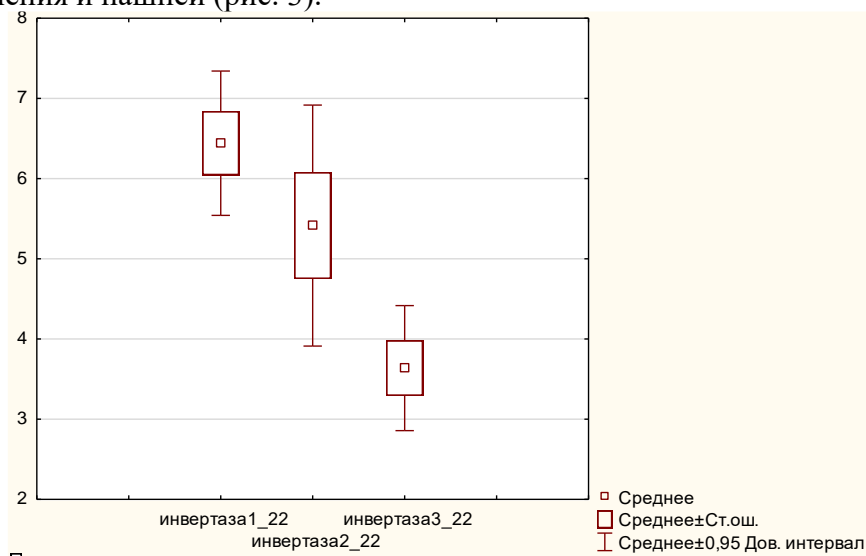


Рисунок 3. Диаграмма размаха активности инвертазы пахотного горизонта локально-переувлажненного ландшафта.



Корреляционный анализ Спирмена не выявил значимой связи между инвертазной активностью и содержанием органического углерода и обнаружил связь средней силы между влажностью и активностью фермента, правда не подтверждаемую достоверно. Ранее была изучена активность других ферментов углеродного цикла [6], но корреляционный анализ также не выявил достоверной связи между этими параметрами.

Таким образом, было выявлено, что при локальном подтоплении грунтовыми водами активность инвертазы в поверхностном горизонте почв в центре участка переувлажнения относительно пахотного аналога достоверно возрастает. По уровню инвертазы можно судить о содержании в почве углеводов, которые могут легко гидролизироваться и служить источником энергии для почвенных организмов. Ежегодное поступление растительного опада становится причиной наличия субстрата для возрастания активности изученного фермента, тогда как известно, что при распашке активность инвертазы может снижаться [5, 7]. В данном случае увеличение уровня увлажнения без смещения окислительно-восстановительного равновесия в сторону восстановительных процессов, а также смена характера растительного покрова являются причиной для активизации действия изученного фермента и возможного восстановления его до уровня, близкого к характерному для черноземов миграционно-сегрегационных.

### Литература

1. Кравцов, Ю. В. Гидрологическое состояние почвогрунтов Ишимской степи / Ю. В. Кравцов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. № 12(192). С. 12–19. EDN JWSEQZ.
2. Казеев К.Ш., Фомин С.Е., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности локально-гидроморфных почв Ростовской области // Почвоведение. 2004. № 3. С. 361–372.
3. Зайдельман, Ф. Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв: Дегградация, использование и охрана / Ф. Р. Зайдельман. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. 288 с. ISBN 5-286-00741-6. EDN TSHOSX.
4. Кандашова, К.А. Влияние оглеения на эколого-биологические свойства переувлажненных почв юга России / К.А. Кандашова, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2015. 108 с. ISBN 978-5-9275-1879-1. EDN VWLSTN.
5. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021. 174 с.
6. Шевченко А.О., Драгун В.С. Изменение активности ферментов пероксидазы и полифенолоксидазы в черноземе миграционно-сегрегационном при переувлажнении // Экология и природопользование. Вып. 19. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2022. С. 110–114.
7. Чевердин Ю. И. и др. Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // Живые и биокосные системы. 2017. №. 21. С. 2-2.

### THE CHANGE OF INVERTASE ACTIVITY IN THE HAPLIC CHERNOZEM CALCIC UNDER GROUNDWATER FLOODING

A.O. Shevchenko, S.A. Tishchenko

Southern Federal University, Rostov-on-Don, [alena\\_sh14@mail.ru](mailto:alena_sh14@mail.ru)

*Summary. The activity of invertase under its flooding by groundwater in the surface horizon of the Haplic chernozem calcic was studied. A statistically significant (at  $p < 0.05$ ) increase in its activity was found in the waterlogging chernozem relative to the automorphic arable analogue. A sufficient level of humidification of the humus-accumulative horizon without changing the redox equilibrium causes the restoration of invertase activity compared to the arable horizon.*

*Keywords: groundwater flooding, Haplic chernozem calcic,  $\beta$ -fructofuranosidase, invertase.*

УДК 631.45

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ МЕЗОРЕЛЬЕФА

А.А. Шпедт<sup>1,2</sup>, В.В. Злотникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского  
отделения РАН», Красноярск

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, [kogouakova.v@mail.ru](mailto:kogouakova.v@mail.ru)

**Аннотация.** Работа ориентирована на совершенствование методики оценки природно-ресурсного потенциала (ПРП) агроландшафтов. При оценке учтены такие показатели как: тип почв, сумма температур выше 10°C, сумма годовых осадков, экспозиция и крутизна склонов, степень деградации. Выполнена оценка ПРП полей опытно-производственного хозяйства «Минино», созданы карты с помощью программного средства QGIS. Деградиционные процессы, положение сельскохозяйственных полей в условиях мезорельефа, понизили ПРП на 3,0–8,8 единицы от эталонного значения.

**Ключевые слова:** природно-ресурсный потенциал, мезорельеф, деградация, ГИС-технологии.

**Актуальность.** Повышение эффективности сельского хозяйства, направленно на поиск наиболее экономически и экологически целесообразных вариантов организации и использования земельных ресурсов в аграрном производстве, выступает актуальным и практически востребованным направлением [1]. Полагаем, что наиболее важная составляющая здесь является оценка природно-ресурсного потенциала (ПРП) агроландшафтов, осуществляемая с целью повышения экономической эффективности и снижения экологических и финансовых рисков.

Оценка ПРП агроландшафтов базируется на нескольких фундаментальных параметрах, характеризующих условия тепло- и влагообеспеченности, типы почв. Возможности ведения земледелия, его эффективность в значительной мере обусловлены рельефом, это объясняется тем, что продуктивность культур имеет зависимость как от доступности влаги и элементов питания, так и от освещенности, прогрева территории и интенсивности перемещения веществ по поверхности геосистемы и в почвенной толще [2, 3]. Для более детальной оценки ПРП следует дополнить оценочные параметры введением поправочного коэффициента на мезорельеф. Кроме того, балльная оценка почв должна быть дополнена значениями, характеризующими степень проявления эрозии и дефляции, их наличие является одним из проявлений экологического кризиса сельхозугодий, и отражается на продуктивности сельскохозяйственных культур.

Цель исследования – модернизировать методику оценки ПРП агроландшафтов в условиях мезорельефа с учетом степени деградации почв.

**Объекты и методы исследования.** Для расчета ПРП агроландшафтов применяли информационно-логический анализ [4, 5] и уравнения, где оцениваемые показатели оказывают наибольшее влияние на результат, если стоят в начале формулы. Для лесостепной зоны большее значение имеет теплообеспеченность. Уравнение будет иметь вид:

$$(1) \quad \text{ПРП (1-27)} = T \vee (O \vee П),$$

где: ПРП – природно-ресурсный потенциал, балл (в скобках порядковый номер почв);

T – баллы за сумму температур выше 10°C;

O – баллы за годовую сумму осадков;

П – баллы за почву;

∨ – знак нелинейного логического сложения;

Для степной и сухостепной зон в дефиците будут осадки, поэтому степные и сухостепные агроландшафты, с лучшей влагообеспеченностью должны быть оценены выше. Уравнение будет иметь вид:

$$(2) \quad \text{ПРП (28-52)} = O \vee (T \vee П);$$

Для интразональных ландшафтов, где качество почв будет иметь определяющее значение, уравнение будет иметь вид:

$$(3) \quad \text{ПРП (53-65)} = П \vee (T \vee O).$$

Данные формулы являются «открытыми», что позволяет вводить в них другие информативные оценочные показатели. Для оценки ПРП деградированных почв в условиях мезорельефа для лесостепной зоны используем следующую формулу:

$$(4) \quad \text{ПРП (1-27)} = T \vee (O \vee (\Pi \times P \times D)),$$

где: P – поправочный коэффициент на рельеф;

D – поправочный коэффициент на степень деградации почв;

× – знак умножения;

Для степных и сухостепных агроландшафтов формула будет иметь вид:

$$(5) \quad \text{ПРП (28-52)} = O \vee (T \vee (\Pi \times P \times D));$$

Для интразональных агроландшафтов формула будет выглядеть следующим образом:

$$(6) \quad \text{ПРП (53-65)} = (\Pi \times P \times D) \vee (T \vee O).$$

Оценка почв в условиях мезорельефа – процесс определения качества и характеристик почвы на территории, которая находится в пределах среднего уровня рельефа. Мезорельеф – формы рельефа средних размеров с колебаниями высот, измеряемыми метрами и десятками метров (склоны, ложбины, балки, террасы и др.). В региональных условиях в серии полевых опытов были получены поправочные коэффициенты на фоне выраженного мезорельефа [6]. За единицу принимали почвы плакорных участков. Коэффициенты для почв склонов переходных экспозиций, например, юго-восточной, был рассчитан, как среднее между коэффициентами для почв земель ближайших к ним склонов (табл. 1).

Таблица 1. Балльная оценка мезорельефа (крутизна склонов 4–6 градусов)

№ п/п	Условия рельефа	Поправочный коэффициент
1	Восточный склон	1,15
2	Юго-восточный склон	1,10
3	Южный склон	1,05
4	Плато, ложбина, северо-восточный склон	1,00
5	Юго-западный склон	0,90
6	Северный склон	0,85
7	Западный склон, северо-западный склон	0,80

Деградация земель – процесс снижения качества почвы и ее способности поддерживать жизнедеятельность растений. Одним из индикаторов деградации является уменьшение запасов гумуса, который является основным компонентом почвы. Уменьшение запасов гумуса менее чем на 10% от исходного состояния оценивается как очень слабая степень деградации земель, на 11–20% – 1 степень, 21–40% – 2 степень деградации земель, 41–80% – 3 степень, снижение запасов более 81% характеризуется как очень сильная степень деградации земель [7]. На основе показателей уменьшения запасов гумуса были введены поправочные коэффициенты, снижающие агропроизводительную способность почв (табл. 2).

Таблица 2. Балльная оценка степени деградации земель

№ п/п	Степень деградации	Поправочный коэффициент
1	0 – недеградированные	1
2	1 – слабodeградированные	0,80
3	2 – среднедеградированные	0,60
4	3 – сильнодеградированные	0,40
5	4 – очень сильнодеградированные	0,20

Оценку ПРП выполняют по следующей градации (балл): 1–20 – низкий; 21–40 – пониженный; 41–60 – средний; 61–80 – повышенный; 81–100 – высокий.

Объектом оценки ПРП деградированных почв в условиях мезорельефа выступала территория ОПХ «Минино», представленная равнинной, южной, открытой, достаточно теплой ( $\Sigma t > 10^\circ = 1795^\circ\text{C}$ ), засушливой ( $\Sigma$  осадков за вегетацию = 378 мм) частью Красноярской

лесостепи с выраженными остепненными участками, удобными для пашни. В сельскохозяйственном производстве эти земли используют на протяжении трех с половиной столетий, поэтому почвы находятся в деградированном состоянии [8].

Земледельческая территория хозяйства представлена в основном черноземами выщелоченными и обыкновенными (79,3% территории). Темно-серые и серые лесные оподзоленные почвы составляют 10% почвенного покрова хозяйства, присутствуют также луговые (5,1%) и лугово-черноземные почвы (4,3%).

**Обсуждение результатов.** Алгоритм оценки ПРП деградированных почв в условиях мезорельефа выглядит следующим образом: 1. Получение фактических данных о почвах, условиях тепло- и влагообеспеченности, посредством соответствующих Георесурсных БД. Построение карт крутизны и экспозиции склонов с помощью ГИС-технологий. Извлечение данных о наличии деградационных процессов. 2. Оценка типов (подтипов) почв, значений сумм температур выше 10°C, годовых сумм осадков, благоприятности рельефа и степени деградации земель в баллах посредством формул 4–6. Для оценки всего землепользования следует использовать формулу средневзвешенного значения. 3. Оценка полученных значений ПРП.

С помощью ГИС-технологий были вычислены средние уклоны земной поверхности ОПХ «Минино», результаты расчета представлены на рисунке 1. На следующем этапе была построена карта экспозиций склонов (рис. 2).

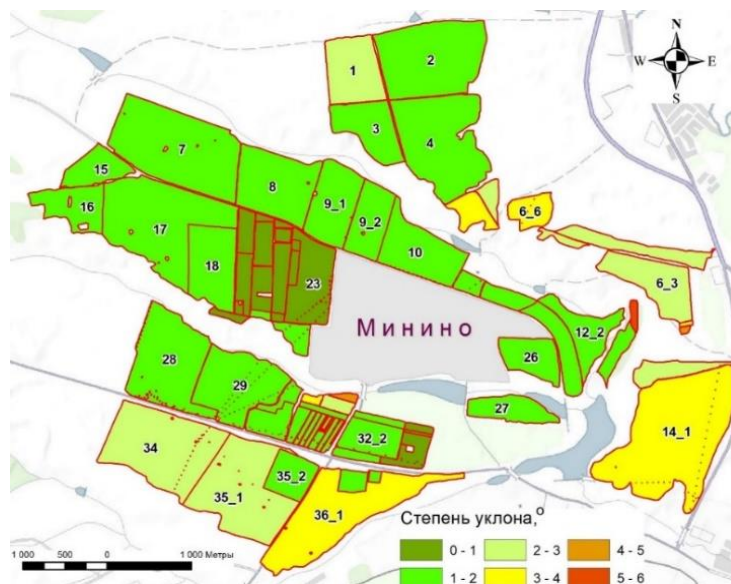


Рисунок 1. Средняя степень уклона полевых участков ОПХ «Минино».

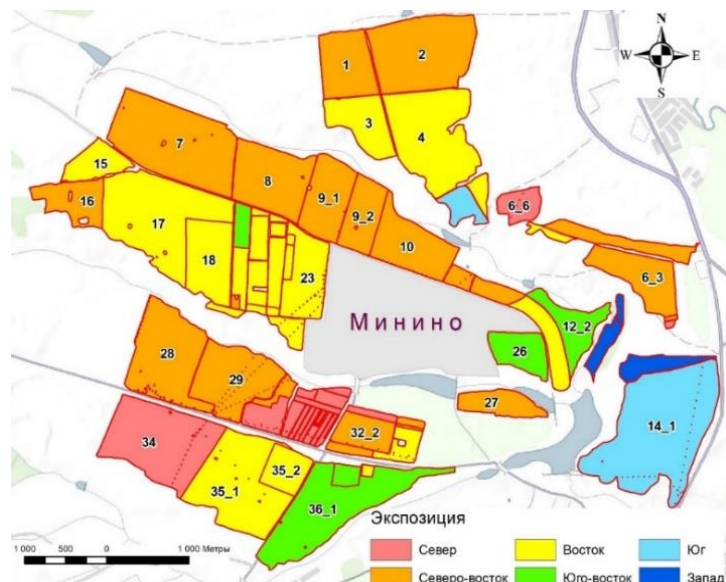


Рисунок 2. Экспозиция склонов полевых участков ОПХ «Минино».



Наиболее благоприятные участки ОПХ «Минино» с несмытым и слабосмытым почвенным покровом, пригодные для интенсивного использования и возделывания основных сельскохозяйственных культур и расположенные на склонах с крутизной до 3°, занимают 84 % территории (1740,2 га). Площадь слабо- и среднесмытых участков с крутизной склонов 3-5°, характеризующихся умеренно благоприятными условиями со средним уровнем плодородия и пригодных для умеренного использования, составляет 15,7% (326,5 га). Площади земельных контуров с крутизной склонов выше 5°, характеризующихся наличием средне- и сильносмытых почв с низким плодородием, пригодных для ограниченного использования, занимают 0,3% территории землепользования (7,8 га) (рис. 3).

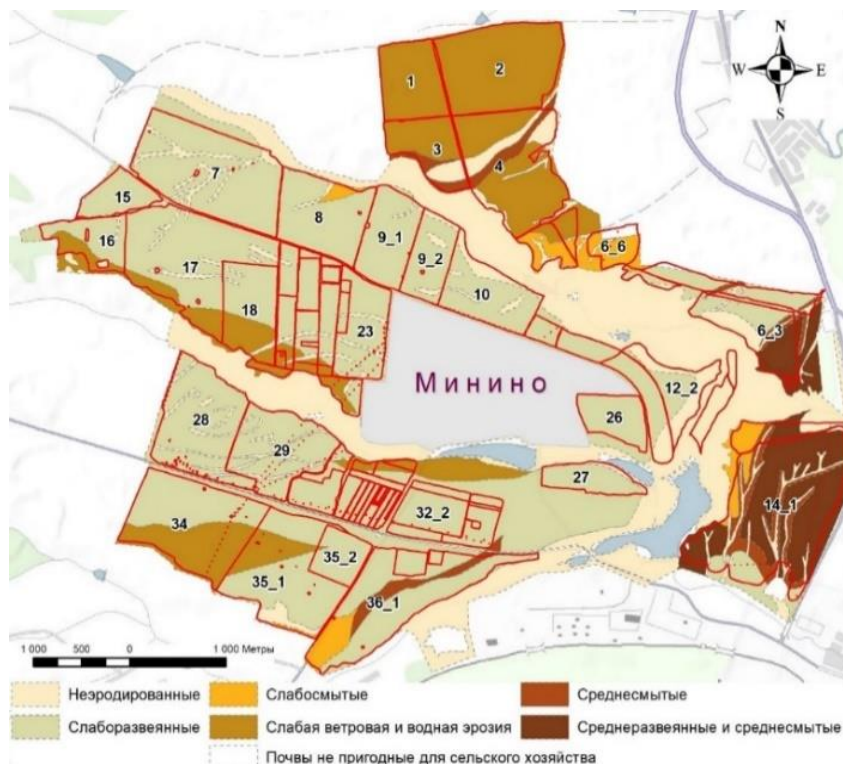


Рисунок 3. Схематическая картограмма дефляции и эрозии ОПХ «Минино».

Рельеф ОПХ «Минино» в большей степени представлен крутизной склонов до 3°, что характеризует его как благоприятный, для учета рельефных особенностей были выбраны полевые участки, где степень уклона более 4 градусов.

Таблица 3. Оценка ПРП деградированных почв в условиях мезорельефа

№ поля	Площадь, га	Наименование почв и их % содержание	Баллы за					Итоговый балл $T_V(OV\Pi)$	Итоговый балл $T_V(OV(\Pi \times D \times P))$
			П	О	Т	Д	Р		
6	93,9	ЧО (81), ЧВ (14), Чоп (6)	95,1	35	35	0,8	0,9	50,0	43,2
13	14,2	ЧО (30), ЛЧС (70)	72,2	35	35	1,0	0,8	44,3	40,7
14	187,0	ЧО (71), ЧВ (4), Чоп (9), ЧК (15)	95,9	35	35	0,7	0,9	50,2	41,3
36	116,8	ЧО (13), ЧВ (20), ЧС (42), СО (25)	83,0	35	35	0,8	1,1	47,0	44,0

В таблице 3 представлены результаты оценки ПРП деградированных агроландшафтов землепользования, выраженные в баллах. Расчет итогового балла был выполнен без и с учетом поправочных коэффициентов. Из таблицы видно, как условия мезорельефа и наличие деградированных процессов слабой и сильной степени повлияло на ПРП хозяйства, итоговые баллы понижены на 3,0–8,8 единицы.

Оценка природно-ресурсного потенциала агроландшафтов представляет собой сложную систему, которая базируется на методологической основе адаптивно-ландшафтного земледелия. Варьирование природных условий требует более дифференцированно подходить к проблеме их использования.

**Заключение.** В результате исследования была усовершенствована методика определения ПРП деградированных почв в условиях мезорельефа, путем введения поправочных коэффициентов, оценивающих влияние лимитирующих факторов продуктивности почв. В геоинформационной системе созданы карты, отражающие основные показатели необходимые для оценки ПРП ОПХ «Минино». Выполнен расчет ПРП деградированных почв в условиях мезорельефа, наибольшее снижение наблюдается на полевых участках склонов южной и юго-западной экспозиций хозяйства, так как они эродированы больше, чем северные и северо-восточные. Основная причина в том, что в весеннее время они более прогреваемы, вследствие чего на них происходит более интенсивное снеготаяние.

#### Литература

1. Чуян О. Г., Золотухин А. Н., Караулова Л. Н. и др. Система поддержки принятия решений по рациональному использованию природно-ресурсного потенциала в агроландшафтах ЦЧР // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. Вып. 9. С. 5–12. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_9\_5
2. Шпедт А. А., Пурлаур В. К., Михайленко Н. В., Кузьмин П. В. Влияние мезорельефа на продуктивность зерновых культур и плодородие чернозема Красноярской лесостепи // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1228–1234.
3. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Исследование влияния почвенного покрова и рельефа на продуктивность культур // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 19–26. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10203.
4. Шпедт А. А., Трубников Ю. Н., Методика оценки природно-ресурсного потенциала агроландшафтов России // «Живые и биокосные системы». 2020. № 31. С. 1.
5. Бурлакова Л. М. Применение информационно-логического анализа в бонитировке почв // Тез. докл. V Делегатского съезда Всесоюз. об-ва почвоведов. Минск, 1977. Вып.5. С. 235–237.
6. Шпедт А.А. Природно-хозяйственная оценка почвенного покрова сельскохозяйственных угодий Красноярского края: монография. Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2012. 130 с.
7. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель (Письмо Госкомзема России от 29 июля 1994 г. № 3-14-2/1139)
8. Ерунова М. Г., Шпедт А. А., Якубайлик О. Э. и др. Геопространственная база данных цифровизации системы земледелия Красноярского края // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. Вып 7. С. 56–61. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10714.

#### METHODOLOGY FOR ASSESSING THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF DEGRADED SOILS UNDER MESORELIEF CONDITIONS

A.A. Shpedt<sup>1,2</sup>, V.V. Zlotnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Krasnoyarsk

<sup>2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, [kogoyakova.v@mail.ru](mailto:kogoyakova.v@mail.ru)

*Summary.* The work is focused on improving the methodology for assessing the NRP of agricultural landscapes. The assessment takes into account such indicators as: soil type, sum of temperatures above 10°C, sum of annual precipitation, exposure and steepness of slopes, degree of degradation. The evaluation of the NRP of the fields of the experimental production farm "Minino" was carried out, maps were created using the QGIS software tool. Degradation processes, the position of agricultural fields in mesorelief conditions, lowered the NRP by 3.0-8.8 units from the reference value.

*Keywords:* natural resource potential, mesorelief, degradation, GIS technologies.

УДК 631.4:631.5

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПОЧВЕ ПОД ПОСЕВОМ ПШЕНИЦЫ

Н.Н. Шулико

ФГБНУ Омский аграрный научный центр, Омск, [shuliko@anc55.ru](mailto:shuliko@anc55.ru)

**Аннотация.** В условиях южной лесостепи Западной Сибири установлено, что интенсивность разложения целлюлозы зависела от количества нитратного азота в почве, ее влажности, а также численности почвенных микроорганизмов. Целлюлозолитическая активность чернозема выщелоченного повышалась под влиянием используемых биопрепаратов. Выявлена тесная связь интенсивности процесса с урожайностью культуры пшеницы.

**Ключевые слова:** целлюлозолитическая активность, биопрепараты, микроорганизмы, нитратный азот, влажность почвы, яровая пшеница.

**Актуальность.** Важным этапом в разложении органических веществ, попадающих в почву с растительными и животными остатками, а также органическими удобрениями, является распад клетчатки. Именно клетчатка служит основным источником энергии для всей жизни почвы [1]. Этот процесс в почве хорошо обеспечен исходным материалом и протекает непрерывно. В пахотном слое почвы клетчатки содержится около 5%, что является резервом плодородия почвы [2].

Целлюлозолитическая активность почвы может служить характеристикой трансформации органического вещества, вовлечения труднодоступных форм углерода в биологический круговорот и, в конечном итоге, определяет уровень почвенного плодородия и продуктивность биоты [3, 4, 5].

В опыте приведены результаты определения целлюлозолитической активности в черноземе выщелоченном в местных экологических условиях в зависимости от применения биопрепаратов *БиоВайс* и *Ризоагрин*.

**Объекты и методы исследований.** Исследования целлюлозолитической активности почвы проводились в 2014–2015 гг. методом Л.Д. Тихомировой (1972). Согласно методике, степень разложения целлюлозы (целлофановой пленки) определяется в полевых условиях и выражается в процентах к исходному весу пленки [6]. Повторность 4-кратная, срок экспозиции в зависимости от цели исследования 30, 60 и более суток в течение вегетационного периода. Обработка семян пшеницы биопрепаратами проводилась перед посевом семян.

Почва – чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусовый тяжелосуглинистый, с содержанием гумуса 6,8%, реакция среды нейтральная.

Известно, что почвенные условия, необходимые для жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов, идентичны условиям, обеспечивающим формирование урожая [6].

Влажность почвы в годы исследований была в пределах 17,3–19,8%. Известно, что влажность почвы в летние месяцы является лимитирующим фактором для формирования урожая [7]. При ее недостатке растения отстают в росте, происходит обрыв корней вследствие появления трещин, потеря тургора листьев и нарушение физиологических реакций. В условиях водного дефицита отмечаются увеличение биосинтеза и выделения этилена (гормона старости). Так, при появлении этилена в листьях, в точках роста, колосках пшеницы и других растений – рост начинает подавляться. При продолжительном водном стрессе репродуктивная фаза наступает раньше. Так как дефицит влаги часто сопровождается высокими температурами, колос получается малоозерненный, а зерно – щуплое.

Наблюдениями, проведенными в СибНИИСХ в 2014–2015 гг., подтвердились зависимости полученные Н.Н. Наплековой (1974). Коэффициенты корреляции между показателями целлюлозолитической активности чернозема выщелоченного и влажностью почвы в течение вегетации составляли  $r=0,82\pm 0,23$  в 2014 г.,  $r=0,56\pm 0,33$  в 2015 г.,  $r=0,54\pm 0,34$  – в среднем за два года исследований. В менее засушливом 2014 г. при уменьшении запасов влаги интенсивность разложения клетчатки снижалась.

Фундаментальной основой любой агросистемы являются удобрения. По мнению И.А.

Тихоновича и др. (2009) наиболее реальной альтернативой широкомасштабному применению минеральных удобрений в сельском хозяйстве может служить использование микробиологических взаимодействий на основе биопрепаратов ассоциативной азотфиксации [8].

Экологическое состояние почвы наряду с другими микробиологическими показателями отражает определение ее целлюлозолитической активности. На интенсивность разложения целлюлозы помимо местных экологических условий в большой степени влияет обеспеченность почвы подвижными элементами питания и, в первую очередь, азотом, которая в зависимости от применения удобрений складывается по-разному [3, 9].

**Обсуждение результатов.** Содержание нитратного азота в почве под посевом пшеницы снижалось к концу вегетации, вследствие потребления его культурой и других статей расхода (потребление сорной растительностью, денитрификация, закрепление почвенными микроорганизмами). В вариантах применения биопрепаратов (*БиоВайс*, *Ризоагрин*) количество азота нитратов в фазу кущения выше в сравнении с контролем на 61 и 100%, соответственно. В среднем за годы исследований наибольшее положительное влияние на содержание азота нитратов в почве оказало применение биопрепарата *Ризоагрин*. Проведенная статистическая обработка показала наличие сильной корреляционной зависимости между содержанием N-NO<sub>3</sub> в почве и исследуемым показателем – целлюлозолитической активностью ( $r=0,99\pm 0,05$ ).

Интенсивность разложения целлюлозы была выше в более увлажненном 2015 г. Достоверное положительное влияние в сравнении с контролем на целлюлозолитическую активность почвы оказало применение биопрепарата *БиоВайс* (25% к контролю). В среднем за два года исследований целлюлозолитическая способность почвы повышалась от применения биопрепаратов на 14–19% к контролю (рис.).

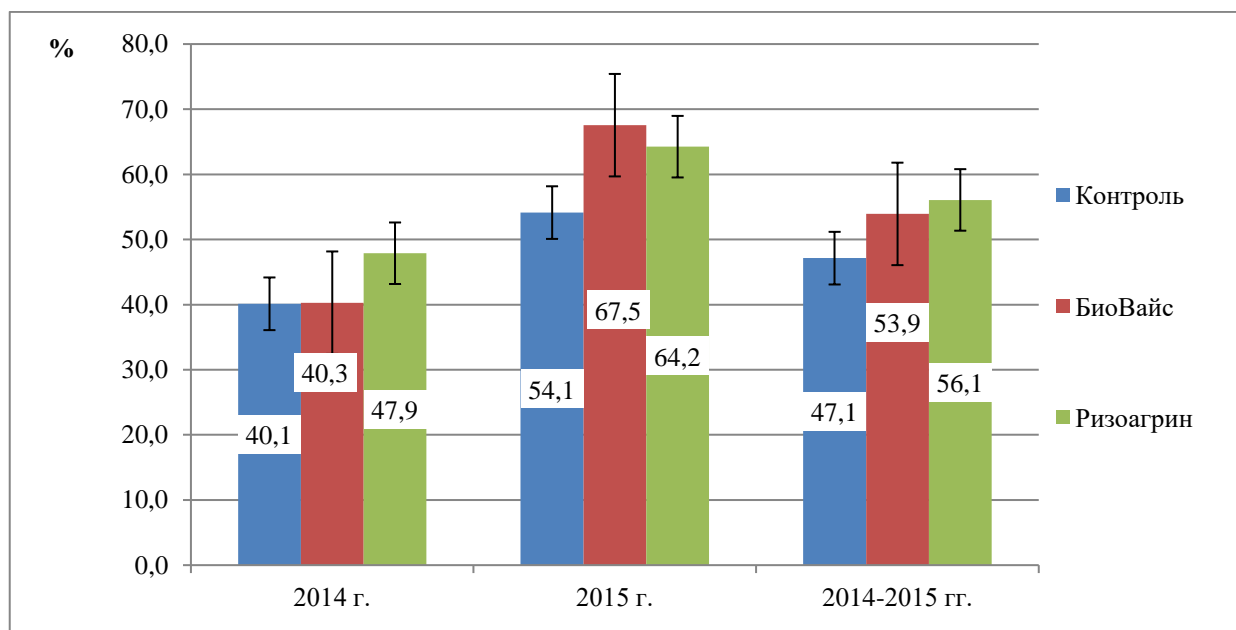


Рисунок. Интенсивность разложения целлюлозы в почве под влиянием применения удобрений, %, (2014–2015 гг.).

Повышение интенсивности разложения клетчатки при применении биопрепаратов можно объяснить улучшением азотного режима почвы за счет фиксации азота атмосферы бактериями и использованием его целлюлозоразрушающими микроорганизмами для разложения клетчатки.

Таким образом, интенсивность разложения целлюлозы зависела от количества нитратного азота в почве, ее влажности, а также численности почвенных микроорганизмов. Целлюлозолитическая активность чернозема выщелоченного повышалась под влиянием используемых биопрепаратов. Выявлена тесная связь интенсивности процесса с урожайностью культуры пшеницы.



## Литература

1. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 792 с.
2. Захаров И.С. Развитие микрофлоры и образование и накопление подвижной гуминовой кислоты в почве при разложении растительных остатков и связь этих процессов с повышением урожая кукурузы. В кн.: Роль микроорганизмов в питании растений и повышении эффективности удобрений. Л., 1965. С. 37–42.
3. Наплекова Н.Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири / Н.Н. Наплекова. Новосибирск: Наука, 1974. 250с.
4. Нурмухаметов Н.М., Хамидуллин М.Х., Нугманов Р.М. Влияние форм, доз и способов внесения удобрений на биологическую активность почвы // Агротехника и биология полевых культур. Уфа, 1998. С. 73–80.
5. Поддымкина Л.М. Целлюлозоразлагающая активность микробов почвы в полевом опыте // Плодородие. 2004. №4. С. 26–27.
6. Тихомирова Л.Д. Способ определения эффективного плодородия почв. Авторское свид-во № 338196, опублик. 15 мая 1972. Бюл. № 16. СССР.
7. Денисов Е.П. Влияние влажности и плотности почвы на урожайность зерновых культур / Е.П. Денисов, И.С. Полетаев, В.В. Карпец // В сборнике: Инновационные технологии в АПК: теория и практика. Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 44–47.
8. Тихонович И.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агроэкологического будущего / И.А. Тихонович, Н.А. Проворов // СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2009. 210 с.
9. Влияние биопрепаратов комплексного действия на биологическую активность ризосферы и продуктивность льна-долгунца / О. Ф. Хамова, А. И. Мансапова, М. А. Горбова [и др.] // Плодородие. 2021. № 2(119). С. 52–55.

### THE EFFECT OF THE USE OF BIOLOGICAL PRODUCTS ON THE INTENSITY OF CELLULOSE DECOMPOSITION IN THE SOIL UNDER WHEAT SOWING

N.N. Shuliko

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, shuliko@anc55.ru

*Summary.* In the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia, it was found that the intensity of cellulose decomposition depended on the amount of nitrate nitrogen in the soil, its humidity, as well as the number of soil microorganisms. The cellulolytic activity of leached chernozem increased under the influence of the biologics used. A close relationship between the intensity of the process and the yield of wheat culture has been revealed.

*Keywords:* Cellulolytic activity, microorganisms, nitrate nitrogen, soil moisture, productivity, spring wheat.

УДК 631.4:631.8

### ПРОБЛЕМА КАЛИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СИБИРИ

В.Н. Якименко

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, yakimenko@issa-siberia.ru

*Аннотация.* Показаны проблемы использования калия в сибирском земледелии, рассматриваются причины невнимания к применению калийных удобрений, обосновывается необходимость оптимизации калийного состояния почв агроценозов.

*Ключевые слова:* калий, почва, агроценоз, калийные удобрения.

Калий является одним из важнейших элементов минерального питания растений, выполняя существенные физиологические функции в организме; его вынос с урожаем сельскохозяйственных культур всегда больше, чем фосфора, а часто и азота [1]. Содержание доступного растениям калия в почвах агроценозов отражает их эколого-агрохимическое

состояние, а его оптимальный уровень обеспечивает, в значительной степени, эффективность функционирования агроэкосистем [2–4].

Несмотря на это, калию уделяется наименьшее внимание по сравнению с другими макроэлементами питания растений, как в научных исследованиях, так и в практическом земледелии. Использование калийных удобрений в земледелии Западной Сибири перманентно находится на минимальном уровне. В период наибольших масштабов химизации (1981–1990 гг.), когда среднегодовое применение минеральных удобрений составляло в среднем по региону 50–70 кг д.в./га пашни в год, доза внесения калийных туков не превышала 5–10 кг/га, а баланс калия в земледелии Западной Сибири, при относительно невысокой урожайности, выполнялся не более, чем на 30% [4]. В 1990-е годы и в начале 2000-х использование всех удобрений было на очень низком уровне, затем ситуация стала постепенно улучшаться. Так, если в 1994–1999 годах хозяйства Новосибирской области ежегодно совместно вносили 4–5 тыс. т минеральных удобрений (физ. вес), в 2001–2006 гг. – 8–15 тыс. т, то в 2021–2022 гг. – 130–150 тыс. т или в среднем около 60–70 кг туков на га пашни. Однако при этом доля калия в общей структуре вносимых туков составляла и составляет лишь несколько процентов. Подобная ситуация, при которой земледельцы вносят в почву в основном только азотные удобрения, экономя на фосфорных и калийных, является классической для развивающихся стран [5].

Оправданием для невнимания к режиму калия в агроценозах служат следующие обстоятельства:

- 1) высокое валовое содержание этого элемента в основных пахотных почвах, примерно на порядок большее, чем азота и фосфора;
- 2) слабый эффект от вносимых калийных удобрений в ряде проведенных опытов;
- 3) несовершенство существующей стандартной системы почвенной калийной диагностики;
- 4) финансово-экономические проблемы сельских товаропроизводителей и ограниченный платежеспособный спрос.

Рассмотрим указанные пункты более подробно.

Содержание валового калия в почвах зависит, прежде всего, от их минералогического и гранулометрического состава и колеблется в среднем от 1% в супесчаных дерново-подзолистых до 2,5% в тяжелосуглинистых черноземах [4, 6, 7]. Главные источники калия в почвах – полевые шпаты (микроклин, ортоклаз), содержащие примерно 13% этого элемента, и слюды (мусковит, биотит) – 9–10%. Содержащийся в них калий прочно входит в кристаллическую структуру этих минералов и только в малой своей части может включаться в биологический круговорот. В этой связи, валовой калий является индифферентным показателем обеспеченности выращиваемых культур этим элементом. Лишь 1% от общего запаса калия в почве входит в состав почвенного поглощающего комплекса и почвенного раствора, непосредственно участвуя в питании растений; ещё примерно 10% калия связано с глинистыми минералами и служат резервом пополнения подвижного фонда. Исследования, проведенные в длительных стационарных опытах [3, 4, 8 и др.] показали, что в агроценозах с сильно дефицитным калийным балансом содержание подвижных форм калия в почве в течение нескольких лет становится фактором, существенно ограничивающим продуктивность выращиваемых культур.

Основанием для неиспользования калийных удобрений зачастую служат относительно высокие запасы калия в подпахотном и нижележащих почвенных слоях. Считается, что при снижении содержания подвижных форм калия в пахотном слое почвы, растения могут эффективно использовать калийные запасы подпахотных горизонтов. Однако, проведенные исследования [9] изменений содержания форм калия по профилю почвы, косвенно свидетельствующих об участии различных почвенных горизонтов в обеспечении выращиваемых культур этим элементом, показали, что длительный сильнодефицитный баланс калия в агроценозе приводил к существенному снижению содержания его обменной и необменной форм, главным образом, в пахотном слое почвы. Имеющиеся внешне неизменные запасы форм калия в нижележащих горизонтах почвы были не в состоянии полноценно компенсировать истощенный калийный фонд пахотного слоя, что отчетливо проявлялось в значительном падении урожайности культур. Следовательно, надежды на «неисчерпаемые» запасы калия в почве, как в пахотном слое, так и включая нижележащие горизонты,

оказываются не совсем состоятельными, что подтверждает отсутствие альтернативы сбалансированному применению калийных удобрений.

Проведенный нами анализ [4] литературных источников, в которых оценивалась эффективность вносимого калия на региональных почвах, показал, что большинство проведенных опытов были краткосрочными (до 3–4 лет), чаще всего выращивалась яровая пшеница, фоновые дозы удобрений и урожайность культур во многих опытах были невысокими. Зачастую при вносимых дозах NP в 90–120 кг/га норма калия составляла 15–30 кг. Сделанные в таких условиях выводы о нецелесообразности использования калийных удобрений являются, вполне очевидно, недостаточно обоснованными. Вместе с тем, имеющиеся многолетние данные указывают на рост эффективности К по мере удовлетворения потребности культур в N и P, повышения общего уровня урожайности и, как следствие, увеличения масштабов отчуждения почвенного калия [3, 4, 8 и др.]. Результаты проведенных длительных исследований свидетельствуют, что эффект от калия, почти повсеместно элемента «третьего минимума», может прежде всего и наиболее отчетливо проявляться в следующих случаях:

- при исходно низком его содержании в почве (почвы легкого гранулометрического состава – песчаные, супесчаные, легкосуглинистые, а также органогенные почвы);
- после достаточного обеспечения культур азотом и фосфором (содержание этих элементов в минеральных почвах, как правило, значительно ниже, чем калия);
- при длительном интенсивном использовании почвы (в высокоурожайных агроценозах при сильно дефицитном балансе калия его почвенные запасы истощаются достаточно быстро);
- при выращивании калиелюбивых культур (культуры, формирующие большой урожай углеводов – картофель, сахарная свекла, кукуруза и др. – потребляют значительное количество калия);
- в неблагоприятных погодных условиях (оптимальная обеспеченность растений калием усиливает их устойчивость к колебаниям температуры, влажности и освещенности).

Кроме того, важными аспектами воздействия калия на агроценоз являются – значительное улучшение качества растительной продукции, снижение ее потерь при хранении, повышение устойчивости выращиваемых культур к различным болезням и вредителям [2–4 и др.].

Недостаточное внимание к калийным удобрениям, в немалой степени, связано и с несовершенством существующей рутинной системы почвенной калийной диагностики, которая не всегда позволяет реально оценить эффективное плодородие почв. Используемые в системе Агрохимслужбы России при обследовании сельскохозяйственных угодий методы определения и градации обеспеченности, показаны в табл. 1. Метод Кирсанова рекомендован для почв лесной зоны (с кислотной реакцией почвенного раствора), метод Чирикова – для лесостепной (нейтральные), Мачигина – сухостепной (щелочные почвы), метод Масловой можно использовать для почв различных зон.

Таблица 1. Стандартные градации обеспеченности почв обменным калием, мг  $K_2O$ /кг почвы [3, 4]

Обеспеченность почвы калием	Экстрагент (метод)			
	0.2 М HCl (по Кирсанову)	0.5 М $CH_3COOH$ (по Чирикову)	1 М $CH_3COONH_4$ (по Масловой)	1% $(NH_4)_2CO_3$ (по Мачигину)
Очень низкая	<40	<20	<50	<100
Низкая	41–80	21–40	51–100	101–200
Средняя	81–120	41–80	101–150	201–300
Повышенная	121–170	81–120	151–200	301–400
Высокая	171–250	121–180	201–300	401–600
Очень высокая	>250	>180	>300	>600

Следует сказать, что применяемые в отечественной агрохимслужбе при определении содержания обменного калия в почвах кислотные (соляно- и уксуснокислые) вытяжки больше

нигде в мире не используются [3], т.к. часто дают завышенные результаты, создавая иллюзию относительно благополучной калийной обеспеченности пахотных угодий. Однако главным, существенным недостатком используемых при этом градаций является их полная усредненность, безотносительность к важным в отношении калия почвенным свойствам – емкости катионного обмена и гранулометрическому составу, что также не всегда делает трактовку полученных результатов адекватной.

В ряде исследований установлено, что содержание обменного калия в почвах агроценозов при длительном сильнодефицитном балансе постепенно достигает определенного, стабильно низкого («минимального») уровня, существенно лимитирующего продуктивность культур. Важно подчеркнуть, что зачастую при мониторинге калийного состояния пахотных почв подобная стабильность содержания обменного калия ошибочно оценивается с положительной точки зрения, то есть считается благополучной ситуацией. Однако в действительности стабилизация произошла на минимальном уровне, при котором калий для многих культур – овощных, картофеля и др. – находится в первом минимуме. Это следует четко осознавать.

Минимальный уровень обменного калия в разных почвах имеет различные абсолютные значения и прямо зависит от емкости поглощения конкретной почвы (гранулометрического состава), составляя примерно 1% от почвенной емкости катионного обмена (ЕКО). Так, в супесчаной дерново-подзолистой почве он находится на уровне 2 мг К/100 г, в суглинистой серой лесной – около 7, в тяжелосуглинистом черноземе выщелоченном – 14–15. Этот истощенный по калию чернозем с «минимальным» содержанием обменной формы элемента по стандартным градациям должен быть отнесен к почвам с повышенной обеспеченностью калием. Такая трактовка результатов анализов и создает иллюзию благополучного калийного состояния многих пахотных почв на больших площадях. Очень часто выделение (для статистики) в каком-то регионе площадей почв с высокой, средней или низкой обеспеченностью обменным калием, фактически является констатацией распределения или варьирования гранулометрического состава.

В длительных полевых опытах нами проведена [4, 10] сравнительная оценка калийного состояния ряда автоморфных почв лесостепи Западной Сибири (серые лесные и черноземы) методами Чирикова и Масловой и на основании сопоставления данных по содержанию калия в почвах и урожайности выращиваемых культур предложены градации обеспеченности калием почв региона (табл. 2).

Таблица 2. Градации обеспеченности обменным калием зональных почв лесостепи Западной Сибири, мг К/100 г почвы [4, 10]

Обеспеченность почвы	Гранулометрический состав почвы:					
	легкосуглинистый		среднесуглинистый		тяжелосуглинистый	
	по Чирикову	по Масловой	по Чирикову	по Масловой	по Чирикову	по Масловой
Низкая	< 6	< 10	< 10	< 15	< 14	< 20
Неустойчивая	6–10	10–15	10–14	15–20	14–18	20–25
Оптимальная	10–14	15–20	14–18	20–25	18–22	25–30
Повышенная	> 14	> 20	> 18	> 25	> 22	> 30

Известно, что подвижность обменного калия в почвах, а, следовательно, и его доступность растениям, тесно зависит (обратная пропорция) от ЕКО и гранулометрического состава почв; поэтому учет данных характеристик при почвенной калийной диагностике является обязательным. Оценка калийного состояния почв с использованием величин их ЕКО в ряде случаев может быть затруднена из-за отсутствия соответствующих данных. Однако каждый землепользователь определит, как минимум, гранулометрический состав почвы конкретного участка полевым «мокрым» методом Качинского [11] (смочить на ладони почву до консистенции теста, попытаться раскатать ее в шнур и свернуть в кольцо; наиболее эффективно это получится с глинистой почвой, наихудший результат будет с песчаными и супесчаными разновидностями, суглинки занимают промежуточное положение). Зная



гранулометрический состав почвы и содержание в ней обменного калия, можно достаточно корректно оценить ее калийное состояние, используя таблицу 2; выделяемые в ней градации, с точки зрения обеспеченности культур почвенным калием, имеют следующий смысл:

*Низкая обеспеченность* – при таком содержании обменного калия в почве он находится в «первом минимуме» для культур со слабой способностью к его мобилизации (картофель, морковь и др.); «одностороннее» внесение NP-удобрений под них не дает положительного результата и может вызывать угнетение растений; даже небольшие дозы калийных удобрений резко увеличивают урожай.

*Неустойчивая* – для растений с высокой способностью к усвоению почвенного калия (злаковые культуры и др.) этот элемент не находится в «первом минимуме» даже при «минимальном» уровне обменного калия в почве, однако их продуктивность заметно лимитирована. При данной обеспеченности культур почвенным калием дополнительное его внесение на фоне NP существенно увеличивает урожайность всех культур.

*Оптимальная* – при таком содержании обменного калия в почве использование рациональных доз NP-удобрений обеспечивает максимальную прибавку урожая, а дополнительное внесение калийных удобрений малоэффективно.

*Повышенная* – существенное положительное влияние повышенного содержания обменного калия в почве наблюдается только в стрессовых ситуациях (засуха, избыточное увлажнение и т.п.).

Основным калийным удобрением, выпускаемым, как в нашей стране, так и за рубежом (более 90%), является калий хлористый; его «конкурент» – сернокислый калий – значительно (в разы) дороже. Неоднократно было показано, что они примерно одинаковы по эффективности воздействия на урожай и качество продукции большинства сельскохозяйственных культур, а возможное ингибирующее действие сопутствующего аниона – хлора не имеет практического значения. Различные рекламные кампании с призывами применять только «бесхлорные» калийные удобрения служат для оправдания их высокой цены. Агрономическая, экологическая и экономическая целесообразность и необходимость использования хлорида калия в земледелии доказана всей практикой мирового сельского хозяйства [2, 3, 5, 8].

Невысокие объемы применения минеральных удобрений, вообще, и калийных, в частности, в земледелии Сибири во многом связаны с финансово-экономическим положением в агропроизводстве. Прежде всего, следует указать на диспаритет цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию. Если в начале 1990-х годов цена 1 тонны зерна пшеницы примерно равнялась стоимости 2 т минеральных удобрений или 2,5 т дизельного топлива, то в последующие годы стоимость техники, горюче-смазочных материалов, минеральных удобрений, средств защиты растений перманентно росла, независимо, скажем, от динамики цен на нефть, тогда как рынок зерна подвержен значительным колебаниям – то резкому падению, то слабому росту. В развитых странах аграрии получают поддержку от государства – от нескольких сотен до тысяч долларов на 1 га сельхозугодий, у нас же эта поддержка зачастую носит номинальный характер; можно упомянуть и проблемы с льготным кредитованием. Неудивительно, что в таких условиях хозяйствования лишь немногие из отечественных сельскохозяйственных предприятий являются финансово благополучными [12].

Таким образом, использование калийных удобрений в земледелии Сибири перманентно находится на низком уровне и потребность растений в этом макроэлементе практически полностью удовлетворяется за счет почвенного плодородия. При получаемых невысоких урожаях сельскохозяйственных культур, такой режим их питания может продолжаться достаточно долго. Однако уменьшение содержания калия в пахотных почвах, хотя и относительно медленное во времени, неминуемо приведет к снижению или, даже, утрате почвенных экологических и хозяйственных функций, т.е. к деградации.

#### Литература

1. Прянишников Д.Н. Калийные удобрения // Избранные сочинения. Т. 3. М.: Сельхозиздат, 1953. С.137–182.
2. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
3. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.

4. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
5. Этурно Ф. Основные принципы пропагандирования калийных удобрений // Агрохимия. 1993. № 11. С. 76–81.
6. Пивоварова Е.Г. Калийное состояние почв и его моделирование в условиях Алтайского Приобья. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. 160 с.
7. Середина В.П. Калий и почвообразование. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. 354 с.
8. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. М.: Колос, 1966. 336 с.
9. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы в агроценозах // Агрохимия. 2007. № 3. С. 5–11.
10. Якименко В.Н. Оценка калийного состояния почв агроценозов // Плодородие. 2009. № 4. С. 8–10.
11. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.
12. Мерзликин А.С. Ценовая политика, эффективность химизации и сельскохозяйственного производства России // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 1. С. 45–54.

#### THE PROBLEM OF POTASSIUM IN AGRICULTURE OF SIBERIA

V.N. Yakimenko

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Novosibirsk, yakimenko@issa-siberia.ru*

*Summary. The problems of the use of potassium in Siberian agriculture are shown, the reasons for inattention to the use of potash fertilizers are considered, the need to optimize the potash state of soils of agroecosystems is justified.*

*Keywords: potassium, soil, agroecosystems, potash fertilizers.*

УДК 631.4:631.8

## ФИКСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В ОТНОШЕНИИ МАГНИЯ И КАЛИЯ

В.Н. Якименко

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [yakimenko@issa-siberia.ru](mailto:yakimenko@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** Установлено, что почва агроценоза с длительным дефицитным калийным балансом фиксировала 60–70% внесенного с удобрением калия, а с отрицательным магниевым балансом – 20–30% магния; при положительном балансе этих элементов в агроценозе фиксация почвой калия снижалась до 40%, а магния – до 6–10%. Внесение возрастающих доз калийного удобрения не отражалось на почвенном уровне обменного магния; использование магниевых удобрений не изменяло содержание в почве обменного калия. При повышенных дозах калия его фиксация почвой не зависела от дополнительного внесения магния, а фиксация магния существенно снижалась.

**Ключевые слова:** почва, агроценоз, удобрения, магний, калий, фиксация.

Режим калия и магния в почвах агроценозов во многом связан со способностью этих катионов переходить из одной почвенной формы в другую, т.е. занимать различные по прочности связи почвенные позиции. Изучение специфики трансформации в почвах калия и магния – необходимых и незаменимых питательных элементов – наряду с исследованием содержания их форм, создает фундамент для научно обоснованного регулирования плодородия почвы. Одним из трансформационных почвенных процессов является фиксация (адсорбция) – переход ионов, находящихся в почвенном растворе или в обменной форме, в необменное, более прочно связанное с почвой состояние; в основе ее механизма могут быть как явления физико-химического характера, так и изменения минералогического состава кристаллитов [1–4]. В ранее проведенных исследованиях показано, что фиксирующая способность почв в отношении калия зависит от их минералогического и гранулометрического состава, величины рН, содержания органического вещества, вносимой дозы удобрения, гидротермического режима и др. факторов [1–6]. Работы по фиксации почвами магния в отечественной литературе единичны [7]. Анализ литературных данных показал, что основное внимание в исследованиях режима калия и магния в агроценозах было уделено эффективности питания культур этими элементами и их взаимовлиянию при различных уровнях содержания в почвах [8–10]. Поведение калия и магния в почвенных процессах, в т.ч. адсорбции-десорбции, изучено в значительно меньшей степени, что обуславливает актуальность проведения дальнейших исследований по этой проблематике. Цель наших исследований – установить специфику фиксации калия и магния при их внесении в почву агроценозов с различной обеспеченностью этими элементами.

Объектом исследования послужила серая лесная среднесуглинистая почва со следующими характеристиками: содержание физической глины – 31%, содержание гумуса – 4%, емкость катионного обмена – 21 мг-экв./100 г. Почвенные образцы, отобранные (слой 0–20 см) из наиболее контрастных вариантов длительного полевого опыта [3], компостировали с калийными и магниевыми удобрениями в режиме попеременного намачивания до наименьшей влагоемкости и высушивания при комнатной температуре; тем самым в определенной степени воспроизводился процесс, которому подвергается пахотный слой почв агроценозов в полевых условиях; сроки компостирования были приближены к продолжительности вегетационного периода.

Варианты полевых опытов, из которых была отобрана почва для лабораторного эксперимента, дозы используемых в нем К и Mg, сроки компостирования указаны в таблицах; К и Mg в форме KCl и MgO вносили в почву в виде растворов. Дозы калия 5 и 10 мг/100 г почвы примерно соответствуют внесению 100 и 200 кг этого элемента на га пашни, а доза магния 2,5 мг – 50 кг/га; В вариантах полевых опытах при выращивании картофеля ежегодно применяли следующие дозы удобрений (кг/га): K<sub>1</sub> – 100, K<sub>2</sub> – 150, Mg<sub>1</sub> – 50, Mg<sub>2</sub> – 100. Повторность в опытах 4-х кратная. Фиксированными считали калий и магний не переходящие в вытяжку 1 М раствора CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, в которой определяли почвенное содержание обменной формы этих элементов [11].

Основное количество внесенного с удобрениями калия, было зафиксированного почвой в первый же день опыта (табл. 1); возможно, что процесс фиксации калия (перераспределения между его формами) завершился, в ряде случаев, уже в первые часы или даже минуты взаимодействия почвы с вновь поступившими катионами. В дальнейшем необменное поглощение калия почвой различных вариантов опыта протекало по-разному. В варианте с относительно истощенным почвенным калийным фондом (NP) дополнительная адсорбция калия отмечалась (при различной интенсивности) на протяжении всего лабораторного опыта (180 дней); тогда как в вариантах с предшествующим положительным балансом калия (NPK1 и NPK1Mg1) этот процесс практически завершился в начале опыта (1–15 дней), вероятно, в связи с заполненностью необменных позиций. В некоторых случаях отмечалась дополнительная фиксация собственно калия почвы (исходного), в вариантах без его внесения с удобрениями (особенно, почва NPK1 и NPK1Mg1). Это связано, по-видимому, с качественными изменениями, произошедшими с минеральной основой почвы при длительном попеременном намачивании и высушивании (например, агрегация коллоидов и т.п.) [3].

Таблица 1. Изменение содержания обменного калия в почве (мг/100 г) вариантов полевого опыта при ее компостировании с удобрениями

Почва	Внесено	Срок компостирования, сут					Фиксация К	
		1	15	30	90	180	в мг	в %
NP	вода	14,8	14,9	14,4	14,6	14,7	-	-
	5 мг К/100 г	18,0	17,1	17,2	17,0	16,3	3,4	68
	10 мг К/100 г	20,3	19,5	19,3	19,0	18,6	6,1	61
	2.5 мг Mg/100 г	14,5	14,4	14,5	14,4	14,5	-	-
	5 мг Mg/100 г	14,4	14,8	14,6	14,5	14,6	-	-
	5 мг К+2.5 мг Mg	18,0	17,4	17,0	17,2	17,1	2,6	52
	10 мг К+5 мг Mg	21,0	19,9	20,0	19,8	19,5	5,2	52
NPK1	вода	18,0	18,1	18,2	17,1	16,6	-	-
	5 мг К/100 г	20,8	20,3	20,0	20,0	19,5	2,1	42
	10 мг К/100 г	24,3	24,0	23,8	23,2	22,5	4,1	41
	2.5 мг Mg/100 г	18,1	18,3	18,2	17,3	16,6	-	-
	5 мг Mg/100 г	18,3	18,1	18,0	17,5	17,0	-	-
	5 мг К+2.5 мг Mg	21,3	21,2	20,4	20,2	20,0	1,6	32
	10 мг К+5 мг Mg	23,9	23,5	23,8	23,6	23,5	3,1	31
NPK1Mg1	вода	18,3	18,0	17,7	17,0	16,6	-	-
	5 мг К/100 г	20,5	20,5	20,0	20,1	19,5	2,1	42
	10 мг К/100 г	23,5	23,3	23,0	23,0	22,6	4,0	40
	2.5 мг Mg/100 г	18,1	18,0	18,0	17,0	16,3	-	-
	5 мг Mg/100 г	18,0	18,0	18,1	17,2	16,5	-	-
	5 мг К+2.5 мг Mg	21,2	21,2	21,0	20,5	19,8	1,8	36
	10 мг К+5 мг Mg	23,9	23,3	23,6	23,5	23,6	3,0	30
NPK2	вода	20,7	20,5	20,3	20,3	20,3	-	-
	10 мг К/100 г	26,8	26,6	26,5	26,5	26,3	4,0	40
	10 мг К+5 мг Mg	26,6	26,8	26,0	26,2	26,0	4,3	43
NPK2Mg2	вода	20,8	20,3	20,6	20,5	20,6	-	-
	10 мг К/100 г	25,9	25,6	25,5	25,4	25,5	5,1	51
	10 мг К+5 мг Mg	26,2	25,6	25,5	25,6	25,5	5,1	51
<i>НСР 05</i>		<i>1,5</i>	<i>1,4</i>	<i>1,6</i>	<i>1,6</i>	<i>1,5</i>	-	-

Следует сказать, что калий, вносимый с удобрениями в почву в нашем эксперименте, никогда не фиксировался полностью – независимо от степени истощенности почвы в отношении калия и величины вносимой его дозы (табл. 1). Поступивший в почву калий всегда распределялся по его почвенным формам в соотношении более-менее приближенном к



естественному (целинному). Однако данный процесс характерен для недеградированных почв и для «нешоковых» доз удобрений [3]. Абсолютная величина калия, необменно поглощенного почвой, закономерно возрастала при увеличении вносимой дозы [3, 7].

Интенсивность фиксации калия почвой существенно зависит от степени истощенности почвенного фонда подвижных калийных форм или, иными словами, степени заполненности специфических селективных для этого катиона позиций в минеральном комплексе. В нашем лабораторном эксперименте почва варианта NP с относительно истощенными калийными запасами, фиксировала до 70% внесенного калия (табл. 1). В то же время, почва вариантов NPK1 и NPK1Mg1, на которых в предшествующем полевом опыте поддерживался бездефицитный калийный баланс, фиксировала только примерно 40% от поступившего калия удобрений, вероятно, в связи с определенной насыщенностью этим катионом адсорбирующих позиций в почвенной матрице. Отметим, что почва варианта NPK2 (табл. 1), хотя и имела более высокое содержание калия по сравнению с NPK1, фиксировала примерно такое же его количество – около 40%. Очевидно, присущая почве буферность по отношению к калию позволяет сохранять пропорции между калийными формами, как в случае его дополнительного поступления извне, так и выноса. Данные пропорции зависят от сочетания почвенных позиций с различной селективностью к калию и определяются качественным составом минеральной основы почв [3, 7].

Процесс фиксации магния в нашем лабораторном эксперименте – почвой всех вариантов и при всех внесенных дозах – практически завершился в первый же день (табл. 2); возможно это произошло уже на стадии перемешивания почвы с удобрениями. В дальнейшем на протяжении всего срока компостирования почвы (180 дней) содержание в ней обменного магния (а, следовательно, и дополнительная его фиксация) оставалось без изменений [7].

Дополнительная необменная адсорбция внесенного магния проявлялась, в той или иной степени, во всех вариантах опыта: полной его фиксации никогда не происходило, как и не наблюдалось отсутствия этого процесса. Исследуемая серая лесная почва с ЕКО 21 мг-экв./100 г фиксировала 0,5–3,0 мг Mg/100 г в зависимости от дозы удобрения или 20–30% от внесенного количества, т.е. в 2–3 раза меньше, чем калия (табл. 1 и 2). С увеличением вносимой дозы магния его количество, зафиксированное почвой, возрастало и в абсолютных (мг) и в относительных (%) показателях (табл. 2). Вероятно, при росте концентрации катионов магния в почвенном растворе возрастала и их возможность вытеснять другие катионы (например, Ca) с экстенсивно обменных и необменных позиций в почвенной матрице. При невысоких же концентрациях ионы Mg заполняли лишь небольшую часть потенциально доступных необменных (фиксирующих) позиций [7].

Почва полевых опытов, отобранная из варианта NP с длительным дефицитным балансом магния, фиксировала такое же его количество (20–30%), как и почва вариантов NPMg1 и NPK1Mg1 с заметно более высоким содержанием обменного Mg и, следовательно, повышенной им обеспеченностью (табл. 2). В то же время, почва варианта NPMg2, на котором ранее применялись завышенные дозы магниевых удобрений, практически перестала фиксировать дополнительно внесенный Mg (лишь 6%) (табл. 2). Очевидно, что фиксирующая способность почвы, в т.ч. и в отношении Mg, не безмерна; по мере заполнения каким-либо ионом селективных почвенных позиций, интенсивность его фиксации ослабевает вплоть до полного прекращения [3].

В рассматриваемом лабораторном опыте, при внесении невысоких и средних доз калия (5 и 10 мг/100 г) совместно с соответствующими дозами магния, фиксация калия почвой снижалась во всех вариантах – на 3–16 п.п. (табл. 1), особенно заметно в NP с относительно истощенным подвижным фондом и калия, и магния. Очевидно, что при невысоком содержании калия и магния в почвенном растворе эти катионы могли более-менее активно конкурировать друг с другом за специфические адсорбирующие позиции в краевых зонах межпакетных промежутков кристаллитов и межслоевом пространстве минералов. При повышении концентрации калия он препятствует необменному поглощению катионов магния на «своих» позициях, демонстрируя преимущество катионов калия при поглощении почвой; вероятно, ионы калия в значительной мере блокируют вход других ионов в межслоевое пространство минералов с расширяющейся решеткой – основное депо необменных катионов [7]. Это подтверждается и взаимовлиянием калия и магния при фиксации почвой с

повышенным содержанием этих элементов: то количество необменных позиций, которое может занять калий в почве, он занимает независимо от совместного внесения или невнесения магния.

Таблица 2. Изменение содержания обменного магния в почве (мг/100 г) вариантов полевого опыта при ее компостировании с удобрениями

Почва	Внесено	Срок компостирования, сут.					Фиксация Mg	
		1	15	30	90	180	в мг	в %
NP	вода	7,2	7,3	7,2	7,3	7,3	-	-
	5 мг K/100 г	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	-	-
	10 мг K/100 г	7,1	7,1	7,3	7,2	7,2	-	-
	2.5 мг Mg/100 г	9,3	9,3	9,2	9,3	9,3	0,5	20
	5 мг Mg/100 г	11,3	11,2	11,1	11,2	11,2	1,1	22
	5 мг K+2.5 мг Mg	9,3	9,2	9,3	9,2	9,3	0,5	20
	10 мг K+5 мг Mg	11,4	11,2	11,3	11,2	11,3	1,0	20
NPMg1	вода	11,4	11,4	11,3	11,2	11,3	-	-
	5 мг K/100 г	11,3	11,2	11,3	11,2	11,2	-	-
	10 мг K/100 г	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2	-	-
	2.5 мг Mg/100 г	13,6	13,6	13,5	13,5	13,3	0,5	20
	5 мг Mg/100 г	15,5	15,3	15,2	15,2	15,0	1,3	26
	5 мг K+2.5 мг Mg	13,5	13,4	13,3	13,3	13,3	0,5	20
	10 мг K+5 мг Mg	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	1,1	22
NPK1Mg1	вода	15,4	15,3	15,2	15,2	15,3	-	-
	5 мг K/100 г	15,4	15,2	15,3	15,2	15,3	-	-
	10 мг K/100 г	15,3	15,3	15,3	15,3	15,2	-	-
	2.5 мг Mg/100 г	17,8	17,5	17,5	17,5	17,3	0,5	20
	5 мг Mg/100 г	19,2	19,1	19,0	19,0	18,9	1,4	28
	5 мг K+2.5 мг Mg	17,7	17,5	17,4	17,4	17,3	0,5	20
	10 мг K+5 мг Mg	19,5	19,4	19,3	19,2	19,2	1,1	22
NPMg2	вода	19,8	19,5	19,8	19,7	19,8	-	-
	5 мг Mg/100г	25,1	24,8	24,5	24,4	24,5	0,3	6
	10 мг K+5 мг Mg	25,3	25,2	24,4	24,3	24,2	0,6	12
NPK2Mg2	вода	22,1	21,5	21,2	21,3	21,2	-	-
	5 мг Mg/100г	25,5	25,0	24,7	24,6	24,7	1,5	30
	10 мг K+5 мг Mg	25,2	25,2	24,9	24,8	24,9	1,3	26
<i>HCP 05</i>		<i>1,1</i>	<i>1,3</i>	<i>1,2</i>	<i>1,2</i>	<i>1,3</i>	-	-

Фиксация магния почвой с истощенным его фондом (вариант NP) при невысоких и средних дозах вносимых удобрений не различалась в случаях отдельного внесения магния и совместного с калием (табл. 2). Однако при совместном внесении магния с высокой дозой калия, фиксация магния резко снижалась – в 2 раза, с 20 до 10%, т.е. катионы калия при высокой концентрации блокируют необменное поглощение ионов магния. В вариантах опыта NPMg и NPKMg с неистощенным фондом подвижного магния, его фиксация при всех используемых дозах удобрений не зависела от дополнительного совместного внесения калия.

Таким образом, проведенные исследования на серой лесной среднесуглинистой почве выявили закономерности фиксации калия и магния при их отдельном и совместном внесении в почву агроценоза, в различной степени истощенную в отношении этих элементов. Количество фиксируемого почвой K в несколько раз превышало фиксацию Mg при сопоставимых дозах вносимых калийных и магниевых удобрений. Почва варианта (NP) опыта с длительным дефицитным балансом K и Mg фиксировала до 60–70% внесенного калия и 20–30% магния. При длительном положительном калийном балансе и повышенном его содержании в почве (варианты NPK и NPKMg) фиксация калия снижалась до 40% от

внесенной дозы; в то время как фиксация магния почвой с высоким его содержанием и невысоким уровнем калия (NPMg) практически прекращалась, составляя 6–10%.

Внесение в почву возрастающих доз калийных удобрений не отражалось на почвенном содержании обменного магния; равно как и внесение магния не изменяло имеющийся почвенный уровень обменного калия. Совместное внесение калийных и магниевых удобрений в невысоких дозах снижало фиксацию калия на 10–16 п.п., по сравнению с отдельным его внесением, независимо от имеющегося в почве уровня подвижных форм этих элементов. При внесении повышенных доз калия его фиксация почвой не изменялась при дополнительном использовании магниевых удобрений. На почве с невысоким содержанием подвижного магния интенсивность его фиксации не изменялась при совместном внесении с умеренными дозами калийных удобрений; однако дополнительно вносимые высокие дозы калийных удобрений приводили к снижению фиксации магния в 2 раза. При неистощенном, повышенном почвенном фонде магния, его фиксация почвой не зависела от дополнительно вносимого в сопоставимых дозах калия.

Специфику фиксации калия и магния почвой и их взаимовлияние в адсорбционных процессах целесообразно учитывать при оптимизации калийного и магниевого почвенного состояния и регулировании питательного режима этих элементов в агроценозах.

#### Литература

1. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
2. Prokoshev V.V., Sokolova T.A. Soil properties and potassium behaviour // Proc. 22-nd Coll. IPI. Soligorsk, USSR, 1990. pp. 99–115.
3. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
4. Середина В.П. Калий и почвообразование. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. 354 с.
5. Пивоварова Е.Г. Калийное состояние почв и его моделирование в условиях Алтайского Приобья. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. 160 с.
6. Нечаева Т.В., Добрянская С.Л. Калийфиксирующая способность и состав обменных катионов постагрогенного чернозема // Плодородие. 2020. №4. С. 24–27.
7. Якименко В.Н. Фиксация калия и магния почвой агроценоза // Агрохимия. 2023. №3. С. 3–11.
8. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 524 с.
9. Прокошев В.В., Неугодова О.В., Смирнов Ю.А., Государева З.И. Магниевые удобрения в интенсивном земледелии. М.: ВНИИТЭИ-агропром, 1987. 52 с.
10. Yakimenko V., Naumova N. Tuning Potassium and Magnesium Fertilization of Potato in the South of West Siberia // Agronomy. 2021. V. 11. N. 9. Art. 1877.
11. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.

#### FIXING ABILITY OF GRAY FOREST MEDIUM LOAMY SOIL IN RELATION TO MAGNESIUM AND POTASSIUM

V.N. Yakimenko

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, yakimenko@issa-siberia.ru

*Summary. It was found that the soil of the agroecosystem with a long-term potassium deficiency balance fixed 60–70% of the potassium introduced with the fertilizer, and with a negative magnesium balance – 20–30% of magnesium; with a positive balance of these elements in the agroecosystem, the fixation of potassium by the soil decreased to 40%, and magnesium to 6–10%. The introduction of increasing doses of potassium fertilizer did not affect the soil level of exchangeable magnesium; the use of magnesium fertilizers did not change the content of exchangeable potassium in the soil. With increased doses of potassium, its fixation by the soil did not depend on the additional addition of magnesium, and magnesium fixation significantly decreased.*

*Keywords: agroecosystems, soil, fertilizers, potassium, magnesium, fixation.*

УДК 631.427+591.9

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ЗОО-МИКРОБИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ АЛАСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

М.В. Якутин, В.С. Андриевский

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, yakutin@issa-siberia.ru

**Аннотация.** Исследование было проведено в сукцессионных экосистемах Центральной Якутии – аласах, формирующихся в результате постепенной трансформации ледникового комплекса. Показано, что сукцессия экосистем от болотной стадии к луговой степи в этих условиях сопряжена с эволюцией почв и коренной перестройкой всего комплекса деструкторов. На первой стадии эволюции почв аласов (торфянисто-болотная почва) отмечаются максимально высокое содержание биомассы микроорганизмов и низкая метаболическая активность этой относительно большой биомассы. Для панцирных клещей сочетание низких температур с высоким уровнем увлажнения являются экстремальными условиями, что проявляется в низких суммарной численности, видовом богатстве и выживании здесь лишь видов с гигрофильным биотопическим преферendumом. При переходе от гидроморфной почвы к автоморфным происходит их значительная трансформация: снижается уровень увлажненности и увеличивается степень засоления. При переходе от болотных почв к черноземно-луговым и далее к лугово-черноземным почвам уровень микроббиомассы постепенно снижается, а ее метаболическая активность увеличивается. Одновременно происходит серьезная трансформация сообщества панцирных клещей. На количественном уровне эта трансформация выражается в увеличении суммарной численности и видового богатства орибатид в черноземно-луговой и лугово-черноземной почвах по сравнению с торфянисто-болотной почвой. На качественном уровне происходит изменение структуры доминирования и замена видов, характерных для гидроморфных почв на виды, характерные для луговых и остепненных почв.

**Ключевые слова:** почва, алас, экосистема, сукцессия, микроббиомасса, базальное дыхание, метаболический коэффициент, панцирные клещи, численность, видовое богатство.

Актуальность исследования почвенной биоты в бореальных областях планеты бесспорна и обусловлена слабой степенью изученности этих регионов, усиливающимся антропогенным прессом на природные экосистемы и значительным вкладом бореальных областей в формирование современного климата планеты [1].

Особое значение почвенной биоты заключается в ключевой роли почвообитающих организмов (микроорганизмов и беспозвоночных животных) в процессах деструкции органического вещества и формирования запасов гумуса почв. Важным результатом деятельности почвенных животных является размельчение растительного материала, благодаря чему увеличивается его поверхность и он становится более доступным для дальнейшего использования микроорганизмами. Кроме механической, имеет значение и физиологическая роль почвенных животных. Она состоит в стимуляции развития почвенной микрофлоры [2]. Биомасса почвенных животных составляет менее 1% от массы растительных остатков, поступающих на разложение, но без них, как показано во многих работах, разложение задерживается в 6–8 раз [3]. Причём, присутствие мелких, но многочисленных почвенных животных, таких как коллемболы и орибатида, способствует увеличению степени зрелости гумусовых веществ [4].

Исследования почвенной биоты на разных стадиях естественных сукцессий в Центральной Якутии до сих пор носят лишь фрагментарный характер [5]. А изучение параллельных сукцессий почвенных микроорганизмов и панцирных клещей (орибатид) в этом регионе никогда не проводилось.

Цель данного исследования, таким образом, состояла в изучении параллельных сукцессий микроорганизмов и панцирных клещей в ходе естественной сукцессии в аласах Центральной Якутии.

Исследование проведено в междуречье рек Лена и Вилюй. В качестве объектов исследования были выбраны 3 мерзлотные почвы аласа Хоту (торфянисто-глеявая (Т. 1), черноземно-луговая (Т. 2) и лугово-черноземная (Т. 3)). Все исследованные экосистемы



находятся на одной катене длиной около 130 м. Перепад высот от Т. 1 к Т. 3 составляет около 3 м.

Почвенные пробы для микробиологического анализа отбирались по общепринятой методике из слоя 0–10 см. В образцах определялось содержание углерода в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомассы) методом фумигации-инкубации, базальное дыхание и метаболический коэффициент ( $qCO_2$ ) – показатель удельной активности микроббиомассы – выделение  $C-CO_2$  на единицу С-биомассы в час (б).

Для анализа населения панцирных клещей отбирались почвенные пробы по общепринятой для микрофауны методике [7] на глубину 5 см в 10-кратной повторности в каждом биотопе. Из отобранных проб клещи выгонялись по методу термоэктекции Берлезе–Тульгрена. Анализ распределения орибатид в ряду исследуемых экосистем проводился по количественным параметрам сообщества – видовому богатству и численности, отражающими экологический статус живых организмов [8]. Численности клещей рассчитывались по стандартной методике на  $1\text{ м}^2$ , исходя из площади пробоотборника [7]. Статистическая обработка результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов [9].

Эволюция почв в Центральной Якутии происходит по законам долговременной вторичной сукцессии, которая начинается с формирования озера на месте зональной таежной экосистемы. Озера являются аккумуляторами тепла, и это приводит к протаиванию ледового комплекса под ними и оседанию вмещающих пород. Озеро формирует контур будущей аласной котловины. На дне озера накапливается сапрпель, аккумулируются карбонаты в виде обильных мелких ракушек и утяжеляется механический состав почвы. По мере высыхания озера наступает следующая стадия развития аласных почв – болотная. С ней связаны процессы торфонакопления, оглеения и аккумуляции легкорастворимых солей. По мере дальнейшего иссушения деятельного слоя аласов болотная фаза развития почв сменяется луговой. Последняя стадия развития почв аласа – степная. Здесь наблюдается резкий недостаток влаги. По гидрологическому режиму эти участки рассматриваются как ксероморфные. Здесь формируются остепненные луга или луговые степи. Она является результатом крайнего иссушения деятельного слоя аласов и динамики рельефа. Глубина аласов колеблется от 2 до 30 м в зависимости от мощности вытаявшего ледового комплекса. В настоящее время аласы занимают значительные площади в Центральной Якутии (например, в Лено-Амгинском междуречье ими занято 20–30% территории) [10].

В поясе избыточного увлажнения, в торфянисто-глеевой почве (Т. 1), отмечаются максимальные запасы биомассы микроорганизмов при низком уровне базального дыхания и удельной активности этой относительно большой микроббиомассы (рис. 1). Это может свидетельствовать о наличии в составе комплекса почвенных микроорганизмов большой доли покоящихся метаболически неактивных клеток.

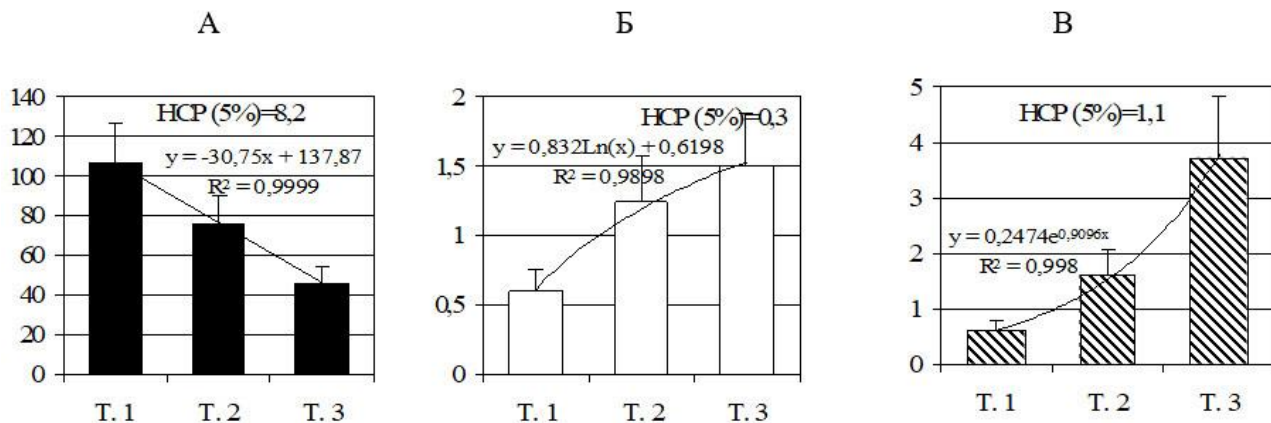


Рисунок 1. Биомасса микроорганизмов (мг С/100 г почвы) (А), базальное дыхание (мкг  $CO_2-C$ / г почвы в час) (Б) и метаболический коэффициент (мкг  $CO_2-C$ / мг С-биомассы в час) (В). Обозначения в тексте.

На следующей стадии сукцессии (черноземно-луговая почва, Т. 2) происходит снижение уровня общей увлажненности и улучшение аэрации почвы с одновременной аккумуляцией в почвенном профиле подвижных солей, что приводит к уменьшению содержания С-биомассы в 1,4 раза, росту базального дыхания и метаболического коэффициента в 2,1 и в 2,7 раза, соответственно, по сравнению с торфянисто-болотной почвой. На терминальной стадии развития аласной экосистемы, в лугово-черноземной почве (Т. 3), на фоне дальнейшего обсыхания почвенного профиля происходит расселение луговых почв. На самых высоких участках аласов и их склонах наблюдается резкий недостаток влаги. По гидрологическому режиму эти участки рассматриваются как ксероморфные. В этих почвах показано проявление солонцового процесса, повышение интенсивности процесса гумусонакопления и увеличение мощности гумусового горизонта [10]. Содержание С-биомассы на этой стадии снижается в 1,7 раза, а базальное дыхание и метаболический коэффициент увеличивается в 1,2 и 2,3 раза, соответственно, по сравнению с черноземно-луговой почвой.

Таким образом, в почвах аласов Центральной Якутии в процессе вторичной сукцессии на фоне снижения уровня гидроморфности почв наблюдается постепенное снижение концентрации биомассы почвенных микроорганизмов и увеличение общей и удельной метаболической активности этой микробиомассы.

В трех исследованных аласных почвах всего было обнаружено 17 видов панцирных клещей (орибатид). Значения количественных показателей сообществ (видового богатства и численности) были минимальными в Т. 1. В Т. 2 отмечено увеличение численности и видового богатства по сравнению с Т. 1 в 1,5–2 раза. В Т. 3 наблюдается дальнейший рост изученных показателей в 2,2–3,5 раза (рис. 2). Численности орибатид в луговых почвах (Т. 2 и Т. 3) находятся на нижней границе диапазона величин, указанных для почв под лугами географически сопредельной территории Дальнего Востока: 5–20 тыс. экз./м<sup>2</sup> [11].

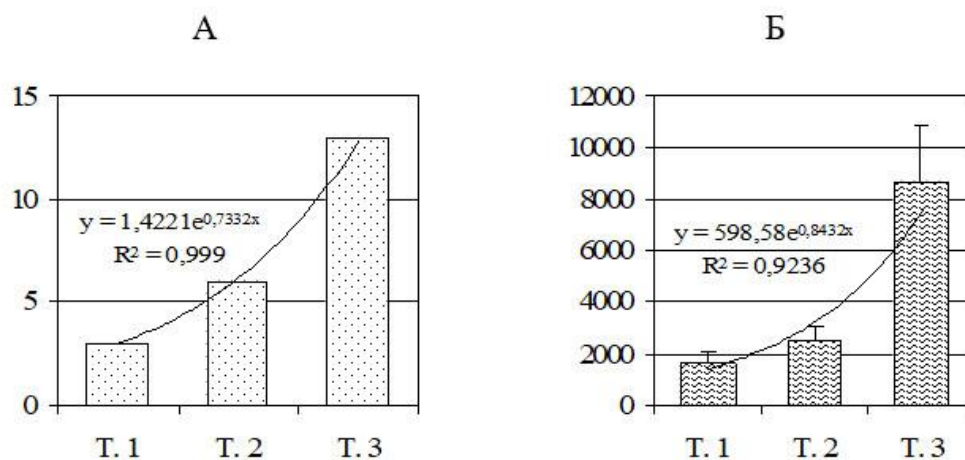


Рисунок 2. Видовое богатство (число видов) (А) и численность (экз./м<sup>2</sup>) (Б) панцирных клещей. Обозначения в тексте.

По биотопам аласных мерзлотных почв виды орибатид распределены неравномерно. Сообщества орибатид всех трех исследованных экосистем заметно различаются между собой как по набору входящих в них видов, так и по их количественному распределению внутри этих сообществ (структуре доминирования). Структура доминирования в лугово-черноземной почве (Т. 1) наиболее близка к характерной для естественных экосистем: как абсолютные значения численностей видов, так и их удельные обилия в составе сообщества представляют собой относительно плавно убывающий ряд. Особенностью структуры доминирования в Т. 1 и в Т. 2 является тот факт, что малое число видов составляет основную часть сообщества. Это может свидетельствовать либо о нарушении биотопа, либо о неблагоприятности условий среды для видов микроартропод, его населяющих [12].

Исследуемый ряд экосистем имеет естественную природу, без каких-либо внешних нарушений и, исходя из этого, можно сделать вывод, что степень благоприятности условий среды для сообществ панцирных клещей, в целом, увеличивается от торфянисто-глеевой почвы к черноземно-луговой и далее к лугово-черноземной почве.

Полученные данные свидетельствуют о значительном сходстве населения панцирных клещей лугово-черноземной почвы (Т. 3) с таковым в черноземно-луговой (Т. 2). Тогда как сходство населения орибатид обеих этих почв с таковым торфянисто-глеевой почвы (Т. 1) либо отсутствует (у Т. 3), либо минимально (у Т. 2).

Таким образом, сукцессия экосистем в аласах Центральной Якутии от болотной стадии к луговой степи сопряжена с эволюцией почв и коренной перестройкой всего комплекса деструкторов. Для первой стадии эволюции почв аласов (торфянисто-глеевая почва) характерен высокий уровень увлажнения и слабая степень засоления. На этой стадии отмечаются максимально высокое содержание биомассы микроорганизмов и низкая метаболическая активность этой относительно большой биомассы. Для панцирных клещей сочетание низких температур с высоким уровнем увлажнения являются экстремальными условиями, что проявляется в низких суммарной численности, видовом богатстве и выживании здесь лишь видов с гигрофильным биотопическим преферendumом.

При переходе от гидроморфной почвы к автоморфным происходит их значительная трансформация: снижается уровень увлажненности и увеличивается степень засоления. При переходе от торфянисто-глеевой почвы к черноземно-луговой и далее к лугово-черноземной уровень микроббиомассы постепенно снижается, а ее метаболическая активность увеличивается. Одновременно происходит коренная трансформация зоологического компонента деструкционного звена биологического круговорота на количественном и качественном уровнях. На количественном уровне эта трансформация выражается в увеличении суммарной численности орибатид в черноземно-луговой и лугово-черноземной почвах по сравнению с торфянисто-глеевой (в 1,5 и 5,4 раза, соответственно). Видовое богатство возрастает в этом ряду почв аналогично: в 2 и 4,3 раза, соответственно. На качественном уровне происходит изменение структуры доминирования и замена видов, характерных для экстремально гидроморфных почв на виды, характерные для луговых и остепненных почв.

#### Литература

1. Fouché J., Keller C., Allard M., Ambrosi J.P. Increased CO<sub>2</sub> fluxes under warming tests and soil solution chemistry in Histic and Turbic Cryosols, Salluit, Nunavik, Canada // *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 68. P. 185–199.
2. Tate R.L. III *Soil organic matter: Biological and ecological effects*. New York: Willey. 1987. 291 p.
3. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. *Биология почв*. М.: МГУ. 2005. 445 с.
4. Мордкович В.Г., Березина О.Г., Любечанский И.И., Андриевский В.С., Марченко И.И. Трансформация органического вещества почвы сообществом микроартропод в западно-сибирской северной тайге // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2006. № 1. С. 95–101.
5. Данилова А.А., Данилов П.П., Савинов Г.Н., Гаврильева Л.Д., Петров А.А., Алексеев Г.А. Изменение свойств аласных почв Центральной Якутии при пастбищной дигрессии // *Аридные экосистемы*. 2013. Т. 19. № 4. С. 25–31.
6. Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R. *Methods in soil biology*. Berlin: Springer-Verlag. 1996. 420 p.
7. Гиляров М. С. Учет мелких членистоногих (микрофауны) и нематод. // *Методы почвенно-зоологических исследований*. М.: Наука, 1975. С. 30–44. 206 с.
8. Чернов Ю.И. Биологическое разнообразие: сущность и проблемы // *Успехи современной биологии*. 1991. № 4. С. 499–509.
9. Сорокин О. Д. *Прикладная статистика на компьютере*. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН. 2004. 162 с.
10. Десяткин Р.В. *Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны*. Новосибирск: Наука. 2008. 324 с.
11. Рябинин Н.А. Особенности распределения панцирных клещей в почвах Дальнего Востока России // *Вестник ДВО РАН*. 2009. № 3. С. 54–60.
12. Кузнецова Н.А. *Организация сообществ почвообитающих коллембол*. М.: Изд-во ГНО «Прометей» МПГУ. 2005. 244 с.

## TRANSFORMATION OF THE SOIL ZOO-MICROBIAL COMPLEX IN THE PROCESS OF EVOLUTION OF THE ALAS SOILS OF CENTRAL YAKUTIA

M.V. Yakutin, V.S. Andrievskii

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, yakutin@issa-siberia.ru

*Summary.* The study was conducted in the successional ecosystems of Central Yakutia – alas, formed as a result of the gradual transformation of the glacial complex. It is given evident that the succession of ecosystems from the swamp stage to the meadow steppe in these conditions is associated with the evolution of soils and the radical restructuring of the entire complex of destructors. At the first stage of the evolution of alas soils (peat-bog soil), the highest possible content of microbial biomass and low metabolic activity of this relatively large biomass are noted. For oribatid mites, the combination of low temperatures with a high level of moisture are extreme conditions, which manifests itself in low total abundance, species richness and survival here only of species with a hygrophilous biotopic preference. During the transition from hydromorphic to automorphic soils, their significant transformation occurs: the moisture level decreases and the degree of salinity increases. During the transition from swamp soils to chernozem-meadow soils and further to meadow-chernozem soils, the level of microbiomass gradually decreases, and its metabolic activity increases. At the same time, a serious transformation of the community of oribatid mites is taking place. At the quantitative level, this transformation is expressed in an increase in the total numbers and species richness of oribatids in chernozem-meadow and meadow-chernozem soils compared to peat-bog soil. At the qualitative level, there is a change in the structure of dominance and the replacement of species characteristic of hydrophobic soils with species characteristic of meadow and steppe soils.

*Keywords:* soil, alas, ecosystem, succession, microbiomass, basal respiration, metabolic coefficient, oribatid mites, abundance, species richness.

УДК 631.459.2

## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНОГО ФОСФОРА РАСЧЛЕНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ

О.П. Якутина

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, yakutina@issa-siberia.ru

*Аннотация.* Рассмотрен фракционный состав минерального фосфора и его изменение под влиянием эрозионных процессов в черноземе выщелоченном, темно-серой лесной и лугово-черноземной почвах Присалаирья. Пять фракций минерального фосфора, различающихся по составу и степени доступности растениям выделены по методике Гинзбург-Лебедевой в модификации Неговелова-Пестовой. Результаты показали, что содержание первых четырех фракций и соотношение одно – и двухзамещенных фосфатов кальция благоприятно для питания растений. Выявлено, что утяжеление гранулометрического состава почвы сопровождается увеличением содержания фосфатов полуторных окислов. Содержание фосфатов типа апатита (Са-Р<sub>III</sub>) составляет более половины от суммы всех фракций и варьирует в пределах 66,6–72,1%. Сильная степень смывости почвы ухудшает фосфорный режим и питание растений.

*Ключевые слова:* фракционный состав фосфора, чернозем, эрозия, Западная Сибирь.

*Актуальность.* Характеристика фракционного состава минерального фосфора позволяет решать разнообразные задачи, связанные с определением типа и подтипа почв, составом подстилающих пород, географической дифференциации почв по особенностям фосфатного фонда, определение потенциальных и актуальных резервов фосфора и направленности процессов трансформации вносимых удобрений [1, 2]. Природа формирования отдельного типа фракционного состава в настоящее время не до конца ясна, в тоже время можно выделить почвенные свойства, имеющие высокий коэффициент корреляции с содержанием фракций



минерального фосфора. К ним относятся гранулометрический состав почв, содержание гумуса, кислотность, степень гидроморфности и содержание полуторных окислов. Несомненно, что состав почвообразующей породы и возраст почвы играют немаловажную роль во взаимодействии факторов. Вынос почвенного вещества за пределы профиля в результате водной эрозии приводит к трансформации фосфатного режима почвы, причем в ряде случаев, изменения не являются негативными для питания растений.

Цель исследования – сравнить особенности фракционного состава минерального фосфора черноземных почв Предсалаирья, оценить изменения фракционного состава под влиянием эрозионных процессов.

**Объекты и методы.** Рассмотрен фракционный состав незэродированных и эродированных пахотных черноземных почв Предсалаирья (Тогучинский и Искитимский районы Новосибирской области) за период с 2004 по 2017 гг. Почвенные образцы отбирались в метровых разрезах с интервалом 20 см. Фракционный состав минеральных фосфатов определяли по методу Гинзбург-Лебедевой в модификации Неговелова-Пестовой [3]. Метод позволяет выделить пять фракций соединений фосфора, различающихся по своей доступности растениям. I фракция – наиболее растворимые формы фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов и аммония (Ca-P<sub>I</sub>); II фракция – менее растворимые фосфаты Ca (Mg), преимущественно вторично образованные и фосфаты закисных форм железа (Ca-P<sub>II</sub>); III фракция – фосфаты алюминия (Al-P); IV фракция – фосфаты железа (Fe-P); V фракция – высокоосновные, труднорастворимые фосфаты кальция типа апатита (Ca-P<sub>III</sub>).

**Обсуждение результатов.** Рассмотренные почвы относятся, согласно классификации фосфатного фонда почв Сибири [4] к I провинции, включающей в себя юго-восточную часть Западно-Сибирской равнины и котловины Средней Сибири. Почвы провинции подстилаются пылевато-иловатыми суглинками и легкими глинами, сформированными на отложениях Алтае-Саянского фосфоритоносного бассейна. Горизонты А содержат до 0,3% валового фосфора. По мере удаления от предгорий содержание валового фосфора снижается, а количество минеральных форм нарастает. В среднем, доли органического и минерального фосфора приблизительно равны, с небольшим превышением органических форм.

Наши исследования показали, что пахотные, несмытые черноземы выщелоченные, характеризуются благоприятным соотношением первых двух фракций (CaP<sub>I</sub> > CaP<sub>II</sub>), что способствует увеличению доступности мобильных соединений фосфора для растений (таблица). Утяжеление гранулометрического состава чернозема выщелоченного сопровождается повышением содержания фосфатов железа. Содержание фосфатов типа апатита (Ca-P<sub>III</sub>) составляет более половины от суммы всех фракций и варьирует в пределах 66,6–72,1%.

Таблица. Содержание минерального фосфора во фракциях, % от суммы всех фракций черноземных почв Предсалаирья (0–20 см)

Тип использования и степень смытости почвы	Ca-P <sub>I</sub>	Ca-P <sub>II</sub>	Al-P	Fe-P	Ca-P <sub>III</sub>
<b>Чернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый</b>					
Залежь	6,5	7,4	10,2	20,6	55,3
Пашня, несмытая	5,1	2,1	6,3	16,7	66,7
Пашня, среднесмытая	3,9	3,6	4,8	12,7	75,0
Пашня, сильносмытая	3,8	3,0	4,3	12,2	76,6
<b>Чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый</b>					
Пашня, несмытая	4,1	2,8	10,0	10,9	72,0
Пашня, слабосмытая	6,8	11,9	11,4	10,6	59,3
Пашня, среднесмытая	2,6	5,0	4,7	9,7	78,0
<b>Темно-серая лесная среднемощная тяжелосуглинистая</b>					
Пашня, несмытая	2,9	6,2	6,9	11,9	72,1
Пашня, среднесмытая	5,4	7,9	14,7	11,6	60,4
<b>Лугово-черноземная почва тяжелосуглинистая</b>					
Пашня, намытая	8,4	6,1	5,4	13,5	66,6

Под влиянием эрозионных процессов структура фракционного состава претерпевает изменения. В целом, смытые почвы содержат повышенное содержание фосфора во всех фракциях, причем слабосмытая почва имела, как максимальное общее содержание минерального фосфора, так и наибольшее их содержание в первых четырех фракциях – основного резерва мобильных фосфорных соединений. Отмечалось повышенное содержание фосфатов во фракциях Ca-P<sub>I</sub> и Ca-P<sub>II</sub>. Подобное явление связано с процессом иллювиирования соединений фосфатов первых четырех групп, связанных с илистой фракцией вниз по профилю и концентрацией их в горизонтах A<sub>1</sub>, AB и B, что характерно для почв тяжелого гранулометрического состава. Припахивание этих горизонтов в почвах различной степени смытости дает неодинаковую, в ряде случаев, большую обеспеченность этих почв доступным фосфором по сравнению с несмытыми почвами. Содержание фосфатов типа апатита возросло в выщелоченных черноземах средней и сильной степени смытости. Отмечено, что в черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом при переходе в состояние залежи структура фракционного состава изменилась в благоприятном направлении – повысилось содержание первых четырех фракций, содержание апатитовой фракции снизилось, что свидетельствует о восстановлении равновесного состояния соединений минерального фосфора, характерных для данного типа почвы. Лугово-черноземная намытая почва выделялась повышенной долей фосфатов первой фракции, что связано с селективным выносом в процессе эрозии.

**Заключение.** Пахотные, несмытые черноземы выщелоченные, характеризуются преобладанием фосфатов первой фракции (CaP<sub>I</sub> > CaP<sub>II</sub>), что обеспечивает благоприятные условия фосфорного питания на этих почвах. Утяжеление гранулометрического состава чернозема выщелоченного сопровождается повышением содержания фосфатов полуторных окислов. Содержание фосфатов типа апатита (Ca-P<sub>III</sub>) составляет более половины от суммы всех фракций и варьирует в пределах 66,6–72,1%. Среди почв различной степени смытости, слабосмытая пахотная почва имела повышенное содержание первых четырех фракций минерального фосфора, что связано с изменением почвенного профиля в результате эрозионных процессов. Сильная степень эрозии резко ухудшает фосфорный режим и доступность фосфора растениям.

#### Литература

1. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 242 с.
2. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Е.Д. Фракционный состав минеральных фосфатов почв Западной Сибири//Агрохимия. 1984. №9. С. 21–27.
3. Агрохимические методы исследования почв // Отв. ред. А.В. Соколов. М.: Наука, 1975. 656 с.
4. Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири: Автореф. дис. д. б. н. Омск, 1991. 32 с.

#### GROUP COMPOSITION OF MINERAL PHOSPHATES IN THE DISSECTED TERRITORY OF WESTERN SIBERIA AND ITS CHANGE UNDER THE INFLUENCE OF WATER EROSION

O.P. Yakutina

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, yakutina@issa-siberia.ru

*Summary. The group composition of mineral phosphates and its change under the influence of erosion in Haplic Chernozem, Luvic Phaeozem and drift Colluvic Regosol of Predsairye are considered. Five fractions of mineral phosphorus, differing in composition and degree of availability to plants, were determined by the Ginzburg-Lebedeva method modified by Negovelov-Pestova. The results showed that the content of the first four groups and the ratio of one- and two-substituted calcium phosphates are favorable for plant nutrition. It was revealed that the weighting of the granulometric composition of the soil is accompanied by an increase in the content of sesquioxide phosphates. The content of apatite-type phosphates (Ca-P<sub>III</sub>) is more than half of the sum of all fractions and varies within 66,6-72,1%. A strong degree of soil erosion deteriorates the phosphorus regime and plant nutrition.*

*Keywords: group composition of phosphates, Haplic Chernozem, Luvic Phaeozem, Colluvic Regosol, water erosion, Western Siberia.*

### СЕКЦИЯ 3. ПОЧВЕННО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ

УДК 631.437

#### ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ В ПРИДОРОЖНОЙ ПОЛОСЕ АВТОТРАССЫ ЯКУТСК-ПОКРОВСК

А.А. Алексеев, А.П. Чевычелов, А.Н. Горохов, Л.И. Кузнецова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, alex3.fromru@gmail.com

**Аннотация.** Изучена объемная магнитная восприимчивость (ОМВ) мерзлотной лугово-черноземной почвы на полигоне площадью 5000 м<sup>2</sup>, расположенном в полосе автодороги Якутск-Покровск, на территории Центральной Якутии. Значения ОМВ здесь значительно изменялись, при этом минимальное значение этого показателя было равно 60, максимальное – 262, среднее –  $160 \times 10^{-5}$  единиц Си. Модальный диапазон значений ОМВ составлял 140–160  $\times 10^{-5}$  единиц Си, а распределение этого показателя по площади полигона носило мозаичный характер.

**Ключевые слова:** автотрасса, мерзлотная лугово-черноземная почва, объемная магнитная восприимчивость, изменение, распределение.

Мерзлотные почвы криолитозоны отличаются явной спецификой энерго- и массообмена и низкой восстанавливающей способностью. Магнитная восприимчивость почв является универсальным показателем, который успешно используется при проведении почвенно-генетических, почвенно-экологических и палеопочвенных исследований. В последнее время данный показатель активно используется у нас в стране и за рубежом для экспрессной оценки загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ), а также для целей почвенно-геохимического и почвенно-экологического картирования [1–10]. Подобные экологические исследования в придорожной полосе автотрасс в криолитозоне Центральной Якутии ранее не проводились и осуществляются впервые.

Наши исследования по измерению объемной магнитной восприимчивости (ОМВ) мерзлотных почв проводились на территории Центральной Якутии, в окрестностях г. Якутск. Исследуемый полигон в форме прямоугольника размером 100×50 метров располагался в придорожной полосе, с правой стороны автомобильной трассы Якутск–Покровск, на 12 км от г. Якутск (рис. 1). Географические координаты данного полигона составляли: 61°56'19,6" N; 129°36'38,0" E – 61°56'20,8" N; 129°36'20,0" E – 61°56'23,1" N; 129°36'24,9" E – 61°56'21,9" N; 129°36'27,3" E. Вся площадь полигона была разбита на пикеты с шагом по горизонтали – 10 м, а по вертикали – 5 м. На каждом пикете площадью 10×5 м в 3х-кратной повторности определялось значение ОМВ поверхности почвы. Вся ровная поверхность полигона была представлена одним контуром мерзлотной лугово-черноземной почвы. Измерение ОМВ осуществлялось с помощью малогабаритного каппаметра КМ-7, который является усовершенствованной версией прибора КТ-6 чешского производителя SatisGeo. Прибор КМ-7 обладает высоким разрешением и превосходной точностью. Следовательно, по сути, определялось ОМВ поверхностного гумусово-аккумулятивного гор. А. Согласно, нашим исследованиям, полученным на основе анализа 6 педонов изучаемых мерзлотных лугово-черноземных почв данного региона, гор. А обладает следующими физико-химическими характеристиками: рН<sub>н2о</sub> – 8,1±0,2; гумус – 4,3±1,1 %; сумма обменных оснований Ca<sup>+2</sup> и Mg<sup>+2</sup> – 25,4±2,4 ммоль(экв)/100 г почвы; сумма солей – 0,236±0,076 %; содержание ила (<0,001 мм) – 13,3±3,8 %; содержание физической глины (<0,01 мм) – 26,4±2,1 % [11].

Таким образом, гор. А изучаемой почвы характеризовался слабощелочной реакцией среды, средним содержанием гумуса, насыщенным основаниями почвенно-поглощающим комплексом и среднесуглинистым гранулометрическим составом. Климат данного региона характеризуется как резко континентальный, криоаридный с холодной морозной зимой и жарким засушливым летом, при этом среднемесячная t июля составляет 18,7 °С, января – (-43,2 °С), среднегодовая – (-10,3 °С) среднегодовое количество осадков – 234 мм, а коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову – 0,3, коэффициент континентальности – 302 [12]. Многолетняя мерзлота распространена повсеместно, а глубина сезонного протаивания составляет около 1,5 м.



Рисунок 1. Фрагмент космического снимка участка (выделен красным цветом) в полосе автомобильной трассы Якутск-Покровск.

Основной целью данного исследования являлась оценка степени аэротехногенного загрязнения мерзлотной лугово-черноземной почвы ТМ в 50-метровой полосе данной автотрассы посредством определения ОМВ этой почвы.

Вариационно-статистический анализ полученных данных показал, что в пределах площади данного полигона значения ОМВ ( $n=220$ ) почвы изменялись в широких пределах 60–262×10<sup>-5</sup> ед. Си, то есть максимально в 4,4 раза, а среднее значение ОМВ составляло 159,9 или 160×10<sup>-5</sup> ед. Си. Общая вариабельность изменения величин ОМВ в целом незначительная, равная 12–27%, при этом максимальная изменчивость данного показателя ( $V=27\%$ ) отмечалась непосредственно вблизи от трассы, а также на расстоянии 50 м ( $V=24\%$ ) от данной автомобильной магистрали (табл. 1).

Таблица 1. Вариационно-статистические показатели изменения ОМВ ( $n=20$ ) на различном расстоянии от автомобильной трассы Якутск– Покровск

L, м	lim	x	S	Sx	V, %
0	60–142	88,0	24,2	5,4	27
5	91–168	120,2	20,7	4,6	17
10	95–186	135,1	22,2	5,0	16
15	109–181	148,6	22,9	5,1	15
20	109–218	164,9	29,3	6,5	18
25	113–220	182,6	32,4	7,2	18
30	133–262	200,0	31,7	7,1	16
35	174–255	201,9	24,5	5,5	12
40	134–241	195,3	41,1	9,2	21
45	121–198	162,8	20,6	4,6	13
50	96–217	159,3	38,4	8,6	24

Примечание.  $n$  – объем выборки;  $L$  – расстояние от трассы, м;  $lim$  – пределы изменения величины;  $x$  – среднее значение;  $S$  – стандартное отклонение;  $Sx$  – ошибка среднего;  $V$  – коэффициент вариации.

Если рассматривать график изменения средних значений ОМВ данной почвы в зависимости от расстояния от трассы, то можно заметить, что минимальное значение равное 88×10<sup>-5</sup> ед. Си отмечается в самом начале профиля, а максимальное, составляющее 201,9×10<sup>-5</sup> ед. Си, фиксировалось на расстоянии 35 м от автомобильной дороги (табл. 1, рис. 2). В этом отношении наши данные совпадают с таковыми, полученными исследователями из Ганы,



которые также отмечали максимальное среднее значение ОМВ почв, составляющее  $159,2 \times 10^{-5}$  ед. Си на расстоянии 35 м от автодороги [13].

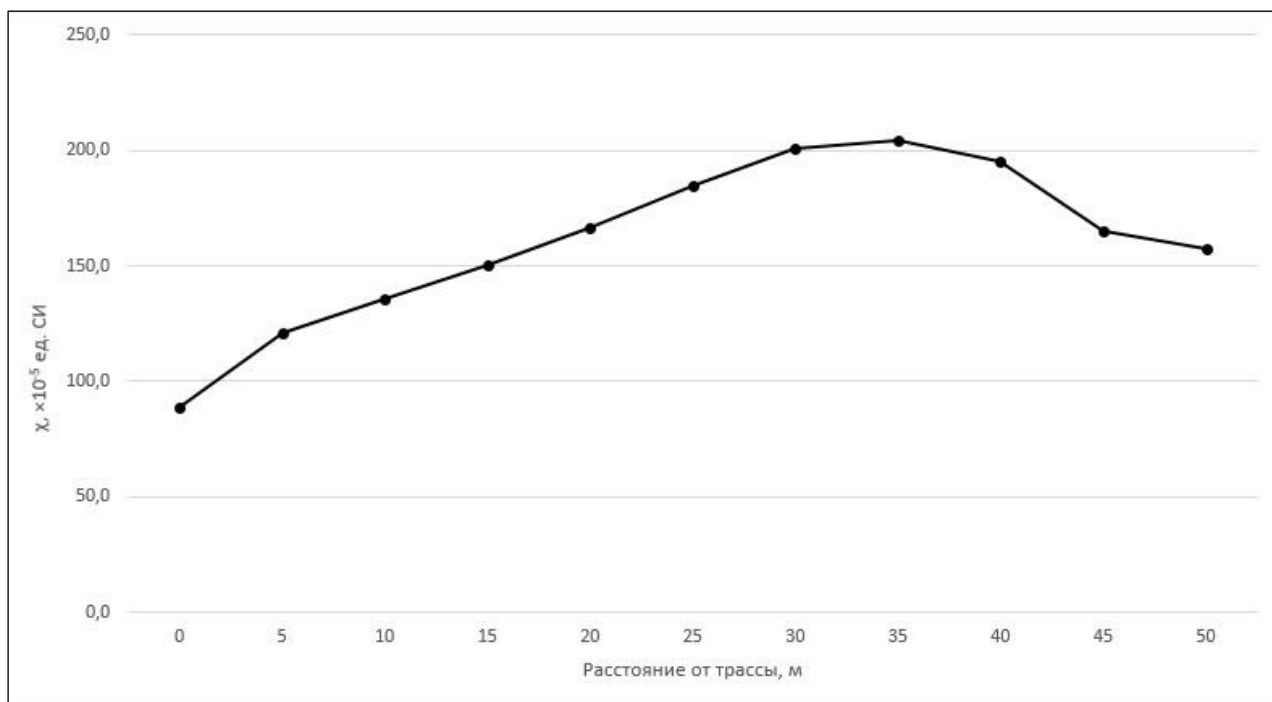


Рисунок 2. Средние значения ОМВ (n=20) на различном расстоянии от автомобильной трассы Якутск-Покровск.

Пространственное распределение значений ОМВ исследуемой мерзлотной лугово-черноземной почвы отражено на рисунке 3. Видно, что значения ОМВ почвы по площади полигона, составляющей  $5000 \text{ м}^2$  распределены мозаично, при этом наибольшие значения ОМВ (выше  $200 \times 10^{-5}$  ед. Си) расположены в северо-западной части полигона. Если разбить весь массив значений ОМВ на 8 интервалов (классов) с шагом  $20 \times 10^{-5}$  ед. Си, а всю площадь полигона принять за 100 %, то распределение значений ОМВ по всей площади полигона будет следующим:  $<100 - 0,9\%$ ;  $100-120 - 2,6\%$ ;  $120-140 - 7,5\%$ ;  $140-160 - 37,2\%$ ;  $160-180 - 24,3\%$ ;  $180-200 - 17,3\%$ ;  $200-220 - 9,5\%$ ;  $>220 \times 10^{-5}$  ед. Си –  $0,7\%$ . При этом на область значений ОМВ, составляющую  $140-200 \times 10^{-5}$  ед. Си приходится 78,8 или почти 80 %, а на модальный интервал, равный  $140-160 \times 10^{-5}$  ед. Си – 37,2 или 37 % от общей площади полигона (рис. 3).

Для оценки степени техногенного загрязнения почвогрунтов посредством определения их ОМВ в свое время было предложено отношение  $\chi_{\text{изм.}} / \chi_{\text{фон}}$ , где  $\chi_{\text{изм.}}$  – измеренное значение ОМВ, а  $\chi_{\text{фон}}$  – фоновая величина. При этом, если данное отношение составляет 1,2–1,3, то загрязнение характеризуется как умеренное, а если в пределах 1,8–2,0 – то уже как сильное [14]. Впоследствии сотрудниками лаборатории геоэкологии Саратовского государственного университета данная величина была охарактеризована, как коэффициент магнитности ( $K_{\text{mag}}$ ), а его ранжирование по степени техногенного загрязнения определено более подробно (табл. 2).

Таблица 2. Степень техногенной трансформации изучаемых мерзлотных почв в зависимости от значений коэффициента магнитности ( $K_{\text{mag}}$ )

Значения $K_{\text{mag}}$	Степень техногенной трансформации почв	Количество измерений	
		число (n)	в % от общего количества
0–1	Допустимая	9	4,1
1–3	Умеренная	204	92,7
3–5	Опасная	7	3,2
Более 5	Чрезвычайно опасная	–	–

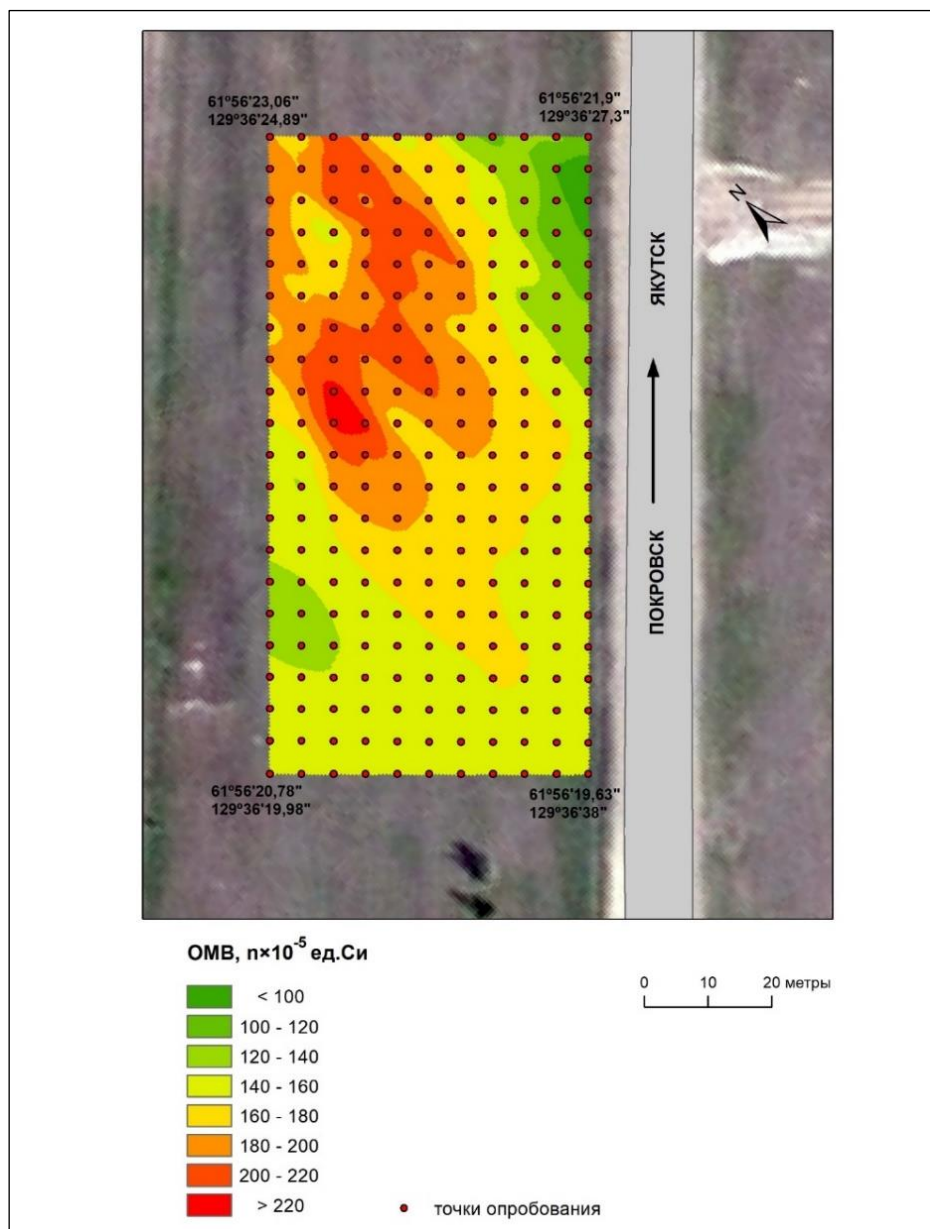


Рисунок 3. Значения ОМВ на обследованном участке в полосе автомобильной трассы Якутск-Покровск.

Так, при  $K_{mag}=0-1$  степень техногенной трансформации является допустимой, при 1–3 – умеренной, 3–5 – опасной и более 5 – чрезвычайно опасной [7]. Если в нашем случае за уровень фоновой величины ОМВ почвы принять значение  $80 \times 10^{-5}$  ед. Си, то 93% площади полигона попадает в градацию умеренной и только 4 и 3% – в градации соответственно допустимой и сильной техногенной трансформации изучаемых почв (табл. 2).

#### Литература

1. Гладышева М.А., Иванов А.В., Строганова М.Н. Выявление ареолов техногенно-загрязнённых почв Москвы по их магнитной восприимчивости // Почвоведение. 2007. № 2. С. 235–242.
2. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Картограмма магнитной восприимчивости почвенного покрова г. Перми // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3(3). С. 24–27.
3. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Лобанова Е.С. Загрязнённость тяжелыми металлами и металлоидами почв г. Пермь // Агрохимия. 2009. № 4. С. 60–68.
4. Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнений тяжелыми металлами городских почв (обзор литературы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2015. № 1. С. 13–20.

5. Решетников М.В., Гребенюк Л.В., Кузнецов В.В. Пространственное распределение магнитной восприимчивости почв в пределах города Медногорска (Оренбургская область) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 3 (178). С. 177–182.
6. Макаров О.А., Кубарев Е.Н., Чистова О.А., Карева О.В., Крикуненко А.С., Балджиев А.С. Магнитная восприимчивость почв на придорожных территориях // Земледелие. 2019. № 2. С. 17–20.
7. Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И. Использование показателя магнитной восприимчивости почв для оценки экологического состояния почвогрунтов г. Якутска // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26. № 1. С. 78–92.
8. Lu S.G., Bou S.Q., Xue G.F. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China // Geophys. J. Intern. 2007. Vol. 171. P. 568–580.
9. Golden N., Potito A.P., Zhang C., Morrison L., Gipson P.J. Spatial patterns of metal contamination and magnetic susceptibility of soils at an Urban Bon fire site // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 52. P. 86–96.
10. EL Baghdadi M., Jakani K., Barakat A., Bay Y. Magnetic susceptibility and heavy metal contamination in agricultural soil Tadla plain // J. Mamer. Environ. Sci. 2011. Vol. 2. P. 513–519.
11. Чевычелов А.П., Захарова О.Г., Кузнецова Л.И. Вариационно-статистические показатели свойств и состава мерзлотных лугово-черноземных почв Центральной Якутии // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: материалы IV Всероссийской конференции, 15–18 июня 2021 г., Улан-Удэ. Улан-Удэ, 2021. С. 518–520.
12. Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
13. Brempong F., Mariam Q., Preko K. The use of magnetic susceptibility measurements to determine pollution of agricultural soils in road proximity // African Journal of Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 10. N. 9. P. 263–271.
14. Павлов П.Д., Букатин М.Д., Решетников М.В., Еремин В.Н. Состояние почвенного покрова в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов (на примере Балаковского полигона Саратовской области) // Аграрный научный журнал. 2015. № 2. С. 21–25.

#### TECHNOGENIC TRANSFORMATION OF PERMAFROST MEADOW-CHERNOZEM SOILS IN THE ROADSIDE LANE OF THE YAKUTS-POKROVSK HIGHWAY

A.A. Alekseev, A.P. Chevychelov, A.N. Gorokhov, L.I. Kuznetsova

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, alex3.fromru@gmail.com

*Summary.* The volumetric magnetic susceptibility (VMS) of permafrost meadow-chnozem soil was studied at a 5000 m<sup>2</sup> landfill located in the lane of the Yakutsk-Pokrovsk highway in Central Yakutia. VMS values have changed significantly here, while the minimum value of this indicator was 60, the maximum was 262, and the average was  $160 \times 10^{-5}$  Si units. The modal range of VMS values was  $140\text{--}160 \times 10^{-5}$  Si units, and the distribution of this indicator over the polygon area was mosaic in nature.

*Keywords:* highway, permafrost meadow-chnozem soil, volumetric magnetic susceptibility, change, distribution.

УДК 631.4

## МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ КонтРАСТНОГО ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ХОЛМИСТО-МОРЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ НА ЗАПАДЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

О.А. Анциферова

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

**Аннотация.** На основании длительных стационарных исследований (2012–2020 гг.) предложена система показателей, характеризующая основные аспекты гидрологического режима. Установлено влияние количества осадков на режим влажности почв в условиях гумидного климата. Выявлена связь морфологических признаков оглеения разной интенсивности с характеристиками водно-воздушного режима.

**Ключевые слова:** мониторинг, режим влажности, гидрологические показатели, буроземы, дерново-глеявые почвы.

Оптимальный гидрологический режим – основное условие получения высоких урожаев растениеводческой продукции. Переувлажненные пахотные почвы составляют 38,3% в Северо-Западном Федеральном округе [1]. В то же время часть данной территории, особенно южно-таежная зона с окультуренными дерново-подзолистыми почвами, обладает большим потенциалом биопродуктивности на фоне глобальных климатических изменений. В XX в. функционирование сети гидрологических стационаров позволило выявить основные закономерности гидрологического режима почв различных частей Нечерноземья [2]. Однако самый западный регион России – Калининградская область (Прибалтийская почвенная провинция южно-таежно-лесной зоны дерново-подзолистых почв) оставался в этом аспекте практически не изученным [3]. Уникальность области состоит в том, что осушительная мелиорация насчитывает уже три столетия и в настоящее время охватывает 82 % от площади земельного фонда. Ввиду социально-экономических трудностей в сельском хозяйстве, возникших после распада СССР, наблюдается снижение эффективности осушительных систем. Неудовлетворительное мелиоративное состояние имеют 25,7–30,0% осушенных почв (в экстремально сырые годы до 38,5%). Большая часть из переувлажненных почв относится к польдерным массивам. Однако основной пахотный фонд представляет собой осушенные минеральные почвы. Поэтому в первую очередь именно для этих почв необходима научная информация о временных и пространственных закономерностях водного режима. С этой целью в 2012 г. был начат гидрологический мониторинг на 12 ареалах почв в типичных почвенно-геоморфологических условиях на производственном поле. Методологической основой исследований явилась отечественная традиция стационарных гидрологических исследований, предложенная А.А. Роде и усовершенствованная применительно к почвам агроландшафтов Ф.Р. Зайдельманом [3–4]. Период исследования составил 9 лет, в течение которых чередовались годы с различным количеством осадков (от сухих до экстремально влажных) на фоне преимущественно повышенных среднегодовых температур (рис.).

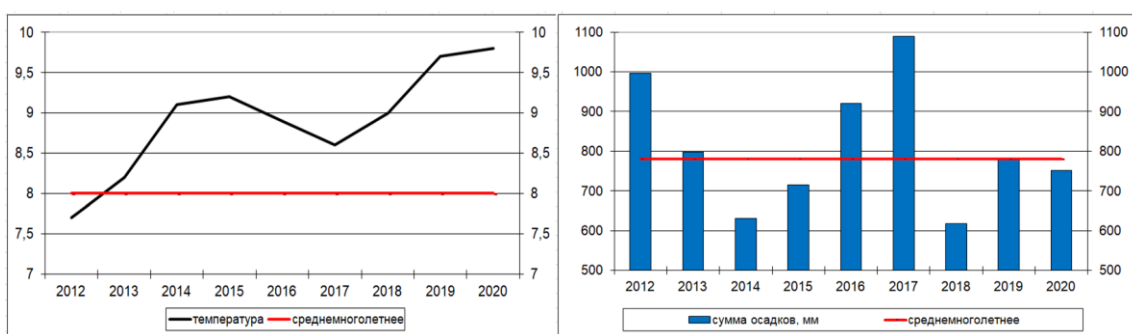


Рисунок. Погодные условия в период исследований по данным метеостанции г. Калининграда.

Установлена прямолинейная зависимость между количеством осадков по каждому году мониторинга и индивидуальными количественными показателями гидрологического режима



для доминирующих в почвенном покрове глееватых буроземов. Устойчивая значимая связь за период 2012–2020 гг. наблюдается с показателями «влажность > НВ в слое 0–20 см» и «влажность почв > НВ по всему слою 1 м». Однако коэффициенты детерминации сильно варьируют от 0,35 до 0,77. Следовательно, увлажнение пахотного слоя и метровой толщи буроземов только на 35–77% зависит от количества осадков. К прочим факторам относятся термический режим, положение почвы в рельефе, водопроницаемость, водоудерживающая способность почв, влияние растительности и дренажных систем. Наиболее достоверные различия наблюдаются в годы, резко отличающиеся по увлажнению (сухие и влажные). Для дерново-глеевых почв связь гидрологических показателей с количеством осадков еще более ослаблена ввиду сильного влияния индивидуальных морфометрических характеристик рельефа и степени исправности дренажных систем.

Специфической чертой гидрологического режима буроземов являются верховодки на глубине 80–130 см. Морфологическим индикатором вероятности возникновения верховодок является степень оглеения. В ходе исследований и последующей обработки массива данных показано, что в условиях гумидного климата Калининградской области необходимо применять подробную шкалу степеней оглеения почв, предложенную Ф.Р. Зайдельманом [1].

Верховодка начинает формироваться в сильноглееватых буроземах поздней осенью. В зимний период верховодка присутствует постоянно в условиях неглубокого промерзания почв (до 20 см в морозные периоды) или отсутствия такового при положительных температурах приморского климата. Наименьшие среднестатистические глубины верховодки характерны для февраля, когда наблюдается пик стока. Истощение верховодки начинается в апреле в связи с вегетацией культурной растительности и максимальным влагопотреблением в конце мая – июне.

Глубина появления признаков оглеения и его интенсивность являются главными морфологическими признаками гидроморфизма в профиле почв. Установлена тесная связь границы оглеения со среднестатистическими значениями расположения зоны с воздухоносной пористостью менее <10% в глееватых буроземах (коэффициенты корреляции от 0,97 до 0,99 на разных позициях рельефа). Горизонты сильной степени глееватости (с покрытием сетью прожилок и пятен от 50 до 80 % площади) являются верными индикаторами присутствия верховодок в осенне-весенний период в буроземах на холмисто-моренных равнинах [6].

В результате мониторинга выявлено, что многие осушенные дерново-глеевые почвы в замкнутых понижениях имеют неудовлетворительное мелиоративное состояние. На этих участках систематически возникают вымочки и гибель урожая сельскохозяйственных культур независимо от количества выпавших за год осадков. Особенности гидрологического режима дерново-глеевых почв в замкнутых понижениях связаны с питанием намывными склоновыми водами наряду с частичной подпиткой от грунтовых вод. Типичной чертой их водного режима является поверхностное заболачивание с ноября - декабря по март - апрель и присутствие верховодки в метровой толще в этот же период. Сложный гидрологический профиль почв формируется при сильной вертикальной неоднородности почвообразующих пород, когда в профиле чередуются слои суглинков, глин, супесей и песков. В результате создаются условия для скопления влаги над слабоводопроницаемыми слоями.

Для дерново-глеевых почв также подтвердилась тесная связь между верхней границей оглеения и расположением зоны с воздухоносной пористостью менее <10%. Изучено информационное значение различных видов глея в профиле осушенных дерново-глеевых почв.

В результате многолетнего мониторинга определены количественные показатели, характеризующие основные черты водного режима осушенных почв: 1) для слоя 0–20 см (количество дней с влажностью менее ВРК и выше НВ); 2) для слоя 0–100 см (количество дней с влажностью менее ВРК и выше НВ, максимальная глубина биологического иссушения, период существования зон с воздухоносной пористостью (ВП) менее 10%, верхняя граница зоны (ВП) менее 10%, вероятность формирования верховодки, длительность существования верховодки, длительность поверхностного затопления). Эта система показателей может быть применена как для вегетационного периода (апрель-октябрь), так и для годового цикла функционирования почв. На основании полученных данных установлен тип водного режима почв (табл.).

Таблица. Генетические особенности водного режима осушенных почв агроландшафтов холмисто-моренных равнин западной части Калининградской области (по классификации А.А. Роде, 1963)

Основные группы почв			
Почвы вершин холмов		Почвы склонов	Почвы понижений
Неоглеенные буроземы	Глееватые буроземы	Глееватые буроземы	Дерново-глеевые
Тип: промывной			
Подтип: атмосферного питания			Подтип: грунтово-атмосферного питания
Класс: сквозного наименьшего насыщения	Класс: Периодического капиллярного насыщения Группа: дренажный Варианты: с почвенной верховодкой или без нее	Класс: Периодического капиллярного насыщения Группа: дренажный Варианты: с почвенной верховодкой	Класс: капиллярного насыщения (грунтово-полуболотный) Группа: дренажный

### Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 г.». М.: Минприроды РФ, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
2. Зайдельман, Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. Москва: КДУ, 2009. 720 с.
3. Анциферова, О.А. Изученность водного режима почв Калининградской области // Известия КГТУ. 2019. №53. С. 11–24.
4. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. Методы изучения водного режима почв. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 287 с.
5. Зайдельман, Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. Москва: КолосС, 2008. 486 с.
6. Анциферова, О.А. Гидрологический режим буроземов в агроландшафтах Самбийской равнины (Калининградская область) // Почвоведение, 2022. № 6. С. 713–727.

### LONG-TERM MONITORING OF SOIL MOISTURE REGIME IN CONDITIONS OF CONTRASTING SOIL COVER OF HILLY-MORAINE AGRICULTURAL LANDSCAPES IN THE WEST OF THE RUSSIAN PLAIN

O.A. Antsiferova

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, anciferova@inbox.ru

*Summary. Based on long-term stationary studies (2012–2020), a system of indicators characterizing the main aspects of the hydrological regime is proposed. The influence of precipitation on the soil moisture regime in a humid climate has been established. The connection of morphological signs of different intensity of gleying with the characteristics of the water-air regime is revealed.*

*Keywords: monitoring, moisture regime, hydrological indicators, brown forest soils, sod-gley soils.*

УДК 631.42

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ИНДИКАТОРЫ ГИДРОМОРФИЗМА ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ ЗАПАДИННЫХ КОМПЛЕКСОВ ТАМБОВСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Д.Р. Бардашов, М.А. Смирнова, Н.И. Лозбенева, П.П. Филь

ФГБНУ ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия, bardash@mail.ru

***Аннотация.** Изменение режима выпадения осадков в результате изменения климата сказывается на режиме грунтовых вод, интенсивности и соотношении поверхностного и подземного стока. В статье описаны результаты изучения динамики свойств почв западных комплексов лесостепи Окско-Донской низменности в условиях гумидизации климата. Оценивается индикационная роль различных свойств почв в качестве показателей гидроморфизма и маркеров климатических изменений.*

***Ключевые слова:** гидроморфизм почв, черноземно-луговые почвы, Окско-Донская низменность; индикационная роль свойств почв; западные комплексы лесостепи*

Изменение климата существенно сказывается на доступности водных ресурсов по всему миру [1]. Существующие прогнозы предсказывают, что повышение температуры повлияет на региональные особенности выпадения осадков, испарения и водного режима почв [2].

Изменение режима выпадения осадков в результате изменения климата сказывается на режиме грунтовых вод, интенсивности и соотношении поверхностного и подземного стока [3]. В семиаридных лесостепях умеренного климатического пояса на низменных равнинах поверхностный сток малоинтенсивен [4].

В период с 1969 по 1973 гг. исследовательской группой под руководством д.б.н., проф. Е.М. Самойловой на территории лесостепи Окско-Донской низменности в Тамбовской области проводились режимные наблюдения за влажностью почв, был детально описан почвенный покров западных комплексов, подробно определены свойства почв [5]. Климат Окско-Донской низменности за период 1980–2020 гг. характеризуется гумидизацией относительно периода 1940–1980 гг. [6]. На большинстве метеорологических станций, расположенных в пределах региона, фиксируется возрастание среднегодового количества осадков с 450–470 до 490–520 мм/год между указанными периодами.

Результаты климатических изменений способны проявляться в компонентах природной среды [7]. В частности, свойства почв способны быть индикаторами аридизации и гумидизации климата [8,9].

Для лесостепных ландшафтов характерна высокая амплитуда колебаний УГВ, по сравнению с лесными и степными ландшафтами [5], поэтому изменение интенсивности атмосферных осадков могло наиболее существенно сказаться на свойствах гидроморфных и полугидроморфных почв западного комплекса лесостепи. Результаты детальных исследований, проведенных под руководством Е.М. Самойловой, позволяют использовать их для оценки многолетней динамики свойств почв.

В настоящем исследовании мы исследовали изменение свойств почв и состояния почвенного покрова западных комплексов лесостепи Окско-Донской низменности, а также оценили индикационную роль различных свойств почв западного комплекса в условиях изменяющегося климата.

Объектом исследования выступили полугидроморфные почвы западных комплексов лесостепи Окско-Донской низменности. Ключевой участок располагается в Токаревском районе Тамбовской области.

Растительность представлена разнотравно-луговыми сообществами [5]. Западины заняты осиновыми дубово-осиновыми рощами. Почвенный покров ключевого участка представлен черноземами и агрочерноземами квазиглеевыми (в том числе, засоленными и солонцеватыми), агрочерноземами глееватыми, агросолонцами темногумусовыми квазиглеевыми, грубогумусово-глеевыми почвами.

Места заложения опорных разрезов определены положением исследованных Е.М. Самойловой почв – по катене от выровненной субгоризонтальной поверхности к днищу западины. Было заложено и описано 5 опорных разрезов, образцы почв были отобраны в трех

повторностях через каждые 10 см на интервале глубин 0–150 см и через каждые 100 см на интервале 200–500 см. Совокупно отобрано 230 проб.

В лабораторных условиях проведено определение рН и TDS водных вытяжек образцов методом кондуктометрии, проведено определение органического и неорганического углерода методом сухого сжигания. Выполнено определение анионного и катионного состава водных вытяжек методом ионной хроматографии. Проведено выделение обменных катионов по методу Пфелфера [10]. Определение состава обменных катионов в полученных вытяжках проводилось методом ионной хроматографии, комплексонометрического титрования и пламенной фотометрии, а также атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

Общее строение почвенных профилей и мощность горизонтов значительно не изменились для всех рассмотренных почв, однако изменились частные морфологические признаки: глубина обнаружения почвенных новообразований.

Для всех описанных почв отмечалось снижение глубины вскипания при реакции с 10% HCl на 10–15 см. В почвах отмечается значимое снижение содержания неорганического углерода ( $C_{неорг}$ ), представленного карбонатами, а также увеличение глубины максимального содержания  $C_{неорг}$  (рис. 1, Б), что может быть связано с интенсификацией осадков и радиального стока.

Морфологически выщелачивание карбонатов проявляется в снижении глубины обнаружения карбонатных новообразований, либо полном их исчезновении из почвенного профиля (лугово-черноземная почва). Глубина обнаружения железомарганцевых конкреций для солонца возросла со 125 до 85 см. Для солонца и лугово-черноземной пахотной почвы, отмечается увеличение глубины радиального выноса органического углерода (рис. 1 Б). Валовое содержание  $C_{орг}$  не изменилось.

Содержание легкорастворимых солей в радиальном профиле почв также изменилось: в катионном составе во всех почвах снизилась доля  $Mg^{2+}$  (рис. 1, А). В анионном составе отмечено снижение доли  $SO_4^{2-}$  за счёт возрастания доли  $HCO_3^-$ . В солонце и непахотной черноземно-луговой почве существенно снизилась глубина обнаружения максимальных концентраций легкорастворимых солей, во всех почвах кроме дерново-глеевой изменилась также форма солевого профиля – с поверхностно-аккумулятивного на элювиальный.

Для дерново-глеевой почвы отмечено наличие двух максимумов легкорастворимых солей: поверхностного и срединного, приуроченного к глеевому горизонту, однако их валовое содержание в профиле снизилось более чем в 2 раза, стал более выражен нижний локальный максимум. Пропорциональное возрастание валовых концентраций отмечено для черноземно-луговой пахотной почвы, однако главным образом за счёт засоления нижней части профиля. Для черноземно-луговой пахотной почвы  $Na^+$  стал преобладающим катионом в составе растворимых солей вместо  $Ca^{2+}$ , для остальных почв преобладающие катионы не изменились.

Для солонца отмечено снижение профильного максимума содержания обменного  $Na^+$  на 5–7 см, а также существенное снижение содержания  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в ППК. Уменьшение содержания  $Mg^{2+}$  и в особенности  $Ca^{2+}$  в ППК отмечается для всех почв. Радиальная локализация катионов ППК значительно не изменилась, однако за счет увеличения частоты отбора проб по глубине, солевые профили приобрели более сложную форму (рис. 2).

Результаты сопоставления свойств почв позволяют наметить следующие тенденции: при общем сохранении морфологического строения почв (состава генетических горизонтов и их мощностей), за 50-летний период произошло изменение локализации почвенных новообразований: карбонатных и железо-марганцевых; в отдельных случаях карбонатные новообразования полностью отсутствовали, хотя были диагностированы в описаниях, выполненных ранее. Снизилась на 10–15 см глубина вскипания почв при реакции с 10% HCl. Для черноземно-луговой пахотной почвы  $Na^+$  стал преобладающим катионом в составе растворимых солей вместо  $Ca^{2+}$ . Максимум концентрации легкорастворимых солей сместился для лугово-черноземных почв и солонца на 20–40 см за полувековой период. Характер изменения рН по профилю остался прежним. Во всех почвах зафиксировано существенное снижение содержания  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в ППК, возрастание доли  $Na^+$ , общее снижение емкости катионного обмена, в солонце отмечено снижение максимума  $Na^+$  на 5–7 см, в нижнюю часть солонцового горизонта.



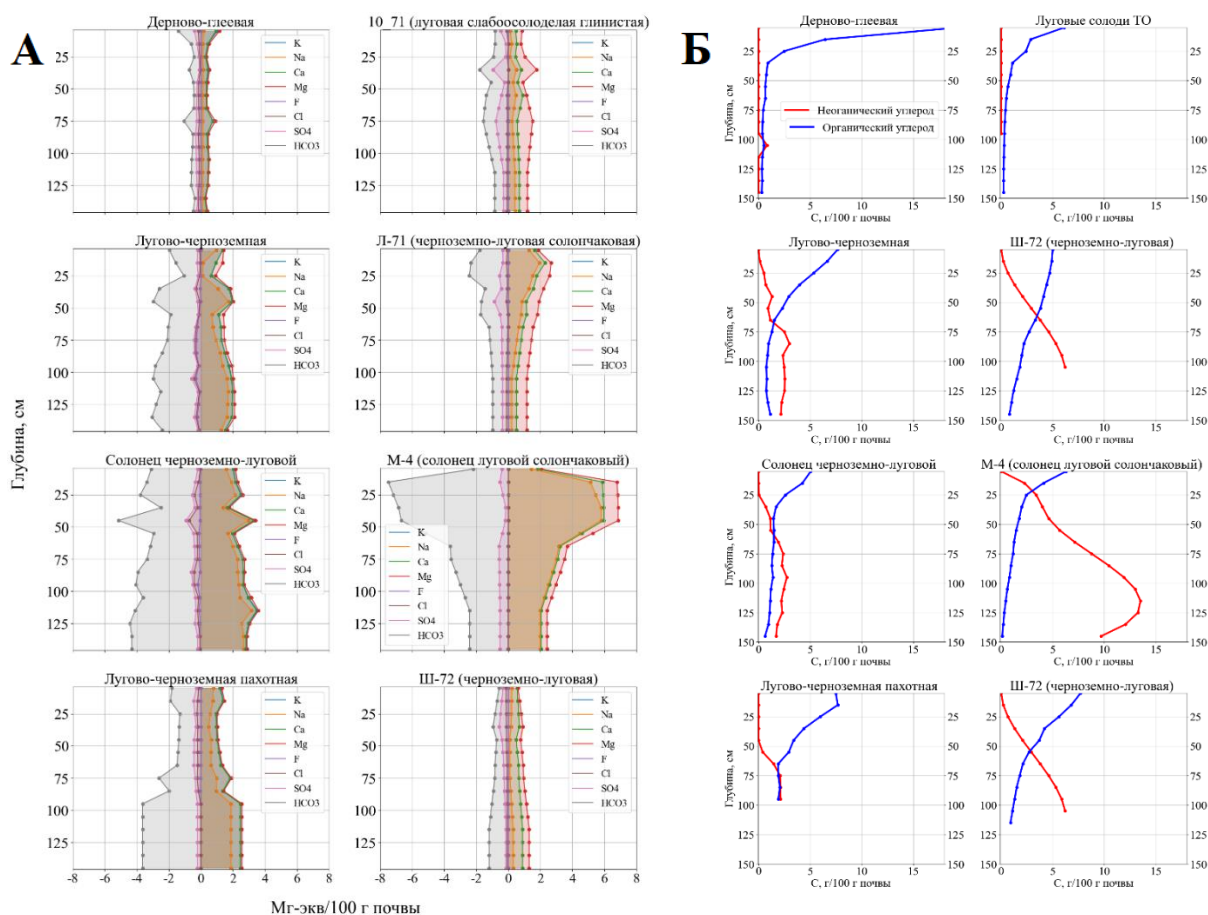


Рисунок 1 А. Радиальное распределение легкорастворимых солей (солевые профили); 1 Б. Профильное распределение неорганического и органического углерода описанных нами почв (слева) и почв, описанных Е.М. Самойловой (справа)

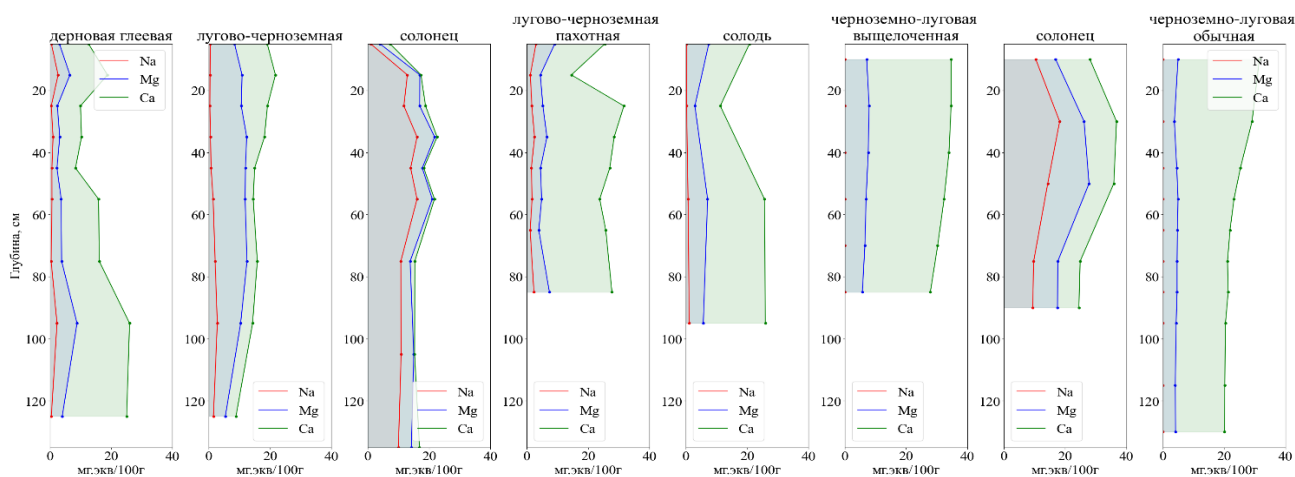


Рисунок 2. Состав катионов описанных нами почв (1–4) и почв, описанных Е.М. Самойловой (5–8).

Проведенные исследования позволяют установить ведущую роль морфологических признаков (локализации и видов почвенных новообразований), а также глубины вскипания, валового содержания неорганического углерода карбонатов и глубины обнаружения легкорастворимых солей, снижения доли  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в индикации гидроморфизма исследованных почв западного комплекса лесостепи.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке РФФ проект №22-77-10062.

## Литература

1. Carvalho-Santos C. et al. Climate change impacts on water resources and reservoir management: uncertainty and adaptation for a mountain catchment in northeast Portugal // *Water Resources Management*. 2017. Т. 31. С. 3355–3370.
2. Davidson E.A., Janssens I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change // *Nature*. 2006. Т. 440. №. 7081. С. 165–173.
3. Taylor R.G. et al. Ground water and climate change // *Nature climate change*. 2013. Т. 3. №. 4. С. 322–329.
4. Yurova A.Y. et al. Using soil hydromorphy degree for adjusting steady-state water table simulations along catenas in semiarid Russia // *Catena*. 2021. Т. 199. С. 105109.
5. Самойлова Е. М. Луговые почвы лесостепи. М.: Изд-во МГУ. 1981.
6. Harris I. et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // *Scientific data*. 2020. Т. 7. №. 1. С. 109.
7. Чендев Ю. Г. Тишкова А.А., Савин И.Ю., Лебедева М.Г., Соловьев А.Б. Реакция почв и других компонентов природной среды на климатические изменения разной периодичности на юге Среднерусской возвышенности // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2020. Т. 84. №. 3. С. 427–440.
8. Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Березуцкий В.Д., Долгих А.В., Белеванцев В.Г., Дудин Д.И. Голоценовые сигналы гумидизации климата в профилях разновозрастных черноземов центра Восточной Европы // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2016. №. 3 (191). С. 100–109.
9. Zhao X. et al. Global soil–climate–biome diagram: linking surface soil properties to climate and biota // *Biogeosciences*. 2019. Т. 16. №. 14. С. 2857–2871.
10. Молодцова В.А., Игнатова В.П. Способ определения обменных катионов в засоленных почвах. 1978.

### HYDROMORPHIC INDICATORS FOR SEMI-HYDROMORPHIC SOILS IN THE WESTERN COMPLEXES OF TAMBOV FOREST-STEPPE

D.R. Bardashov, M.A. Smirnova, N.I. Lozbenev, P.P. Fil

FSBSI V. V. Dokuchaev Soil Science Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia

*Summary. The article investigates how climate humidization has affected the soil properties of forest-steppe. The indicative role of various soil properties as indicators of changing soil water regime is evaluated.*

*Keywords: Soil Hydromorphism, Pothole Soils, Climate Change Indicators, Oka-Don Lowland, wetland landscapes.*

УДК 631.445.25

### АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЖИМ ВЛАЖНОСТИ СЕРЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

**М.П. Волокитин**

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, volokitin1@rambler.ru

*Аннотация. Проведены многолетние режимные исследования (14 лет) по формированию режима влажности серых почв, занятых различными фитоценозами, как важного элемента климатической системы. Дана оценка физико-химических свойств пахотной почвы и почвы, занятой берёзово-сосновым лесом. Установлена взаимосвязь между плотностью сложения и наименьшей влагоемкостью, межагрегатным сцеплением и коэффициентом фильтрации серой лесной почвы. Были оценены потери почвы при талом стоке.*

*Ключевые слова: серые почвы, влажность, влагоемкость, доступная влага, агрофизические свойства, фитоценоз.*

**Введение.** Почвенный покров выполняет важную гидрологическую функцию. Прежде всего, это относится к водорегулирующей способности почв и произрастающей на ней растительности. С режимом влажности почв и их способностью удерживать и

преобразовывать воду, связано большинство факторов, лимитирующих плодородие почв и развитие нежелательных процессов деградации. Изучение режима влажности почв в зоне аэрации позволяет снизить риск экстремальных гидрологических явлений таких как, наводнения, подтопления и засухи [1].

**Объекты и методы.** Исследования по изучению динамики влажности серых почв проводили на водосборном бассейне малой р. Любожихи, правого притока р. Оки (Южное Подмосковье). Пробные площадки были заложены на приводораздельном склоне – на пашне, на средней части склона – на залежи, зарастающей лесом, и в смешанном лесу. Для отбора образцов на влажность использовали бур Розанова. Отбор проб проводили с шагом 10 см до глубины 1,5–1,7 м, в трехкратной повторности. Влажность почвы определяли весовым методом с горячей сушкой.

Объекты исследований выбраны неслучайно. Лесные экосистемы – это уникальные природные образования роль, которых в функционировании биосферы трудно переоценить. Вместе с тем, данных по режиму влажности почв в этих экосистемах очень мало. В настоящее время естественное возобновление леса проводится на землях сельскохозяйственного назначения, которые были выведены из оборота. В этих условиях научный интерес представляет изучение взаимодействия леса и почвы как основных компонентов лесных биогеоценозов [2]. Агробиоценоз представляет интерес с точки зрения формирования урожая сельскохозяйственных культур в условиях меняющейся среды [3, 4].

Серые почвы имеют среднесуглинистый механический состав. Для них характерно присутствие крупной пыли в верхних горизонтах, которые обеднены илестыми частицами. На залежи серая почва характеризуется, как слабосмытая с неблагоприятными водно-физическими свойствами. На участке под залежью, где почва длительное время распахивалась, произошла деградация почвенных агрегатов, которая проявилась в уменьшении порозности и увеличении плотности, а структура стала более глыбистой.

Старопахотная почва водораздела из-за неудовлетворительной водопроходной структуры подвержена сплыванию и уплотнению. При увеличении плотности сложения выше 1,4 г/см<sup>3</sup> её наименьшая влагоёмкость снижается с 0,48 до 0,24. Ухудшается инфильтрация воды в почву. Наилучшими водно-физическими свойствами обладает серая почва, занятая лесным фитоценозом.

Произведена сравнительная оценка физико-химических показателей пахотной серой лесной почвы и почвы, занятой березово-сосновым лесом. Установлено, что почва под пашней характеризуется меньшим содержанием гумуса, который составляет 1,98%, по сравнению с почвой под лесом с показателями – 4,18% (табл.1.). Содержание общего азота также было выше в лесном фитоценозе.

Таблица 1. Физико-химические показатели серых почв в верхнем слое (0–20 см)

Почва	Гумус, %	Обменные основания, ммоль-экв/100г			Емкость катионного обмена ммоль-экв/100г	рН КСl	Гидрол. кислот., ммоль-экв/100г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100г	K <sub>2</sub> O, мг/100г
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>					
Пашня	1,98	12,7	1,7	0,41	16,4	5,34	3,5	15,2	7,9
Лес	4,18	8,3	2,1	0,60	14,4	4,32	5,6	9,9	5,7

Невысокое содержание органического вещества в пахотной почве приводит её к переуплотнению и сплыванию. Увеличиваются непродуктивные потери почвенной влаги. Вместе с тем, такие важные показатели, как рН солевой вытяжки, гидролитическая кислотность, содержание обменного кальция, ёмкость катионного обмена, содержание фосфора и калия отвечали требованиям возделывания сельскохозяйственных культур. Это объясняется такими агротехническими мероприятиями, как известкование кислых почв и внесение минеральных удобрений. В березово-сосновом лесу подзолообразовательный процесс хорошо выражен в результате подкисления почвы и более интенсивным промывным водным режимом.

**Обсуждение.** Серые лесные почвы характеризуются высокой водоудерживающей способностью. Наименьшая влагоемкость почв в слое 0–100 см, после схода снежного покрова, в среднем составляла в лесном фитоценозе – 339,5 мм, на залежи – 325,1 мм, и в пахотной почве – 315,0 мм. Запасы продуктивной влаги, в этом же слое, были равны 181,4 мм; 162,2 мм и 155,4 мм соответственно. Наибольшей водоудерживающей способностью обладает верхняя часть гумусово-элювиального горизонта, по сравнению с иллювиальным горизонтом. К этому следует добавить, что содержание влаги в 0–10 см слое лесной почвы практически всегда значительно выше, чем содержание влаги в слое 10–20 см. Также следует отметить, что водоотдача средней части иллювиального горизонта 40(50)–80(90) см была выше, чем вышележащего горизонта. Режимные наблюдения за формированием влажностного режима серых лесных почв показали, что за последние 14 лет (2010–2023 гг.) увеличились засушливые явления, и даже засухи. Иллюстрацией к этому может служить содержание и расход влаги в почвах в 2022 г. Лето 2022 г было жаркое с дефицитом осадков. За лето выпало менее 50% от нормы – 246 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) увлажнения территории Г.Т. Селянинова, характеризующий степень проявления атмосферной засухи за летний период составил 0,56 единицы, а в самом сухом августе всего 0,32. Эти величины относятся к средней и сильной засухе. Уже с июня месяца началось интенсивное иссушение почвы. Так, 26 июня поверхность пахотной почвы прогревалась до 45,7<sup>0</sup>С, а на залежи и в лесу на 23,3 °С и 21,4 °С соответственно. Такая закономерность прослеживалась и в дальнейшем. Наибольшему иссушению подверглась верхняя 0–50 см толща почвы. Расход доступной влаги на испарение и транспирацию на 29.08.2022 года составило на пашне – 72,7 мм, на залежи 61,9 мм, и в лесу 65,2 мм. Однако, из нижней части профиля в слое 100–150 см наибольшие расходы на эвапотранспирацию происходили в лесном фитоценозе, где они были равны – 79,2 мм, тогда как в агроценозе всего лишь – 36,9 мм. На протяжении июля месяца, и до конца августа, содержание доступной влаги в пахотной почве в 0–20 см слое были ниже влажности завядания, которая составляет 23 мм. В результате этого, из-за низкого урожая яровой ячмень запахали. Близкие результаты по влажностному режиму были получены и в 2021 г., который был аномальным по температуре с дефицитом летних осадков. Всё это привело к угнетению роста растений и повлияло на формирование озимой пшеницы. Зерно оказалось невыполненным и щуплым. Вывод из сельскохозяйственного использования пахотной слабосмытой серой лесной почвы более 18 лет назад не привел к улучшению её плодородия. Дефицит влаги в почвах отмечается не только летом, но периодически и осенью, в сентябре месяце. Проявление засушливых явлений в сентябре может негативно отразиться на возделывании озимых культур.

В годы с достаточной обеспеченностью осадками запасы влаги в почве за осенне-зимний и ранневесенний периоды пополняются полностью и соответствуют наименьшей влагоемкости, а в нижней части профиля – глубже 130–150 см часто превышают её (более 24% весовых). Оказалось, что молодой подрост (300–400 тыс. штук/га.), состоящий преимущественно из березы, является своего рода «живой» изгородью, которая задерживает и накапливает максимальное количество осадков в виде снега. Так, запасы воды в снеге здесь составляли – 196 мм, на пашне – 144 мм, а в лесу – 160 мм. В результате этого, при больших запасах воды в снежном покрове, формируется верховодка на глубине 140 см. При свободном гидравлическом напоре вода в скважине установилась на уровне 14 см от поверхности почвы. Образовался горизонт капиллярно-подпертой воды, что отразилось на запасах влаги. За счет насыщения вышележащего слоя почвы (100–140 см) общие запасы влаги в почве на зарастающем лугу оказались самыми высокими – 545 мм, против 493 мм под озимой пшеницей, и – 527 мм в лесном фитоценозе. На первом этапе замены высокотравного лугового сообщества лесным отмечен более высокий расход доступной влаги из почвы (до 30–50 мм), по сравнению с пашней и лесом.

Следует также отметить аномально тёплый и сырой 2013 г. Количество выпавших осадков в апреле, мае и июле месяце превышало норму на 140–184%. Но наибольшее количество осадков пришлось на сентябрь месяц, когда это превышение составило – 282%. Верхние слои почвы были перенасыщены влагой, началась интенсивная водоотдача и формироваться сток, который вызвал паводок на реках. Задержка в уборке озимой пшеницы привела к прорастанию зерна в колосе.



**Выводы.** На основании многолетних наблюдений за складывающимся влажностным режимом серой лесной почвы под различными фитоценозами сделаны следующие выводы:

1. При прочих равных условиях формирование режима влажности серых лесных почв определяется как их агрофизическими свойствами, так и особенностями фитоценозов.

2. На пашне, до посева сельскохозяйственных культур и образования сомкнутого покрова отмечено интенсивное иссушение почвы и образование на ее поверхности плотной корки мощностью 0,5–2,0 см с низкой влажностью, равной 7–9%.

3. Сельскохозяйственные растения усваивали влагу преимущественно из верхней 0–50 см толщи. Избыток влаги пополнял запасы нижележащих слоев 50–100 см, и особенно 100–150 см, где залегают тяжелосуглинистые прослойки. Такие условия формирования профиля влажности способствуют внутрипочвенному и латеральному стоку. На пашне агротехнические мероприятия должны быть направлены на сохранение в профиле почвы капиллярно-подвешенной влаги. Для сокращения непродуктивных потерь влаги из почвы необходима предпосевная поверхностная обработка.

4. Наиболее благоприятные условия регулирования влажностного режима почвы создаются в лесном фитоценозе. Здесь серая лесная почва обладает хорошей структурой, характеризуется более высокой водоудерживающей способностью, а растения используют влагу из всей почвенной толщи (0–150 см). Установлено, что почва, занятая лесом, имеет более интенсивный промывной режим, что отражается в её физико-химических свойствах.

5. В засушливые периоды климат почвы под смешанным лесом в слое 0–20 см изменяется от умеренно-влажного с запасами влаги 20–30 мм, до недостаточно влажного с запасами влаги 10–20 мм.

6. В пахотной серой почве климат меняется от недостаточно влажного с запасами влаги 10–20 мм, до сухого с влажностью менее 10 мм.

7. На залежи климат почвы по своим характеристикам ближе к агроценозу, чем к смешанному лесу.

#### Литература

1. Варалаи Г. Функции почв, связанные с режимом влажности. // Функции почв в биосферно-геосферных системах. Материалы международного симпозиума: Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27–30 августа 2001. М.: МАКС Пресс, 2001. С. 26–27.
2. Мигунова Е.С. Леса и лесные земли. Харьков: Новое слово, 2010. 364 с.
3. Базыкина Г.С. Элементы водного режима и физические свойства дерново-подзолистых почв Московской области под лесом, пашней и залежью // Почвоведение, 2004, № 3. С. 343–351.
4. Петелько А.И., Новиков Н.Е. Влияние леса на водный режим почв // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т.42, №3. С. 326–331.

#### AGROPHYSICAL PROPERTIES AND HUMIDITY REGIME OF GRAY SOILS IN SEVEN FOREST-STEPPE

M.P. Volokitin

Institute Basic Biological Problems, RAS, Pushchino, volokitin1@rambler.ru

*Summary.* Long-term regime studies (14 years) have been carried out on the formation of the moisture regime of gray soils occupied by various phytocenoses as an important element of the climate system. An assessment of the physico-chemical properties of arable soil and soil occupied by birch-pine forest is given. The relationship between the density of addition and the lowest moisture capacity, interaggregate adhesion and the filtration coefficient of gray forest soil has been established. Soil losses during melt runoff were estimated.

*Keywords:* gray soils, humidity, moisture capacity, available moisture, agrophysical properties, phytocenoses.

УДК 631.42

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОТНО-ОСНОВНОЙ БУФЕРНОСТИ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА В ОЦЕНКЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

С.В. Дыдышко, Т.Н. Азарёнок, О.В. Матыченкова

Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Минск, soil@tut.by

**Аннотация.** Представлены методические аспекты оценки агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава в условиях длительного сельскохозяйственного использования. В основе оценки применены расчетные величины отклонений показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности почв пахотных земель от исходного (естественного) состояния с последующим определением степени изменения величины того или иного критерия («слабая», «умеренная», «сильная» и «очень сильная») и вычислением коэффициентов трансформации и устойчивости почв.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистые почвы, гранулометрический состав, фракция физической глины, гумус, степень трансформации, устойчивость.

Интенсивное агрогенное воздействие приводит к сильному преобразованию зональных почв, их ускоренной трансформации и, как следствие, к возникновению антропогенно-преобразованных почв. Длительное сельскохозяйственное использование вызывает изменение не только их наиболее динамичных (агрохимических, физико-химических) свойств, но, и как считалось ранее, консервативных (содержание и соотношение гранулометрических фракций) характеристик. С учетом региональных особенностей почвообразования в пахотных почвах происходит накопление, а затем закрепление новых признаков и свойств, ряд которых не характерен для естественного почвообразования. Поэтому необходимым и важным представляется разработка таких критериев и показателей, которые позволили бы оперативно определить направленность происходящих изменений и дать объективную оценку агроэкологического состояния почв, обнаружить которые возможно при условии наличия эталона сравнения, а именно, естественных почв под лесом. Такими критериями могут являться показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей (содержание ила, средней и мелкой пыли, насыщенность физической глины илом и пылью, содержание гумуса в почве и в физической глине, степень насыщенности физической глины гумусом) и кислотно-основной буферности (площадь буферности в кислотном и щелочном интервалах).

Объектами исследований явились пахотные дерново-палево-подзолистые почвы, сформировавшиеся на мощных лессовидных легких суглинках, занимающих 83,7 % в составе пахотных земель ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области (балл плодородия – 72,3,  $I_{ок.} = 0,92$ ) и пахотные дерново-подзолистые почвы связно- и рыхлосупесчаного гранулометрического состава, подстилаемые с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком, занимающих 52,2 и 11,5 % в составе пахотных земель ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области (балл плодородия – 68,6 и 55,9 соответственно,  $I_{ок.} = 0,90$  и 0,88 соответственно), а также их естественные аналоги в качестве эталона сравнения.

Гранулометрический состав определялся методом «пипетки» по Н.А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014), общее содержание гумуса, (%) – по И.В. Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей рассчитаны по В.С. Крыщенко [1]. Определение кислотно-основной буферности проводили по методу Аррениуса [2]. Коэффициент трансформации почв (КТП) определялся по формуле (1) [3]:

$$КТП = \sum \text{индексов} - (n-1), \quad (1)$$

где,  $\sum \text{индексов}$  – сумма числовых выражений индексов,  
 $n$  – количество используемых индексов.

Коэффициент устойчивости почв (КУП) определялся по формуле (2) [4]:

$$КУП = \frac{\sum \text{показателей классов}}{n} - (n-1) \quad (2)$$

где,  $n$  – количество используемых классов

Определение криволинейных коэффициентов корреляции ( $\eta$ ) между показателями гумус-гранулометрических отношений и кислотно-основной буферности с производительной способностью зерновых культур (озимая пшеница, озимая тритикале, яровой ячмень) в производственных посевах выполнено по Б.А. Доспехову.

В условиях респубоики гранулометрический состав принимается за один из главных критериев качества почв. Наибольшее значение имеет наиболее подвижная составляющая – фракция физической глины, определяющая почвенное плодородие. Содержание физической глины в естественных и окультуренных почвах различной степени агрогенной трансформации одинакового гранулометрического состава находится на одном уровне, но распределение ила и пылеватых фракций в них различается, существенно изменяя ее качественный состав. Тонкодисперсная составляющая тесно связана с другими элементами почвенной системы, в частности с гумусом почвы: количественное содержание и качественный состав физической глины влияет на содержание и качество гумуса, и, следовательно, на уровень потенциального плодородия почв. Поэтому в качестве критериев для оценки агроэкологического состояния почв нами использованы показатели гумус-гранулометрических отношений (табл. 1), имеющие связи с производительной способностью зерновых культур (корреляционное отношение  $\eta$  изменяется от 0,47 до 0,93).

Таблица 1. Среднестатистические показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей в исследуемых почвах

Горизонт, глубина, см	Фактическое содержание фракций, %			Базовое содержание ила, %	Насыщенность физической глины, %		Константы равновесия	Гумус, %		Насыщенность ф/г гумусом, %
	<0,01 мм	<0,001 мм	0,001-0,01 мм		иллом	пылью		в почве	в глине	
	z	a <sub>ф</sub>	b <sub>ф</sub>							
Естественные легкосуглинистые почвы, б*										
A <sub>1</sub> , 4–9	21,5	7,6	13,9	4,63	35,27	64,73*	3,03	3,15	9,46	43,68
Окультуренные легкосуглинистые почвы, б										
A <sub>п</sub> , 5–25	22,4	8,0	14,4	5,04	35,51	64,49	2,91	2,55	7,33	33,20
Естественные связносупесчаные почвы, б										
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> , 3–7	17,1	7,2	9,9	2,94	42,16	57,84	3,38	2,08	7,02	40,97
Окультуренные связносупесчаные почвы, б										
A <sub>п</sub> , 5–15	17,8	6,3	11,5	3,17	35,20	64,80	3,65	2,46	8,97	50,48
Естественные рыхлосупесчаные почвы, б										
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> , 5–10	13,3	4,9	8,4	1,78	36,82	63,18	4,77	1,55	7,33	54,96
Окультуренные рыхлосупесчаные почвы, в										
A <sub>п</sub> , 5–15	13,3	3,8	9,6	1,79	28,40	71,60	5,37	2,44	13,11	98,93

Примечание. \*а) 50,0–54,9 % – слабая степень насыщенности физической глины илом или пылью; б) 55,0–64,9 % – средняя; в) 65,0–74,9 % – сильная; г) > 75,0 % – очень сильная.

Термин «константа» введен в связи с тем, что данный показатель состояния почвы всегда зависит от базового значения ила (a<sub>dt</sub>), которое для каждого содержания физической глины является величиной постоянной и используется в качестве эталона сравнения. Константы (K<sub>a,b</sub>) сводятся к тому, чтобы привести к единому масштабу показатели содержания гумуса в почве, и сопоставить друг с другом, так как они приводятся к общему знаменателю и выполняют функцию коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом, гумусностью почв и ее физической глиной. Показатель x<sub>р</sub> несет информацию о дисперсности почвенного образца, где концентрация гумуса в физической глине изменена («разбавлена») через константу равновесия (K) до значения y<sub>г</sub>. Показатель W совокупно выражает общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций (K<sub>a,b</sub>) во взаимосвязи с гумусностью физической глины (x<sub>р</sub>) и содержанием гумуса в почве (y<sub>г</sub>).

Установлено, что естественные почвы различного гранулометрического состава и их окультуренные аналоги относятся к группе почв с пылеватой физической глиной –

фактическое содержание пыли ( $b_{\text{ф}}$ ) в гумусовых (гумусово-элювиальных) и пахотных горизонтах превышает фактическое содержание ила ( $a_{\text{ф}}$ ). Причем физическая глина насыщена пылью – содержание пыли ( $b_{\text{ф}}$ ) превышает базовое содержание ила ( $a_{\text{д}}$ ). Исследуемые почвы характеризуются «средней» степенью насыщенности физической глины пылью, за исключением окультуренных рыхлосупесчаных, для которых характерна «сильная» степень насыщенности пылью. Содержание гумуса в физической глине ( $x_{\text{р}}$ ) значительно превышает его содержание в почве ( $y_{\text{г}}$ ), поскольку константы ( $K_{\text{б}}$ )  $> 1,0$ , что свидетельствует об избытке пыли в физической глине относительно  $a_{\text{д}}$  в рассматриваемых горизонтах. Показатель  $W$  изменяется в почвах под лесом от 40,97% в связносупесчаных до 54,96% – в рыхлосупесчаных; в пахотных аналогах – от 33,20% в легкосуглинистых до 98,93% в рыхлосупесчаных почвах.

Важное значение имеют и буферные свойства, тесно связанные с тонкодисперсной составляющей, отражающие физико-химический аспект плодородия почв. Буферность почвы обусловлена присутствием в ней коллоидов, содержащих способные к обмену ионы: ионы  $\text{H}^+$  определяют буферность по отношению к щелочам, а ионы  $\text{OH}^-$  – к кислотам. Буферные свойства отражают способность почв противостоять резкому изменению ее свойств при внешних воздействиях и отвечают за реализацию буферных механизмов к подкислению. Поэтому для оценки агроэкологического состояния почв нами также использованы и показатели площадей буферности в кислотном ( $S_{\text{к}}$ ) и щелочном ( $S_{\text{щ}}$ ) интервалах, имеющие связи с производительной способностью зерновых культур ( $\eta$  изменяется от 0,41 до 0,86).

Установлено, что в естественных почвах легкосуглинистого, связносупесчаного и рыхлосупесчаного состава показатель  $S_{\text{щ}}$  составляет 22,8, 17,7 и 16,4  $\text{см}^2$  соответственно, а  $S_{\text{к}}$  – 2,3, 2,0 и 1,9  $\text{см}^2$  соответственно; в окультуренных аналогах показатель  $S_{\text{щ}}$  составляет 10,7, 11,9 и 7,8  $\text{см}^2$  соответственно, а  $S_{\text{к}}$  – 11,3, 7,7 и 10,9  $\text{см}^2$  соответственно, т.е. в пахотных почвах возрастает буферность к подкислению. Таким образом, почвы под лесом независимо от гранулометрического состава характеризуются «средней» буферностью к подщелачиванию и «очень низкой» – к подкислению; окультуренные аналоги – «низкой» буферностью к подщелачиванию и «средней» – к подкислению, т.е. пахотные почвы имеют резерв для достижения реакции  $\text{pH}_{\text{КС1}}$  благоприятной для большинства сельскохозяйственных культур.

Для отражения изменения количественных показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности в верхнем горизонте рассчитываем величины отклонений показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности почв пахотных земель от таковых в исходном состоянии. Оценка степени изменения свойств почв во времени под влиянием антропогенного фактора требует создания соответствующей шкалы, позволяющей дифференцировать изменения почвенных критериев по степени проявления. На основе полученных величин отклонений, с использованием метода экспертной оценки, устанавливаем пределы варьирования значений отклонений для выделенных категорий (градаций), которые являются условным выражением степени изменения величины того или иного критерия генетических свойств почв (табл. 2).

Таблица 2. Шкала степени изменения критериев генетических свойств почв в результате длительного сельскохозяйственного использования

№	Критерий	Степень изменения величины критерия:			
		1 – «слабая»	2 – «умеренная»	3 – «сильная»	4 – «очень сильная»
1	$a_{\text{ф}}$ (%), $b_{\text{ф}}$ (%), $V_{\text{а}}$ (%), $V_{\text{б}}$ (%)	$\leq 5$	5,1–15	15,1–30	$> 30$
2	$y_{\text{г}}$ (%)	$\leq 5$	5,1–20	20,1–40	$> 40$
3	$x_{\text{р}}$ (%), $W$ (%), $S_{\text{к}}$ ( $\text{см}^2$ )	$\leq 20$	20,1–50	50,1–100	$> 100$
4	$S_{\text{щ}}$ ( $\text{см}^2$ )	$\leq 5$	5,1–30	30,1–60	$> 60$

Каждому критерию присваиваем категорию (класс) в зависимости от степени изменения показателя (1 – «слабое» изменение, 2 – «умеренное», 3 – «сильное» и 4 – «очень сильное») как со знаком «+», так и «-», то есть имеет двойственный характер (табл. 3).



Таблица 3. Оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв

Критерий	Естественная почва	Величина отклонения, %	Категория (класс) изменения*	КТП и степень трансформации почв**	КУП и категория устойчивости почв***
	A <sub>1</sub> (A <sub>2</sub> )	A <sub>п</sub>			
Легкосуглинистые почвы					
a <sub>ф</sub> , %	7,6	+5,3	2	10 («умеренная»)	1,50 («устойчивые»)
b <sub>ф</sub> , %	13,9	+3,6	1		
V <sub>a</sub> , %	35,27	+0,7	1		
V <sub>b</sub> , %	64,73	-0,4	1		
y <sub>г</sub> , %	3,15	-19,3	2		
x <sub>р</sub> , %	9,46	-22,5	2		
W, %	43,68	-24,0	2		
S <sub>ш</sub> , см <sup>2</sup>	22,8	-53,1	3		
S <sub>к</sub> , см <sup>2</sup>	2,3	+391,3	4		
Связносупесчаные почвы					
a <sub>ф</sub> , %	7,2	-12,5	2	15 («умеренная»)	2,75 («менее устойчивые»)
b <sub>ф</sub> , %	9,9	+16,2	3		
V <sub>a</sub> , %	42,16	-16,5	3		
V <sub>b</sub> , %	57,84	+12,0	2		
y <sub>г</sub> , %	2,08	+18,3	2		
x <sub>р</sub> , %	7,02	+27,8	2		
W, %	40,97	+23,2	2		
S <sub>ш</sub> , см <sup>2</sup>	17,7	-32,8	3		
S <sub>к</sub> , см <sup>2</sup>	2,0	+285,0	4		
Рыхлосупесчаные почвы					
a <sub>ф</sub> , %	4,9	-22,4	3	19 («сильная»)	3,75 («неустойчивые»)
b <sub>ф</sub> , %	8,4	+14,3	2		
V <sub>a</sub> , %	36,82	-22,9	3		
V <sub>b</sub> , %	63,18	+13,3	2		
y <sub>г</sub> , %	1,55	+57,4	4		
x <sub>р</sub> , %	7,33	+79,4	3		
W, %	54,96	+81,4	3		
S <sub>ш</sub> , см <sup>2</sup>	16,4	-52,4	3		
S <sub>к</sub> , см <sup>2</sup>	1,9	+473,7	4		

Примечание.

\*Класс изменения: 1 – «слабое» изменение, 2 – «умеренное», 3 – «сильное» и 4 – «очень сильное».

\*\*Коэффициент трансформации почв (КТП) и степень трансформации: 1–8 – «слабая» степень трансформации, 9–16 – «умеренная», 17–24 – «сильная» и > 24 – «очень сильная».

\*\*\*Коэффициент устойчивости почв (КУП) и категория устойчивости: КУП ≤ 1,00 – «наиболее устойчивые»; 1,01–2,00 – «устойчивые»; 2,01–3,00 – «менее устойчивые»; > 3,00 – «неустойчивые».

Далее производим расчет коэффициента трансформации почв (КТП) по формуле 1 и коэффициента устойчивости почв (КУП) по формуле 2, и ранжируем полученные значения с одинаковым шагом (интервалом) для последующего определения степени трансформации и категории устойчивости почвы. Так, согласно проведенным исследованиям, установлено, что КТП для легкосуглинистых почв составил 10, что соответствует «умеренной» степени трансформации; для связносупесчаных – 15 («умеренная» степень трансформации); для рыхлосупесчаных почв – 19 («сильная» степень трансформации). КУП для легкосуглинистых почв составил 1,50 (соответствует категории «устойчивые»); для связносупесчаных почв – 2,75 («менее устойчивые»); для рыхлосупесчаных почв – 3,75 («неустойчивые»). Результаты вышеизложенных исследований указывают на четкую зависимость степени трансформации изученных разновидностей почв от их гранулометрического состава: почвы более легкого гранулометрического состава сильнее подвержены трансформации, и, следовательно, характеризуются более низкой устойчивостью к агрогенным воздействиям.

Таким образом, критерии, основанные на показателях гумус-гранулометрических отношений и буферности, могут быть использованы для усовершенствования системы показателей оценки агроэкологического состояния почв при проведении научных,

мониторинговых исследований, учебном процессе, разработке мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв. Следовательно, оценка агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв, находящихся в условиях длительного сельскохозяйственного использования, на основе комплексных данных их состава и свойств носит актуальный характер в условиях государственной экологической политики рационального использования почв.

#### Литература

1. Крыщенко В.С., Рыбьянец Т.В., Бирюкова О.А., Кравцова Н.Е., Замулина И.В. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения // «Живые и биокосные системы». 2013. № 2. 15 с.
2. Методические указания по химическому анализу почв для студентов IV курса специальности «Почвоведение» (Определение катионнообменной способности почв) / сост. О.А. Йонко. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. С. 16–18.
3. Шульгина С.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Шибут Л.И., Матыченков Д.В., Дыдышко С.В. Специфика антропогенной трансформации свойств отдельных типов почв пахотных земель Беларуси // Почвоведение и агрохимия. № 1 (60). 2018. С. 42–48.
4. Шульгина С.В., Цытрон Г.С., Шибут Л.И., Калюк В.А. Оценка степени устойчивости дерново-подзолистых почв Беларуси к агрогенным воздействиям // Почвоведение и агрохимия. № 2 (51). 2013. С. 43–55.

#### APPLICATION OF INDICATORS OF ACID-BASE BUFFERING AND GRANULOMETRIC COMPOSITION IN THE ASSESSMENT OF THE AGROECOLOGICAL STATE OF SODDY-PODZOLIC SOILS

S.V. Dydyshka, T.N. Azaronak, O.V. Matychenkova

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the NAS of Belarus, Minsk, soil@tut.by

*Summary. Methodological aspects of assessing the agroecological state of zonal soddy-podzolic soils of various granulometric composition under conditions of long-term agricultural use are presented. The assessment is based on the calculated deviations of indicators of humus-granulometric ratios and buffer capacity of arable land soils from the initial (natural) state, followed by determining the degree of change in the value of one or another criterion («weak», «moderate», «strong» and «very strong») and calculation of soil transformation and stability coefficients.*

*Keywords: soddy-podzolic soils, granulometric composition, fraction of physical clay, humus, degree of transformation, stability.*

УДК 631.42

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ПОЧВАХ ИШИМСКОЙ СТЕПИ

Ю.В. Кравцов

Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск,  
kravtsov60@mail.ru

**Аннотация.** *Определены особенности многолетней динамики уровня грунтовых вод в почвах плакорных участков и отрицательных форм рельефа. Выявлено более глубокое среднее положение грунтовых вод в промежутки лет с преобладанием малоснежных зимних сезонов (2009–2022 гг.) по сравнению с рядом лет с многоснежными зимами (2000–2008 гг.). Установлено, что амплитуда многолетних колебаний уровня грунтовых вод в опорных разрезах зависит от их положения по отношению к полеваям лесополосам.*

**Ключевые слова:** *многолетние изменения, уровень грунтовых вод, почва плакорного участка, сумма атмосферных осадков, малоснежный зимний сезон, полевая лесополоса.*

**Актуальность.** Ишимская степь – важный аграрный регион Сибири, специализирующийся на производстве зерна и кормовых трав. На этом основании мониторинг состояния его природных ресурсов, в том числе и гидрологического состояния почв, используемых в растениеводстве, имеет непреходящее значение.

По результатам изысканий во второй половине 1980-х гг. установлено, что плакорные почвы выровненного Ишим-Иртышского степного междуречного пространства характеризуются залеганием грунтовых вод на глубине 4 и более метров и развиваются при этом в условиях непромывного водного режима. Почвы соседних микропонижений с уровнем грунтовых вод 3,5–4,0 м функционируют при периодическом дополнительном поверхностном увлажнении, не испытывая влияния грунтовых вод. Почвы нижних частей склонов крупных котловин с уровнем грунтовых вод менее 3 м развиваются при дополнительном грунтовом увлажнении [1]. Позднее выявлено, что в результате хозяйственной деятельности уровень грунтовых вод в плакорных почвах Ишимской степи поднялся с отметок 6–17 м в середине XX столетия до глубин, превышающих критические (3,9 м), в начале третьего тысячелетия. Почвы плакорных участков начали развиваться при периодическом дополнительном грунтовом увлажнении их профиля [2]. Подъему грунтовых вод способствовал промежуток лет с очень многоснежными зимами в течение 2000–2008 гг. Установлено, что уровень поднявшихся выше критической глубины грунтовых вод в плакорных почвах в первой половине активной вегетации зависит от суммы атмосферных осадков предыдущего холодного сезона года [3]. Выявлено, что дополнительное грунтовое увлажнение плакорных почв заметно не отражается на урожайности яровых зерновых культур [4], однако обуславливает начало изменений генетических особенностей изучаемых почв [5].

В течение последних лет (2009–2022 гг.) в Ишимской степи преобладают малоснежные зимние сезоны. Поэтому важно уточнить изменения в глубине залегания грунтовых вод в течение этих лет, проверить зависимость их уровня от сумм атмосферных осадков предыдущего холодного сезона года и с учетом полученных обобщений определить особенности многолетних изменений уровня грунтовых вод за последние десятилетия.

**Цель работы** – установить особенности многолетней динамики уровня грунтовых вод в почвах Ишимской степи.

**Объекты и методы исследования.** Наблюдения осуществлялись на ключевом почвенно-геоморфологическом профиле в центральной, наиболее возвышенной части Ишим-Иртышского степного междуречья, проведенном от уреза воды в котловине урочища Сарыколь на запад-юго-запад до наиболее возвышенной поверхности водораздельного пространства. Некоторые характеристики опорных разрезов профиля представлены в таблице 1.

Таблица 1. Объекты исследования и характеристика их местоположения

Разрез	Географические координаты	Абсолютная высота, м, рельеф	Расстояние до ближайшей лесополосы, м	Название почвы, согласно [6], по результатам работ 1986 г.
4	53°43'50.26" с.ш. 74°03'45.49" в.д.	110, склон первой надпойменной террасы мезокотловины	230	Луговая солончаковатая
1	53°43'47.14" с.ш. 74°03'35.59" в.д.	111, площадка первой надпойменной террасы мезокотловины	200	Черноземно-луговая солончаковатая
2	53°43'34.82" с.ш. 74°02'45.24" в.д.	114, площадка второй надпойменной террасы мезокотловины	30	Чернозем южный карбонатный солончаковатый
7	53°43'12.52" с.ш. 73°57'01.65" в.д.	121, плакор, микроповышение	150	Чернозем южный карбонатный солончаковатый
8	53°43'22.83" с.ш. 73°57'03.42" в.д.	120, плакор, микропонижение	150	Лугово-черноземная выщелоченная
143	53°43'22.23" с.ш. 73°57'16.94" в.д.	121, плакор, микроповышение	0	Чернозем южный обычный
26	53°43'13.59" с.ш. 73°49'50.45" в.д.	130, плакор	1000	Чернозем южный карбонатный
9	53°41'18.30" с.ш. 73°47'02.10" в.д.	135, плакор	800	Чернозем южный карбонатный

Измерение глубины залегания грунтовых вод производились методом ручного бурения в июне 2009, 2014, 2016, 2018, 2019, 2021 и 2022 гг. На июнь в течение гидрологического года приходится наиболее близкое к земной поверхности положение уровня грунтовых вод, находящихся выше критической глубины.

Градации снежности зимних сезонов дана по А.А. Танасиенко [7]. В работе использованы материалы многолетних метеорологических наблюдений на метеостанции «Русская Поляна» Обь-Иртышского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). В многолетней последовательности сумм атмосферных осадков ноября – марта при задании линии линейной фильтрации через 5 точек прослежена определенная периодичность промежутков лет с преобладанием различных по снежности зимних сезонов. В течение 1986–1989 гг. преобладали нормальные по снежности сезоны (средняя сумма атмосферных осадков ноября – марта составляла 105 мм). В 2000–2008 гг. доминировали очень многоснежные сезоны со средним количеством осадков в 136 мм. С 2009 г. по 2022 г. наблюдаются в основном малоснежные холодные сезоны года со средней суммой осадков 89 мм.

Пропорциональность между количеством атмосферных осадков и уровнем грунтовых вод установлена в программе Microsoft Excel.

**Обсуждение результатов.** Основным фактором многолетней динамики уровня грунтовых вод в почвах плакорных участков по-прежнему остается сумма атмосферных осадков предыдущего холодного сезона года. Между количеством атмосферных осадков ноября – марта в течение 2009–2022 гг. и уровнем грунтовых вод в почвах плакорных местоположений в июне наблюдается пропорциональность с весьма высокой величиной достоверной аппроксимации (рис.).



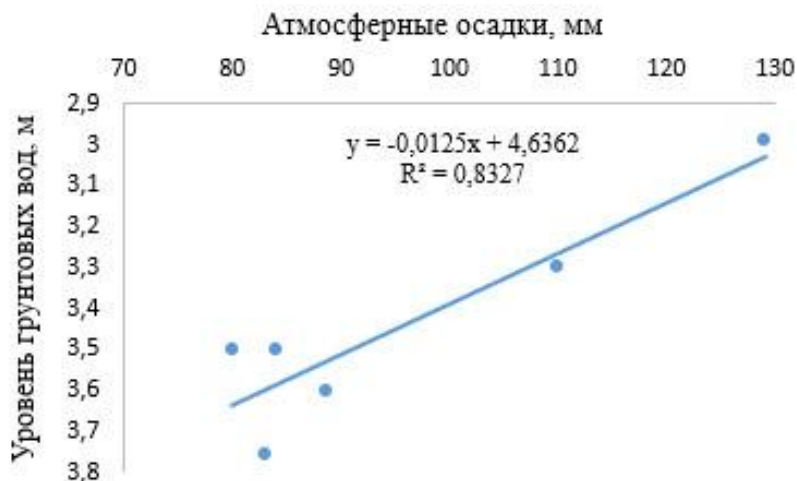


Рисунок. Пропорциональность между суммой атмосферных осадков ноября – марта в 2009–2022 гг. и уровнем грунтовых вод в почве опорного разреза 7 в июне.

В почвах отрицательных форм рельефа столь отчетливой пропорциональности между атмосферными осадками и уровнем грунтовых вод не прослеживается. В нижней части котловины ур. Сарыколь (разрезы 1 и 4) это связано с регулирующим влиянием озерного водоема, из которого подпитываются грунтовые воды. В микропонижении выровненного участка междуречья (разрез 8) определяющая роль сумм зимних осадков нивелируется запасами воды в снеге, накапливающимися на поверхности отрицательной формы рельефа в сопоставимом количестве в разные по снежности зимние сезоны (в среднем 80–100 мм).

В связи с определяющим влиянием сумм осадков холодного сезона года, в течение промежутка лет с преобладанием малоснежных зимних сезонов (2009–2022 гг.) в почвах плакорных участков и отрицательных форм рельефа выявлено более глубокое залегание грунтовых вод (табл. 2), по сравнению с годами с многоснежными зимами (2000–2008 гг.). Вместе с тем, эти средние показатели еще не сравнивались с отметками уровня грунтовых вод, зафиксированными во второй половине 1980-х гг. Плакорные почвы и почвы мезо- и микропонижений земной поверхности продолжают испытывать влияние близко расположенных грунтовых вод.

Таблица 2. Средний уровень грунтовых вод в опорных разрезах в июне, м

Разрез	1986–1989 гг.	2000–2008 гг.	2009–2022 гг.
4	1,8	1,5	2,0
1	2,3	1,7	2,0
2	3,7	1,8	2,5
7	4,3	3,1	3,4
8	3,1	2,2	2,8
143	3,0	2,2	2,9
26	5,0	4,2	3,8
9	4,6	3,6	3,7

Амплитуда многолетних колебаний уровня грунтовых вод наиболее отчетливо проявляется при сравнении данных наблюдений за конкретные годы (табл. 3). Установлено, что размах межгодовых колебаний уровня грунтовых вод в плакорных почвах зависит от положения опорных разрезов по отношению к полезационным лесополосам. Точнее, по отношению к снежным сугробам, накапливающимися с подветренной стороны лесополос к концу зимнего сезона. Ресурсами воды именно этих сугробов предопределяется объем поступления поверхностных вод в горизонт грунтовых. Так, в удаленных на 800–1000 м от ближайших лесополос разрезах 9 и 26 разница в уровне грунтовых вод между нормальным и очень многоснежным годом составила 1,1 м; между очень многоснежным и малоснежным годами –

0–0,3 м. Разрез 7 удален от лесополосы на 150 м; амплитуда между нормальным по снежности и очень многоснежным годами достигла 1,7 м, между очень многоснежным и малоснежным годом – 0,8 м. Разрез 143 расположен непосредственно в лесополосе; в первом случае подъем в нем составил 1,3 м, опускание во втором достигло 1,5 м. Самый большой размах наблюдался в разрезе 2, расположенном в 30 м с подветренной стороны лесополосы, как раз в том месте, где в течение зимы скапливается наибольшее количество переносимого с полей снега. В очень многоснежный год уровень грунтовых вод в этом разрезе оказался на 2,2 м выше, чем в нормальный по снежности год. В течение малоснежного года грунтовые воды в разрезе опустились на 1,5 м по сравнению с очень многоснежным годом.

Таблица 3. Уровень грунтовых вод опорных разрезах в июне, м

Разрез	Сумма осадков ноября – марта, мм	4	1	2	7	8	143	26	9
Гидрологический год									
1987	96	1,8	2,0	3,5	4,4	3,0	3,0	5,0	4,6
2007	185	1,3	1,4	1,3	2,7	1,5	1,7	3,9	3,5
2022	80	2,6	2,5	2,8	3,5	3,4	3,2	3,6	3,5

В почвах отрицательных форм рельефа зависимость размаха межгодовых и многолетних колебаний уровня грунтовых вод от положения по отношению к лесополосам не установлена. В частности, в почвах нижней части склона котловины ур. Сарыколь наблюдается возрастание межгодовой амплитуды уровня грунтовых вод по мере удаления от уреза воды в озере.

**Выводы.** Основным фактором межгодовой динамики уровня грунтовых вод в почвах плакорных участков Ишимской степи в промежуток лет с преобладанием малоснежных зимних сезонов (2009–2022 гг.) по-прежнему остается сумма атмосферных осадков ноября – марта. В почвах отрицательных форм рельефа подобная зависимость выражена слабее из-за дополнительного влияния на глубину залегания грунтовых вод либо соседнего озера, либо дополнительного количества снега, накапливающегося на поверхности микропонижения.

В промежуток лет с преобладанием малоснежных зимних сезонов средний уровень грунтовых вод во всех опорных разрезах оказался на 0,1–0,7 м ниже, чем в предыдущий ряд лет с доминированием многоснежных сезонов (2000–2008 гг.). Однако этот уровень еще не достиг отметок, зафиксированных во второй половине 1980-х гг. Почвы по-прежнему развиваются в условиях дополнительного грунтового увлажнения.

Амплитуда межгодовых колебаний уровня грунтовых вод в опорных разрезах на плакорных участках напрямую зависит от близости разрезов к полезащитным лесополосам, с подветренной стороны которых накапливается основная масса снега, влага из которого поступает в весеннее время в горизонт грунтовых вод. В нижней части мезокотловины наблюдается увеличение межгодовой амплитуды колебаний уровня грунтовых вод при возрастании расстояния между опорным разрезом и урезом воды в озере.

#### Литература

1. Кравцов Ю.В. Гидротермический режим южных черноземов и лугово-черноземных почв Ишимской степи // Вестник Тюменского государственного университета. 2006. № 5. С. 76–82.
2. Кравцов Ю.В. Подъем грунтовых вод в Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 16. № 2. С. 217–222.
3. Кравцов Ю.В. Водный режим почв Ишимской степи. Новосибирск, НГПУ, 2014. 252 с.
4. Кравцов Ю.В., Жигарев В.О., Перебейнос Г.В. Гидрологическое состояние почв Ишимской степи в различные по снежности промежутки лет за 1986–2017 гг. // Географическая наука, туризм и образование: современные проблемы и перспективы развития. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск: НГПУ, 2017. С. 10–14.

5. Кравцов Ю.В., Смоленцева Е.Н. Особенности современного генезиса плакорных почв Ишимской степи // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. № 111. С. 116-156.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
7. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2003. 176 с.

## LONG-TERM DYNAMICS OF THE GROUNDWATER LEVEL IN THE SOILS OF THE ISHIM STEPPE

Yu.V. Kravtsov

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, [kravtsov60@mail.ru](mailto:kravtsov60@mail.ru)

*Summary.* The features of the long-term dynamics of the groundwater level in the soils of upland areas and negative landforms are determined. A deeper average position of groundwater was revealed in the period of years with a predominance of low-snow winter seasons (2009-2022) compared with a number of years with multi-snow winters (2000-2008). The dependence of the amplitude of long-term fluctuations of the groundwater level in the reference sections on their position in relation to the protective forest belts was established.

*Keywords:* long-term changes, the groundwater level, the soil of the anchorage, the amount of precipitation, the low-snow winter season, the protective forest belt.

УДК 631.42

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПОЧВЕННО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

С.Я. Кудряшова, А.С. Чумбаев

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,

[kudryashova@issa-siberia.ru](mailto:kudryashova@issa-siberia.ru), [chumbaev@issa-siberia.ru](mailto:chumbaev@issa-siberia.ru)

*Аннотация.* Представлены основные результаты фундаментальных и прикладных исследований агрофизических свойств почв, их водно-физического и температурного режимов в различных природно-климатических зонах Сибири. Отмечены итоги изучения свойств, режимов и плодородия сибирских черноземов при орошении, их рационального использования и охраны.

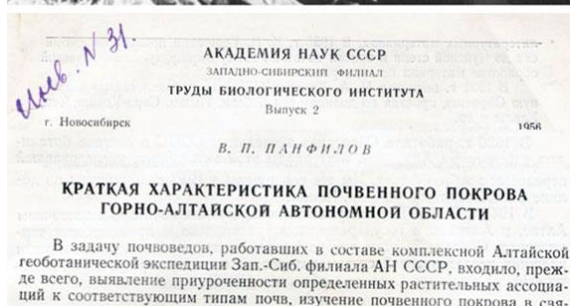
*Ключевые слова:* агрофизическая характеристика почв, гидротермический режим, мелиоративное освоение, земельный фонд Сибири.

Почвенный покров обширной территории южной Сибири представлен сложным сочетанием типов почв, различающихся по мелиоративным свойствам и агрономической ценности для которых физические основы почвенного плодородия являются необходимым, а в некоторых случаях, главным фактором их эффективного землепользования и охраны.

Подчеркивая важность агрофизических свойств для решения принципиальных вопросов использования сельскохозяйственных территорий, К.П. Горшенин в первом и единственном на тот период времени обобщении, освещающем основные географические закономерности распределения и свойства главнейших типов почв Сибири от Урала до Байкала, с сожалением отмечает: "... при выполнении настоящей работы выявлена недостаточность данных для характеристики почв в отношении их физических свойств, водного режима и структуры, особенно динамики этих свойств" [1]. Поэтому в числе первых подразделений почвенного отдела Биологического института СО АН СССР доктор сельскохозяйственных наук Р.В. Ковалев организовал лабораторию физики, мелиорации и эрозии почв. Руководителем объединенной лаборатории был назначен кандидат сельскохозяйственных наук В.П. Панфилов. Целевые исследования почвенного отдела в 1950-1960 гг. были сосредоточены в горных районах юга Сибири, на территории которых маршрутными и стационарными методами был получен большой объем фактического материала, ставший основой для создания первой целостной и глубокой характеристики почвенного покрова Горного Алтая.

Наряду с географо-генетическим направлением почвенных исследований значительные успехи были достигнуты при изучении агрофизических свойств почв, которые имели большое практическое значение для их агромелиоративной оценки и теоретического обоснования комплекса зональных систем земледелия. Для территорий обширного горного обрамления юга Сибири одной из первых была представлена оценка мелиоративных особенностей почв сухостепных котловин, составляющих основной фонд сельскохозяйственных земель Горно-Алтайской автономной области (рис.).

Специализированная лаборатория физики почв была выделена как самостоятельное подразделение из объединенной лаборатории физики, мелиорации и эрозии почв в 1968 г. одновременно с созданием Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР – научного центра по изучению почв Сибири. Основные направления научных исследований Института были связаны с решением государственных программ по изучению и освоению земельного фонда Сибири. Планы тематических заданий по рациональному использованию земельных ресурсов в ближайшей и отдаленных перспективах включали широкий спектр задач по вовлечению новых резервных территорий в хозяйственное использование, созданию зональных систем земледелия, разработке и применению агромелиоративных мероприятий, а также вопросы прогнозирования воздействия мелиораций на свойства почв и состояние почвенного покрова.



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
НОВОСИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО ОБЩЕСТВА ПОЧВОВЕДОВ  
Новосибирск 1964

В. П. ПАНФИЛОВ

(Биологический институт Сибирского отделения АН СССР)

#### МЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ СУХИХ КОТЛОВИН ГОРНОГО АЛТАЯ

В 1961—1962 гг. лаборатория физики, мелиорации и эрозии почвы Биологического института СО АН СССР проводила почвенно-мелиоративное обследование сухих высокогорных котловин Горного Алтая — Чуйской, Курайской, Уймонской и др. Эти высокогорные котловины являются важной базой общественного животноводства, дальнейшее развитие которого здесь тесно связано с необходимостью укрепления и улучшения кормовой базы.

Как показывает практика некоторых хозяйств, наиболее эффективным средством повышения продуктивности пастбищных, сенокосных и пахотных угодий в условиях сухих высокогорных котловин Алтая является орошение на базе местных водоисточников. Однако площадь орошаемых земель в настоящее время незначительна и составляет, например, в Курайской степи около 1300 га, или 6% от общей ее площади. К тому же, имеющиеся орошаемые земли используются в большинстве случаев нецелесообразно и малоэффективно, что связано в значительной мере с низкой культурой орошаемого земледелия. Орошение осуществляется без соблюдения оптимальных сроков и норм полива. Орошаемые поля, за редким исключением, неспланированы и невыровнены, что затрудняет маневрирование поливным током, приводит к значительным потерям (огрехам), создает перерасход оросительной воды, резко сокращает производительность труда поливальщиков. В результате этого снижается производственно-экономическая эффективность орошения.

Одна из причин малоэффективного использования имеющихся орошаемых массивов, тормозящая дальнейшее развитие орошения, — отсутствие данных о мелиоративных свойствах почв сухих высокогорных котловин, необходимых наряду с данными гидротехнических и других изысканий для проектирования, строительства и эксплуатации систем.

Рисунок. Ковалев Р.В. и Панфилов В.П. в период исследования мелиоративных особенностей почв сухостепных котловин Горно-Алтайской автономной области.

В развитие почвенно-мелиоративного направления, имевшего большое значение для определения земельно-ресурсного потенциала региона, в числе ведущих подразделений Института существенный вклад внесли исследования лаборатории физики почв, в результате которых были получены показатели агрофизических свойств почв и параметры их водно-физического и температурного режимов в различных природно-климатических зонах Сибири.

Программа научной деятельности лаборатории физики почв и профессиональный рост ее сотрудников формировались в процессе выполнения научно-производственных программ. К числу наиболее значимых можно отнести этап, связанный с выполнением программы по изучению физики, водного режима и водного баланса почв Кулундинской степи, который способствовал организации лаборатории как научного коллектива. Другой важный период связан с выполнением большого объема работ по разделам Государственной целевой научно-исследовательской программы “Сибирь”, по результатам которых лаборатория физики почв получила статус ведущей организации в области исследования фундаментальных почвенно-физических процессов и количественной оценки физических свойств почв.



*Комплексная программа Сибирского отделения АН СССР, Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР и Министерства сельского хозяйства РСФСР “Орошение и обводнение Кулундинской степи”.* Развитие агропромышленного комплекса на территории Сибири в 1960–1970 гг. являлось необходимой основой для реализации проектов по освоению ее природных ресурсов. Тематическими планами научных учреждений и проектных организаций было предусмотрено проведение исследований для обеспечения высоких темпов сельскохозяйственного производства на основе его интенсификации. В системе мер, направленных на интенсификацию сельского хозяйства в засушливых зонах страны, решающая роль была отведена орошению, защите почв от ветровой эрозии и улучшению их водного баланса.

Молодой коллектив лаборатории физики почв проводил многоплановые полевые и лабораторные исследования физических свойств, водного режима и водного баланса почв Кулундинской степи, следуя шутливому лозунгу: *“Наш девиз, как заклинание, трудиться до влажности устойчивого завядания!”* В течение сравнительно короткого периода сотрудниками лаборатории были изучены региональные особенности водно-физических и мелиоративных свойств почв степной зоны Западной Сибири. По данным детального исследования элементов водного баланса почв и их гидротермического режима было показано, что черноземы и каштановые почвы Кулундинской степи, в отличие от их европейских аналогов, характеризуются пониженной влагоемкостью и значительно меньшей мощностью слоя активного влагооборота. Впервые для почв Сибири в модельных полевых опытах были установлены закономерности передвижения и доступности растениям различных форм почвенной влаги. Итогом этого цикла работ стала фундаментальная монография В.П. Панфилова [2], в которой была дана агро-мелиоративная оценка водно-физических свойств почв Кулундинской степи, определены закономерности их изменений в связи с условиями почвообразования, обоснованы теоретические выводы и практические рекомендации, направленные на повышение плодородия пахотных и орошаемых земель крупнейшего сельскохозяйственного района Западной Сибири.

*Государственная целевая научно-исследовательская программа “Сибирь”, подпрограмма “Земельные ресурсы”.* В связи с перспективой широкого осуществления грандиозных по масштабам проектов на базе сырьевых и энергетических ресурсов Сибири, по заданию ГКНТ СССР была сформирована одна из самых крупных научно-практических программ с целью интенсификации использования природного потенциала почвенного покрова – *“Разработка научных основ рационального использования, охраны и воспроизводства земельных ресурсов Сибири”* (1970–1986 гг.). В выполнении проекта приняли участие практически все специализированные подразделения научно-исследовательских и проектных институтов СО АН СССР, СО ВАСХНИЛ, МВХ РСФСР, СибНИИГМа, Минсельхоза СССР, Минвуза СССР, Запсибгипрозема. Научно-производственным объединением под руководством Р.В. Ковалева был выполнен значительный объем работ, позволяющий успешно решать задачи научного и прикладного характера, связанные с использованием земельных ресурсов, как отдельных регионов, так и крупных природно-техногенных комплексов. Итоги выполнения заданий и этапов проведения научно-исследовательских работ, а также законченных разработок организаций соисполнителей широко обсуждались на рабочих и отчетных совещаниях.

В.П. Панфилов стал координатором почвенно-мелиоративного направления программы “Сибирь” и ответственным исполнителем нескольких тематических заданий Госагропрома СССР и ГКНТ СССР.

*Координационная программа по разделу “Исследовать изменение агрофизических свойств и режимов почв под воздействием интенсификации земледелия и обосновать их оптимальные параметры”.* В современной концепции устойчивого развития сельского хозяйства достижения агрофизики рассматриваются в качестве основной теоретической и информационно-технической базы для создания новейших высоких аграрных технологий, направленных на эффективное использование земель, воспроизводство плодородия почв и повышение урожаев сельскохозяйственных культур. Высоко оценивая значение агрофизики в современной земледелии, необходимо отметить, что еще 40–50 лет назад почвенный покров огромной территории Сибири, которая начиная с 1940–1950 гг., являлась объектом реализации

крупных научно-производственных проектов, был практически не изучен в отношении его агрофизических характеристик.

В рамках научно-исследовательской программы “Сибирь” для многих природно-климатических областей и районов впервые были проведены комплексные исследования физических основ почвенного плодородия земель пахотного фонда и земель, перспективных для мелиоративного освоения и сельскохозяйственного использования. В выполнении работ принимали участие многие коллективы академических и ведомственных институтов республик, краев и областей. Разработка научно-методического обеспечения и координация работ осуществлена лабораторией физики почв под руководством В.П. Панфилова. Успешное решение такой масштабной научно-практической проблемы стало возможным благодаря хорошо организованному взаимодействию всех участников проекта. В результате творческого сотрудничества разных организаций за сравнительно короткий срок были изучены агрофизические свойства и режимы основных типов почв земельного фонда Сибири, их региональные особенности и сезонная динамика.

В решении общих задач подпрограммы по конструктивной мобилизации почвенного покрова “Земельные ресурсы” большое внимание было уделено изучению агрофизических свойств почв Западно-Сибирского региона. Территория Западной Сибири, почвенный покров которой характеризуется четко выраженной широтной зональностью на равнинах и высотной поясностью в горных областях, была выбрана в качестве модельного полигона для отработки приемов интенсивных технологий земледелия и типовых зональных, региональных и ландшафтных систем мелиорации и химизации, направленных на получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Изучение агрофизических свойств почв Западной Сибири, которое выполнялось сотрудниками лаборатории физики почв, было проведено с использованием новых полевых и лабораторных методов, с привлечением точной аппаратуры и измерительной техники. Для всех почвенно-климатических зон Западной Сибири и ее горного обрамления были получены характеристики твердой фазы основных типов почв и их водно-физические свойства, установлены особенности гидротермического и воздушного режимов, радиационные параметры приземного слоя воздуха, определены приемы и средства регулирования внешних условий жизни растений. Материалы почвенно-физических исследований, полученные сотрудниками лаборатории, и агрофизические данные, накопленные в литературе, были систематизированы и обобщены В.П. Панфиловым в коллективной монографии, которая и в настоящее время является одним из самых авторитетных изданий для широкого круга специалистов в области почвоведения, современного земледелия и экологии [3].

Обширные материалы глубокого профильного изучения свойств, режимов и плодородия сибирских черноземов при орошении, их ирригационного освоения, рационального использования и охраны были обобщены в коллективной монографии “Черноземы: свойства и особенности орошения” (1988), которая отражает широкий спектр научно-практических проблем исследования региональных и провинциальных особенностей генетических и мелиоративных свойств черноземов Западной Сибири.

Новым направлением деятельности лаборатории почвенно-физических процессов является участие в выполнении теоретических и экспериментальных работ в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6).

Для достижения цели проекта был выполнен анализ имеющейся инфраструктуры пробных площадей по оценке пулов углерода и эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв естественных экосистем, а также постагрогенных территорий лесостепной зоны Западной Сибири. Получены аналитические данные определения запасов  $\text{CO}_2$  в почвах ранее изучавшихся хронорядов в лесных и травяных экосистемах Новосибирской области в рамках экстенсивного мониторинга.

На основе архивных и современных материалов проведены инвентаризация имеющихся в ИПА СО РАН пробных площадей и оценка пула почвенного углерода в различных типах наземных экосистем (леса, степи, луга и залежи) Западной Сибири.

Сформированы цифровые многопараметрические базы данных по запасам Сорг в почвах естественных экосистем и залежей лесостепной и степной зон Западной Сибири. На основе данных многолетних полевых исследований сотрудников ИПА СО РАН составлено описание 69 пробных площадей, в том числе, 67 на территории Западной Сибири. На основе ретроспективного анализа литературных данных дана оценка полноты исследований пула почвенного углерода и эмиссии CO<sub>2</sub> из почв различных типов наземных экосистем Западной Сибири. Проведена инвентаризация имеющихся в ИПА СО РАН пробных площадей и выбраны территории для закладки девяти тестовых полигонов экстенсивного мониторинга пулов углерода. С учетом репрезентативности рельефа, почвенно-растительного покрова и климатических особенностей региона разработан проект создания сети измерительных площадок для мониторинга потоков CO<sub>2</sub> из почвы. Начато формирование тематических баз данных расположения ключевых площадок и основных физических, химических и физико-химических характеристик почв под исследуемыми площадками, а также растительного покрова районов расположения как будущих тестовых полигонов и мониторинговых площадок, так и территорий с разновозрастными залежами.

#### Литература

1. Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири. М., 1955. 590 с.
2. Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1973. 260 с.
3. Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1976. 544 с.
4. Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. 256 с.

#### MAIN RESULTS OF FUNDAMENTAL AND APPLIED SOIL-PHYSICAL STUDIES IN WESTERN SIBERIA AND SOUTH-EASTERN ALTAI

S.Ya. Kudryashva, A.S. Chumbaev

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk,  
kudryashova@issa-siberia.ru, chumbaev@issa-siberia.ru

*Summary.* The main results of fundamental and applied research on the agrophysical *properties of soils, their water-physical and temperature regimes in various natural and climatic zones of Siberia are presented. The results of studying the properties, regimes and fertility of Siberian chernozems under irrigation, their rational use and protection are noted.*

*Keywords:* agrophysical characteristics of soils, hydrothermal regime, reclamation development, land fund of Siberia.

УДК 631.42

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОРОШАЕМЫХ И ПОСТОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ЧУЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НАЗЕМНОГО И СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

С.Я. Кудряшова<sup>1</sup>, А.С. Чумбаев<sup>1</sup>, С.В. Соловьев<sup>1</sup>, Г.Ф. Миллер<sup>1</sup>, А.Н. Безбородова<sup>1</sup>, Е.А. Мамаш<sup>2</sup>, И.А. Пестунов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,  
kudryashova@issa-siberia.ru, chumbaev@issa-siberia.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр информационных технологий, Новосибирск,  
elenamamash@gmail.com, pestunov@ict.sbras.ru

*Аннотация.* В работе обсуждаются результаты валидации продукта второго уровня L8\_ST для ключевых участков распространения орошаемых и посторошаемых земель сухостепных котловин Республики Алтай. Полученные коэффициенты корреляции спутниковых и наземных данных превышают значение 0.85, что позволяет сделать вывод о принципиальной применимости спутниковых данных для оценки термических ресурсов орошаемых и посторошаемых почв сухостепных котловин.

*Ключевые слова:* температурные поля, наземный и спутниковый мониторинг, валидация, почвы орошаемых и посторошаемых сухих степей.

Реализация инновационного проекта РФ “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6) предполагает получение объективных данных изменения климатических характеристик атмосферы и суши и создание системы наблюдения за таянием многолетней мерзлоты с использованием возможностей спутниковых данных и их валидации на основе прямых измерений на региональном уровне. Согласно результатам изучения количественных показателей температурных полей почв, полученных как в нашей стране, так и за рубежом, было установлено, что использование возможностей спутниковых данных и их валидации на основе прямых измерений, позволяют выявлять особенности проявления факторов почвообразования и историю землепользования в разных климатических зонах [1-7]. Также важной является проблема выявления масштабов современного ирригационного воздействия на условия формирования температурных полей структурных единиц почвенного покрова и оценка степени влияния посторошения на их количественные показатели с использованием временных рядов космических снимков.

Целью настоящего исследования является попытка валидации продукта второго уровня L8\_ST для ключевых участков распространения орошаемых и посторошаемых земель сухостепных котловин Республики Алтай (2022-2023 гг.). Температурные данные уровня L2 сравниваются, как с результатами наземных измерений, полученных с использованием автоматизированных регистраторов температуры DS-1921 “Thermochron”, так и с результатами работы алгоритма восстановления температуры на основе атмосферно - скорректированных данных уровня L1, представленных на платформе для облачных вычислений Google Earth Engine, и с расчетом значений температуры методами, которые обсуждаются в работах [8–10 и др.] (L1\_LST).

Также не менее важной является проблема выявления масштабов современного ирригационного воздействия на условия формирования температурных полей структурных единиц почвенного покрова и оценка степени влияния посторошения на их количественные показатели с использованием временных рядов космических снимков.

Территория Чуйской сухостепной котловины Горного Алтая, является областью широко развитого древнего орошаемого земледелия, о чем свидетельствуют многочисленные археологические находки специализированных земледельческих орудий и ирригационных сооружений [11, 12]. Начало современного ирригационного строительства, в значительной степени связано с освоением промышленных запасов Курайского, Чаган-Узунского и Акташского ртутных месторождений. Рост численности населения, занятого в сооружении объектов Чаган-Узунского перерабатывающего предприятия, постоянно требовал решения продовольственной проблемы. Например, через два года после образования рабочего поселка Акташского ртутного рудника, в нем уже проживало 2230 человек. Важным достижением в организации кормовой и продовольственной базы сухостепных регионов Горного Алтая, является вклад бюро освоения высокогорий и лично директора Всесоюзного института растениеводства академика Н.И. Вавилова в закладку географических посевов сельскохозяйственных культур, с целью подбора из мировой коллекции хозяйственно необходимых видов растений. Также масштабное внедрение оросительных мелиораций в Чуйской степи, где устойчивое развитие сельского хозяйства лимитировано многочисленными природными факторами, дало возможность существенно повысить продуктивность кормовых культур – необходимой базы животноводства. Для реализации программы, намеченной постановлением Всероссийского центрального исполнительного комитета и Совета народных комиссаров РСФСР “О мероприятиях в ознаменование десятилетия Ойротской автономной области” (1932 г), были выполнены первые исследования и составлено технико-экономическое обоснование орошения Чуйской и Курайской котловин. Крупным организационным мероприятием внедрения мелиоративных работ в сухой степи стал заслуженный труд научного сотрудника Горно-Алтайского НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии А.Г. Винокурова, который на опытных полях колхоза 40 лет Октября (административный центр с. Кокоря) разработал гидромелиоративную систему, с установкой водоподачи за счет энергии напора артезианских вод. С вводом в эксплуатацию



ирригационной сети “обновилась веками пустовавшая Чуйская степь”, однако, избыточное многолетнее орошение стало причиной прогрессирующего заболачивания и проявления мерзлотных явлений. Было принято решение о нецелесообразности эксплуатации гидромелиоративной системы, и некогда орошаемый массив с крупнейшей коллекцией многолетних трав вновь стал пастбищным участком сухой степи. В настоящее время, согласно данным ФГБУ Управление Мелиоводхоз по Республике Алтай в Чуйской степи на площади более 2 тыс. га функционируют Тархатинская, Елангашская и Чаган-Бургазинская оросительные системы [13].

Ключевые участки для исследования особенностей формирования температурных полей орошаемых и староорошаемых почв Чуйской степи с использованием спутниковых и наземных данных температурного мониторинга были выделены на староорошаемом (49.90721 N; 088.96675 E; h 1855 м) и неорошаемом (49.91028 N; 088.9405 E; h 1845 м) массивах гидросистемы Кокоря, староорошаемых участках Тархатинской (49.85173 N; 088.67678 E; h 1891 м) и Елангашской оросительных систем (49.91297 N; 088.57992 E; h 1834 м). В качестве контроля был выбран участок сухой степи (50.02446 N; 088.58833 E; h 1808 м), расположенный вне зоны орошения (рис. 1).

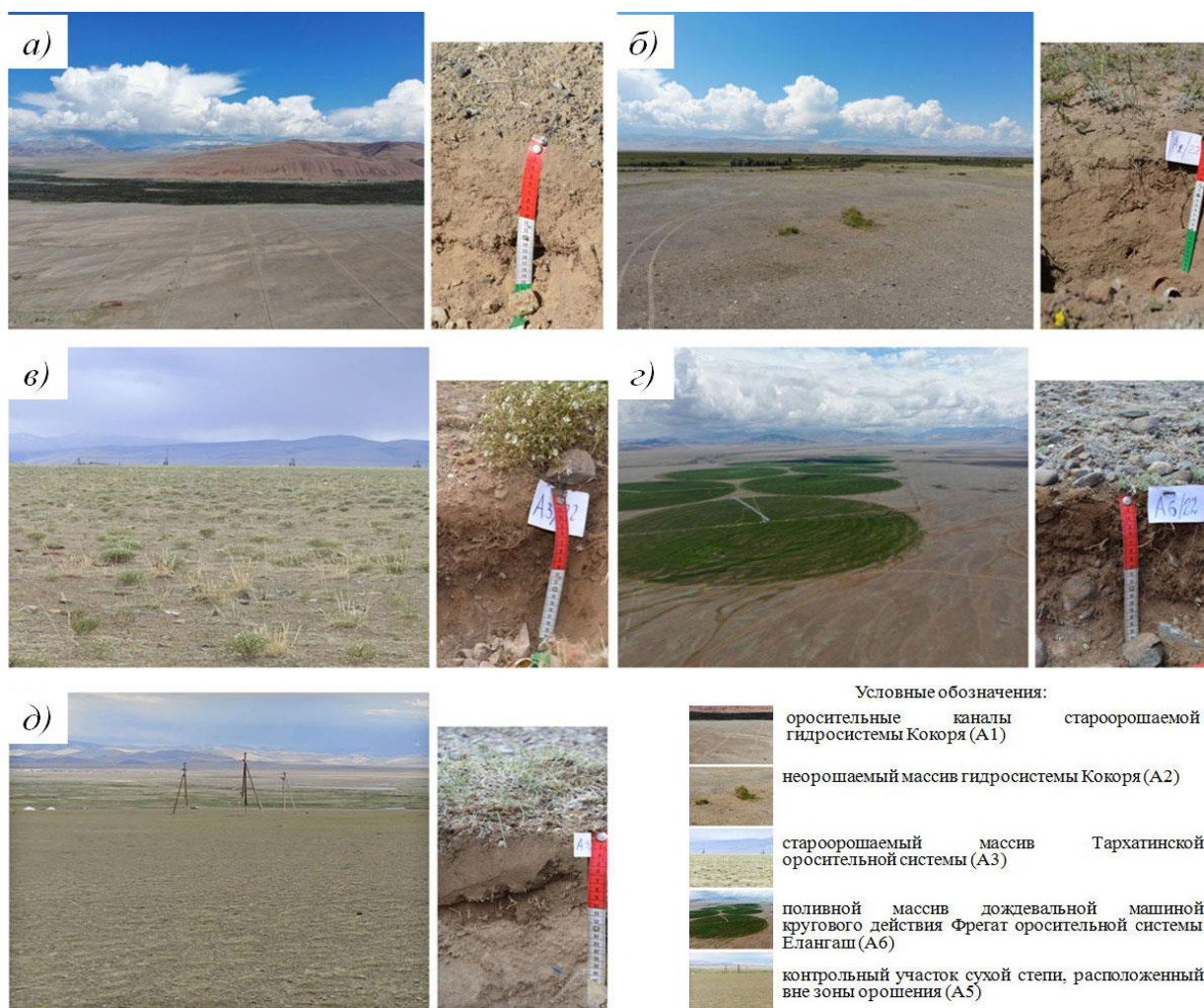


Рисунок 1. Ключевые участки спутникового и наземного температурного мониторинга почв Чуйской степи. Старорошаемый (а) и неорошаемый (б) массивы гидросистемы Кокоря; староорошаемые массивы Тархатинской (в) и Елангашской (г) оросительных систем; контрольный участок сухой степи (д), расположенный вне зоны орошения.

Основные черты почвообразования территории обусловлены экстремальным сочетанием тепло- и влагообеспеченности, повсеместным наличием длительной сезонной, и на большей части котловины, многолетней мерзлоты. Распространенные здесь каштановые и светло-каштановые почвы, сформированные на покровных маломощных карбонатных каменистых суглинках и супесях, отличаются легким гранулометрическим составом и низким

естественным плодородием. Поверхность почв практически повсеместно покрыта на 30–40% щебнистым и галечниковым материалом, что часто связано дефляцией мелкозема из почвообразующих пород с высокой степенью щебнистости. Основной фон растительного покрова Чуйской котловины составляют низкопродуктивные опустыненные и сухостепные формации, среди которых наиболее распространены ковыльковые, осочковые и полукустарничковые степи. Эдификатором формаций является ковылек галечный, многолетний плотнодерновинный ксерофитный злак, морозоустойчивый и приспособленный к существованию в экстраридных условиях. Отдельными экземплярами встречаются житняк, осока степная, астрагалы, остролодочки, лапчатки, астра альпийская. На больших пространствах только в Чуйской котловине встречается чиевая опустыненная солончаковая степь. Основными признаками, которые определяют эту формацию в ландшафте, являются крупные раскидистые кусты чия, достигающие высоты генеративных побегов до 1,5 м и примерно такого же диаметра отдельные дерновины. Между дерновинами чия размещаются фитоценозы, типичные для опустыненной степи с повышенной засоленностью почвы.

Наземный автоматизированный мониторинг воздуха и почв был организован с использованием автономного регистратора температуры DS-1921G “Thermochron” с учетом показателей, отражающих генетическое единство типов климата почв сухих степей Алтае-Саянского региона. Для фиксации температуры воздуха в каждой точке наблюдений за температурным режимом почв устанавливался автономный регистратор на высоте 2 м от поверхности почвы в условиях, исключающих прямое радиационное воздействие. Для сопоставления наземных данных с данными ДЗЗ изменения температур на поверхности почвы и по горизонтам почвенного профиля фиксировались в течение вегетационного периода 2022 г. с учетом времени создания снимка спутником поверхности исследуемого региона. На поверхность почвы на каждой точке исследований устанавливалось два автономных регистратора. Один регистратор программировался на интервал измерений в 1 ч для максимально близкого по времени создания снимка спутником (MODIS) поверхности исследуемого региона. Второй регистратор программировался на интервал измерений в 4 ч для сопоставления с данными ДЗЗ со спутника Landsat-8. В результате выполненных наземных наблюдений, за 100 дней измерений было получено более 26 000 данных температуры поверхности почвы и более 5000 температуры воздуха. Эти данные использовались в качестве основы для расчета термических ресурсов температурных полей и выявления их временных трендов (рис. 2.).

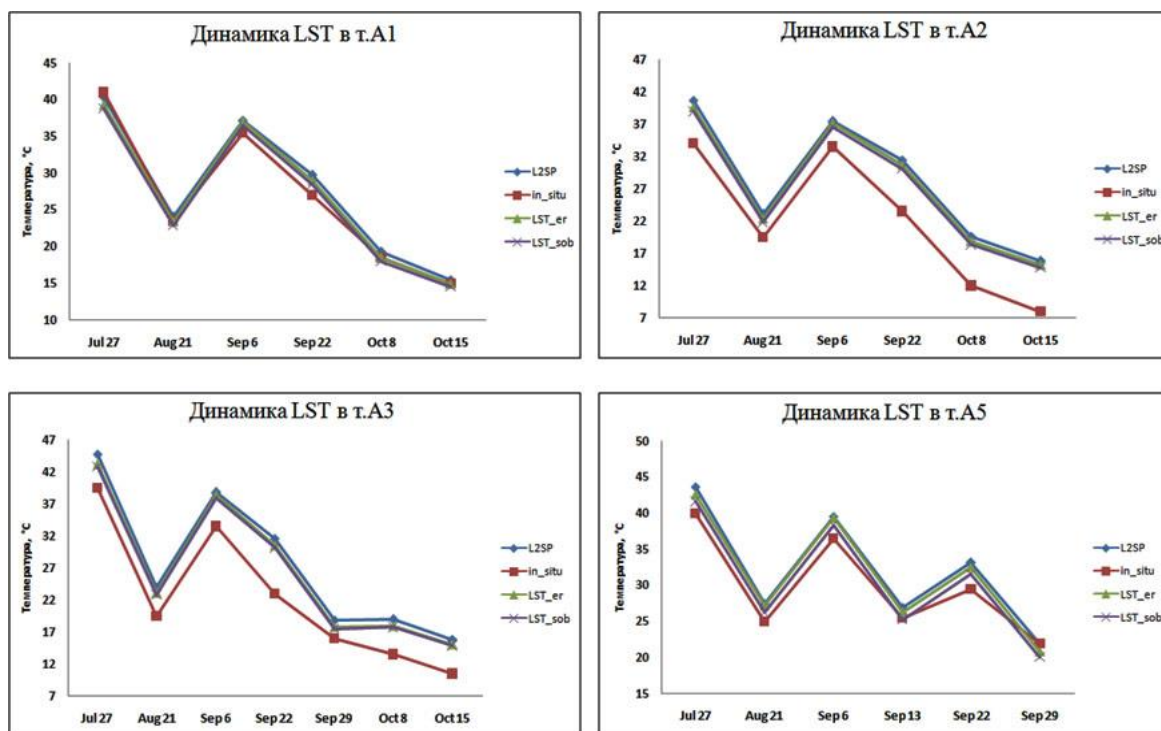


Рисунок 2. Графики динамики температуры в точках мониторинга.

Полученные коэффициенты корреляции спутниковых и наземных данных превышают значение 0.85, что позволяет сделать вывод о принципиальной применимости спутниковых данных для оценки термических ресурсов орошаемых и посторошаемых почв сухостепных котловин.

### Литература

1. Мамаш Е.А., Пестунов И.А., Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. Валидация температурного продукта второго уровня Landsat-8 (L2SP) на основе наземных данных // Всероссийская науч. конф. с международ. участием “Распределенные информационно-вычислительные ресурсы”. Новосибирск: ФИЦ ИВТ, сб. ст. 2022а. С. 146–152.
2. Мамаш Е.А., Пестунов И.А., Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. Валидация температурных продуктов MODIS/(Terra+Aqua) LST с использованием наземных данных // Всероссийская науч. конф. с международ. участием “Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли”. Красноярск: Сиб. федер. ун-т., сб. ст. 2022б. С. 113–117.
3. Anderson M., Allen R., Morse, Kustas W. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources // *Remote Sens. Environ.* 2012. V. 122. P. 50–65.
4. Arrouays D., McBratney A., Bouma J., Libohova Z., Richer-de-Forges A., Morgan L., Roudier P., Poggio L., Mulder V. Impressions of digital soil maps: The good, the not so good, and making them ever better // *Geoderma Regional*. 2020. V. 20. P. 1–7.
5. Voronina P.V., Mamash E.A., Pestunov I.A., Kudryashova S.Ya., Chumbaev S.A. Cartographic modeling of the temperature fields of the land fund of the Novosibirsk region using satellite data of the MODIS/Terra spectroradiometer // *Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes*. Novosibirsk, Russia, August 24-27, 2021. P. 575–584.
6. Kudryashova S.Ya., Chumbaev A.S., Pestunov I.A., Sinyavskiy Y.N., Chubarov D.L., Bezborodova A.N., Ermakov N.B. Cartographic Modeling of Soil Temperature Fields for Middle Siberia Transect Based on Conjoint Analysis of Automated Ground-based and Satellite Temperature Data // *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. V. 2534. P. 124–131.
7. Fisher J., Melton F., Middleton E., Hain C., Anderson M., Allen R., McCabe M., Hook S., Baldocchi D., Townsend P. The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources // *Water Resour. Res.* 2017. V. 53. P. 2618–2626.
8. Jimenez-Munoz J., Sobrino J., Skokovic D., Mattar C., Cristobal J., Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data // *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2014. V.11. P. 1840–1843.
9. Parastatidis D., Mitraka Z., Chrysoulakis N., Abrams M. Online global land surface temperature estimation from Landsat // *Remote Sens.* 2017. V. 9. P. 1208.
10. Sekertekin A., Bonafoni S. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation // *Remote Sens.* 2020. V. 12 (2). P. 294.
11. Соенов В. И. Земледелие на Алтае в древности и средневековье // *Исторический опыт хозяйственного и культурного освоения Западной Сибири*. Барнаул: АлтГУ, 2003. С. 169–172.
12. Вдовина Т. А. Изучение оросительных систем Горного Алтая в 2003 году // *Археология и этнография Алтая*. Горно-Алтайск: Институт алтаистики им. С. С. Суразакова, 2004. С. 116–131.
13. Кречетова И.М., Медведева Л.Н. Развитие мелиорации для кормопроизводства Республики Алтай // *Орошаемое земледелие*, 2020. №3. С. 33–36.

### STUDY OF THE TEMPERATURE FIELDS OF IRRIGATED AND IRRIGATED SOILS IN THE CHUI BELLIN OF THE REPUBLIC OF ALTAI ON THE BASIS OF THE TIME SERIES OF GROUND AND SATELLITE MONITORING

S.Ya. Kudryashva<sup>1</sup>, A.S. Chumbaev<sup>1</sup>, S.V. Solovyov<sup>1</sup>, G.F. Miller<sup>1</sup>, A.N. Bezborodova<sup>1</sup>,  
E.A. Mamash<sup>2</sup>, I.A. Pestunov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk,



kudryashova@issa-siberia.ru, chumbaev@issa-siberia.ru, solovyev@issa-siberia.ru,  
miller@issa-siberia.ru, bezborpdova@issa-siberia.ru

<sup>2</sup>Federal Research Center for Information Technology, Novosibirsk,  
elenamamash@gmail.com, pestunov@ict.sbras.ru

*Summary. The paper discusses the results of the validation of the second level product L8\_ST for key areas of distribution of irrigated and post-irrigated lands of the dry steppe basins of the Altai Republic. The obtained correlation coefficients of satellite and ground-based data exceed 0.85, which allows us to conclude that satellite data are fundamentally applicable for estimating the thermal resources of irrigated and irrigated soils in dry steppe basins.*

*Keywords: temperature fields, ground and satellite monitoring, validation, soils of irrigated and irrigated dry steppes.*

УДК 631.4

## НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ОКОЛО МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

О.Г. Лопатовская

Иркутский государственный университет, Иркутск, lopatovs@gmail.com

*Аннотация. Исследованы почвы около минеральных источников. Показаны физические и химические свойства почв. На формирование почв влияет химический состав минерального источника.*

*Ключевые слова: Предбайкалье, минеральные источники, физические и химические свойства почв.*

Западное Предбайкалье богато минеральными водами, разнообразными по химическому составу (азотные, углекислые, метановые, хлоридные, сульфатные, сероводородные, радоновые). Воды имеют разную минерализацию (пресные, соленые и рассолы) и температуру (холодные и термальные). Минеральные источники являются уникальными водными микрэкосистемами, зонами контакта наземной и подземной частей, индикаторами экологического состояния подземных вод, дают представление о химическом составе почв, отражают динамику изменений климата [1]. Эти почвы представляют несомненный интерес в плане расширения знаний об экологии почв.

В зоне влияния минеральных источников формируются мало исследованные почвы. Нами их исследование начато с группы термоминеральных источников в Восточном Саяне и в Витимском заповеднике [2]. Почвам присваиваются названия: почвы зоны влияния минерального источника, примитивные почвы, почвы на травертинах, парапочвы, почвы синлитогенные [3]. Для них характерно: постоянное влияние излившейся минеральной воды, гидроморфный режим, маломощный почвенный профиль, слоистость, присутствие крупных гранулометрических фракций, наличие различных химических соединений, высокое содержание гумуса в верхних горизонтах, засоление.

Для почв около минеральных источников нет специальной классификации, поэтому отнесение их к определенной таксономической единице довольно затруднительно. Согласно Классификации-2004 г. [4], они соответствуют стволу: Синлитогенные почвы, отдела: Аллювиальные почвы, Стратоземы и Слаборазвитые.

Почти все исследованные почвы являются перегнойными или недавно сформированными на травертинах. Травертины пронизаны сине-зелеными водорослями. Вероятно, этим объясняется высокое органического вещества (1,2–23,7 %). Почвы имеют легкий гранулометрический состав (песчаный или легкосуглинистый), они бесструктурные или ореховатой структуры. В составе мелкозема почв преобладают фракции песка и крупной пыли, что, в свою очередь, свидетельствует о физическом выветривании в формировании профиля почв [3, 5]. pH варьирует от нейтрального до щелочного (6,7–8,8). Основную массу карбонатов в твердых фазах почв составляет кальцит, а содержание карбонатов – от 6,5 до 66,5 %, особенно в почвах на травертинах. Определенные тенденции в преобладании в почвах обменных кальция или магния установить сложно, так как их соотношение непостоянно в



разных типах почв. Почвы, сформированные около выхода соленых вод и рассолов, в своем составе содержат ионы натрия и хлора.

Нукутское месторождение лечебных вод (рисунок) относится к провинции хлоридных натриевых и сульфатных вод Ангаро-Ленского артезианского бассейна, осинскому типу минеральных рассольных вод, высокой минерализации (50–600 г/л), хлоридно-кальциевого состава с высоким содержанием сероводорода. На участке около первой каптированной скважины растительность отсутствует. На поверхности почвы выцветы солей, профиль почвы мокрый, сильный запах сероводорода. Почва: Солончак сульфидный типичный. Профиль: S–SG–CG,s,cs.

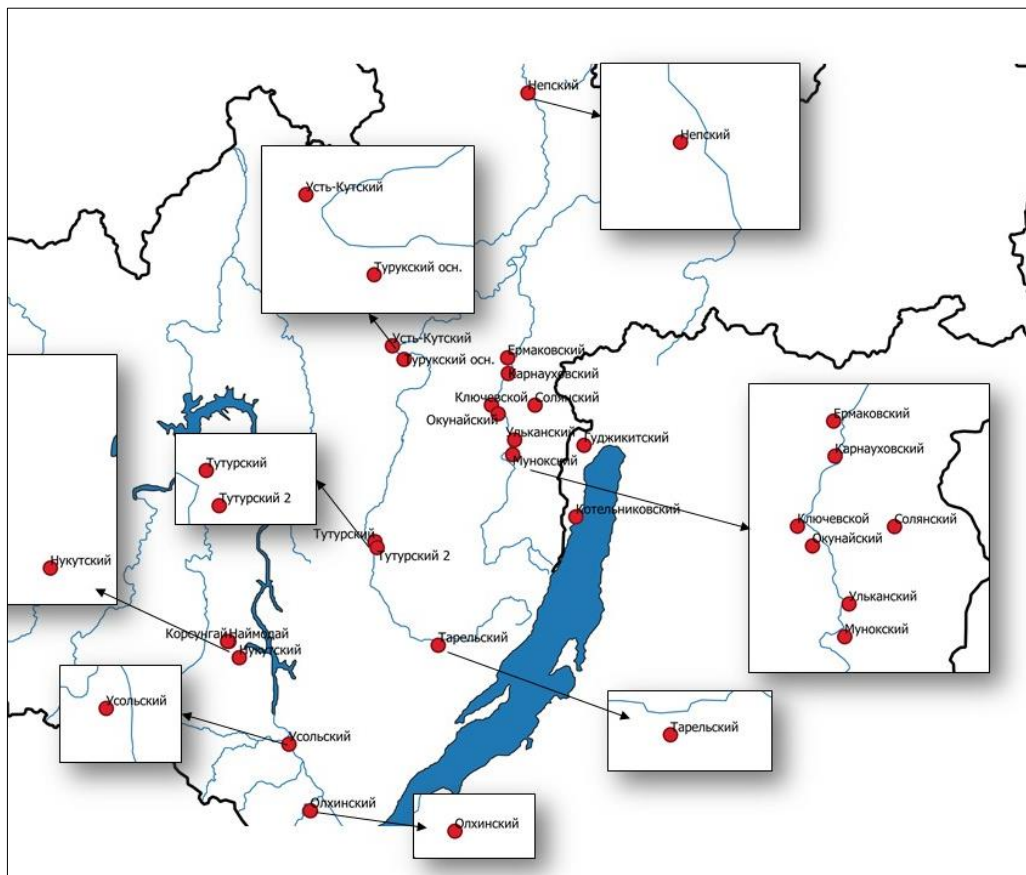


Рисунок. Карта-схема распространения минеральных источников.

В 50 см от скважины на поверхности почвы выцветы солей. Гранулометрический состав в основном тяжелосуглинистый. В профиле почвы выявлены светлые пятна – новообразования гипса. Почва: Солончак глеевый типичный. Профиль: Cg–Gs,cs,mc–CGcs,s. Засоление сульфатно-хлоридное кальциево-натриево. Содержание солей максимально в верхней части профиля (5,4%), вниз уменьшается до 3,5%, pH 7,8–7,9.

В 20 м от источника заложен другой почвенный разрез. Здесь так же на поверхности почвы выцветы солей. Гранулометрический состав легкосуглинистый. Ощущается слабый запах сероводорода. Почва: Солончак темный вторичный мицеллярно-карбонатный, гипс содержащий. Профиль: S–[AU]s–BCs,cs,ca–Ccs,ca,s. Накопление солей выявлено в слое 20 см, что обусловлено выпотным типом водного режима. Их содержание изменяется сверху вниз от 1,7 до 1,5%, pH от 8,0. Тип засоления хлоридно-сульфатный кальциево-натриевый.

Третий почвенный профиль описан на расстоянии 50 м от источника. По всему профилю встречаются карбонатные и гипсовые конкреции, белесые стяжения, псевдомицелий. Гранулометрический состав в основном среднесуглинистый. Почва: Солончак темный вторичный мицеллярно-карбонатный, гипсосодеждающий с погребенным гумусовым горизонтом. Профиль: S–AU]s–Bs,cs,ca– [AU]s,ca,s–Ccs,ca,s. Максимум солей – в верхних горизонтах (2,1%), а минимум – на глубине 100 см (1,6%), pH щелочной (8,2–8,5). Аккумуляция солей в почвенном профиле на глубине 20–50 см указывает на то, что почва

находилась под влиянием изливаемой воды источника с преобладанием восходящего тока влаги в профиле почвы. Засоление хлоридно-сульфатное кальциево-натриевое.

Все почвы около Нукутских минеральных источников имеют в составе карбонаты, легкорастворимые соли и гипс, засоление в основном сульфатное магниево-кальциево. По гранулометрическому составу почвы от супеси до глины. На процессы почвообразования оказывают влияние гипсоносные кембрийские породы и грунтовые воды, залегающие близко к поверхности, которые обводняют почвенную толщу, привнося легкорастворимые соли.

Почвы около Усольских источников (хлоридно-натриевых). Курорт «Усолье» расположен на левом берегу р. Ангары в 70 км от Иркутска. Усольский тип минеральных вод – это слабые рассолы хлоридно-натриевого состава с запахом сероводорода. Рассолы изливаются из вод известняково-доломитовых толщ нижнекембрийских отложений, залегающих над пластами каменной соли того же возраста. По химическому составу воды относятся к хлоридно-натриевым рассолам с минерализацией 54–55 г/л, pH 7,0. Химический состав воды в основном сульфатно-хлоридный магниево-кальциево-натриевый.

Почвы около минерального источника, имеют сходные морфологические признаки: в профиле почв – слоистость, присутствуют песок и галька, следы оглеения, выцветы солей, грансостав легко- и среднесуглинистый. Засоление хлоридно-натриевое, сходное с водой контактирующего минерального источника. Содержание гумуса до 5,7%. Сумма солей – 0,5–2,2%, pH – щелочной (8,1–8,7). Почва около источника на расстоянии 0,5 м – Солончак сульфидный типичный. Профиль: S–SG–CGs. На удалении от места излива источника: 5, 20, 50 м почва меняется на Солончак глеевый типичный. Профиль: Cg–Gs,ca–CGs.

Почвы около Усть-Кутских источников (хлоридно-натриевых). Курорт «Усть-Кут» расположен правом берегу р. Кута в излучине, напоминающей по форме полуостров, в 4 км от г. Усть-Кут. Здесь рассолы хлоридно-натриевого состава со слабым запахом сероводорода изливаются на поверхность и формируют оз. Соленое. Химический состав озера хлоридно-натриевый, минерализация – 127–135,5 г/л.

Первый источник имеет температуру воды – 5,5–6,5 °С, pH – 6,7. Вода хлоридно-натриевая, сильносоленая, минерализация от 28,0 до 52,9 г/л. Содержание гумуса в почве от 0,8 до 12,0 %, сухой остаток 1,6–2,9%. Засоление сульфатно-хлоридное кальциево-натриевое. Увеличение содержания легкорастворимых солей отмечено в горизонтах, содержащих глину. Почва: Солончак сульфидный сорový. Формула: S–SS–Ca.

Второй источник расположен на правом берегу р. Кута, на его базе работает курорт «Усть-Кут». Источник наполняет гипергалинное оз. Соленое, которое претерпевает дальнейшее осолонение из-за испарения воды. Минерализация на выходе в сентябре составляла 22,8 г/л, минерализация рассола в озере в июле достигала 123 г/л, pH – 5,6–7,0. Вода имеет осязательный запах сероводорода. Засоление почв возле озера хлоридно-кальциево-натриевое, общее содержание солей – 2,8% [1, 6]. Почвы возле источников короткопрофильные, щебнистые, засоленные, органогенные и высокогумусированные. Почва: Солончак сульфидный сорový. Формула: S–SS–Ca.

Почвы около источников р. Киренги (разнообразных по химическому составу). Почти все естественные выходы этих вод приурочены к породам нижнего – среднего кембрия хлоридно-натриевого состава, за исключением родников в долине р. Куерма, имеющих хлоридный кальциево-натриевый состав.

Источник Ключи находится в пос. Ключи на правом берегу р. Киренги. Вода солоноватая, с минерализацией до 10,5 г/л, хлоридная натриевая. Около источников запах сероводорода. В микроэлементном составе источников присутствуют стронций, литий, цинк, фтор, кремний и редкоземельные элементы. К часто встречаемым элементам относятся марганец и медь. Верхний увлажненный горизонт сильно гумусированный (12,9%), ниже залегают перегнойный горизонт с содержанием органического вещества 21,5%. Содержание солей в сухом остатке 1,5–4,0%. В составе солей присутствуют хлориды и сульфаты кальция и натрия, pH 6,3–6,7. Почва: Перегнойно-гидрометаморфическая засоленная. Формула: H–Qs–CQs.

Вода минерального источника «Улькан» разгружается на протяжении 500 м из-под уступа 2-й надпойменной террасы. Родники приурочены к карбонатным породам ленского яруса нижнего кембрия, перекрыты в долине реки делювиально-гляциальными отложениями в заболоченной низине. Содержание гумуса – 1,9–13,6%, pH от слабокислого до нейтрального.

В составе солей преобладают сульфаты и хлориды натрия, содержание солей – 0,5–1,5%. Почва: Пергнойно-гидрометаморфическая засоленная. Формула: Н–Qs–CQs.

Тутурские источники имеют воды хлоридно-натриевые, слабо минерализованные. Содержание органического вещества сверху вниз по профилю постепенно уменьшается от 9,3 до 1,3%, pH 8,1–8,9. По содержанию солей в верхних горизонтах почву можно считать незасоленной, в нижней части профиля сухой остаток увеличивается до 1,0 %. В составе солей преобладают хлориды и сульфаты натрия. Почва: Перегнойно-гидрометаморфическая засоленная. Формула: Н–Qs–CQs,ca.

Турукские источники представляют собой серию грифонов с общим дебитом ~20 л/с, выносящих рассолы крепостью от 35 до 157 г/л из доломитов и известняков нижнего кембрия. Минерализация ~22,8 г/л. Почвы слабогумусированные, имеют нейтральный pH, сумму солей до 0,7%, засоление слабое сульфатно-хлоридно-натриевое. В профиле почвы выявлено несколько максимумов-минимумов содержания солей в водной вытяжке, что связано с влиянием минеральной воды источника, а также испарением воды с поверхности почвы в теплый период года. На процесс почвообразования сильное влияние оказывают минеральные воды, что подтверждается одинаковым химическим составом почвы и минеральной воды. Почва: Перегнойно-гидрометаморфическая слабозасоленная. Формула: Н–Qs–CQs.

Таким образом, для формирования почв около выхода на дневную поверхность минеральных вод характерны специфические условия почвообразования: постоянное избыточное увлажнение; отсутствие вечной мерзлоты, разнообразие почвообразующих пород, которые представлены галькой, дресвой, песками. Разнообразие химических свойств и гранулометрического состава тесно связано с излившимися водами источников.

#### Литература

1. Биота водоемов Байкальской рифтовой зоны / В. В. Тахтеев, Е. А. Судакова, А. Н. Матвеев, И. Н. Егорова, М. Г. Азовский, И. В. Аров, Л. Н. Дубешко, Т. Д. Евстигнеева, М. Ц. Итигилова, Л. С. Кравцова, А. В. Лиштва, О. Г. Лопатовская и др.; отв. ред. А. С. Плешанов. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2009. 231 с.
2. Лопатовская О. Г., Максимова Е.Н. Почвы минеральных источников Байкальской Сибири и их альгологическая характеристика. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. пед. ун-та, 2006. 92 с.
3. Лопатовская, О. Г. Почвы в зоне влияния минеральных источников предгорий Восточного Саяна / О.Г. Лопатовская // Почвоведение. 2009. № 8. С. 911–916.
4. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Лопатовская О.Г. Галогенез почв и гидрохимия минеральных источников предгорий Хамар-Дабана / О.Г. Лопатовская, З. Осадковский // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Биология. Экология. 2008. Т. 1, № 2. С. 128–131.
6. Экологическая характеристика хлоридно-натриевых минеральных источников бассейна реки Киренги и верхнего течения реки Лены. Сообщение 1. Общая характеристика источников и их гидрофауна / В. В. Тахтеев, Г. Л. Окунева, Г. И. Помазкова Е. А. Самойлова, О. Г. Лопатовская и др. // Биология внутренних вод. 2017. № 4. С. 3–14.

#### SOME PROPERTIES OF SOILS NEAR THE MINERAL SPRINGS OF THE PRE-BAIKALIE

O.G. Lopatovskaya

Irkutsk State University, Irkutsk, lopatovs@gmail.com

*Summary.* Soils near mineral springs were studied. The physical and chemical properties of soils are shown. Soil formation is influenced by the chemical composition of the mineral source.

*Keywords:* Predbaikalie, mineral springs, physical and chemical properties of soils.

УДК 634.0:591.533:581.55 (571.15)

## ВОДНО- И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

С.В. Макарычев

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Makarychev1949@mail.ru

**Аннотация.** В Алтайском крае береза хорошо растет на серых лесных и черноземных почвах. За годы исследований дефицита влаги во всем почвенном профиле супесчаной и суглинистой почвы не наблюдалось. В метровой толще почвы доступная влага не опускалась ниже 165 мм. Изменения комплекса теплофизических коэффициентов почвы определялись погодными условиями и ее общими физическими свойствами. Полученные результаты подтвердили влияние дисперсности почвы на величину ее увлажнения и, тем самым на тепловые показатели.

**Ключевые слова:** березовый лес, серая лесная почва, дисперсность, влагосодержание, запасы влаги, теплофизические свойства.

**Введение.** Формирование серых лесных почв Обь-Чумышского междуречья обусловлено влиянием повторяющейся в течение столетий взаимной смены лиственного леса и луговой степи при полном отсутствии процессов осолонцевания и осолодения. В то же время на этой территории имело место оподзоливание [1]. Береза растет практически на любых почвах Алтайского края, особенно хорошо на серых лесных и черноземных. Она считается лучшей древесной породой, улучшающей лесорастительный потенциал подзолов за счет листового опада, в котором аккумулируется значительное количество зольных элементов [2]. Образующийся при этом полуразложившийся слой является лесной подстилкой (Ад). Ее нижний слой представляет собой рыхлую массу перегноя или гумуса. Главную роль в процессе разложения листовой массы играют влага и тепло. В то же время гидрофизические режимы и тепловые свойства почв в лесах Алтая практически не изучены.

**Объекты и методы.** Цель работы сводится к определению динамики влагосодержания и теплофизических свойств почвы под березовым лесом. Объект исследования – серые лесные почвы супесчаного и суглинистого гранулометрического состава. В ходе выполнения наблюдений относительная влажность генетических горизонтов почвенного профиля была определена весовым методом, а запасы влаги по методу А.Ф. Вадюниной [3]. Теплофизические свойства (ТФС) измерены импульсным методом плоского нагревателя и, частично, рассчитаны по методике С. В. Макарычева [4].

**Результаты исследований.** Для морфологического описания почвенного профиля и отбора образцов на определение агрофизических и теплофизических показателей нами были заложены два разреза вплоть до почвообразующей породы, представленной лессовидным суглинком. Измерения влажности проводились в метровой толще серой лесной почвы, в которой сосредоточена корневая система березы.

Разрез №1 заложен в средней части увала. Флора представлена березой, отдельными осинами и соснами, подлесок образован рябиной и крушиной, а травянистый покров содержит папоротник, хвощ, купену и др. растения. Дернина Ад имеет мощность до 8 см. Гумусовый горизонт А1 (8–22 см) серого цвета, супесчаный, рыхлый. Оподзоленный слой А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> (22–56 см) светло-серого оттенка, рыхлый, супесчаного грансостава. Иллювиальный горизонт В (56–70 см) бурый с оксидами железа, супесчаный близкий к легкому суглинку, плотный. Слой ВС (70–100 см) бурого цвета, среднесуглинистый, плотный, переходящий в почвообразующую породу в виде лессовидного суглинка.

Разрез №2 открыт на верхней трети северо-западного склона увала. Древесная растительность и подлесок аналогичны первому описанию, а травы представлены костяникой, земляникой, ежой сборной, овсяницей. Дернина Ад (0–4 см) серого цвета состоит из растительных остатков. Гумусовый горизонт А<sub>1</sub> (4–21 см) серый, рыхлый легкосуглинистый. Горизонт А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> (21–38 см) светло-серого оттенка, легкий суглинок с кремнеземистой присыпкой, слабо уплотненный. Иллювий В (38–70 см) бурого цвета среднесуглинистый, плотный с потеками оксидов железа. Переходный слой ВС (70–120 см) светло-бурый, средний суглинок, слабо уплотнен. Ниже лессовидный суглинок.



Данные гранулометрического анализа первого почвенного разреза показывают, что профиль серой лесной почвы до горизонта ВС представляет собой супесь, в гумусовых горизонтах переходящую в песчано-связное состояние. Иллювий представлен тяжелым суглинком. Генетические горизонты имеют значительную плотность сложения. Гумуса в метровой толще супесчаной почвы мало: от 2% в верхнем слое до 1,5% на глубине более 70 см. Почва во втором разрезе в гумусовых горизонтах легкосуглинистая, а в иллювиальном слое близкая к тяжелому суглинку. Верхний генетический горизонт рыхлый с плотностью сложения близкой к единице, которая вниз по профилю возрастает до 1,42 г/см<sup>3</sup>. Количество гумуса здесь выше.

Изучение динамики влагосодержания в серой лесной почве в теплое время года потребовало знания водно-физических постоянных. Часть из них была измерена, а другая рассчитана согласно существующим в почвоведении уравнениям.

Следует отметить, что водно-физические показатели серой лесной почвы супесчаной разновидности характеризуются малыми величинами, особенно в верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах, тогда как в суглинистом профиле они гораздо выше.

Весной 2001 года более увлажненным оказался суглинистый профиль серой лесной почвы по сравнению с супесчаным. В течение июня наблюдалось иссушение почвенной толщи за счет транспирации древесной растительностью и физического испарения с ее поверхности. При этом супесчаный профиль под действием более высокой фильтрации содержал влаги меньше, чем суглинистый. В сентябре обе разновидности испытали некоторое иссушение при отсутствии августовских осадков.

Летом 2002 года выпало большое количество атмосферных осадков, особенно в первой половине вегетации. Максимальным увлажнением обладал суглинок. Значительная фильтрация влаги в супеси снизила степень влагосодержания во всем его почвенном профиле. В целом весь теплый период характеризовался высокой влажностью почвы.

Для изучения динамики влагосодержания в серой лесной почве разного гранулометрического состава нами проводились измерения относительной влажности почвы в ее метровой толще через каждые 10 см и суммировались в соответствии с мощностью того или иного генетического горизонта. Затем были рассчитаны общие (ОЗВ) и продуктивные запасы влаги (ПЗВ). Первые наблюдения были проведены 25 мая 2001 года (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Общие (ОЗВ, мм) и продуктивные (ПЗВ) запасы влаги в супесчаной серой лесной почве

Год	2001			2002			2003
Срок	25.05	18.07	06.09	29.05	17.07	18.09	20.05
A <sub>1</sub> (8–22 см)							
ОЗВ	40,0	27,6	23,5	24,8	40,1	21,8	34,0
ПЗВ	37,8	25,4	21,3	22,6	37,9	19,6	31,8
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> (22–56 см)							
ОЗВ	85,8	57,7	46,8	57,2	73,0	52,8	83,8
ПЗВ	84,6	56,5	45,6	56,0	71,8	51,6	82,6
0–100 см							
ОВЗ	248,9	162,5	158,0	197,5	212,0	169,7	223,1
ПЗВ	230,5	144,1	139,6	179,4	193,7	151,3	204,7

Для оценки влагозапасов в гумусово-аккумулятивном горизонте и в метровом слое серой лесной почвы мы воспользовались методикой А. Ф. Вадюниной [3]. С учетом этого, можно констатировать, что ПЗВ в горизонте A<sub>1</sub> можно характеризовать как хорошие или удовлетворительные в зависимости от месяца. Судя по влагозапасам (ПЗВ) в метровом слое почвы их можно считать очень хорошими или хорошими (табл. 1) в течение всех лет наблюдений. При этом дефицита влаги не наблюдалось. Скорее был ее переизбыток, поскольку наименьшая влагоемкость и влажность завядания в супесчаных горизонтах имели очень низкие значения.

В суглинистой серой лесной почве складывалась иная картина распределения влагозапасов по генетическим горизонтам и в целом по профилю (табл. 2).

Таблица 2. Общие (ОЗВ, мм) и продуктивные (ПЗВ) запасы влаги в суглинистой серой лесной почве

Год	2001			2002			2003
Срок	25.05	18.07	06.09	29.05	17.07	18.09	20.05
A <sub>1</sub> (4–21 см)							
ОЗВ	58,9	56,5	30,9	59,1	53,3	35,2	59,7
ПЗВ	53,2	50,5	25,2	53,2	47,4	28,0	54,0
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> (21–38 см)							
ОЗВ	79,8	70,4	37,2	78,0	74,7	34,2	77,3
ПЗВ	73,7	64,4	32,1	72,0	68,2	28,2	71,4
0–100 см							
ОВЗ	329,4	269,1	215,3	268,0	287,0	197,4	287,3
ПЗВ	298,5	238,0	185,4	236,9	255,5	165,1	256,6

Прежде всего, как общие, так и продуктивные запасы влаги здесь имели более высокие значения. То же самое можно сказать и о гидрофизических константах. Так в близком к тяжелосуглинистому горизонту В важность завядания составляла 11,1 мм, а наименьшая влагоемкость 24,3 мм. Но ПЗВ за время исследований в гумусовом слое опускались до уровня 25,2 в сентябре 2001 года и до 28,0 мм в 2002 году, поэтому можно считать удовлетворительными, а в остальные сроки наблюдений хорошими. В нижележащих горизонтах величины ОЗВ и ПЗВ еще выше, поэтому никакого дефицита влаги не прослеживалось. То же относится и к метровой толще почвы, в которой доступная влага не опускалась ниже 165 мм (сентябрь 2002 года), а в другие сроки наблюдений имел место ее переизбыток. Таким образом, как в супесчаной, так и в суглинистой почве в условиях Обь-Чумышского междуречья для всех видов флоры складывался весьма благоприятный водный режим.

В табл. 3 показаны результаты измерений относительной влажности и теплофизических коэффициентов (ТФК) серой лесной почвы.

Таблица 3. Относительная влажность (U, %), объемная теплоемкость (C<sub>p</sub>, Дж/(м<sup>3</sup>К) и теплопроводность (λ, Вт/м К) генетических горизонтов супесчаной серой лесной почвы

Год	2001			2002			2003
Срок	25.05	18.07	06.09	29.05	17.07	18.09	20.05
A <sub>1</sub> (8–22 см)							
U	21,3	14,7	12,5	13,2	21,4	11,6	18,1
C <sub>p</sub>	3,43	2,37	2,25	2,28	3,45	2,20	3,06
α	0,59	0,65	0,65	0,65	0,59	0,69	0,63
λ	2,03	1,60	1,45	1,54	2,01	1,52	1,91
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> (22–56 см)							
U	17,4	11,7	9,5	11,4	14,8	10,7	17,0
C <sub>p</sub>	3,78	2,43	2,30	2,41	2,62	2,37	3,08
α	0,74	1,08	1,08	1,04	1,04	0,96	0,90
λ	2,84	2,64	2,52	2,54	2,71	2,30	2,80

Результаты исследований показывают, что в гумусово-аккумулятивном горизонте весной 2001 и 2003 годов относительная влажность в супеси оказалась весьма высокой, а в 2002 году при малом снежном покрове и недостатке майских осадков составила только 13% от массы почвы. В летнее и осеннее время в первый год исследований наблюдалось постепенное иссушение, поэтому объемная теплоемкость (теплоаккумуляция), а также теплопроводность

(теплопередача) снижались, поскольку напрямую определялись степенью почвенного увлажнения. Такая зависимость сохранялась и в последующие годы. В оподзоленном горизонте  $A_1A_2$  влагосодержание было ниже, чем в верхнем, поэтому значения ТФХ также должны снизиться, но этого не наблюдалось, поскольку уплотнение названного горизонта составило  $1,45 \text{ г/см}^3$  по сравнению с  $1,34 \text{ г/см}^3$  в гор.  $A_1$ . Температуропроводность достигала высоких значений в верхнем 20-ти см слое, имея экстремум при влажности 11,6%. В нижележащем горизонте, который при отсутствии органики представлял собой боровой песок в песчано-связном состоянии, она оказалась выше  $1,0 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

В суглинистой серой лесной почве также был измерен комплекс теплофизических коэффициентов (табл. 4).

Таблица 4. Влажность (U, %), объемная теплоемкость ( $C_p$ , Дж/( $\text{м}^3\text{К}$ ), температуропроводность ( $\alpha$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ) и теплопроводность ( $\lambda$ , Вт/м К) генетических горизонтов суглинистой серой лесной почвы

Год	2001			2002			2003
Срок	25.05	18.07	06.09	29.05	17.07	18.09	20.05
$A_1$ (4–21 см)							
U	31,5	30,2	16,5	31,6	28,5	18,8	31,9
$C_p$	2,35	2,28	1,69	2,35	2,22	1,79	2,36
$\alpha$	0,59	0,61	0,79	0,59	0,64	0,79	0,58
$\lambda$	1,39	1,36	1,24	1,39	1,29	1,31	1,40
$A_1A_2$ (21–38 см)							
U	31,3	27,6	14,6	30,6	29,3	13,4	30,3
$C_p$	3,71	3,49	2,68	3,68	3,60	2,60	3,66
$\alpha$	0,50	0,55	0,63	0,51	0,53	0,64	0,52
$\lambda$	2,07	1,92	1,76	1,88	1,89	1,72	1,90
B (38–70 см)							
U	23,1	18,1	15,3	11,3	15,8	13,9	14,7
$C_p$	3,10	2,81	2,67	2,40	2,67	2,55	2,60
$\alpha$	0,49	0,51	0,51	0,54	0,52	0,53	0,52
$\lambda$	1,53	1,42	1,38	1,29	1,38	1,34	1,35

Прежде всего, следует отметить, что увлажнение суглинистой почвы оказалось гораздо выше, чем супесчаной. Анализ результатов исследований показал (табл. 4), что объемная теплоемкость и теплопроводность верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта  $A_1$  гораздо ниже, чем в нижележащих почвенных слоях. Это обусловлено малыми значениями его плотности сложения, которая составляла  $1,05 \text{ г/см}^3$ . Поэтому их максимальные значения составили  $2,36 \times 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ К})$  и  $1,40 \text{ Вт}/(\text{м К})$  соответственно при наивысшей степени увлажнения. В то же время коэффициент температуропроводности достиг  $0,79 \times 10^{-6} \text{ (м}^2 \text{ с)}$  при влажности, близкой к ВРК. Экстремальные величины коэффициентов теплоаккумуляции и теплопередачи имели место в наиболее плотном гумусово-оподзоленном горизонте  $A_1A_2$  и составили  $3,71 \times 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ К})$  и  $2,07 \text{ Вт}/(\text{м К})$ . Соответственно скорость распространения температуры здесь ниже и не превышала  $0,64 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . В целом изменения комплекса ТФХ в теплое время года определялись погодными условиями и общепфизическими свойствами почвы. Таким образом, полученные результаты показали значительное влияние дисперсности почвы на величину ее влагосодержания.

#### Выводы

1. Продуктивные запасы влаги (ПЗВ) в горизонте  $A_1$  и в метровой толще супесчаной почвы за годы исследований соответствовали уровню хороших. При этом дефицита влаги во всем почвенном профиле не наблюдалось, а был ее переизбыток.

2. В суглинистой почве как общие, так и продуктивные запасы влаги имели более высокие значения. В метровой толще почвы доступная влага не опускалась ниже 165 мм, а в другие сроки наблюдений имело место переувлажнение. Таким образом, как в супесчаной, так и в

суглинистой почве в условиях Обь-Чумышского междуречья для всех видов флоры складывался весьма благоприятный водный режим.

3. В теплое время 2001 года наблюдалось постепенное иссушение супесчаного почвенного профиля, поэтому объемная теплоемкость и теплопроводность снижались, поскольку напрямую зависели от степени почвенного увлажнения. Такая зависимость сохранялась и в последующие годы.

4. В суглинистом профиле объемная теплоемкость и теплопроводность верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта  $A_1$  были невысокими за счет его рыхлого сложения. В то же время коэффициент температуропроводности достиг  $0,79 \times 10^{-6}$  ( $m^2/c$ ) при влажности, близкой к ВРК. Экстремальные величины коэффициентов теплоаккумуляции и теплопередачи имели место в наиболее плотном гумусово-оподзоленном горизонте  $A_1A_2$ .

5. В целом изменения комплекса ТФК в теплое время года определялись погодными условиями и, прежде всего, степенью почвенного увлажнения. Кроме того, полученные результаты подтвердили значительное влияние дисперсности почвы на величину ее влагосодержания, и тем самым на теплофизические показатели генетических горизонтов.

#### Литература

1. Трофимов С. С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука СО, 1975. 300 с.
2. Мелехов И. С. Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. 406 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 399 с.
4. Макарычев С.В., Трофимов И.Т., Сизов Е.Г. Влияние сплошных рубок на гидротермический режим и тепловые свойства серых лесных почв. // Химия в сельском хозяйстве. Москва, 2003. С. 153–156.

#### WATER AND THERMOPHYSICAL STATE OF GRAY FOREST SOIL OF DIFFERENT GRANULOMETRIC COMPOSITION

S.V. Makarychev

Altai State Agrarian University, Barnaul, Makarychev1949@mail.ru

*Summary. In the Altai Territory, birch grows well on gray forest and chernozem soils. During the years of research, moisture deficiency was not observed in the entire soil profile of sandy loam and loamy soil. In the meter thick soil, the available moisture did not fall below 165 mm. Changes in the complex of thermophysical coefficients of the soil were determined by weather conditions and its general physical properties. The obtained results confirmed the influence of soil dispersion on the amount of its moisture and, thereby, on thermal indicators.*

*Keywords: birch forest, gray forest soil, dispersion, moisture content, moisture reserves, thermophysical properties.*



УДК 631.432

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВЕ

С.А. Огородняя

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

sofya.ogorodnyaya@gmail.com

**Аннотация.** Проанализировано влияние метода получения физического обеспечения на точность прогноза распределения влаги имитационной математической моделью HYDRUS-1D для слоистой и смешанной почвенных конструкций в двухлетний период путем сравнения результатов прогноза с использованием для получения физического обеспечения моделей педотрансферных функций, а также прямого экспериментального определения методами испарения и центрифугирования для получения основной гидрофизической характеристики. При использовании экспериментальных методов получения физического обеспечения получен наиболее достоверный прогноз. Сопоставлены кривые водоудерживания, полученные обоими методами. В результате применения метода испарения для получения ОГХ отмечается более точное определение точки входа воздуха, влияющей на параметр  $\alpha$  уравнения Ван Генухтена. Среднеквадратичная ошибка прогнозов в HYDRUS-1D меняется от -30,60 (ПТФ для исходных субстратов) до -0,94 (метод испарения для монолитов).

**Ключевые слова:** основная гидрофизическая характеристика, моделирование, почвенные конструкции, центрифугирование, HYPROP, HYDRUS.

В городских условиях остро стоит проблема низкой обеспеченности газонной растительности влагой в вегетационный период в южных регионах и переувлажнение в северных. Для создания на урбанизированных территориях более оптимальных для газонной растительности гидротермических условий применяются специализированные почвенные конструкции, рассчитанные таким образом, чтобы в течение всего вегетационного периода снижать влияние погодных условий на режим температуры и влажности в корнеобитаемом слое почвы. Расчет оптимального соотношения частиц различного размера и качества в конструкциях (т.е. подбор соотношений различных субстратов или мощностей отдельных слоев) для разных климатических условий включает этап предварительного прогнозного моделирования. Это означает необходимость получения экспериментального обеспечения таких прогнозных моделей.

В основе математического моделирования движения влаги в почве лежит зависимость объемной влажности от матричного давления – основная гидрофизическая характеристика. Для ее аппроксимации используется в т.ч. уравнение ван Генухтена с параметрами  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$  и  $K_s$  [1]. Есть множество подходов к определению параметров, используемых в моделях – прямое экспериментальное определение различными методами, что занимает много времени и требует специального оборудования. Помимо этого, существует способ определения через специальные уравнения зависимости этих параметров от тех свойств, которые легко и быстро определяются – плотность, гранулометрический состав, содержание органического вещества и других.

Оценка необходимости применения экспериментальных методов является целью работы. Для этого определялись параметры ОГХ различными методами, на основе которых проводился прогноз распределения влаги, который сравнивался с данными мониторинговых наблюдений.

В качестве объекта выбрана имитационная математическая модель распределения влаги в почве Hydrus-1D [2] - прогнозная дифференциальная модели, рассчитывающая распределение влаги в почве с течением времени. Изначально Hydrus создавался для почв, используемых под выращивание культур в сельском хозяйстве. В настоящей работе оценивается возможность использования этой модели при планировании почвенных конструкций.

Так как целью работы является исследование физического обеспечения этих моделей, то для всех наборов входных параметров были выбраны единые граничные условия: атмосферные без накопления влаги на поверхности на верхней границе и свободный дренаж на нижней. Для задания атмосферных условий использовались данные с метеостанции Географического факультета МГУ.

Для моделирования был исследован водный режим слоистой и смешанной конструкции в условиях Москвы. Мощность конструкций составляет 30 см. Слоистая конструкция состоит из следующих слоев: горизонт А пахотный урбанозема территории МГУ имени М. В. Ломоносова (А пах), торф низинный «Селигер-Агро» (торф), песок карьерный производителя Русеал (песок). Каждый слой имеет мощность 10 см. Для конструирования смешанной использовалась смесь этих горизонтов в следующем соотношении: А пах : торф : песок = 4.4 : 1 : 5.9. Под конструкциями залегает урбанозем, сформированный в условиях г. Москвы. Отмечается высокое содержание строительного мусора, кирпичей и камней. Также, для данной почвы характерна слоистость.

Для определения ОГХ отбирались исходные образцы каждого горизонта конструкций. Также, после функционирования в течение года, были снова отобраны такие же монолиты. ОГХ исходных образцов определялась методом центрифугирования, а также на приборах НУПРОР 2 и WP4С была получена ОГХ методом испарения [3]. Для расчета ПТФ необходимы легко определяемые физические свойства почв. Таким образом, плотность исходных образцов задавалась согласно с [4], а для монолитов определялась буровым методом [5]. В насыпных образцах определен гранулометрический состав методом лазерной дифракции с использованием лазерного анализатора размера частиц Mastersizer 3000e (Malvern Panalytical, UK).

Расчет ПТФ производился в программе RET-C. Rosetta рассчитывает значение коэффициентов А и В, по которым определяется текстурный класс образца по треугольнику Ферре [6]. Исходя из определенного текстурного класса программа выдает значение параметров ОГХ по уравнению Ван Генухтена, полученное в результате большой базы данных по определению параметров каждого класса. Для расчета параметров торфа были использованы ПТФ из авторской методики [7].

В таблице №1 указано значение среднеквадратичной ошибки для каждого набора входных параметров. Судя по всему, при использовании ПТФ Hydrus недостаточно хорошо отражает процессы на границах контрастных слоев, а также не способен рассчитать трансформацию свойств искусственных почв с течением времени, отсюда чрезмерные ошибки именно для прогноза режимов слоистой конструкции, что ограничивает использование данной модели при планировании подобных объектов.

Таблица 1. Среднеквадратичная ошибка прогноза для различных наборов параметров ОГХ слоистой и смешанной конструкций

Метод получения ОГХ	Год	Среднеквадратичная ошибка прогноза в Hydrus-1D	
		смешанная конструкция	слоистая конструкция
ПТФ	2020	-4,7	-30,6
	2021	-2,91	-18,46
Центрифугирование	2020	-7,45	-1,51
НУПРОР + WP4С	2020	-1,1	-0,96
	2021	-1,03	-0,94

При использовании параметров, полученных в результате применения метода центрифугирования, погрешность прогноза стала ниже, более успешен расчет для смешанной конструкции. Для слоистой модель прогнозирует чрезмерное иссушение верхних и увлажнение нижних горизонтов, поэтому общая ошибка все еще значительна. Причины возникающих погрешностей можно, в том числе, отнести ограничению метода центрифугирования. Так, процесс пробоподготовки требует небольших объёмов насыпного образца. Для сравнения был использован метод испарения и монолитные образцы большого объема. ОГХ, полученные обоими методами, представлены на рисунке 1.

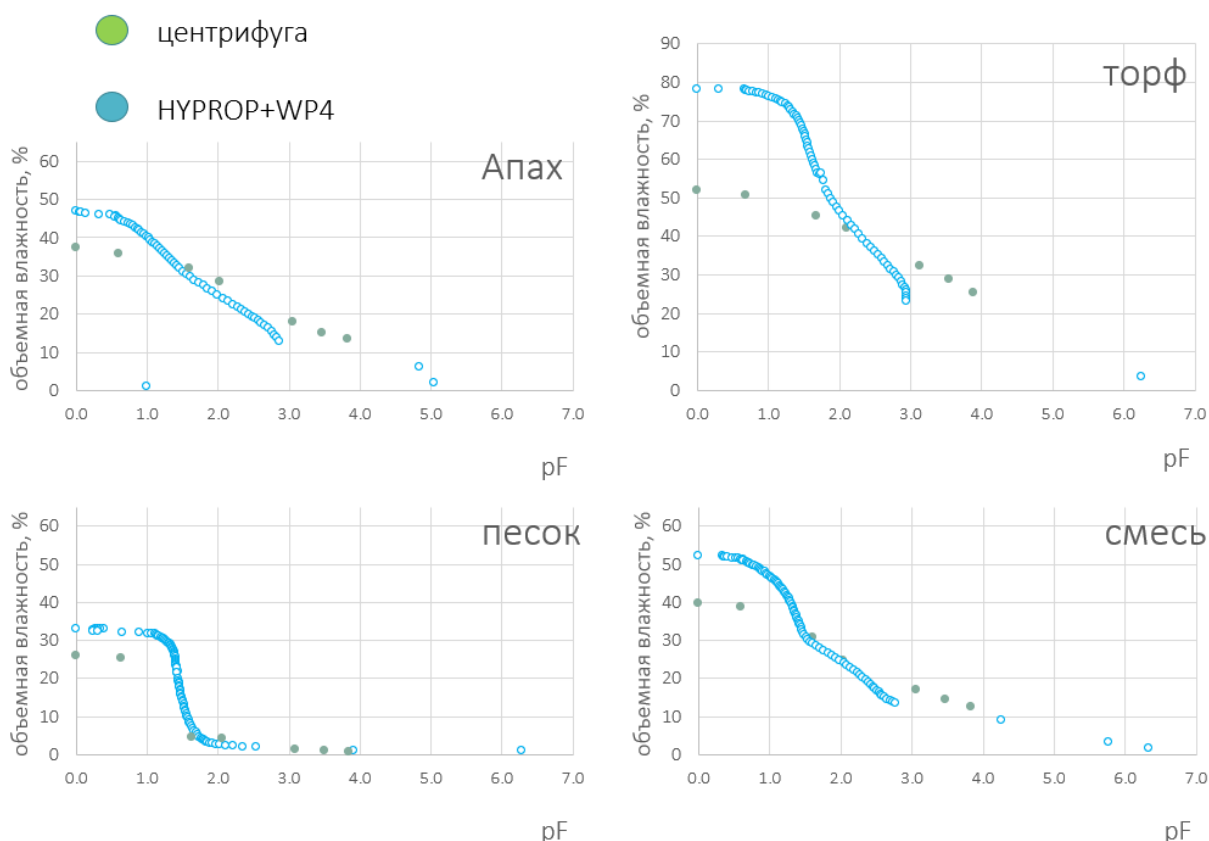


Рисунок 1. ОГХ, сравнение методов центрифугирования и испарения.

Примечание: pF – отрицательный десятичный логарифм капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги в см водного слоя.

В случае применения метода испарения на кривой водоудерживания определяются значительно больше точек (больше измерений HYPROP), перегиб в точке барботирования ясный и лучше передает влагоудержание в этой области. Часть кривых ОГХ в пленочно-капиллярной области в целом совпадают. Расхождение кривых в области насыщения и в части капиллярной области является следствием разрушения порового пространства при пробоподготовки для метода центрифугирования. И если для суглинка и песка возможно задать исходную плотность пусть и для более однородного порового пространства. То упругие свойства торфа не позволяют подготовить образец с требуемой плотностью  $0,27 \text{ г/см}^3$ . Это в первую очередь повлияло на значение  $\theta_s$ . Меньшая плотность исходного образца торфа в методе центрифугирования также повлияло на положение капиллярно-сорбционной части кривой, что отражает параметр  $n$ .

Для более подробного анализа изменения гидрофизических свойств конструкции в течение года на рисунке 2 приведены кривые водоудерживания для исходных субстратов и соответствующих монолитов. В Апах изменения коснулись средней части ОГХ, трансформация касалась тонких капилляров. При уплотнении крупные капилляры становятся меньше, увеличивая количество тонких. Это вызовет неоднозначное изменение положения ОГХ. В области высоких давлений, в диапазоне крупных капилляров влажность будет снижаться, а при низких давлениях, в диапазоне тонких возрастет по сравнению с уплотненной почвой.

Кривые водоудерживания отличаются для исходной и функционировавшей смеси. При насыщении исходного образца набухание было практически незаметным. Но образец, отобранный спустя год, набух весьма сильно, что, вероятно, связано с плотностью. Исходный образец имеет плотность  $1,0 \text{ г/см}^3$ , набухание идет за счет сокращения крупных пор. Но образец 2021 г. более плотный, крупных пор меньше, при набухании образец заметно меняет объем. Если учитывать изменение плотности при набухании, то верхняя часть ОГХ будет близка к исходному образцу, изменения будут наблюдать в средней части по тем же причинам.

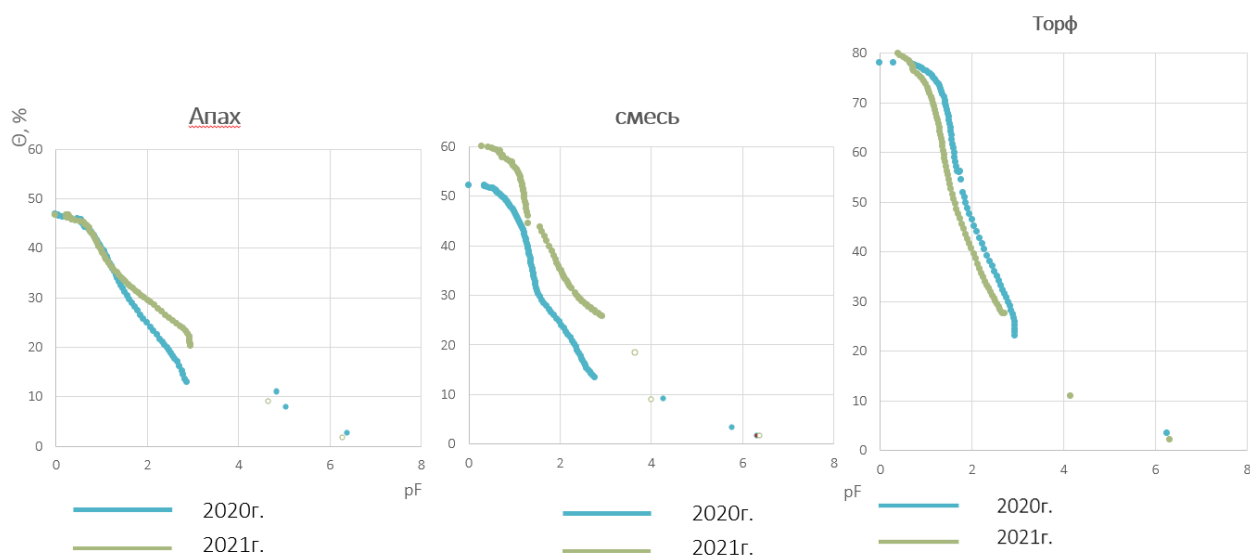


Рисунок 2. Изменение гидрофизических свойств субстратов почвенных конструкций в течение года. pF – отрицательный десятичный логарифм капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги в см водного слоя.

**Выводы.** Педотрансферные функции не обеспечивают необходимую для планирования точность при моделировании режима влажности почвенных конструкций (RMSE = -30.6 и -18.46 для слоистой конструкции, -4.70 и -2.60 для смешанной в Hydrus по результатам анализа образцов 2020 и 2021 годов соответственно).

Модель Hydrus крайне чувствительна к параметрам кривой водоудерживания, что выражается в изменении среднеквадратичной ошибки от -30.60 для ПТФ 2020 года до -0.94 прогноза на основе параметров аппроксимации ОГХ монолитов 2021 года, определенных методом испарения. Поэтому при моделировании в этой программе рекомендуется использовать кривую ОГХ с детальной прорисовкой перегиба в области барботирования, влияющей на параметр  $\alpha$  в первую очередь, а также области высоких давлений для более точного определения параметра  $n$ .

### Литература

1. Van Genuchten, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1980. V. 44. pp. 892–898
2. Simunek J., van Genuchten M. Th. and Sejna M. / The HUDRUS1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 3.0. 2005. Department of Environmental Sciences University of California Riverside, California. p. 240.
3. HYPROP User Manual v 2018/3 © 2018 METER Group AG
4. Сусленкова М.М., Умарова А.Б., Бутылкина М.А. Микроструктура почв разного генезиса и ее трансформация в составе конструкторов в условиях г. Москвы // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1265–1273.
5. Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. / Теории и методы физики почв. Коллективная монография под общей редакцией Шейна Е.В. и Карпачевского Л.О. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
6. Shaar, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.T. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer function // J. Hydrol. 2001. 251. pp. 163–173.
7. Miaorun Wang, Haojie Liu, Bernd Lennartz / Small-scale spatial variability of hydro-physical properties of natural and degraded peat soils // Geoderma. 2021. Volume 399. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115123>

METHODOLOGICAL ASPECTS OF PHYSICAL SUPPORT OF MATHEMATICAL MODELS OF SOIL MOISTURE MOVEMENT

S.A. Ogorodnyaya

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, [sofya.ogorodnyaya@gmail.com](mailto:sofya.ogorodnyaya@gmail.com)



*Summary. The influence of the method of obtaining physical support on the accuracy of the forecast of moisture distribution by simulation mathematical model HYDRUS-1D for layered and mixed soil structures in a two-year period is analyzed by comparing the results of the forecast using pedotransfer function models to obtain physical support, as well as direct experimental determination by evaporation and centrifugation methods to obtain the main hydrophysical characteristics are observed. Because of using experimental methods for obtaining physical support, a more reliable forecast was obtained than by PTFs. The WRCs obtained by both methods are compared. As a result of the application of the evaporation method to obtain the WRC, a more accurate determination of the air entry point affecting the parameter  $\alpha$  of the Van Genuchten equation is noted. The standard error of forecasts in in HYDRUS-1D varies from -30.60 (PTF for initial substrates) to -0.94 (evaporation method for monoliths).*

*Keywords: water retention curve, modeling, soil constructions, centrifugation, HYPROP, HYDRUS.*

УДК 631.4

## **ВЛИЯНИЕ НЕФТЯННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ**

**М.Б. Рюмин**

Иркутский государственный университет, Иркутск, [maksim.ryumin@mail.ru](mailto:maksim.ryumin@mail.ru)

**Аннотация.** Нефтяное загрязнение серых лесных и дерново-подзолистых почв привело к снижению капиллярной влагоемкости, пластичности и твердой фазы почв. В результате внесения неионного поверхностно-активного вещества твин-80 в загрязненную нефтью почву эти показатели были частично восстановлены, но их значения оставались ниже, чем в незагрязненных образцах почвы.

**Ключевые слова:** нефть, твин-80, физические свойства почвы, серая лесная почва, дерново-подзолистая почва.

Почвы ежегодно подвергаются сильнейшему антропогенному давлению. Нефтяная промышленность оказывает значительную долю негативного воздействия на почвы. Попадание компонентов нефти в почву вызывает изменение ее физических, химических, биологических свойств, что неизбежно приводит к снижению и даже полной потере плодородия почвы [1]. И одним из ключевых вопросов в этой области является степень влияния нефтяного загрязнения на физико-химические свойства почвы [2, 3].

В условиях эксперимента в дерново-подзолистой почве под воздействием нефтепродуктов наблюдалось снижение скорости капиллярного подъема влаги. Так, в контрольном образце дерново-подзолистой почвы скорость капиллярного подъема воды составила 13,2 см/ч, капиллярная влагоемкость составила 21%, что соответствует неудовлетворительной капиллярной влагоемкости по Н.А. Качинскому. Высота подъема капиллярной влаги в этом образце через 20 минут после начала эксперимента составила 1,2 см. Через 5 минут, через 10 минут она увеличилась на 0,2 см, а через 15 минут достигла значения 0,8 см, что в 1,5 раза меньше, чем в незагрязненном образце.

Скорость капиллярного подъема влаги дерново-подзолистой почвы после обработки нефтью составила 3,6 см/час, поскольку нефть обладает способностью закупоривать поры почвы и, как следствие, замедляет прохождение влаги. Таким образом, при добавлении нефти к контрольному образцу почвы капиллярная влагоемкость уменьшилась на 7,2% и составила 13,8%, что соответствует неудовлетворительной капиллярной влагоемкости.

Обработка загрязненных нефтью образцов дерново-подзолистой почвы твином-80 в концентрации 333 мл/кг привела к увеличению скорости повышения влажности по сравнению с загрязненным нефтью образцом без добавления поверхностно-активных веществ. После введения неионного поверхностно-активного вещества твин-80 в загрязненный нефтью образец почвы в количестве 333 мл/кг исследуемый показатель увеличился на 4,7% и стал равен 18,5%, что соответствует неудовлетворительной капиллярной влагоемкости. Изменение

высоты подъема влаги в незагрязненном (контрольном) образце серой лесной почвы через 5 минут после начала эксперимента составило 6,5 см, через 10 минут высота подъема увеличилась на 2 см, а через 15 минут составила 9,5 см. В то же время высота поднятия влаги в образце серой лесной почвы, обработанной нефтью, через 5 минут составила 0,5 см, через 10 минут увеличилась на 0,6 см, а через 15 минут на 0,5 см. Внесение твина-80 привело к некоторому увеличению капиллярной влагоемкости почвы по сравнению с образцом, загрязненного нефтью. Однако полного восстановления значений влагоемкости до уровня исходного (незагрязненного) образца почвы не произошло. Скорость капиллярного подъема контрольного образца серой лесной почвы составила 36 см/ч, а после обработки нефтью она снизилась до 5,6 см/ч. После внесения твина-80 в загрязненную нефтью почву этот параметр был равен 9,5 см/час.

Аналогичный эффект наблюдался и при оценке параметра капиллярной влагоемкости. Нефть ухудшила этот показатель с 60,2 (в исходной почве) до 16,3% (в почве, загрязненной нефтью), а последующее внесение твина-80 несколько “реабилитировало” эту характеристику почвы: капиллярная влагоемкость увеличилась до 21,8%.

В контрольном образце дерново-подзолистой почвы показатель пластичности составлял 14,5%, класс почвы был III, и почва была пластичной. После обработки маслом степень пластичности дерново-подзолистой почвы снизилась с 14,5% до 2,0%. Этот показатель соответствует почве II класса, почва слабопластична. Введение твина-80 (333 мл/кг) в загрязненный нефтью образец дерново-подзолистой почвы вызвало увеличение показателя пластичности до 9,9%. Класс грунта – III, почва пластична. Но, тем не менее, показатель остался ниже контрольного. В контрольном (незагрязненном) образце серой лесной почвы число пластичности составляло 15,0%, класс почвы был III, и почва была пластичной. После нефтяной обработки серой лесной почвы показатель пластичности значительно снизился и стал составлять 3,8%. Класс почвы снизился до II, почва стала слабопластичной. Внесение твина-80 (333 мл/кг) в загрязненный нефтью образец почвы вызвало увеличение показателя пластичности до 9,0%. Это в 2,5 раза выше, чем в загрязненной нефтью почве без добавления поверхностно-активных веществ, но все же ниже, чем в исходном (незагрязненном) образце. Класс почвы после внесения твина-80 остался на уровне загрязненной нефтью почвы (III), но почва стала более пластичной.

Выявлено изменение плотности твердой фазы почвы под воздействием нефти. Показатель твердой фазы почвы составил 1,7 г/см<sup>3</sup>. При добавлении нефти в почву показатель уменьшается (1,5 г/см<sup>3</sup>), что делает почву более рыхлой с точки зрения прилипания мелких частиц друг к другу. При добавлении поверхностно-активного вещества, показатель увеличивался до 1,6 г/см<sup>3</sup>. Это может быть связано с маслянистой структурой твина-80, которая действует как клей для мелких частиц почвы. Изменение параметров твердой фазы серой лесной почвы после внесения нефти (333 мл/кг), а затем твина-80 (333 мл/кг) было аналогично изменению параметров дерново-подзолистой почвы. После обработки почвы нефтью показатель снизился до 1,5 г/см<sup>3</sup>. Почва стала более рыхлой, с трудом скатывалась в комок. Однако внесение твина-80 не позволило восстановить показатель твердой фазы до исходного значения (1,7 г/см<sup>3</sup>). Таким образом, нефтяное загрязнение привело к снижению показателей капиллярной водоемкости, пластичности и твердой фазы почв. Сильно загрязненные (нефть 333 мл/кг) образцы серых лесных и дерново-подзолистых почв быстро начали терять способность поглощать влагу, они стали характеризоваться более низкими значениями гигроскопической влажности, водопроницаемости и влагоемкости по сравнению с незагрязненными образцами. Также нефть, вероятно, действовала как своего рода адгезивный агент, способствующий сцеплению частиц, но действующий только на добавление и стабилизацию тонких капилляров, при этом закупоривая крупные поры, что приводило к снижению водоудерживающей способности почв. После добавления неионного поверхностно-активного вещества твина-80 к загрязненным нефтью образцам серых лесных и дерново-подзолистых почв произошли положительные изменения в показателях влагоемкости, пластичности и твердой фазы почв. Однако эти параметры оставались ниже значений исходных образцов почвы.

## Литература

1. Bayramova A. R. Impact of oil pollution on soil fertility / A. R. Bayramova // East European Scientific Journal. 2021. No. 10-2(74). pp. 40–42.
2. Мухаметова И.В., Зайнутдинова А.Ф. Биотехнологии для снижения влияния нефтезагрязнений на почву и водоемы в республике Башкортостан / И.В. Мухаметова, А.Ф. Зайнутдинова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. №. 5-2. С. 32–35.
3. Yu C., Yao J. Polycyclic aromatic hydrocarbons degrading microflora in a tropical oil-production well / C. Yu., J. Yao // Bull Environ Contam Toxicol. 2014. No. 93(5). pp. 632–636.

### INFLUENCE OF OIL POLLUTION ON SOME PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS

M.B. Ryumin

Irkutsk State University, Irkutsk, maksim.ryumin@mail.ru

*Summary.* Oil pollution of gray forest and sod-podzolic soils led to a decrease in capillary moisture capacity, plasticity and solid phase of soils. As a result of the introduction of the nonionic surfactant twin-80 into the oil-contaminated soil, these indicators were partially restored, but their values remained lower than in uncontaminated soil samples.

*Keywords:* oil, twin-80, physical properties of soil, gray forest soil, sod-podzolic soil.

УДК 551.312.2+571.1

### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ВЛАЖНОСТИ ТОРФА ОСУШЕННЫХ И ВЫГОРЕВШИХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ В ПРЕДЕЛАХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Синюткина, Л.П. Гашкова

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал  
Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Томск,  
ankalaeva@yandex.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты оценки пространственной неоднородности растительного покрова и влажности верхнего слоя торфа на примере участков осушенных верховых болот с разным периодом постпирогенного восстановления. В результате исследования показано, что влажность торфа различается между формами микрорельефа. Закономерности распределения значений влажности по высоте изменяются между постпирогенными и фоновыми участками и находятся в тесной взаимосвязи с присутствием сфагновых мхов.

*Ключевые слова:* природный пожар, микрорельеф, мозаичность поверхности, сфагновое болото, Большое Васюганское болото, гидролесомелиорация.

Пожары на сфагновых болотах существенно влияют на видовое богатство, структуру фитоценозов, темпы накопления биомассы. Воздействие пожаров может трансформировать экосистемы верховых болот из поглотителей углерода в источник не только за счет прямых его выбросов при сгорании биомассы, но и меняя структуру растительного сообщества и функционирование экосистемы [1, 2]. Одним из важных последствий пожара на болоте является формирование водоотталкивающего слоя в приповерхностных горизонтах торфа в результате их высыхания под воздействием испарения при экстремальных температурах [3]. Содержания воды в верхних горизонтах торфяной залежи является одним из факторов, определяющих способность восстановления болотной растительности [4]. Поэтому оценка взаимодействий гидрологических условий и растительного покрова на постпирогенных участках с учетом неоднородности микрорельефа поверхности является одним из важных направлений в изучении постпирогенной динамики болотных экосистем.

Целью исследования является оценка неоднородности растительного покрова и влажности верхних горизонтов торфяной залежи осушенных и выгоревших верховых болот в пределах подзоны южной тайги Западной Сибири. Объектами исследования являются два ключевых участка в пределах осушенных верховых болот: 1) Бакчарское болото (северо-восточный

отрог Большого Васюганского болота); 2) Усть-Бакчарское болото. В качестве сравнения использован не выгоревший участок в пределах осушенной части Бакчарского болота. Характеристика объектов исследования представлена в таблице.

Таблица. Характеристика объектов исследования

Ключевой участок	Площадка	УБВ, см	Год пожара	Антропогенная нагрузка
Бакчарское болото	BF5	-21	2016	Гидролесомелиорация
	BF6	-28	1990	
	Вфон	-15	-	
Усть-Бакчарское болото	UBF1	-28	2014	Осушение для добычи торфа
	UB	-40	2000	

Полевые исследования проведены в июле 2022 г. Методика исследований включала тахеометрическую съемку на площадках 25 м<sup>2</sup> с шагом 50 см (121 точка на каждой площадке). Для каждой точки определены: высота поверхности, присутствие видов травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов, присутствие и толщина горелого слоя. Методом конверта в 9 точках на каждой площадке проведен отбор образцов торфа для лабораторного определения влажности верхнего горизонта торфа (0–30 см) с шагом 10 см.

Доля выгорания поверхности постпирогенной площадки на Бакчарском болоте (BF5) составила 74%. Наибольшему выгоранию были подвержены отрицательные формы микрорельефа, доля выгорания в пределах которых составила 87%. На высотах около средней поверхности доля выгорания уменьшилась до 80%, а положительные формы, представленные моховыми подушками, оказались наиболее устойчивыми к выгоранию (51 %). На площадке в пределах Усть-Бакчарского болота (UBF1) произошло полное выгорание поверхности. Определение доли выгорания поверхности в результате пожаров 1990 и 2000 гг. не проводилась в связи с зарастанием гарей за период 20–30 лет.

В результате пожаров 2014–2016 гг. отмечена трансформация видового состава мохово-лишайникового покрова. Отмечено снижение встречаемости *Sphagnum fuscum* в сравнении с фоновой площадкой с 0,79 до 0,31 на площадке BF5 и до 0,05 на UBF1. На обеих площадках отмечено интенсивное зарастание *Polytrichum strictum*, встречаемость которого достигает 0,67–0,69. На площадке BF6 отмечено практически полное восстановление сфагнового покрова, встречаемость *S. fuscum* достигает 0,74, а суммарная встречаемость сфагновых мхов составляет 0,88. При этом *P. strictum* продолжает сохраняться в растительном покрове, встречаемость составляет 0,35. Отличительной особенностью Усть-Бакчарского болота является доминирование лишайников на обеих площадках (встречаемость 0,42–0,59). На площадке, выгоревшей в 2000 г., восстановление сфагнового покрова не произошло, встречаемость *S. fuscum* составляет всего 0,15, другие виды сфагновых мхов отсутствуют.

Верхний слой торфяной залежи всех рассматриваемых площадок образован фускум торфом. Средние значения влажности на Бакчарском в слое 0–30 не различаются между площадками и составляют 91,2%. При этом наблюдаются различия в распределении значений влажности по формам микрорельефа и по глубине. Постпирогенная площадка Бакчарского болота BF5 характеризуется низкой влажностью в понижениях, ростом значений у средней поверхности и снижением влажности на положительных формах (рис.). Снижение влажности в понижениях объясняется отсутствием капиллярного поднятия влаги на участках с разреженным моховым покровом или полным его отсутствием и наблюдается также и на осушенных невыгоревших участках Бакчарского болота. Но здесь, в отличие от постпирогенных болот, положительные формы характеризуются высокими значениями влажности, снижение которой происходит только на самых высоких моховых подушках [5]. Распределение значений влажности на площадке BF6 является схожим с невыгоревшими участками Бакчарского болота, что объясняется практически полным восстановлением исходной растительности.



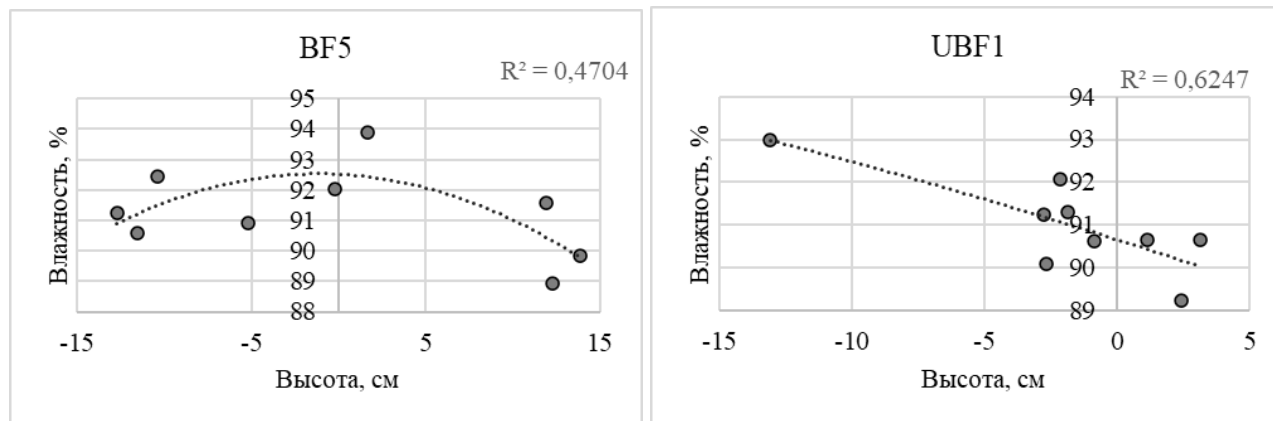


Рисунок. Средняя влажность в слое 0–30 на постпирогенных площадках в зависимости от высоты поверхности.

В пределах площадки BF5 наблюдаются различия между выгоревшими и сохранившимися точками отбора. На невыгоревших точках отбора в слое 0–30 см отмечена однородность влажности по глубине, различия не превышают 2%. На аналогичных высотах микрорельефа влажность выше на невыгоревших точках в сравнении с выгоревшими на 1% на повышениях и на 2% на высотах около средней поверхности. Выгоревшие точки характеризуются обсыхаем слоя 0–10 см до 85–87% и увеличением влажности в слое 20–30 см в среднем на 5%.

На Усть-Бакчарском болоте средняя влажность торфа в слое 0–30 см составляет 90% на площадке UB и 91% на площадке UBF1. Более высокая средняя влажность на площадке UBF1 объясняется отсутствием моховых подушек, которые единично присутствуют на площадке UB и отличаются низкой влажностью (87%). При этом влажность верхнего слоя 0–10 см на высотах около средней поверхности несколько ниже и составляет 87,2% на постпирогенной площадке и 88,6% на фоновой. На обеих площадках происходит снижение влажности от отрицательных форм к положительным в среднем на площадке UBF1 от 91,1 до 89,2% (рисунок), на площадке UB от 90,1 до 90,4%. На всех точках отбора в пределах площадок отмечены более низкие значения влажности с слое 0–10 см с сравнение со слоем 20–30 см в среднем на 5,7% на площадке UBF1 и 3,9% на площадке UB. Схожие значения влажности и закономерности их распределения между площадки объясняются выровненным микрорельефом и практически полным отсутствием сфагновых мхов даже более чем через 20 лет после пожара.

Таким образом, в результате исследования отмечено, что наиболее подверженными выгоранию являются отрицательные формы микрорельефа. Через 6–8 лет после пожара последствия пожара проявляются в обсыхании верхнего слоя торфяной залежи, что препятствует интенсивному зарастанию сфагновыми мхами. На участке лесомелиорации в пределах Бакчарского болота более чем через 30 лет после пожара отмечено восстановление растительного покрова, и влажность на разных формах микрорельефа имеет близкие значения к фоновым участкам. На Усть-Бакчарском болоте в условиях постоянно восстановления растительного покрова из сфагновых мхов не происходит и влажность практически не отличается между площадками, выгоревшими 8 и более чем 20 лет назад.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта РНФ в рамках научного проекта № 22-77-10024.

### Литература

1. Копотева Т.А., Купцова В.А. Влияние пожаров на функционирование фитоценозов торфяных болот Среднеамурской низменности // Экология. 2016. № 1. С. 14–21.
2. Малащук А.А., Филиппов Д.А. Постпирогенная динамика растительного покрова верхового болота Барское (Вологодская область) // Трансформация экосистем. 2021. № 4 (1). С. 104–121.
3. Kettridge N., Humphrey R.E., Smith J.E., Lukenbach M.C., Devito K.J., Petrone R.M., Waddington J.M. Burned and unburned peat water repellency: Implications for peatland evaporation following wildfire // Journal of Hydrology. 2014. № 513. pp. 335–341.

4. Moore P.A., Lukenbach M.C., Kettridge N., Petrone R.M., Devito K.J., Waddington J.M. Peatland water repellency: Importance of soil water content, moss species, and burn severity // *Journal of Hydrology*. 2017. № 554. 656–665 p.
5. Синюткина А.А. Мозаичность поверхности осушенных болот Западной Сибири (на примере Бакчарского и Усть-Бакчарского болот) // *Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Шестого Международного полевого симпозиума, Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 года*. Томск: Издательство Томского университета, 2021. С. 86–88.

#### MICROHABITATS DIFFERENTIATION OF PEAT WATER CONTENT OF DRAINED AND BURNED OUT RAISED BOGS WITHIN SOUTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA

A.A. Sinyutkina, L.P. Gashkova

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, [ankalaeva@yandex.ru](mailto:ankalaeva@yandex.ru)

*Summary. The article presents the results of assessing the spatial heterogeneity of the plant cover and water content of the top layer of peat deposits on the example of drained sites within raised bogs with different periods of post-pyrogenic recovery. As a study result, it is shown that peat water content differs between the microrelief forms. The patterns of distribution of values in height diverse between post-pyrogenic and background areas and are closely related to the presence of Sphagnum.*

*Keywords: wildfire, microtopography, microhabitat differentiation, Sphagnum bog, Great Vasyugan Mire, drainage for forestry.*

УДК 631.425.2

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Человечкова<sup>1</sup>, И.В. Комиссарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, [chelovechkova\\_2011@mail.ru](mailto:chelovechkova_2011@mail.ru)

<sup>2</sup>Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева - филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, [ir.komissarova@mail.ru](mailto:ir.komissarova@mail.ru)

*Аннотация. Правильное установление и распределение в вегетационный период количества оросительной воды (число, нормы и сроки полива), обеспечивающего оптимальный для данной культуры водный режим корнеобитаемого слоя почвы при данных конкретных природных и агротехнических условиях обеспечивает получение высоких урожаев. В статье рассматривается расчет поливных норм с помощью почвенно-гидрологических констант, которые определяются программно-аппаратными методами.*

*Ключевые слова: основная гидрофизическая характеристика, гранулометрический состав, плотность, пористость, орошение, норма полива, моделирование.*

Одной из основных проблем в структуре сельского хозяйства является сохранение почвы, улучшение ее режима и свойств. Многофакторное воздействие оказывает на почву процесс орошения. При правильной организации данного процесса улучшаются воздушный и тепловой режимы почвы, экологические условия местообитания травянистой, древесной растительностей, повышается урожайность сельскохозяйственных культур [1]. С целью улучшения снабжения корней растений влагой, а также питательными веществами, проводят мелиоративные мероприятия, в частности орошение, которое позволяет снижать температуру приземного слоя воздуха и увеличивать его влажность. Вода, оказывая глубокое воздействие на почвообразовательный процесс, может вызывать существенные изменения физического состояния почвы, солевого режима, тепловых свойств и воздушного режима, химических и микробиологических процессов, темпа накопления и разложения органического вещества почвы [2]. При поверхностном орошении и дождевании применяют периодическую подачу воды отдельными поливами. Здесь используется свойство почвы (ее влагоемкость) удерживать воду и затем постепенно отдавать ее растениям. При таких поливах влажность

почвы в течение вегетации не остается постоянной, а изменяется в допустимых пределах. Поэтому необходимо знать, когда начинать полив и сколько давать воды при каждом поливе. Поливная норма зависит от свойств и строения почвы в зоне аэрации, расчетной глубины увлажнения (мощности корневой системы), допустимых пределов изменения влажности почвы. Ее определяют как разность влагозапасов максимального после полива и минимального перед поливом [3].

Территория исследования в рамках нашей работы находится в Кетовском районе Курганской области. Она расположена в лесостепной почвенно-климатической зоне, для которой характерен континентальный климат с холодной малоснежной зимой и тёплым сухим летом. Особенность этого климата – недостаточное увлажнение с периодически повторяющимися засухами. Но значительная заселённость территории, множество крупных и небольших озёр и болот способствуют замедленному испарению влаги, что создаёт нормальные условия для роста и развития растений [4]. Объектом исследований стал чернозем выщелоченный слабогумусированный среднемошный легкосуглинистый. Цель исследований – изучение и анализ основной гидрофизической характеристики (ОГХ), которая позволяет количественно характеризовать водоудерживающую способность почв [5].

При построении графиков (рисунок 1 и 2) ОГХ использовались основные физические свойства почвы (гранулометрический состав, плотность, пористость), представленные в таблице 1. Для снижения трудоемкости построения кривой водоудержания и увеличении наглядности проводимых расчётов используются программно-аппаратные методики, разработанные авторами [6, 7].

Таблица 1. Гранулометрический состав (%) и физические свойства чернозема выщелоченного легкосуглинистого сортоиспытательного участка

Год исследования	Глубина, см	1-0,25, %	0,25-0,05, %	0,05-0,01, %	0,01-0,005, %	0,005-0,001, %	<0,001, %	<0,01, %	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	Общая пористость, %
2012	0-30	6,23	66,91	4,95	3,81	4,53	13,87	21,95	1,22	53,09
2020	0-30	5,86	61,96	5,30	3,76	7,16	15,96	26,88	1,32	44,53

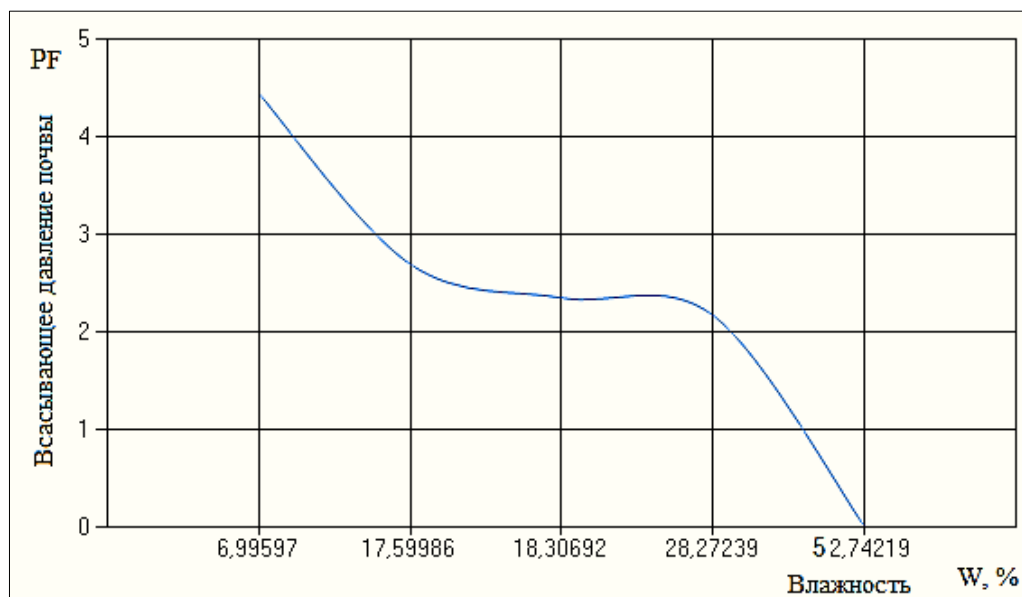


Рисунок 1. Основная гидрофизическая характеристика чернозема выщелоченного сортоиспытательного участка (горизонт А, 2012 г.).

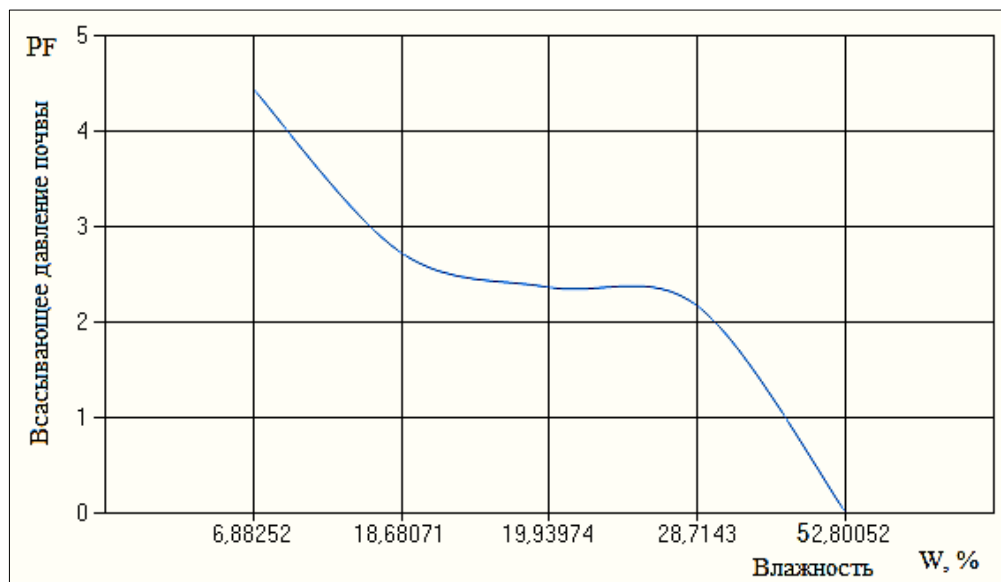


Рисунок 2. Основная гидрофизическая характеристика чернозема выщелоченного сортоиспытательного участка (горизонт А, 2020 г.).

По построенным графикам основной гидрофизической характеристики почв были рассчитаны почвенно-гидрологические константы исследуемого участка (табл. 2).

Таблица 2. Почвенно-гидрологические константы чернозема выщелоченного сортоиспытательного участка

Год исследования	Глубина, см	Почвенно-гидрологические константы (%)					Пористость, %	Запас высокопродуктивной влаги, %	Запас малопродуктивной влаги, %
		МГ	ВЗ	ММВ	НВ	ПВ			
2012	0-30	6,99	17,60	18,31	28,27	52,74	53,09	9,96	0,71
2020	0-30	6,88	18,68	19,94	28,71	52,80	44,53	8,77	1,26

За счет орошения исследуемого участка идет передвижение мелких частиц вниз по профилю. Следствием этого является увеличение мелкой пыли с глубиной. На поверхности больше песчаных частиц. В результате способность удерживать влагу снижается. Уменьшается запас подвижной влаги, увеличиваются запасы малопродуктивной влаги.

Проведенные исследования позволяют определить сроки и нормы полива только лишь, зная влажность почвы в данный момент времени. Для определения нормы полива достаточно воспользоваться формулой:

$$НП = (НВ - W) \times h \times d_v,$$

- где НП – норма полива, м<sup>3</sup>/га;  
 НВ – наименьшая влагоемкость почвы, %;  
 W – влажность почвы в данный момент, %;  
 h – мощность слоя, см;  
 d<sub>v</sub> – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

Сроки полива должны обеспечить оптимальный водный режим почвы для каждой культуры в конкретных условиях их выращивания. Выращивание любых овощных культур требует создания определенного уровня влажности, который зависит от частоты и объемов полива растений. Потребность растений во влаге изменяется не только от климатических и почвенных условий, но и от периодов и фаз развития.

В 2012 году НВ участка составляла 28,27%, а в 2020 году НВ участка составила 28,71%. Следовательно, при влажности почвы, определяемой в данный момент, соответствующей значению меньше 28%, культуры будут нуждаться в поливе. Если влажность будет более 28%,



то необходимость в поливе отсутствует. При значении влажности почвы 10,05% проведем расчет НП.

$$\text{НП}(2012) = (28,27\% - 10,05\%) \times 30 \text{ см} \times 1,22 \text{ г/см}^3 = 666,85 \text{ м}^3/\text{га},$$

$$\text{НП}(2020) = (28,71\% - 10,05\%) \times 30 \text{ см} \times 1,32 \text{ г/см}^3 = 738,94 \text{ м}^3/\text{га}$$

Значение средней поливной нормы на участке увеличилось, поскольку запас подвижной влаги уменьшается.

Проведение сельскохозяйственных мелиораций требует больших затрат труда и средств, особенно если идет речь о бессистемном поливе. Проведенные исследования позволяют решить данные проблемы путем использования лишь почвенно-гидрологических констант, которые выступают основой для дальнейшей разработки определения норм и сроков полива овощных культур. Использование методики определения оптимальных норм и сроков полива овощных культур позволит исключить бессистемный подход к поливу и значительно сэкономить денежные и трудовые ресурсы потребителя.

### Литература

1. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. Москва: Агроконсалт, 2001. 392 с.
2. Микайылов Ф.Д. Моделирование некоторых почвенных процессов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 7(117). С. 59–64.
3. Сурикова Т.И. Мелиорация, рекультивация и охрана земель. Москва: Агропримиздат, 2011. 256 с.
4. Егоров В.П., Кривонос Л.А. Почвы Курганской области. Курган: Изд-во Зауралье, 1995. 174 с.
5. Человечкова А. В. Использование гидрофизических свойств для характеристики почв Курганской области: автореф. дис. ...канд. б. наук: 03.02.13. Курган, 2022. 23 с.
6. Chelovechkova A. V., Komissarova I.V., Eremin D. I. Forecasting Water Saturation of Fill Grounds in Urban Infrastructure Conditions by Mathematical Modeling Based on the Main Hydrophysical Characteristic // Journal of Environmental Management and Tourism. 2018. Т. 9. Vol. 3(27). P. 485–490. DOI: 10.14505/jemt.v9.3(27).08
7. Chelovechkova A. V., Komissarova I.V., Eremin D. I. Using Basic Hydrophysical Characteristics of Soils in Calculating Capacity of Water-Retaining Fertile Layer in Recultivation of Dumps of Mining and oil Industry // Earth and Environmental Science. LOP Conference Series. Saint-Petersburg Mining University. 2018. Том Volume 194, Issue 9. 092004. DOI: 10.1088/1755-1315/194/9/092004

### MODELING OF WATER PHYSICAL PROPERTIES USING DIGITAL TECHNOLOGIES

A.V. Chelovechkova<sup>1</sup>, I.V. Komissarova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kurgan State University, Kurgan, chelovechkova\_2011@mail.ru

<sup>2</sup>Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev – branch of the Kurgan State University, Kurgan, ir.komissarova@mail.ru

*Summary.* The correct establishment and distribution during the growing season of the amount of irrigation water (number, norms and terms of irrigation), which ensures the optimal water regime of the root-inhabited soil layer for a given crop under given specific natural and agrotechnical conditions, ensures high yields. The article discusses the calculation of irrigation rates using soil-hydrological constants, which are determined by software and hardware methods.

*Keywords:* main hydrophysical characteristic, granulometric composition, density, porosity, irrigation, irrigation rate, modeling.

УДК 631.41

## О ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

З.С. Чурагулова

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, [lija1968@mail.ru](mailto:lija1968@mail.ru)

***Аннотация.** Под лесонасаждениями распространены разнообразные почвы. Под влиянием техногенно-антропогенного натиска и жестких меняющихся климатических условий происходят деградационные процессы в почвах. Нарушается структурно-агрегатный состав, происходит резкое уменьшение содержания гумуса. Иногда полностью исчезает в них плодородный слой. В результате ухудшаются условия для возобновления леса, роста и формирования высокопроизводительного древостоя как в естественных, так и в искусственных условиях, культурах.*

***Ключевые слова:** почва, лесонасаждения, техногенно-антропогенное воздействие, деградация, гумус, возобновление леса, плодородный слой*

**Введение.** Территория Республики Башкортостан расположена на стыке Европы и Азии, занимает южную часть Уральских гор и определяется координатами 51°31' и 56°34' северной широты и 53°10' и 60°00' восточной долготы. Они являются рубежом между Европой и Азией, границей между двумя физико-географическими областями - Русской равниной и Западно-Сибирской низменностью. Здесь сосредоточено разнообразное природное богатство. Не только удивительные по своей красоте ландшафты, но и сырьевая кладовая. Эта земля издавна привлекала внимание не только ученых исследователей: географов, почвоведов, геологов, геоботаников, лесоводов, но и разработчиков недр и лесопромышленников. Общая площадь лесов республики составляет 6,3 млн га. Они занимают 38% её территории. Распределение лесов на территории неравномерное: в горно-лесной зоне лесистость достигает 80–90%. В Предуралье – от 6 до 30%, в Зауралье - менее 10%. В лесах Башкортостана произрастает свыше 20 лесообразующих пород. Они произрастают на различных типах, подтипах и разновидностях почв, сформировавшихся в различных почвенно-климатических условиях. Деградационные процессы происходят как в лесном фонде, так и на землях с/х использования. Леса передаются разным арендаторам на различные сроки пользования для строительных и ремонтных работ, а также для добычи и транспортировки полезных ископаемых и строительных материалов. Всё это связано с нарушением почвенного покрова и загрязнением окружающей среды. По данным ученых площадь с нарушенным почвенным покровом занимает более 3 тыс. га [1, 2, 3, 4]. Имеются данные изменения почв лесной экосистемы под влиянием антропогенных нагрузок [5, 6]. Разработаны нормативные основы лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель [7, 8, 9, 10].

В таких условиях, многосторонние исследования, направленные на объективную оценку лесов и почвенного покрова нарушенных земель, определение направления рекультивационных работ являются весьма актуальными.

Почвы и лесная растительность в настоящее время сильно подвержены не только антропогенно-техногенному воздействию, но и стихийным бедствиям, лесным пожарам, эрозионным процессам, ураганам, наводнениям и др.

**Объекты исследований.** Объектом исследований явились почвы и равнинные горные производные леса Республики Башкортостан, расположенные на Южном Урале.

**Методы исследований.** Работы были выполнены с использованием методических указаний, принятых в почвоведении и лесоведении, наставлений, ГОСТов, а также современной классификацией [11]. Физико-химические анализы проводились с использованием классических методов [12]. Полученные данные в пробных площадях обработаны вариационно-статистическими методами. Анализы проведены Почвенно-химической лабораторией ФБУ «Рослесозащита» - «Центр защиты леса РБ».

Исследования воздействия лесохозяйственной деятельности проводились на опытном участке, отведенном в 1982 г. в квартале 8 Тюйского лесничества Аскинского лесхоза заложенном кандидатом сельскохозяйственных наук Р.С. Чурагуловым,

## Обсуждение результатов.

**Влияние от лесохозяйственной деятельности.** Участок по рельефу ровный, расположен на очень пологом склоне восточной экспозиции. Тип леса – березняк снытьевый в елово-пихтовом насаждении, средний состав – 6Б3Ос1Е1П+Лп, средняя полнота – 1,18, VI класс возраста, I бонитет, средний запас – 330 м<sup>3</sup>/га. Почвы - серые текстурно-дифференцированные с хорошо развитым почвенным профилем. Формула генетических горизонтов представлена следующей формулой: O- AY AEL- BEL- BT-С. Мощность гумусового горизонта колеблется и достигает до 30 см. Гранулометрический состав почвы – глинистый по всему профилю. Содержание частиц по размерам фракций (менее 0,01 мм) в горизонте AY (2–19 см) составляет 59,8%, а в нижнем слое AEL (19–29 см) – 62,4%.

Таблица 1. Коэффициенты структурности и водопрочности агрегатов (1991 год)

Глубина Горизонта, см	Фракции 10 и >0.25	Коэффициент структурности	Сухое просеивание		Мокрое просеивание		Коэффициент водопрочности агрегатов	
			>1.0	>0.25	>1.0	>0.25	>1.0	>0.25
Контроль.								
AY 2-20	82,7	4,7	56,4	79,2	75,2	90,1	0,75	0,88
AEL 20-30	73,8	2,8	33,2	61,3	79,9	90,3	0,42	0,68
BEL 30-40	67,8	2,1	31,7	57,9	89,5	95	0,41	0,61
Пасека								
AY 2-20	69,0	2,2	45,7	75,2	79,4	91,5	0,60	0,80
AEL 20-30	67,9	2,1	36,4	66,6	77,9	88,1	0,48	0,75
BEL 30-40	50,5	1,0	32,0	60,0	91,0	95,5	0,35	0,62
Пасечный волок								
AY 2-20	68,2	2,1	37,1	68,3	81,7	94,0	0,45	0,73
AEL 20-30	57,2	1,3	31,6	64,4	84,3	93,4	0,38	0,68
BEL 30-40	44,2	0,8	27,8	53,5	88,8	94,4	0,31	0,57

Таблица 2. Коэффициенты структурности и водопрочности агрегатов (2002 год)

Глубина Горизонта, см	Фракции 10 и >0.25	Коэффициент структурности	Сухое просеивание		Мокрое просеивание		Коэффициент водопрочности агрегатов	
			>1.0	>0.25	>1.0	>0.25	>1.0	>0.25
Контроль.								
AY 2-19	86,1	6,2	75,1	88,2	59,5	82,3	0,79	0,93
AEL 19-29	80,4	4,1	81,0	93,2	47,3	75,8	0,58	0,81
BEL 31-41	74,7	3,0	79,9	90,3	30,2	66,5	0,38	0,74
Пасека								
AY 2-19	79,1	3,8	79,9	90,3	30,2	66,5	0,6	0,81
AEL 19-29	64,0	1,7	77,3	90,2	46,2	72,8	0,74	0,92
BEL 31-41	58,0	1,3	77,2	89,0	57,0	81,5	0,50	0,85
Пасечный волок								
AY 2-21	77,0	3,4	92,0	96	46,2	81,6	0,55	0,64
AEL 22-32	69,0	2,2	84,0	93,0	46,0	59,6	0,61	0,74
BEL 35-45	55,0	1,2	83,0	98,0	50,6	72,5	0,40	0,74

Установлено, что при проведении лесохозяйственных работ (рубки ухода, рубки перестройки и др.) происходят изменения структурно агрегатного состояния и водно-физических свойств почв (табл. 1, 2):. Видно, что верхний гумусированный слой почвы характеризуется хорошим структурным состоянием на пасеке по сравнению с волоком.

Обобщающим показателем структурного состояния почв является коэффициент структурности (табл. 1, 2): чем он больше, тем лучше структура. Наблюдается постепенное уменьшение коэффициента структурности вниз по профилю.

Сравнение показателей структурности и водопрочности агрегатов за 10 лет показал, что процесс естественного восстановления структурных отдельностей почв на волоках на данном опытном участке продолжается. Это было отмечено и в предыдущих исследованиях. В результате интенсивного использования лесов, почвы подвергаются технологической деградации и утрате комковато зернистой структуры, переуплотнению, что приводит к ухудшению водно-физических свойств, воздушного и теплового режима. В результате ухудшаются условия для возобновления леса, роста и формирования высокопроизводительного древостоя.

**Вред от выпаса скота в лесу.** Это форма воздействия очень широко распространена. Выпас причиняет лесу известный вред. Прежде всего, там, где пасут скот сильно уплотняется почва. Нарушается естественное состояние поверхности почвы, что ведет к появлению ложбин, промоин, а это зачаток будущих оврагов, представляющих большую опасность. В хвойных лесах пастбищная нагрузка должна быть меньше, чем в лиственных. Лиственные леса более устойчивы, они меньше страдают от пастыбы. В юном лесу, где формируется будущий лес, выпас скота абсолютно недопустим. Здесь животные при пастыбе сильно обгрызают крохотные деревца, нанося им тяжелые повреждения, такие изуродованные растения в массе погибают. Из них не может сформироваться взрослый лес.

Осенние обильные дожди переувлажняют почвенный покров. Почвы подвергаются сильному уплотнению, вследствие чего лесные культуры начинают ослабевать и подвергаются гибели. Эрозия почв пастбищная – разрушение дернины и поверхностного слоя почвы в результате чрезмерного нерегулируемого выпаса скота.

**Влияние лесных пожаров на свойства почвы.** Важным фактором, нарушающим ход естественных процессов в лесных почвах, являются лесные пожары, последствия которых трудно спрогнозировать. Природный пожар – это наиболее опасное экзогенное нарушение в естественных экосистемах. Пожары наносят колоссальный ущерб растительности, почве, экономике. Согласно статистике, на естественные пожары приходится около 10% площади, а около 90% - на антропогенные пожары, возникающие по вине человечества. Они приводят к перестройке почвенного микробного сообщества, способствуют существенным изменениям биологической активности почв. При сжигании порубочных остатков, огневая очистка вызывает повышение содержания в почве нитратного азота, приводит к изменению кислотности почв. Происходит частичная стерилизация почвы, а раскорчевка и трелевка леса нарушает морфологические свойства почв. В результате лесных пожаров, стихийных бедствий, лесные массивы республики подверглись уничтожению и деградировались. Для эффективного лесовосстановления этих площадей, требуется объективно оценить сложившуюся лесорастительную ситуацию.

**«Кислотные дожди» и свойства почвы и растительности.** В современных условиях повсеместно почвы и леса подвергаются воздействию промышленных выбросов, прилегающих к ним предприятий, выпадающих на леса в виде «кислотных дождей». Снег, выпадающий на леса Республики, характеризуется высоким содержанием минерального азота. Азот является важным элементом минерального питания растений. Однако, значительное содержание азота в атмосфере и его выпадение в виде осадков ведет к заболеванию лесонасаждений.

В результате длительного загрязнения атмосферы кислотными соединениями и попадания их на почву наблюдается накопление серы, а также минерального азота и увеличение гидролитической кислотности почвы. При этом некоторые полезные для древесных растений элементы вымываются, а другие, токсичные, наоборот, накапливаются.

Анализы, проведенные почвенно-химической лабораторией, показали, что в пробах снега, например, отобранного в квартале 174, выделе 9 Сарвинского участкового лесничества рН равна 4,58-среднеподкисленная. Содержание нитратных форм азота (N-NO<sub>3</sub>) – 39,69 кг/га) – превышение предельно допустимых норм по нитратному азоту – 2 раза. Вместе с атмосферными осадками почвы и леса получают большое количество ионов гидрокарбонатов



(НСОЗ) – 177,55 хлоридов (Cl) – 175,03 кг/га - концентрация вредных кислотообразующих веществ в снеговой воде значительно превышает предельно допустимые нормы.

**О деградации почв и почвенного покрова лесных ценозов** можно рассмотреть на примере содержания гумуса - основного показателя плодородия почв – почв лесных участков, переданных в аренду различным пользователям (табл. 3).

Оценка состояния, содержание гумуса определено в почвах, характеризующихся различным гранулометрическим составом в основном тяжелосуглинистым и глинистым.

Таблица 3. Среднее содержание гумуса в почвах и грунтах

№№	Объекты	Пользователи	Мощность слоя, см	Содержание гумуса, %		
				до освоения	после освоения	уменьшение
Башкирское Предуралье, равнинные лесные угодья Дерново-подзолистые легкосуглинистые						
1	Дюртюлинский лесхоз. Объекты лесного семеноводства (ОЛС)	Последствия смерчи 2007 г. «ЕГСК»	0–18	4,1	2,3	1,8
Башкирское Предуралье, холмисто-волнистые малолесные угодья. Серые, темно-серые лесные текстурно-дифференцированные тяжелосуглинистые						
2	Туймазинский лесхоз кв. №45, №34, №35, №52	ОА «Транснефть-Урал»	0–40	5,5	5,0	0,5
Башкирское Предуралье, холмисто-волнистые малолесные, сенокосные угодья. Черноземы оподзоленные глинисто-иллювиальные малогумусные глинистые						
3	Альшеевский лесхоз, кв. №73 вид.20	ОА «Транснефть-Урал»	0–40	6,1	5,9	0,2
Южно-Уральские горные лесные угодья. Горные темно-серые щебнистые тяжелосуглинистые						
4	Зилаирский лесхоз, кв. №5,14-16,25,26	Линейные объекты ОАО «Уралсиб - нефтепровод»	0–45	4,6	4,0	0,6
Южно-Уральские горные лесные угодья Горные луговые черноземовидные глинистые						
5	Кугарчинское лесхоз, кв. №50, кв. №51, кв. №52	ОАО «Уралсиб-нефтепровод»	0–40	4,9	2,6	2,3
Южно-Уральские горные лесные угодья Литоземы карбонатные неполноразвитые тяжелосуглинистые						
6	Инзерский лесхоз кв. №.7 вид.5,9,18, 19 ,23,37	Карьер известняковый Александровский	0–18	4,3	0,7	3,5

Установлено уменьшение содержания гумуса в зависимости от пользователя, и проведенных мероприятий после освоения. Нарушается или полностью исчезает в них плодородный слой, происходит резкое уменьшение содержания гумуса.

**Выводы.** При лесозаготовительных и лесохозяйственных работах в результате интенсивного использования, почвы подвергаются технологической деградации и утрате комковато зернистой структуры, переуплотнению, что приводит к ухудшению водно-физических свойств воздушного и теплового режима, то есть ухудшаются условия для роста и возобновления леса. На линейных объектах, карьерах, где проводятся работы, связанные с нарушением почвенного покрова установлено резкое снижение содержания гумуса, увеличение загрязняющих окружающей среды веществ в результате выпадения подкисленных осадков. Деградации подвержены лесные экосистемы под воздействием нерегулируемого выпаса скота и лесных пожаров и др.

На этих площадях посадка леса или реконструкция должны производиться преимущественно крупномерным посадочным материалом с закрытой корневой системой, которые хорошо приживаются и выполняют функции почвообразователей. При

лесозаготовительных и лесохозяйственных работах необходимо выбирать или разработать рациональные щадящие методы разработки лесосек с применением техники, оказывающей минимальное отрицательное воздействие на почвы, которые позволяют сохранить подрост и подлесок в целях улучшения гидрологического режима лесных почв

#### Литература

1. Андроханов, В.А. Практическое решение проблемы рекультивации нарушенных земель на основе инновационного процесса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 12. С. 258–264.
2. Габбасова И.М., Хазиев Ф.Х., Сулейманов Р.Р. Оценка степени восстановленности нефтезагрязненных почв с давним сроком загрязнения после биологической рекультивации // Почвоведение. 2002. №10. С. 1116–1129.
3. Мукатанов А.Х., Мулдашев А.А. О пирогенной и техногенной эволюции почв Южного Урала. Уфа // Башкирский энциклопедический вестник. 1998. №2. С. 11–17
4. Чурагулов Р.С. Экология лесов Южного Урала. М., Полтекс, 1999. 433 с.
5. Шакунас З., Бистрицкас В. Изменение водно-физических свойств почвы на волоке при разработке лесосек агрегатными машинами. Лесное хозяйство, 1985. №2. С. 33–35.
6. Ишбулатов М.Г. Изменение свойств почв лесной экосистемы под влиянием антропогенных нагрузок / М. Г. Ишбулатов, З. С. Чурагулова, Л. Р. Юмагузина // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. Том 3. №1(5), 2011. С. 1200–1203.
7. Побединский А.В., Желдак В.И. Особенности рубок ухода в лесах с ограниченным режимом лесопользования // Лесное хозяйство. 1989. № 9. С. 24.
8. Капелькина, Л. П. Нормативные основы лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 199. С. 91–99.
9. Чурагулова, З. С. Почвоведение: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 284 с.
10. Трофимов, С.С. Биологическая рекультивация земель в Сибири и на Урале (рекомендации и экспериментальные схемы) [Текст] / сост. и отв. ред. С.С. Трофимов; Акад. наук СССР, Сибир. Отд-е, Ин-т почвовед-я и агрохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 112 с.
11. Классификация и диагностика почв России/ Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
12. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

#### ABOUT SOIL DEGRADATION OF FOREST CENOSIS IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Z.S. Churagulova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bashkir State Agrarian University, Ufa, [lija1968@mail.ru](mailto:lija1968@mail.ru)

*Summary. A variety of soils are common under forest plantations. Under the influence of technogenic and anthropogenic onslaught and harsh changing climatic conditions, degradation processes occur in soils. The structural and aggregate composition is violated, there is a sharp decrease in the humus content. Sometimes the fertile layer disappears completely in them. As a result, the conditions for forest renewal, growth and formation of high-performance forest stands in both natural and artificial conditions are deteriorating.*

*Keywords: soils, forest plantations, technogenic and anthropogenic onslaught, degradation processes, humus, forest renewal, fertile layer.*

## СЕКЦИЯ 4. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 504.73; 631.618

### ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ЗАЕЛЬЦОВСКОГО БОРА В Г. НОВОСИБИРСК

В.А. Алемасова<sup>1</sup>, А.Д. Ахметова<sup>2</sup>, В.Г. Двуреченский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, [valeriya.alemasova@mail.ru](mailto:valeriya.alemasova@mail.ru)

<sup>2</sup>Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, [anastasiaahmetova131@gmail.com](mailto:anastasiaahmetova131@gmail.com)

<sup>3</sup>Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, [dvu-vadim@mail.ru](mailto:dvu-vadim@mail.ru)

***Аннотация.** Представлен результат почвенно-экологического мониторинга Заельцовского бора города Новосибирска, являющийся остатком реликтового ленточного соснового бора. Установлен удовлетворительный почвенно-экологический статус территорий, имеющий тенденцию к ухудшению. Проведен сравнительно-временной анализ биологических и физико-химических свойств почв. Показано, что в течение 7 лет с момента начала исследований лесные экосистемы продолжают деградировать под воздействием неблагоприятных факторов, связанных с урбанизацией.*

***Ключевые слова:** лесные массивы, почвы; растительный покров, почвенно-экологический статус, урбанизация, дегрессия ландшафта.*

**Введение.** Установление почвенно-экологического статуса позволяет дать качественную оценку того, насколько сильно человеческая деятельность оказывает воздействие на лесные массивы, расположенные в черте города. Проведение мониторинга с четкой периодичностью дает представление о скорости деградации экосистем, подвергающихся урбанизации. Данная оценка служит для корректировки выбранного направления использования исследуемых территорий, разработки нормативно-правовых актов, регулирующих отношения в пределах лесопарковых зон, и, наконец, необходима для принятия мер по сохранению и восстановлению биоразнообразия. Город Новосибирск растет и развивается, появляются новые жилые массивы и микрорайоны, которые стараются возводить рядом или в пределах лесных массивов. В то же время про окружающую среду мало кто задумывается, а про хрупкость и уникальность остатков естественных ландшафтов в черте города и за его границами знает только узкий круг специалистов. Тем не менее, уровень антропогенного воздействия на ландшафты постоянно возрастает. В связи с этим, актуальность мониторинга и комплексной оценки лесных экосистем выходит на передний план охраны окружающей городской среды.

Урбанизация приводит к изменению ведущих процессов в почвах, таких как образование и накопление органического вещества, его минерализация и гумификация. Подобные изменения указывают на нарушение физических, биохимических, микробиологических и других процессов в почвах, что ведет и к физиологическим и морфологическим дисфункциям в растениях, с последующим исчезновением видов, уменьшением общей биомассы и генетического разнообразия, замещением аборигенных видов инвазивными и т.д. [1, 5, 6].

Цель работы: установить почвенно-экологический статус лесных массивов мегаполиса.

Задачи исследования: 1. Установить почвенно-экологический статус деградирующего ландшафта. 2. Определить тренды состояния экосистемы.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования послужил Заельцовский парк (часть Заельцовского бора) города Новосибирска, представляющий собой остатки реликтового ленточного бора, тянувшегося вдоль берегов реки Обь. В черте города (с севера на юг) – это Заельцовский парк (часть Заельцовского бора).

Ленточные боры в пределах Новосибирской области в 1954 году подверглись массовому уничтожению, в связи с перекрытием русла реки Обь и строительством ГЭС [2]. В результате создания Новосибирского водохранилища было затоплено 94,8 тыс. га земель, в том числе 28,4

тыс. га сельхозугодий и 30,5 тыс. га леса. Удельный вес затопляемых площадей в земельном фонде районов, затронутых водохранилищем, составляет 5,9% [4].

Исследования проводились в 2015 и 2022 годах в Заельцовском бору – природном лесном массиве, расположенном на территории двух муниципальных образований – г. Новосибирска и Новосибирского сельского района. Площадь бора – 5736,2 га.

Фоновыми почвами являются дерново-подзолистые почвы, формирующиеся на песках речных отложений, либо супесях с прослойками суглинки. Древесная растительность представлена, в основном, сосной обыкновенной, с присутствующими в составе древостоя осиной, березой. Кустарники представлены кленом, рябиной, черемухой, малиной. Травянистая растительность лесная. Присутствует фрагментарно моховой покров.

В июле 2015 г. в пределах экосистемы, представляющий собой сосновый бор, было отобрано 216 почвенных образцов (в пределах площадок различной степени дигрессии). В июле 2022 г. отобрано 95 образцов с проблемных площадок и ненарушенных участков. Определены стадии дигрессии растительного покрова [3]. Первая группа – ненарушенные местообитания (НМ). Ненарушенные местообитания составляют основу экосистемы (около 70% от всей территории). На данных участках подрост, подлесок, напочвенный покров не нарушены и являются характерными для данного типа леса. Проективное покрытие мхов составляет 35–38%, травостоя из лесных видов – 25–28%. Вторая группа местообитаний, с начальной стадией дигрессии (Д<sub>1</sub>) (примерно 15% от всей территории), представлена лесным ландшафтом с незначительными изменениями. Проективное покрытие мохового покрова составляет около 18%, травяной покров – до 45%. В травяном покрове определяются луговые травы. В подросте и подлеске присутствуют поврежденные, больные и усыхающие экземпляры. В древостое больные деревья составляют около 15% от их общего количества. Третья группа местообитаний со средней стадией дигрессии (Д<sub>2</sub>) (около 10% от всей территории) характеризуется изменением почвенного покрова, на котором формируются единичные лесные травянистые растения с увеличением доли луговых видов. Больных деревьев – до 25%. В четвертую группу (Д<sub>3</sub>) (не превышает 5% от всей территории) вошли нарушенные площадки, на которых растительность представлена в основном луговыми видами трав. Мхов нет. Проективное покрытие травяного покрова составляет свыше 80%. Лес выпал или сведен, остались лишь небольшие группы больных деревьев. Подрост и подлесок отсутствуют. На всех участках присутствуют следы деятельности человека – от несанкционированных свалок, до объектов малоэтажной застройки.

Отбор и подготовка проб к исследованию осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [10]. При взятии проб избегались места, такие как полосы около дорог, рытвины, канавы, кладбище и пр. Определение почвенных свойств проводилось согласно ГОСТ [7,8,11].

Почвенно-экологический статус Заельцовского бора можно считать удовлетворительным с тенденцией к ухудшению. Для улучшения ситуации необходимы меры не только реабилитационно-рекультивационные, но и нормативные. К счастью, Постановлением правительства Новосибирской области в 2021 г. была создана особо охраняемая природная территория регионального значения – лесной парк «Заельцовский бор» [9]. В данном нормативно-правовом акте определены границы охраняемой территории, указан запрет на многоэтажное строительство, которое массово осуществлялась до 2021 года.

### Выводы

1. Почвенно-экологический статус Заельцовского бора г. Новосибирска считается удовлетворительным с перспективой к понижению в сторону неудовлетворительного.

2. Экосистема, состоящая из остатков реликтового ленточного бора, под воздействием постоянно возрастающих негативных процессов урбанизации (строительство жилых массивов рядом с бором или внутри бора, несанкционированные свалки, воздействие промышленных предприятий и т.д.), деградирует с довольно высокой скоростью, что может привести к ее полному уничтожению.

### Литература

1. Благодатнова А.Г. Экологическая оценка почвенного покрова вдоль автомагистралей (город Новосибирск) // Безопасность в техносфере. – 2015. – Т.4. – №6. – С. 3-11.



2. Дворецкая М.И., Жданова А.П., Лушников О.Г., Слива И.В. Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2018. – 224 с.
3. Двуреченский В.Г., Благодатнова А.Г. Мониторинг экологического состояния рекреационных объектов города Новосибирска // Безопасность жизнедеятельности, 2018. – № 8 (212). – С. 58-63.
4. Первая на Оби. 55 лет Новосибирской ГЭС. – Новосибирск: АНО «Масс-Медиа-Центр», 2012. – 200 с.
5. Румянцев И.В., Дунаев А.М., Сивухин А.Н. и др. Эколого-гигиеническая оценка качества почв Ивановской области // Безопасность в техносфере. – 2017. – Т. 6. – С. 31-37.
6. Степанова Л.П. Физико-химическая оценка восстановления плодородия нарушенных серых лесных почв при их рекультивации / А.В. Писарева, Л.П. Степанова, Е.В. Яковлева // Безопасность в техносфере. – 2015. – Т. 4. – №2. – С. 27-32.
7. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений [Текст]: Государственный стандарт Р ИСО 22030-2009 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/search/> (дата обращения 08.07.2023).
8. Качество почвы. Определение массовой доли сухого вещества и массового отношения влаги гравитическим методом [Текст]: ГОСТ Р ИС О 11465-2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/51862/> (дата обращения 08.07.2023).
9. О необходимости создания особо охраняемой территории регионального значения – лесного парка «Заельцовский бор» Новосибирской области [Текст]: Постановление правительства Новосибирской области от 16.08.2021 №320-п [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/> (дата обращения 08.07.2023).
10. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Текст]: Межгосударственный стандарт 17.4.3.01-17 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://HYPERLINK> "http://docs.cntd.ru/search/"fsvps (дата обращения 08.07.2023).
11. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки [Текст]: Государственный стандарт 26423-85. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/search/> (дата обращения 08.07.2023).

## SOIL-ECOLOGICAL STATUS OF THE ZAELTSOVSKY FOREST IN THE CITY OF NOVOSIBIRSK

V.A. Alemasova<sup>1</sup>, A. D. Akhmetova<sup>2</sup>, V.G. Dvurechensky<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State pedagogical university, Novosibirsk, [valeriya.alemasova@mail.ru](mailto:valeriya.alemasova@mail.ru)

<sup>2</sup>Novosibirsk State pedagogical university, Novosibirsk, [anastasiaahmetova131@gmail.com](mailto:anastasiaahmetova131@gmail.com)

<sup>3</sup>Novosibirsk State pedagogical university, Novosibirsk, [dvu-vadim@mail.ru](mailto:dvu-vadim@mail.ru)

*Summary.* The result of a 7-year soil-ecological monitoring of large forest tracts of the city of Novosibirsk, which are the remains of a relic ribbon pine forest, is presented. A satisfactory soil-ecological status of the territories has been established, which tends to deteriorate. A comparative time analysis of the biological and physicochemical properties of soils has been carried out. It is shown that after 7 years since the start of research, forest ecosystems continue to degrade under the influence of adverse factors associated with urbanization.

*Keywords:* forests, soils; vegetation cover, soil-ecological status, urbanization, landscape degradation.

УДК 631.44

## МЕРЫ ПО БОРЬБЕ С АНТРОПОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИЕЙ ПОЧВ АДЖИНОХУРСКОГО НИЗКОГОРЬЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Л.А. Ахмедова

Мингячевирский Государственный Университет, Азербайджан, lala.ahmadova1@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассказывается о результатах антропогенного воздействия на разные типы почв Ачинохурской низменности и мерах борьбы с ним. В результате проведенных исследований было определено существование деградации почв слабой, средней, сильной и очень сильной степени. Сила деградации изменяется в зависимости от климата местности, наклона и крутизны склонов, типа почвы и степени ассимиляции. В соответствии с различными видами деградации, имевшими место на исследуемой территории, был предложен план технических, лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических мероприятий.

**Ключевые слова:** почв, антропогенной деградации, лесомелиорация, агротехника, гидротехника.

**Актуальность.** В последние годы неправильная хозяйственная деятельность людей вызвала резкое изменение почвенного покрова в экосистеме в аридных и полуаридных биоклиматических условиях. В результате почва потеряла свое плодородие и продуктивность. Так, в результате этих процессов 30% орошаемых земель, 47% посевов сорго и 73% пастбищ в мире подверглись различной степени деградации [1].

В результате быстрого расширения посевных площадей в Аджинохурской низменности, являющейся одним из основных аридных биоклиматических районов Азербайджана, в результате большой нагрузки зимних пастбищ почвенный покров подвергся антропогенному воздействию и потерял свое плодородие. В результате всего этого происходило уплотнение почвы, неоднократное засоление, дефляция, овражная эрозия, дождевая эрозия. На изучаемой территории интенсивный выпас скота укрепил почву и снизил ее плодородие. Поэтому в результате зимние пастбища подвергались большей эрозии и дефляции.

Вышеупомянутые причины также влияют на экономику страны. Таким образом, в стране с высокой плотностью населения и ограниченными земельными ресурсами эти процессы создают множество экономических, социальных и экологических проблем. Для преодоления этих проблем в качестве важных вопросов следует иметь в виду охрану почвенного покрова, повышение его плодородия, рациональное использование пастбищных угодий.

**Объекты и методы исследования.** Район исследований расположен на северо-западе Азербайджана. Район граничит с долиной Ганих-Эйричай на севере, хребтом Ахар-Бахар на юге, Республикой Грузия на западе и Турянчай на востоке. Средняя высота района колеблется от 100–200 м до 700–800 м. Район исследований окружен реками Ганых, Алижанчай, Айричай, Турянчай и их притоками [2].

Методом сравнения определяли изменение физико-химических свойств почв исследуемой территории. Результаты анализа почвенных исследований, проведенных до нас на территории, сравнивали с полученными нами результатами и определяли степень их изменения. При составлении карт использовались современные методы, в том числе ГИС-технологии. Лабораторные исследования проводили общепринятыми методами [3].

**Обсуждение результатов.** Почвы аридной зоны менее устойчивы к деградации, чем почвенные покровы других зон. В результате обработки сырых земель в засушливых районах в последние годы ускорился процесс эрозии и смыва почвы.

Эрозия почвы не заканчивается снижением урожайности. Это нарушает гидрологический режим и баланс местности, увеличивает повторяемость паводков. Основной причиной потери плодородных земель в республике, в том числе в районе исследований, является неэффективное использование земель под сельскохозяйственными угодьями.

Разные сельскохозяйственные угодья в районе исследования подверглись разной степени деградации под воздействием природных и антропогенных факторов. В зависимости от ситуации они делятся на слабую, умеренную, тяжелую и очень серьезную деградацию.

Большие площади земель считаются менее опасными, если они подвержены слабой и умеренной деградации. В результате применения комплексных мер контроля эти земли

быстро восстанавливаются и возвращаются в исходное состояние. Однако для почв очень опасно подвергаться серьезной и очень серьезной деградации по нескольким аспектам. Восстановить эти земли сложно и ресурсоемко.

Комплексные меры по борьбе с деградацией земель включают многократное засоление орошаемых земель, деградацию растительности лугов и пастбищ, водную и ветровую эрозию, проблемы антропогенной деградации.

Существует острая необходимость в осуществлении радикальных изменений для улучшения состояния пастбищ. Таким образом, экономически выгодно заменить существовавшее много лет экстенсивное животноводство интенсивным животноводством.

Отдыхающие пастбища и пастбища могут быть установлены на 1–3 года. Этот период связан со степенью деградации растительности. Одним из способов улучшения пастбищных угодий является создание лесных полос.

Для ослабления влияния дефляционных процессов на территорию района исследований необходимо учитывать направление ветра при устройстве полевых защитных лесных полос. Также среди агрономелиоративных мероприятий важное место занимают лесомелиоративные работы. Почвенно-климатические условия местности также должны учитываться при устройстве лесных полос. Одним из важных способов ослабления процессов дефляции на пастбищах и пастбищах является загрузка животных на единицу площади по норме и оставление пастбищ в покое.

Интенсивность промывки почвы зависит от экспозиции склона и типа почвы. Грунты с тяжелым механическим составом подвержены более интенсивному структурному обрушению, чем песчаные. Структурированные почвы более устойчивы к выщелачиванию, но пыльные неструктурированные почвы менее устойчивы, чем структурированные почвы.

Одним из важных направлений охраны земель является проведение комплексных мероприятий против линейной эрозии. Эта борьба связана с лесомелиорацией, гидромелиоративными мероприятиями и инженерно-строительными работами. Инженерные устройства эффективны в борьбе с эрозией в руслах рек. Комплексные меры борьбы с деградацией в районе исследования показаны в таблице ниже [2, 4, 5].

Таблица. Комплексные противозерозийные мероприятия

Лесомелиорация	Агротехника	Лугово-мелиоративный	Гидротехника
Лесополосы, посадка полевых защитных лесов. Посадка засухоустойчивых лесных полос на террасах. Озеленение рощ и оврагов (посадка травы, кустарников, деревьев), укрепление, террасирование и принятие других мер. Реализация методом капельного орошения.	Проведение вспашки с учетом наклона и направления склона; засыпка оврагов; предпочтение природно-хозяйственным отрядам; посадка многолетних травянистых растений; использовать землю на минимальном уровне в районах с большим уклоном	Улучшить естественные кормовые угодья; соблюдать норму выпаса скота; достижение улучшения кормовой базы. Следует ожидать норм искусственного орошения; следует применять прогрессивные методы орошения	Создание массивных (бетонных, железобетонных) водосборных сооружений, строительство железобетонных каналов и водопроводов с лесополосами. Строительство открытого и закрытого дренажа и коллекторов с бетонным покрытием; внедрение новой и современной системы орошения для надлежащего соблюдения норм орошения

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что на участке имели место слабые, средние, сильные и очень сильные деградационные процессы. В зависимости от вида деградации и природных условий местности разработан план лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических мероприятий.

## Литература

1. Гурбанов Э. А. Направленность изменений почв Кура-Аразской низменности под антропогенным воздействием и научные основы охраны. Автореферат. Баку 2018. 40 с.
2. Ахмедова Л.А. Потеря питательных веществ в почве в результате сельскохозяйственной деятельности (в пределах низких гор Аджинохурского массива) // Нахчыванский университет. Журнал научных работ №1. 2017. С.246–254.
3. Arinuşkin E.V. Аринушкина. Руководство по химическому анализу почв. Издательство Московского Университета. 1961. 491 с.
4. Алекперов К.А. Почвенно-эрозионное исследование в районе Турут-Сараджинской степи. Отчет почвенно-эрозионной станции. Баку, 1949, АН Азерб. ССР, 75 с.
5. Мамедов Г.Ш. Основы почвоведения и географии почв. Баку 2007. 383 с.

### MEASURES TO COMBAT ANTHROPOGENIC DEGRADATION OF SOILS OF THE AJINOHUR LOW MOUNTAINS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN

L.A. Ahmadova

Mingachevir State University, Azerbaijan, lala.ahmadova1@gmail.com

*Summary.* The article describes the results of anthropogenic impact on different types of soils of the Ajinohur lowland and measures to combat it. As a result of the research, it was determined that the types of degradation occur in the territory as weak, medium, strong and very strong. The strength of degradation varies depending on the climate of the area, the inclination and steepness of the slopes, the type of soil and the degree of assimilation. In accordance with the various types of degradation that took place in the study area, a plan of technical, forest reclamation, agrotechnical and hydrotechnical measures was proposed.

*Keywords:* soils, anthropogenic degradation, forest reclamation, agricultural engineering, hydraulic engineering.

УДК 631.48

### НАЧАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ В ШЛАМОВЫХ АМБАРАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.Г. Бакина, М.В. Чугунова, А.О. Герасимов, Л.П. Капелькина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский  
Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург,  
bakinalg@mail.ru

*Аннотация.* Изучены инициальные почвы, образующиеся в шламовых амбарах на буровых площадках Западной Сибири, в возрасте от 4 до 15 лет. В большинстве случаев буровые шламы характеризовались благоприятными химическими свойствами, способствующими росту растительности. Для формирующихся почв были свойственны высокие уровни почвенного «дыхания» и средорегулирующей активности почвенных микроорганизмов, активные процессы трансформации органических остатков, гумусообразования и оструктуривания.

*Ключевые слова:* буровой шлам, почвообразующая порода, шламовый амбар, эмбриозем, гумусообразование, микробиологическая активность, оструктуривание.

Изучение особенностей почвообразования на буровых шламах нефтяных месторождений является весьма актуальным и имеет важное значение как с теоретической, так и с практической точки зрения, поскольку дает возможность, с одной стороны, оценить скорость почвообразовательных процессов на этом специфическом субстрате, а с другой – в определенной степени судить о скорости их естественного зарастания, что позволяет исключить или снизить затраты на проведение рекультивационных работ.

Исследования проводились на глинистых отложениях (буровых шламах), складываемых в амбары при проведении буровых работ. Возраст буровых отложений (время, прошедшее после окончания буровых работ) составлял от 4-х до 15 лет. Буровые шламы, извлекаемые при бурении скважин, представляют собой сравнительно однородную выбуренную породу, как



правило, тяжелого (глинистого или суглинистого) гранулометрического состава, содержащую остаточные количества реагентов, применяемых при бурении. Основная масса буровых шламов, которые складывается в шламовых амбарах, в подавляющем большинстве случаев являются нетоксичными и относятся к IV–V классу опасности.

Процессы активного зарастания шламовых амбаров, происходящие в результате рекультивации, в настоящее время довольно хорошо описано в научной литературе. Однако если по характеристике растительности, формирующейся в шламовых амбарах, накоплено довольно большое количество материала [1], то начальные процессы почвообразования на буровых шламах до настоящего времени изучены недостаточно.

Были исследованы почвы (эмбриоземы), формирующиеся в обсыхающих шламовых амбарах, в возрасте от 4 до 15 лет, в зависимости от срока экспозиции буровых шламов. Для аналитической характеристики почв начальных стадий почвообразования на буровых шламах был использован набор показателей, рекомендованных для лабораторной диагностики почв [2].

Установлено, что эмбриоземы шламовых амбаров являются тяжелыми – глинистыми и суглинистыми. Иногда отмечалась слоистость эмбриоземов, что связано с последовательным заполнением амбаров шламами, различающимися по гранулометрическому составу.

Исследованные эмбриоземы характеризовались в целом благоприятными химическими свойствами, способствующими росту растительности. Верхние горизонты эмбриоземов имели нейтральную или слабощелочную (в редких случаях – щелочную, pH 8,18) реакцию среды, были не засолены, насыщены основаниями, содержали достаточное для развития растений количество подвижных питательных элементов – фосфора и калия.

Установлено, что в большинстве эмбриоземов верхний корнеобитаемый гумусовый горизонт АУ имел хорошую водопрочную структуру. Нижние горизонты всех разрезов (гор. С, почвообразующая порода, буровой шлам) бесструктурны. По нашему предположению, основной причиной формирования водопрочной структуры верхних горизонтов эмбриоземов является наличие в буровых шламах карбонатов и биополимерных реагентов (полиакриламидов), а также содержание и качественный состав гумуса. Активное оструктурирование инициальных почв, формирующихся на буровых шламах, оптимизирует водно-воздушный режим эмбриоземов и также способствует зарастанию амбаров.

Известно, что буровые шламы как почвообразующая порода исходно содержат определенное количество органического вещества, которое достаточно легко минерализуется и является эдафической базой для активного заселения шламов разнообразными видами почвенных микроорганизмов и инициальных стадий гумусообразования [3, 4]. Отмечено активное протекание процессов гумификации и гумусообразования в исследуемых инициальных почвах, формирование в них собственно гумусовых веществ и гумусово-аккумулятивного горизонта. В нижней части профиля исследуемых эмбриоземов содержание гуминовых кислот обычно не превышает 10% от общего содержания Сорг, а в верхних горизонтах их доля может достигать в некоторых случаях 40–45%. По химической природе все формирующиеся гуминовые кислоты относятся к группе бурых гуминовых кислот, свойственных почвам подзолистого типа. По величине индекса оптической плотности гуминовые кислоты, формирующиеся в эмбриоземах на буровых шламах, значительно превышают аналогичные показатели для эмбриоземов, формирующихся на отвалах вскрышных пород, являются более гумифицированными, более химически «зрелыми» и сопоставимы с гуминовыми кислотами дерново-подзолистых почв.

Результаты изучения особенностей функционирования микробных сообществ (почвенное дыхание, средорегулирующая активность, коэффициент  $qMRA$ , а также их профильное распределение) показали, что в исследованных эмбриоземах интенсивно протекают важнейшие микробиологические процессы, лежащие в основе формирования любой природной почвы со всеми присущими ей морфологическими и физико-химическими свойствами. Установлено, что микробное дыхание и средорегулирующая активность микроорганизмов максимальны в верхних, наиболее богатых гумусом слоях, и снижаются вниз по профилю с уменьшением запасов органического вещества. Увеличение коэффициента  $qMRA$  с глубиной свидетельствует о начавшемся в изученных эмбриоземах процессе дифференциации профиля на генетические горизонты.

Анализ литературных данных и результатов собственных исследований показал, что изученные почвы шламовых амбаров, по сравнению с эмбриоземами отвалов вскрышных пород, характеризуются более интенсивным протеканием основных микробиологических почвообразующих процессов, т.е. отличаются более активным биологическим круговоротом. Поэтому, несмотря на одинаковые сроки педогенеза (менее 15 лет), почвы, формирующиеся в шламовых амбарах, являются эволюционно более зрелыми, чем эмбриоземы районов угольных и алмазных месторождений.

#### Литература

1. Седых В.Н. Рекультивация шламовых амбаров // Экология и промышленность России. 2001. С. 20–23.
2. Классификация и диагностика почв России (сост. Л.Л.Шишов, В.Д.Тонконогов, И.И.Лебедева и др.). Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Бакина Л.Г. Особенности процессов гумусообразования в эмбриоземах шламовых амбаров нефтяных месторождений Западной Сибири /В сб.: Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 110-летию Р.В.Ковалева. 2017. С.31–34.
4. Чугунова М.М., Бакина Л.Г., Герасимов А.О. Функциональная роль микроорганизмов в процессах педогенеза почв, формирующихся на грунтах шламовых амбаров Сибири / В сб.: Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 110-летию Р.В.Ковалева. 2017. С. 146–150.

#### INITIAL PROCESSES OF SOIL FORMATION IN SLUDGE PITS OF WESTERN SIBERIA Bakina L.G., Chugunova M.V., Gerasimov A.O., Kapelkina L.P.

Federal State Budgetary Institution of Science “Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Saint-Petersburg, Russia, bakinalg@mail.ru

*Summary. The initial soils aged from 4 to 15 years, formed in sludge pits at drilling sites in Western Siberia, have been studied. In most cases, drill cuttings were characterized by favorable chemical properties that promote vegetation growth. High levels of soil "breathing" and the environment-regulating activity of soil microorganisms, as well as active processes of transformation of organic residues, humus formation and aggregation were in the developing soils.*

*Keywords: drill cuttings, soil-forming rock, sludge pit, embryozem, humus formation, microbiological activity, aggregation.*

УДК 661.183:1

#### РАЗРАБОТКА НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ БИОЧАРА И MIL-100(Fe) ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕДЬЮ

Т.В. Бауэр<sup>1</sup>, В.А. Поляков<sup>2</sup>, П.А. Рудь<sup>2</sup>, В.В. Бутова<sup>2</sup>, М.А. Грицай<sup>2</sup>, Т.М. Минкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия, bauertatyana@mail.ru

<sup>2</sup>Международный исследовательский институт Интеллектуальных материалов Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия, v.polakov93@gmail.com

**Аннотация.** Исследование посвящено разработке высокоэффективных пористых наноконкомпозитов на основе углеродистой матрицы – биочара и металл-органического каркаса (МОК) MIL-100(Fe). Удельная площадь поверхности полученного МОК составила 1930 м<sup>2</sup>/г. Результаты сорбционных экспериментов выявили очень высокий уровень поглощения металла - 136,6 мкг Си на 1 мг MIL-100(Fe). Успешность формирования наноконкомпозита подтверждена методом SEM-EDX, демонстрирующим равномерное распределение MIL-100(Fe) на поверхности биочара.

**Ключевые слова:** металл-органические каркасы, углеродистые сорбенты, нано, композит, адсорбция, медь.

В последние десятилетия все более значительное воздействие антропогенных факторов обусловило нарастающую необходимость защиты окружающей среды. Одной из основных

экологических проблем, связанных с прогрессом металлургической и горнодобывающей промышленности, а также сельскохозяйственной деятельности, является загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ). При поступлении в почву ТМ могут накапливаться и затем переходить в ткани растений. Интенсивное использование агрохимикатов, содержащих медь (например, бордоской жидкости), является одним из основных источников поступления меди в почву. Токсическое действие ионов  $\text{Cu}^{2+}$  при избыточном накоплении повышении подвижности металла в почве приводит к снижению поглощения воды и питательных веществ растениями, способствует окислительному стрессу и влияет на фотосинтез, вызывая снижение роста и продуктивности растений [1]. Таким образом, актуален поиск эффективных методов ремедиации загрязненных медью почв, основанный на снижении подвижности металла в почве, и следовательно, его биодоступности.

Одним из способов решения данной проблемы является разработка новых типов углеродных сорбентов, основанных на продуктах пиролиза отходов растительного сырья, известных как биочары. Среди наиболее важных их преимуществ можно выделить нетоксичность и биосовместимость. Помимо этого, биочары обладают способностью улучшать качество почв [2]. Тем не менее, биочары характеризуются невысокими значениями удельной площади поверхности, что приводит к ограничениям в применении таких материалов в почвах с высоким уровнем загрязнения ТМ. Функционализация их поверхности и создание композитов является эффективным подходом для повышения их сорбционных свойств. Для решения этой задачи могут быть использованы металл-органические каркасы (МОК), нанесение которых на поверхность биочара приведет к увеличению удельной поверхности получаемого композита. МОК представляют собой новый класс пористых материалов с модульной структурой, которые можно представить как комбинацию двух компонентов, образующих трёхмерную кристаллическую структуру - неорганических кластеров и органических молекул (линкеров) [3]. Различные вариации этих компонентов позволяют получать многочисленные структуры и настраивать их свойства, например влиять на размер и форму пор, удельную площадь поверхности, а также на избирательность сорбции.

Данная разработка направлена на оптимизацию структуры нанокompозита на основе биочара, полученного из соломы пшеницы пиролизом и МОК MIL-100(Fe) для последующего применения на почвах, загрязненных медью.

**Методы.** Биочар получали путем пиролиза соломы пшеницы в потоке газообразного азота (50 мл/мин) при 500 °С в течение 45 минут и скорости нагрева 10 °С/мин. Измерение удельной площади поверхности и пористости полученного биочара было проведено с использованием анализатора ASAP 2020 (Micromeritics, USA).

Одним из главных критериев выбора МОК было высокое значение удельной площади поверхности. В связи с этим был выбран MIL-100(Fe), обладающий крупными порами, диаметром 25 и 29 Å [4]. Для получения MIL-100(Fe) методом гидротермального синтеза использовали тефлоновый автоклав Berghof BR-200. Синтез проводился при 120 °С в течение 20 мин. Для контроля образования фазы MIL-100(Fe) применяли метод порошковой рентгеновской дифракции (XRD) на дифрактометре Bruker D2 Phaser. Чистоту фазы определяли с помощью ИК-спектров, полученных на спектрометре Bruker Vertex 70. После этого определяли удельную площадь поверхности на анализаторе ASAP 2020.

Для оценки эффективности MIL-100(Fe) в качестве сорбента была исследована поглощательная способность по отношению к ионам  $\text{Cu}^{2+}$ . Для этого навески MIL-100(Fe) помещали в водные растворы нитрата меди различной концентрации для перемешивания в течение 4 ч. Оценку стабильности МОК в водных растворах солей контролировали методом дифракционного анализа до и после сорбции, а эффективность сорбции – методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) на спектрометре Bruker M4 Tornado.

Для получения нанокompозита был использован метод *in-situ* формирования MIL-100(Fe) на углеродистой матрице: биочар в двукратном избытке относительно выхода МОК прибавлялся к суспензии прекурсоров MIL-100(Fe), после чего проводили гидротермальный синтез. Успешность формирования композита и его чистота были подтверждены комплексом современных физико-химических методов анализа, включающих XRD, ИК- спектроскопию, термогравиметрический анализ (ТГА), сканирующую электронную микроскопию с элементным картированием SEM-EDX (Helios Nanolab 660, Сколково).

**Результаты и обсуждение.** В соответствии с полученными результатами, удельная площадь поверхности соломы пшеницы составила  $1,96 \text{ м}^2/\text{г}$  с суммарным объемом пор  $0,005 \text{ см}^3/\text{г}$ , а у биочара, полученного из соломы путем пиролиза, наблюдалось увеличение данных значений до  $132 \text{ м}^2/\text{г}$  и  $0,214 \text{ см}^3/\text{г}$ , соответственно. Это связано с термическим разложением органического сырья без доступа воздуха. Процесс включает дегидратацию и декарбоксилизацию целлюлозы, лигнина и других соединений. Интенсивное выделение газов приводит к образованию трещин в структуре с сопутствующим образованием новых пор. По завершении пиролиза образуется углеродный остов, который повторяет структуру и форму растительных тканей, из которых был получен.

Формирование фазы, а также чистота MIL-100(Fe) отслеживались с помощью методов XRD и ИК спектроскопии. Благодаря наличию крупных пор в MIL-100(Fe), удельная площадь поверхности полученного МОК составила  $1930 \text{ м}^2/\text{г}$  с размером частиц 500-1000 нм. Стабильность фазы сохранялась в ходе сорбционных экспериментов во всей линейке используемых концентраций раствора нитрата меди (рис.1-а). С ростом концентрации используемого раствора отмечено постепенное увеличение содержания меди в MIL-100(Fe). Максимальная сорбционная емкость в наиболее концентрированном  $0,1 \text{ М}$  растворе нитрата меди составила  $136,6 \text{ мкг}/\text{мг}$  (рис.1-б).

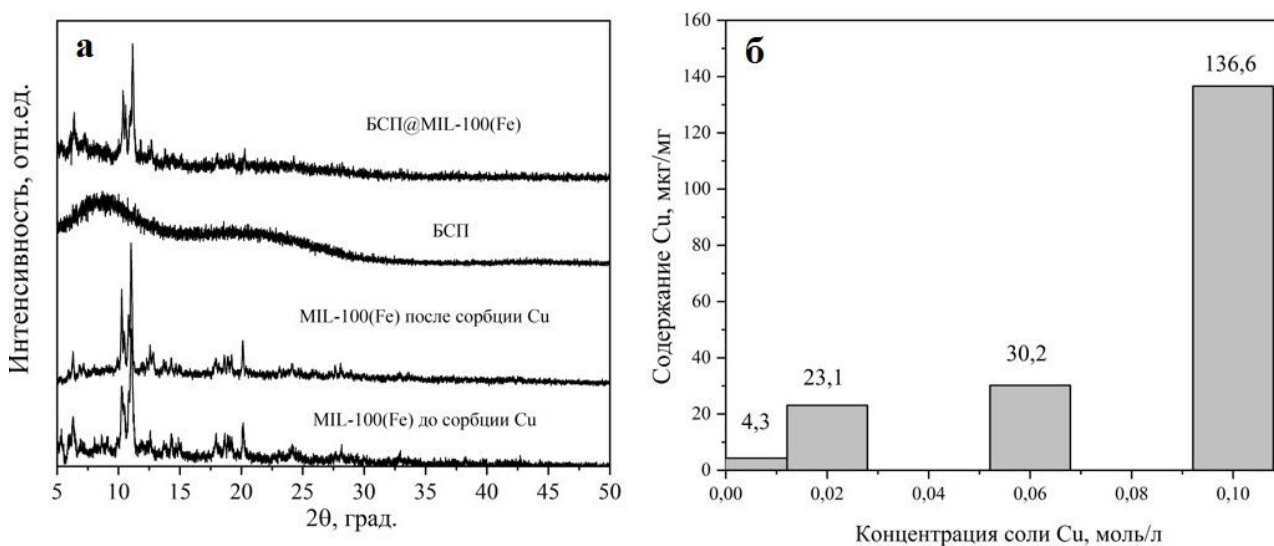


Рисунок 1. Величины сорбционной емкости образца MIL-100(Fe) и его дифракционных профилей до и после сорбции Cu (а), а также биочара из соломы пшеницы (БСП) и нанокompозита на их основе (БСП@MIL-100(Fe)) (б)

Композит состава BSP@MIL-100(Fe) был получен гидротермальным способом. Профили порошковой рентгеновской дифракции композита в сравнении с чистыми образцами биочара из соломы пшеницы (БСП) и МОК MIL-100(Fe) представлены на рисунке 1-а. Успешность образования фазы МОК подтверждается дифракционным профилем композита, являющегося суперпозицией профилей составляющих компонентов. Тем не менее, полученные данные XRD могут свидетельствовать и о механической смеси фаз БСП и MIL, несвязанных между собой. Для подтверждения композитной структуры был применен SEM-EDX анализ (рис. 2). Согласно результатам, частицы MIL-100(Fe) являются не самостоятельной фазой, а равномерно распределены по поверхности биочара.



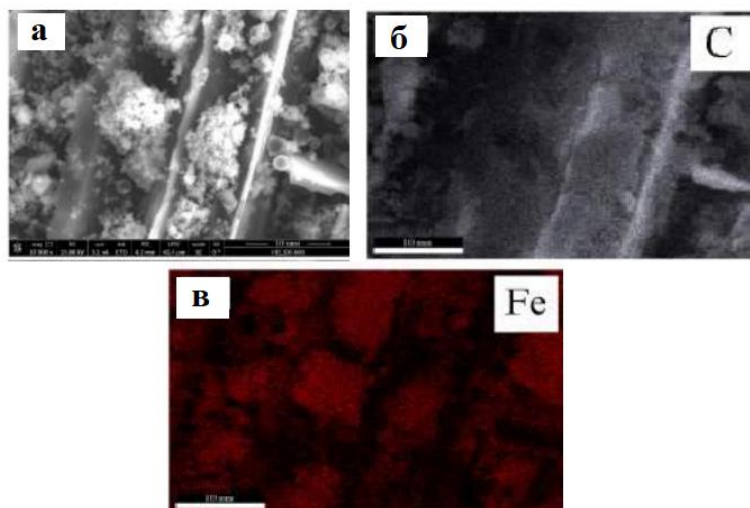


Рисунок 2. SEM-изображение нанокompозита (а) и соответствующие ему карты распределения атомов углерода (б) и железа (в)

Таким образом, разработанный нанокompозит на основе высокоуглеродистой матрицы биочара был получен путем пиролиза соломы пшеницы и покрыт наночастицами MIL-100(Fe), обладающих высоким значением удельной площади поверхности. Биосовместимость полученного нового материала открывает возможности для его эффективного применения при ремедиации почв, загрязненных медью.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

#### Литература

1. Flávio José Rodrigues C., Raphael Leone da Cruz F., Susana Silva C., Edson Ugulino L., Cândido Ferreira de Oliveira N., Jessivaldo Rodrigues G., Sebastião da Cunha L., Ismael de Jesus Matos V. Copper Toxicity in Plants: Nutritional, Physiological, and Biochemical Aspects // *Advances in Plant Defense Mechanisms / Josphert Ngui K.* – Rijeka: IntechOpen, 2022. С. Ch. 5.
2. Kamali M., Sweygers N., Al-Salem S., Appels L., Aminabhavi T. M., Dewil R. Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects // *Chemical Engineering Journal*. 2022. Т. 428. С. 131189.
3. Tranchemontagne D., Mendoza-Cortes J., O'Keeffe M., Yaghi O. Secondary Building Units, Nets and Bonding in the Chemistry of Metal-Organic Frameworks // *Chemical Society reviews*. 2009. Т. 38. С. 1257-83.
4. Horcajada P., Chalati T., Serre C., Gillet B., Sebrie C., Baati T., Eubank J. F., Heurtaux D., Clayette P., Kreuz C., Chang J. S., Hwang Y. K., Marsaud V., Bories P. N., Cynober L., Gil S., Férey G., Couvreur P., Gref R. Porous metal-organic-framework nanoscale carriers as a potential platform for drug delivery and imaging // *Nat Mater*. 2010. Т. 9, № 2. С. 172-8.

#### DEVELOPMENT OF A NANOCOMPOSITE BASED ON BIOCHAR AND MIL-100(Fe) FOR REMEDIATION OF SOILS POLLUTED WITH COPPER

T.V. Bauer<sup>1</sup>, V.A. Polyakov<sup>2</sup>, P.A. Rud<sup>2</sup>, V.V. Butova<sup>2</sup>, M.A. Gritsai<sup>2</sup>, T.M. Minkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Academy of Biology and Biotechnology of D.I. Ivanovskogo, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, bauer@sfnu.ru

<sup>2</sup>The Smart Materials Research Institute, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, v.polakov93@gmail.com

*Summary.* The study is devoted to the development of highly efficient porous nanocomposites based on a carbon matrix - biochar and a metal-organic framework (MOF) MIL-100(Fe). The specific surface area of MOF was 1930 m<sup>2</sup>/g. Sorption experiments allowed to achieve the maximum absorption of 136.6 µg Cu per 1 mg MIL-100(Fe). SEM-EDX analysis demonstrated uniform distribution of MIL-100(Fe) on the biochar surface and confirmed the formation of composite.

*Keywords:* metal-organic frameworks, carbon sorbents, composite, adsorption, copper.

УДК 631.45

## НЕФТЕПРОДУКТЫ В ПОЧВАХ МЕСТ ДЛИТЕЛЬНОГО СКЛАДИРОВАНИЯ СНЕЖНЫХ МАСС

И.П. Беланов, М.В. Степанова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [belanov@issa-siberia.ru](mailto:belanov@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** Исследование посвящено определению содержания нефтепродуктов в почвах территории снегоотвала расположенного в Советском районе г. Новосибирска, так и естественных прилегающих территориях, представляющих собой единый природно-техногенный комплекс. Почвенный покров территории представлен дерново-подзолистыми почвами. Всего было заложено четыре пробных площадки, на каждой из которых отбирались образцы с шагом 0–10, 10–20, 20–40, 40–60, 60–100, 100–140 см от дневной поверхности. В образцах почв всех обследованных точек концентрация нефтепродуктов выше условного фона (<133 мг/кг почвы) как минимум в 4,5 раза и как максимум в 111 раз. Исследования показали необходимость установления допустимого содержания в качестве референтного (без выделения уровней), при превышении которого на территории снегоотвала необходимо проведение мероприятий по очистке земель от нефтепродуктов в обязательном порядке в межсезонье, а также комплексную рекультивацию по окончании его эксплуатации.

**Ключевые слова:** снегоотвалы, нефтепродукты в почвах, концентрация нефтепродуктов, локальное загрязнение.

В настоящее время оценка степени загрязненности нефтепродуктами почв имеет большое значение при проведении работ по выявлению нарушенных территорий, так и дальнейшему их экологическому мониторингу. В современных условиях народного хозяйства нефтепродукты используются повсеместно, что зачастую может приводить к загрязнению почв вследствие нарушения требований охраны окружающей среды. Поступая в почву, нефтепродукты могут изменять её свойства, например, происходит изменение окислительно-восстановительных условий почв и увеличивается подвижность гумусовых компонентов или изменяются ее гидротермические свойства в результате увеличения её гидрофобности, за счет чего нарушаются механизмы поступления воды к корням растений. Данные изменения приводят к подавлению фотосинтетической активности и продуктивности растений, что выражается в угнетении или полной их гибели [1–3]. Нефтепродукты, попадая в почвы, так же оказывают критическое влияние на их микробиом [4], при повышении содержания нефтепродуктов в почве происходит значительное снижение колоний микроорганизмов, которые не способны окислять углеводороды [5, 6]. Потенциальную опасность представляют собой локальные загрязнения почв нефтепродуктами, так как зачастую небольшие разливы и утечки остаются без особого внимания. Ежегодное локальное попадание нефтепродуктов в почву может привести к достаточно серьезным последствиям и оказать воздействие на экосистему подверженной воздействию территории в целом [7]. Одними из таких локальных территорий, почвы которых подвержены длительному воздействию нефтепродуктов, являются снегоотвалы, куда нефтепродукты в течение многих лет попадают вместе со снежной массой, убранной с территорий, где потенциально возможен их разлив.

В зимний период в г. Новосибирске, как и во многих субъектах России остро стоит вопрос расчистки городской территории от снега и его последующего складирования, для чего в большинстве регионов определены специальные площадки – снежные полигоны (отвалы). Намного реже для борьбы со снегом на городских улицах используются стационарные снегоплавильные пункты и мобильные снегоплавильные установки, использование данного вида оборудования финансово затратное ввиду потребления значительного количества тепловой энергии. Снежные массы, собранные с территории дорог, промплощадок и городской застройки, содержит загрязняющие вещества. Снег в течение зимы обрабатывается противогололедными реагентами, так же в него попадают различного рода нефтепродукты, которые уже на полигоне в результате таяния снега попадает в почву.

Целью работы являлось определение содержания нефтепродуктов в почвах территории снегоотвала, так и естественных прилегающих территориях.

Содержание нефтепродуктов в почве определялось двумя способами: визуальной и органолептической оценкой – позволяет сделать предварительные выводы о загрязненности

почвы; инструментальными измерениями – позволяют установить качественный и количественный состав токсических веществ. При визуальной и органолептической оценке показателями служат деградация растительного покрова, маслянистая пленка на поверхности луж и стоячей болотной воды, характерный специфический запах при нарушении целостности почвенного покрова. Для количественной оценки уровня загрязнения почвы нефтепродуктами, определение массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв, использовался гравиметрический метод [8]. Объектом исследования являлся почвенный покров территории длительного места складирования снега в Советском районе г. Новосибирска (N 54°52'52.02" E 83° 6'14.33"), в настоящее время закрыт. Снегоотвал имеет обваловку по периметру, высота насыпи составляет около 2-х метров с понижением в юго-западной части. Перепад высот с крайней северо-восточной части до юго-западной составляет более 1,5 метров. Нижняя часть снегоотвала отделена обваловкой (которая имеет нарушение) от оврага, который является частью водосбора р.Ельцовка. Почвенный покров естественных территорий представлен дерново-подзолистыми почвами. На территории снегоотвала почвенный покров представлен погребенными под толщей техногенного элювия дерново-подзолистыми почвами. Техногенный элювий на поверхности представлен многолетними отложениями песчаной смеси, мощность наноса составляет от 0,3 до 1,2 метров, наибольшая мощность зафиксирована в аккумулятивной зоне чаши снегоотвала.

Можно предположить, что на концентрацию нефтепродуктов в почвах будут оказывать влияние следующие факторы: почвенные характеристики, такие как гранулометрический состав и складывающиеся гидротермические условия; количество нефтепродуктов, попадающих в почву; вид нефтепродукта. На основе полевых рекогносцировочных исследований было выдвинуто предположение: в условиях активной фазы снеготаяния в весенний период и избыточно высокой влажности почв возможно формирование устойчивого соединения «вода - нефтепродукт» что способствует аккумуляции нефтепродуктов в верхней части почв за счет разной плотности жидких фаз, а в засушливый летне-осенний период могут происходить процессы испарения нефтепродуктов легких фракций, особенно с учетом отсутствия устойчивого растительного покрова на поверхности снегоотвала, где общая площадь проективного покрытия составляет менее 30%.

Для количественной оценки содержания нефтепродуктов в почве на территории снегоотвала было выбрано две контрольных площадки (в транс-элювиальной части сформированного склона чаши снегоотвала (Точка 1) и самой нижней его части – аккумулятивной (Точка 2)). Так же для оценки воздействия на прилегающую территорию, была заложена площадка в овраге на удалении 20 метров от нарушенной части обваловки снегоотвала, зоне возможной утечки снеготалых вод в районе аккумулятивной позиции (Точка 3). В качестве фона, была выбрана площадка на водоразделе, территории лесного массива на удалении 100 м на восток от снегоотвала (Контроль) (рис. 1). Гранулометрический состав как верхних, так и нижележащих горизонтов дерново-подзолистой почвы на данной территории по содержанию физической глины (<0,01мм) характеризуется как легкий суглинок (21,01–23,12%). Гранулометрический состав наносов техногенного элювия, перекрывающего поверхность естественной почвы на территории снегоотвала (пробные площадки Точка 1, 2), характеризуется как супесь (содержание физглины – 13,33–18,27%). Переход между техногенным намытым горизонтом и естественной почвой по материалам исследований прослеживается по содержанию фракции физической глины, так заметная разница между ними при переходе составляет от 8 до 12%, что так же может характеризоваться процессом лессиважа. Данный процесс обусловлен механическим переносом илистого материала из элювиального горизонта вниз по профилю и его аккумуляции на границе с верхней части погребенного естественного почвенного горизонта дерново-подзолистой почвы. Данное явление в свою очередь влияет на свойства почвы, формируется плотный некий водоупорный горизонт, который оказывает влияние при миграции нефтепродуктов с поверхностными водами.



Рисунок 1. Схема местоположения пробных площадок (Т1 – Точка 1, Т2 – Точка 2, Т3 – Точка 3, К – Контроль).

На каждой из площадок отбирались образцы с шагом 0–10, 10–20, 20–40, 40–60, 60–100, 100–140 см от дневной поверхности. Полученные данные содержания нефтепродуктов в почве (мг/ кг почвы) по глубинам представлены на Рисунке 2.

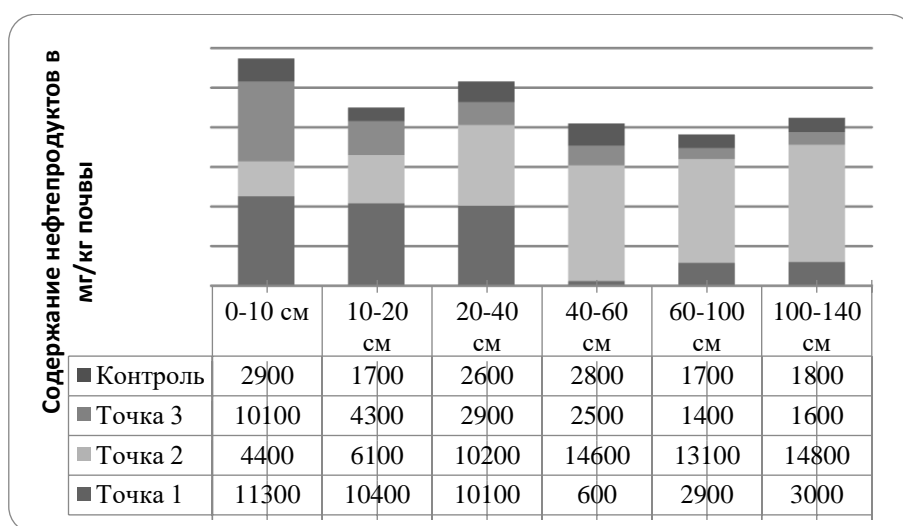


Рисунок 2. Содержание нефтепродуктов в образцах почвы по глубинам, мг/кг почвы.

В образцах почв всех обследованных точек концентрация нефтепродуктов выше условного фона (<133 мг/кг почвы) как минимум в 4,5 раза и как максимум в 111 раз. Относительно безопасное содержание нефтепродуктов составляет от 500 до 5000 мг/кг почвы.

Для оценки содержания нефти и нефтепродуктов в почве принята классификация показателей уровней загрязнения:

- менее 1000 мг/кг – допустимый;
- 1000–2000 мг/кг – низкий;
- 2000–3000 мг/кг – средний;
- 3000–5000 мг/кг – высокий;
- более 5000 – очень высокий.

Однако в пробах почв в Точке 2 (по всему профилю) Точке 1 (с поверхности до 40 см), Точке 3 (с поверхности) обнаружены очень высокие (более 5000 мг/кг почвы) концентрации нефтепродуктов, потенциально опасные для почв, наземных и водных экосистем в целом. Стоит отметить, что высокая концентрация нефтепродуктов в нижних почвенных горизонтах в Точке 2 обусловлена более легким гранулометрическим составом верхней части профиля за счет фракций песка, а также промывного водного режима, что способствовало промыванию в нижние почвенные горизонты нефтепродуктов. Такое промывание крайне опасно, ввиду того



что способствует их миграции за счет внутрипочвенного стока как на прилегающие естественные подчиненные участки катенарных комплексов, так и возможного дальнейшего попадания в грунтовые воды.

Установлено, что уровень загрязнения на территории исследуемого снегоотвала превышает допустимое содержание нефтепродуктов в 4,5–111 раз. Сопоставляя результаты визуальной оценки территории снегоотвала и данных лабораторных исследований по количественной оценке концентрации нефтепродуктов в почвах, можно резюмировать, что независимо от принятой градации уровня загрязнения на участках наблюдается значительное угнетение растительности как в случае превышения допустимого содержания в десятки и сотни раз, так и в случае двукратного превышения. Исследования показали необходимость установления допустимого содержания в качестве референтного (без выделения уровней), при превышении которого необходимо проведение мероприятий по очистке земель снегоотвала от нефтепродуктов в обязательном порядке в межсезонье, а также комплексную рекультивацию по окончании его эксплуатации. При этом крайне важным является организация мониторинговых мероприятий для выявления локальных утечек и разливов снеготалой воды вместе с нефтепродуктами из чаши снегоотвала в период активного снеготаяния с целью предотвращения накопления и миграции нефтепродуктов в почве прилегающих территорий.

#### Литература

1. Assessment and abatement of the soil oil-contamination level in industrial areas / M.V. Bykova, M.A. Pashkevich, V.A. Matveeva, I.P. Sverchkov // Proceedings of the International forum-contest of young researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources». St. Petersburg, 2018. P. 347–361.
2. Шувалов Ю.В. Рациональные способы санирования очагов техногенного загрязнения углеводородными соединениями / Ю.В. Шувалов [и др.]. СПб.: X-PRINT, 2008. 256 с.
3. Berkadu A.A., Chen Q. Surfactant-Enhanced Soil Washing for Removal of Petroleum Hydrocarbons from Contaminated Soils: A Review // *Pe-dosphere*. 2018. Vol. 28. P. 383–410.
4. The impact of lead contamination on ecotoxicity and the bacterial community during the bioremediation of total petroleum hydrocarbon-contaminated soils / S. K. Leadin, E. Shahsavari, T.W. Grant, N. Dayanthi, A.S. Ball // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 253. P. 939–948.
5. Изменение свойств нефтезагрязненных почв / А.С. Мерзлякова, А. А. Околелова, В.Н. Заикина, А.В. Пасикова // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2017. Т.7. № 2. С. 173–180.
6. Усачева Ю.Н. Функциональная активность и численность микроорганизмов в условиях нефтяного загрязнения почв // *Вестник Нижневартовского государственного университета*. 2013. №3. С. 56–59.
7. Быкова М.В., Пашкевич М.А. Снижение экологической опасности загрязненных нефтепродуктами почв на производственных объектах // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019. №4 (специальный вып. 7). С. 392–403.
8. ПНД Ф 16.1.41-04 Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом, 2004. 24 с.

#### PETROLEUM PRODUCTS IN SOILS OF LONG-TERM STORAGE OF SNOW MASSES.

I.P. Belanov, M.V. Stepanova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, [belanov@issa-siberia.ru](mailto:belanov@issa-siberia.ru)

*Summary. The study is devoted to determining the content of oil products in the soils of the territory of the snow dump located in the Sovetsky district of Novosibirsk, and the natural adjacent territories, which are a single natural-technogenic complex. The soil cover of the territory is represented by soddy-podzolic soils. In total, four trial sites were laid, on each of which samples were taken with a step of 0–10, 10–20, 20–40, 40–60, 60–100, 100–140 cm from the daylight surface. In the soil samples of all surveyed points, the concentration of oil products is higher than the conventional background (<133 mg/kg of soil) at least 4,5 times and at most 111 times. Studies have shown the need to establish the permissible content as a reference (without identifying levels), if it is exceeded, it is necessary to carry out measures to clean up the land from oil products without fail in the off-season, as well as comprehensive reclamation at the end of the operation of the snow dump.*

*Keywords: snow dumps, oil products in soils, concentration of oil products. local pollution.*

УДК 595.76

## ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭНТОМОЦЕНОЗОВ (НА ПРИМЕРЕ ЖУКОВ-ЖУЖЕЛИЦ (COLOEPTEA, CARABIDAE)) НА КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТВАЛАХ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.Н. Беспалов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [bespalov@issa-siberia.ru](mailto:bespalov@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** Проведена оценка специфики восстановления энтомоценозов на отвалах Горловского антрацитового месторождения (Новосибирской область) и Кузнецкого каменноугольного бассейна (Кемеровская область). Было исследовано 16 учетных площадок, собрано более 6700 экземпляров жуков-жужелиц, 107 видов. На участках отвалов, включающих каменный уголь, сообщества жужелиц восстанавливаются быстрее, чем на участках с включением антрацита, они имеют более сложную структуру сообществ и максимальное видовое богатство.

**Ключевые слова:** отвалы угольных разрезов, мезофауна, жужелицы, Carabidae.

Горнодобывающая промышленность вносит значительный вклад в мировую экономику. Однако открытая добыча полезных ископаемых приводит к значительным изменениям природных комплексов, она оказывает сильное воздействие на окружающую среду, включая уничтожение первоначальной экосистемы. Один из основных полезных ископаемых, который добывают открытым способом, является уголь, в разных его видах. Площади нарушенных земель, отводимых под карьеры и отвалы, исчисляются сотнями, а иногда и тысячами гектаров. Как мы видим проблема нарушенных земель сейчас очень актуальна, хорошим индикатором для проведения зоодиагностики любого наземного ландшафта умеренной зоны является комплекс герпетобионтов, в частности, жуки-жужелицы (Coleoptera, Carabidae) [1-3].

Цель исследований выявить закономерности развития сообщества жужелиц на каменноугольных отвалах, провести сравнение сообществ жужелиц на отвалах в зависимости от различных экологических факторов.

Исследования проводились в Кемеровской области на автомобильных отвалах угледобывающего разреза в окрестностях поселка Листвяги и в Новосибирской области на отвалах Горловского угольного бассейна [4]. Обе эти территории относятся к лесостепной зоне. Исследования проводились в период с 2011 по 2019 год. Было исследовано 16 учетных площадок, собрано более 6700 экземпляров жужелиц из 107 видов жуков-жужелиц.

Было исследовано 3 участка с пионерной растительностью (инициальных), 5 участков с травянистой растительностью и 4 участка с древесной растительностью. В каждой области было выбрано по 2 контрольных участка: 1 участок с травянистой растительностью и 1 участок с древесной растительностью, не подверженных влиянию антропогенной деятельности.

Жужелиц собирали с помощью почвенных ловушек. В качестве ловушек использовались стандартные пластиковые стаканчики объемом 200 мл и диаметром 6,5 см, заполненные на 1/3 4% раствором уксусной кислоты. В каждом биотопе было установлено по 5 ловушек, расположенных в линию с расстоянием между ними 1 м. Периодичность проверки составляла 1 раз в неделю. Всего за время исследования было отработано более 11 тысяч ловушко-суток.

Статистическая обработка данных проводилась в программе PAST 3.09. В анализе видового богатства использован индекс разнообразия Маргалефа, степень доминирования оценивалось по индексу Бергера-Паркера, сложность структуры сообщества жужелиц оценивали по индексу биоразнообразия Шеннона [5].

Для сообществ жужелиц были рассчитаны индексы  $\alpha$ -биоразнообразия (Таблица №1). Увеличение индекса Бергера-Паркера указывает на снижение  $\alpha$ -биоразнообразия и увеличение степени доминирования одного вида, то есть состояние сообщества становится менее стабильным. В нашем исследовании значение индекса не превышает 0,5, среднее значение колеблется в пределах 0,2–0,4. Эти значения показывают, что сообщества жужелиц на нарушенных территориях характеризуются небольшим количеством доминирующих видов с высоким обилием и значительным числом видов с низким обилием.

Индекс Шеннона отражает сложность структуры сообщества. Чем выше значение индекса, тем выше видовое разнообразие в конкретном сообществе. Минимальные значения индекса Шеннона были рассчитаны для контрольных травянистых участках (1,8–1,9). Эти значения

указывают на то, что данные участки отличаются небольшим набором видов, однако сообщества жуужелиц имеют хорошо сбалансированный видовой состав. Для нарушенных территорий на травянистых участках значение индекса больше, чем на участках с древесной растительностью. Лучше это видно на участках из Новосибирской области. Это указывает на среднюю сложность структуры сообществ: в видовом составе здесь преобладают пионерные виды, устойчивого сообщества здесь не сформировано.

Индекс Маргалефа отражает плотность видов, или видовое богатство, на определенной территории, т.е. чем выше индекс, тем большим видовым богатством характеризуется данная территория. Тут мы так же видим, что на травянистых участках значение индекса больше, причем это касается и контрольных участков. В целом стоит отметить, что большое значение индекса Маргалефа так же может свидетельствовать, что на участках преобладают много «условно лишних, чужих видов» не свойственных данным местообитаниям и что сообщество там не полностью сформировано, и говорить о достижении климаксовой стадии развития еще рано.

Таблица 1. Параметры таксоценов жуужелиц в разных биотопах

Показатель разнообразия	Биотопы															
	Lis 1 I	Lis 2 T	Lis 3 T	Lis 4 D	Lis 5 D	Lis 6 KT	Lis 7 KD	Gor 1 I	Gor 2 I	Gor 3 T	Gor 4 T	Gor 5 T	Gor 6 D	Gor 7 D	Gor 8 KT	Gor 9 KD
Число видов	17	41	34	35	16	37	32	11	15	32	17	22	17	15	29	23
Средняя динамическая плотность (ДП), особей на 100 ловушко-суток	5,5	43,4	72,1	29,7	6,3	95,4	102,6	6,2	113,1	72,2	58,4	86,7	51,8	82,4	316,9	253
Индекс Бергера-Паркера	0,29	0,23	0,32	0,23	0,23	0,5	0,27	0,22	0,35	0,24	0,34	0,33	0,23	0,29	0,39	0,23
Индекс Шеннону H	2,4	2,77	2,14	2,58	2,43	1,76	2,23	2,20	1,94	2,45	2,04	2,16	2,23	2,02	1,83	2,34
Индекс по Маргалефа	3,82	6,11	4,77	5,66	3,73	4,91	4,54	3,19	2,67	5,47	3,52	4,03	3,21	2,80	4,38	3,63

При зарастании угольных отвалов на начальных стадиях сообщество жуужелиц восстанавливается одинаково для участков, находящихся в разных условиях. Для участков, находящихся на более поздних стадиях развития, эти отличия уже более ощутимы. Так как климатические факторы, действующие на наши участки идентичны, то главным действующим фактором выступают – породы, из которых сложен отвал, какой вид угля находится в отвале. На участках отвалов, включающих каменный уголь, сообщества жуужелиц восстанавливаются быстрее, чем на участках с включением антрацита, они имеют более сложную структуру сообществ и максимальное видовое богатство.

#### Литература

1. Pizzolotto R., Mazzei A., Bonacci T., Scalercio S., Iannotta N., Brandmayr P. Ground Beetles in Mediterranean Olive Agroecosystems: Their Significance and Functional Role as Bioindicators (Coleoptera, Carabidae). *PloS One*. 2018. Vol. 13, № 3. P. 1 – 18.
2. E.J. Tizado, E. Núñez-Pérez. Terrestrial arthropods in the initial restoration Stages of anthracite coal mine spoil heaps in Northwestern Spain: potential usefulness of higher taxa as restoration indicators *L. Degrad. Dev.* 2016 Vol. 27 (4), P. 1131-1140.
3. Koivula, M.J. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions // *ZooKeys*. 2011. №. 100. P. 287–317.
4. Угольная база России. Том 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны, месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М.: «Геоинформцентр». 2003. 604 с.

5. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. V.4. Iss.1. P.9

## FEATURES OF RESTORATION OF ENTOMOCENOSES (ON THE EXAMPLE OF GROUND BEETLES (COLEOPTERA, CARABIDAE)) ON COAL DUMPS IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF WESTERN SIBERIA

A.N. Bepalov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [bepalov@issa-siberia.ru](mailto:bepalov@issa-siberia.ru)

*Summary.* The assessment of the specifics of the restoration of entomocenoses on the dumps of the Gorlovsky anthracite deposit (Novosibirsk region) and the Kuznetsk coal basin (Kemerovo region) was carried out. 16 registration sites were investigated, more than 6,700 specimens of ground beetles, 107 species were collected. In areas of dumps including coal, communities of ground beetles recover faster than in areas with anthracite inclusion, they have a more complex community structure and maximum species richness.

*Keywords:* coal-mine dumps, mesofauna, ground beetles, Carabidae.

УДК 631.86:579.222

## ПОСТТЕХНОГЕННЫЕ СУКЦЕССИИ МИКРОБОЦЕНОЗОВ ПОЧВОГРУНТОВ И ОПЫТ ИХ РЕМЕДИАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАСЕЙНА\*

А.В. Богородская

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, [anbog@ksc.krasn.ru](mailto:anbog@ksc.krasn.ru)

*Аннотация.* В вегетационных экспериментах по повышению продуктивности и биологической активности вскрышных пород Бородинского бурогольного разреза внесение микопродуктов, отработанных субстратных блоков и опилок повышало грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной на 10–50%, увеличивало сохранность сеянцев на 21–47%, а также их морфометрические параметры и биомассу. Внесение биоудобрений значительно увеличивало функциональную активность микробоценоза грунтов Бородинского бурогольного разреза.

*Ключевые слова:* вскрышные породы, биоудобрение, микопродукт, всхожесть и сохранность сеянцев, почвенная микробная биомасса, базальное дыхание.

Полное уничтожение почвенного покрова и техногенное формирование ландшафта, начатое с «ноль-момента», наблюдается при открытой разработке каменноугольных месторождений [1]. Рекультивационные работы начинаются с отсыпки отвалов вскрышными породами (горнотехнический этап), которые весьма неоднородны по гранулометрическому составу и химическим свойствам. Отвалы Бородинского бурогольного месторождения (БУР) сложены широким спектром горных пород: алевролитами серого цвета, техногенной смесью горных пород четвертичного возраста – суглинков, глин, супесей, песков, остатков угля и угольной пыли [2]. Установлено, что отвалы вскрышных пород БУР обладают исходным плодородием (по содержанию гумусовых веществ, азота, калия и фосфора, гранулометрическому составу) и не токсичны для высших растений [3]. Для лесного направления рекультивации отвалы оставляют без нанесения плодородного слоя почвы (литостраты) под самозаращение, либо высаживают лесные культуры. Бедность породы в первую очередь доступными формами азота, а также минерализованность поверхности отвалов определяют естественное развитие березы, сосны и облепихи [4].

Реплантоземы БУР подвергаются рекультивации посредством нанесения на их поверхность плодородного слоя почвы, что ускоряет сукцессию луговой растительности и развитие микробных комплексов, функциональная активность которых уже через пять-десять лет сравнима с фоновыми луговыми почвами (рис. 1). Реплантоземы не нуждаются в дальнейшей биоремедиации в отличие от литострат, где сукцессии микробных комплексов идут медленными темпами (рис. 1).



Для повышения почвенного плодородия и производительного потенциала грунтов отвалов, а также увеличения грунтовой всхожести семян и сохранности сеянцев целесообразно использование биоудобрений как агентов стимулирующих биогенность почвы.

Для повышения продуктивности и биологической активности деградированных почв на примере вскрышных пород БУР, нами проведены исследования по внесению биоудобрений (микродуриков (МП)) и различных органических субстратов.

Биоудобрения на основе МП получали путем твердофазного культивирования мицелия ксилотрофных базидиальных грибов *Trametes versicolor* и *Pleurotus ostreatus* на свежих увлажненных сосновых и березовых опилках. В эксперименте также использовались отработанные субстратные блоки (СБ) после культивирования *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél. Субстратные блоки состояли из отходов лесопереработки без тщательного разделения по породам с добавлением некондиционного зерна (пшеница, овес) и хвои после извлечения масел [5].

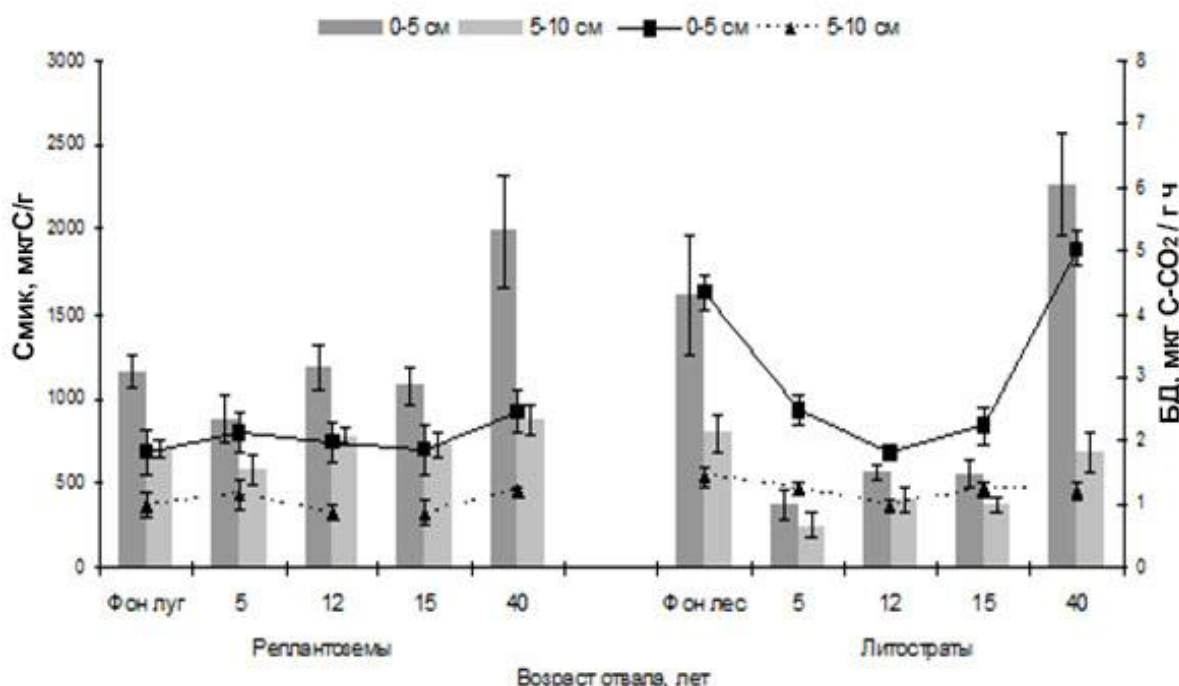


Рисунок 1. Годовая динамика содержания углерода микробной биомассы (диаграммы) и интенсивности БД (графики) в разновозрастных реплантоземах и литостратах на отвалах БУР.

В пластиковые контейнеры помещали измельченный и просеянный через 3 мм сито грунт (вскрышные породы БУР (вариант «контроль»), смешанный с 5% по весу с сосновыми и березовыми опилками (варианты «ОП сосна» и «ОП береза»), а также с внесением 5% по весу МП грибов *T. versicolor* (вариант «МП *T. versicolor*»), *P. ostreatus* (вариант «МП *P. ostreatus*») и СБ *P. eryngii* (вариант «СБ *P. eryngii*»).

Семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), предварительно обработанные фунгицидом (флудиоксонил), высевали в разные варианты грунта с добавками по 20 семян в шести повторностях, увлажняли до 60% и оставляли для прорастания при комнатной температуре (25°C). Учет грунтовой всхожести проводили на 26 сутки. Повторный учет для определения сохранности сеянцев проводили на 52 сутки от начала эксперимента. У оставшихся сеянцев сосны проводили морфометрические измерения длины корневой системы, стволика и мутовки. Также определялась биомасса сеянцев, которую учитывали стандартными методами [7].

Во всех вариантах грунта с добавками биоудобрений после снятия эксперимента определяли содержание микробной биомассы (С<sub>мик</sub>), интенсивность базального дыхания (БД) [8].

Добавление в грунт вскрышных пород БУР МП и отработанных СБ увеличивало всхожесть семян сосны обыкновенной (рис. 2). Максимальное (на 47% от контроля) и статистически

достоверное увеличение всхожести наблюдалось в варианте «МП *T. versicolor*». В варианте «ОП сосна» всхожесть снижалась на 28%, что, вероятно, вызвано угнетающим влиянием экстрактивных веществ древесины сосны, которые задерживают прорастание. Всхожесть в варианте «ОП береза» также несколько ниже контроля.

Ситуация менялась к концу эксперимента: максимальная сохранность семян сосны (72–74%) отмечена в вариантах «ОП сосна» и «СБ *P. eryngii*» (рис. 2). Вероятно, экстрактивные вещества из древесины сосны и остатки грибного мицелия *P. eryngii* обладали ингибирующим влиянием на условно-патогенную микрофлору, повышая устойчивость семян сосны к патогенам. В варианте «МП *T. versicolor*» сохранность семян достигала 62%, что в 2,5 раза выше, чем в контроле. В вариантах «ОП береза» и «МП *P. ostreatus*» сохранность выше контроля в 1,8–2 раза. В целом, внесение разных вариантов органических биоудобрений достоверно ( $P=0,05$ ) повышало сохранность семян сосны.

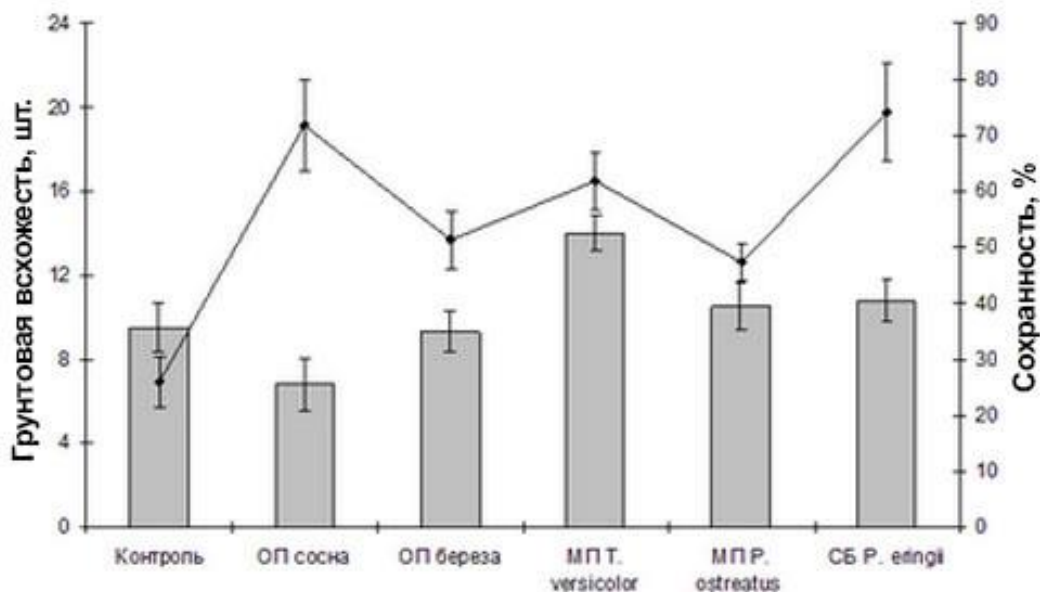


Рисунок 2. Грунтовая всхожесть семян сосны обыкновенной (диаграммы) и сохранность семян (графики) в разных вариантах грунта с добавками биоудобрений.

Анализируя морфометрические параметры оставшихся проростков семян отмечено, что во всех вариантах добавления биоудобрений длина коревой системы достоверно ( $P=0,05$ ) выше контроля, тогда как достоверное удлинение стволиков наблюдалось только в вариантах с добавлением опилок, мутовок – во всех вариантах, кроме «МП *P. ostreatus*». Общая биомасса всех семян сосны обыкновенной достоверно выше контроля во всех вариантах добавок. Наиболее высокая общая биомасса семян, в 3,5–4,4 раза превышающая контроль, в вариантах «МП *T. versicolor*» и «СБ *P. eryngii*».

Исследование функциональных характеристик микробоценоза вскрышных пород БУР после снятия эксперимента по внесению биоудобрений демонстрирует достоверное увеличение содержания  $S_{\text{мик}}$  (исключая вариант «ОП сосна») и интенсивности БД во всех исследуемых вариантах (рис. 3). Наибольшее возрастание рассматриваемых параметров почвенного микробоценоза отмечено в вариантах «МП *P. ostreatus*» и «СБ *P. eryngii*»: в 2–3,3 раза для  $S_{\text{мик}}$  и в 4–8,5 раз для БД, что, вероятно, связано как с активизацией аборигенной микрофлоры на внесение дополнительного органического вещества, так и с содержанием остатков живого мицелия базидиальных грибов.

Таким образом, внесение микопродуктов и отработанных субстратных блоков, а также опилок повышало грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной на 10–50%, увеличивало сохранность семян на 21–47%, улучшало все их морфометрические параметры (в 3,5–4,4 раз). Наибольшее увеличение морфометрических параметров и биомассы наблюдалось в вариантах «МП *T. versicolor*» и «СБ *P. eryngii*». Применение биоудобрений увеличивало биогенность и функциональную активность микробоценоза грунтов, особенно заметно в вариантах с МП и СБ.

Возможность применения биоудобрений, полученных путем биоконверсии продуктов лесопереработки, позволит увеличить продуктивность и биологическую активность деградированных почв и грунтов техногенных территорий, а также будет способствовать сохранности как естественных всходов, так и саженцев при искусственном лесовозобновлении. В перспективе использование биоудобрений может найти применение при выращивании посадочного материала в лесопитомниках.

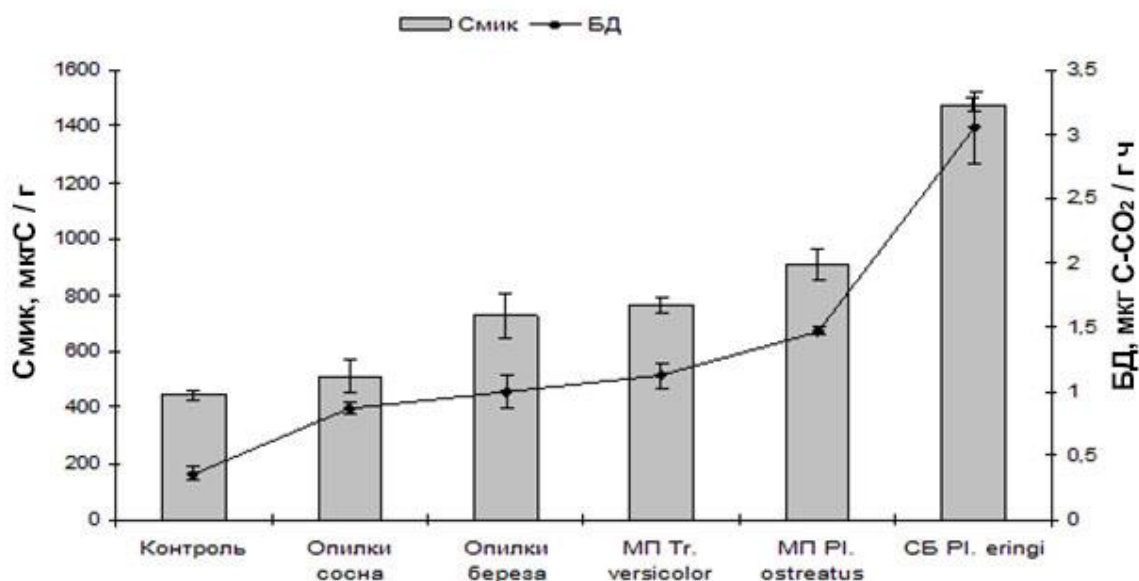


Рисунок 3. Содержание углерода микробной биомассы (диаграммы) и интенсивность БД (графики) разных вариантов грунта с добавками биоудобрений в конце вегетации.

Работа выполнена по базовому проекту № FWES-2021-0008.

#### Литература

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
2. Рабочий проект рекультивации земель, нарушенных ОАО «Разрез Бородинский» в Рыбинском районе Красноярского края, Красноярск. 2005.
3. Гродницкая И.Д., Трефилова О.В., Шишкин А.С. Агрохимические и микробиологические свойства техногенных почв отвалов (Канско-Рыбинская котловина) // Почвоведение. 2010. № 7. С. 867–878.
4. Мурзакматов Р. Т., Шишкин А. С., Борисов А. Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сибирский лесной журнал. 2018. № 1. С. 37–49.
5. Миронов П.В., Алаудинова Е.В., Эназаров Р.Х., Саволайнен А.С. Микробиологическая конверсия отходов деревопереработки с получением органических удобрений // Хвойные бореальной зоны. 2018. №3. С. 275–278.
6. Павлов И.Н., Литовка Ю.А., Мулява В.В., Сапронова И.Е., Кулаков С.С., Пашенова Н.В., Мулява В.Е. Биоконверсия отходов лесопереработки ксилотрофным базидиомицетом *Pleurotus eryngii* (DC.) Qué! // Агроэкоинфо. 2017. №2. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st\\_222.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_222.doc).
7. Полевая геоботаника, т. 3, М.-Л., 1964.
8. Богородская А.В., Кукавская Е.А. Состояние микробных сообществ в почвах лиственных и светлехвойных лесов Средней Сибири после рубок и пожаров // Лесоведение. 2016. № 5. С. 383–396.

POSTTECHNOGENIC SUCCESSIONS OF SOIL MICROBIOCEANOSES AND THE EXPERIENCE OF THEIR REMEDIATION ON THE EXAMPLE OF DUMPS OF COAL SECTION IN THE EASTERN PART OF THE KANSKO-ACHINSK BASIN

A.V. Bogorodskaya

Sukachev Institute of Forest FRC KSC SB of RAS, Krasnoyarsk, [anbog@ksc.krasn.ru](mailto:anbog@ksc.krasn.ru)

*Summary. Vegetation experiments to increase the productivity and biological activity of overburden rocks of the Borodino brown coal section are investigated. The introduction of mycoproducts, spent substrate blocks and sawdust increased the ground germination of Scots pine seeds by 10–50%, increased the safety of seedlings by 21–47%, as well as their morphometric parameters and biomass. The introduction of biofertilizers significantly increased the functional activity of microbocenosis of overburden rocks of the Borodino brown coal section.*

*Keywords: overburden rocks, biofertilizer, mycoproduct, seedling germination and preservation, soil microbial biomass, basal respiration.*

УДК 631.86:631.61

## САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ, НАРУШЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ

Ю.С. Глянцева, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая, С.Х. Лифшиц, О.С. Львова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, glyaz1408@mail.ru

**Аннотация.** Анализ результатов шестнадцатилетнего мониторинга мерзлотных почв юго-западной части Республики Саха (Якутия) загрязненных нефтью в результате аварийного разлива на нефтепроводе, показал, что остаточное нефтезагрязнение носит устойчивый характер, самовосстановление почв идет медленно. Наблюдается миграция загрязнения как в латеральном, так и вертикальном направлениях. В почве накапливаются асфальтово-смолистые компоненты. Высокие значения остаточного содержания нефти указывают на формирование аномальных углеводородных полей техногенного генезиса.

**Ключевые слова:** аварийный разлив, нефтезагрязнение, мерзлотные почвы, биодegradация, углеводороды, криолитозона.

Нефтегазовая промышленность по опасности воздействия на окружающую среду занимает третье место в числе 130 отраслей современного производства [1, 2]. Социально-экономическое развитие Республики Саха (Якутия) неразрывно связано с добычей и транспортировкой углеводородного сырья. При эксплуатации объектов нефтегазового комплекса происходят разливы и утечки нефти и нефтепродуктов (НП), а иногда и крупномасштабные аварии. Основной особенностью природных экосистем Якутии, определяющей условия распространения и деструкции нефти в почве, является наличие многолетней мерзлоты, которая служит геохимическим и экранирующим барьером. Мерзлотные почвы характеризуются слабым развитием почвенных процессов, неразвитостью почвенного профиля, способностью аккумулировать как легкие, так и тяжелые НП [3]. Если в регионах с благоприятными климатическими условиями процесс самовосстановления нефтезагрязненных почв без применения дополнительных мер по очистке занимает 10-25 лет, то в условиях криолитозоны деструкция нефти и её производных может длиться до 50 лет и более [4–6]. Потенциал самоочищающей способности почв от углеводородных загрязнений зависит от свойств самих почв и физико-географических условий окружающей среды, в первую очередь климатических факторов [7]. В работах [1, 5, 7, 8] рассмотрены основные этапы самоочищения почвы от нефтяных углеводородов (УВ) и преобразования нефти в природных системах в различных биоклиматических зонах. Согласно этим данным почвы Якутии обладают низкой устойчивостью и потенциалом самоочищения [8].

Для исследований по изучению процессов самовосстановления мерзлотных почв послужил участок территории в районе нефтепровода «Талакан-Витим» (59°57'44,5"N 112°10'03,3"E), где в мае 2006 г. произошел аварийный разлив нефти [2]. Исходная концентрация нефти в почве в 2006 г. достигала 227 г/кг, что соответствовало очень высокому уровню загрязнения. На территориях, подвергающихся постоянной техногенной нагрузке, очень сложно вести мониторинг и изучать процессы самовосстановления почв из-за возможных свежих разливов и утечек, когда новое загрязнение накладывается на предыдущее. Через три года после аварии нефтепровод не эксплуатировался и был демонтирован. Вследствие этого появилась уникальная возможность мониторинга и изучения процессов самовосстановления



загрязненной территории, трансформации состава нефтяных УВ и их миграции в условиях отсутствия дополнительных источников нефтяного загрязнения.

Комплекс аналитических исследований включал: определение содержания НП гравиметрическим методом по выходу хлороформенного битумоида (ХБ); изучение структурно-группового состава ХБ и их фракций методом ИК-Фурье спектроскопии; определение группового компонентного состава ХБ с помощью жидкостно-адсорбционной колоночной хроматографии; определение индивидуального состава насыщенных УВ методом хромато-масс-спектрометрии.

На рисунке 1 представлена динамика изменения среднего остаточного содержания нефти в почвах за 16 лет наблюдений. Видно, что при общей тенденции к снижению уровень загрязнения все еще остается высоким. Максимальное снижение содержания нефти почти в два раза было отмечено в первый год наблюдений. На данном этапе состав нефти в почве преобразуется в основном за счет физико-химических процессов самоочищения – испарения, растворения, ультрафиолетовой деструкции [1, 5]. Далее обычно включаются процессы биодegradации нефтяных УВ за счет аборигенной углеводородокисляющей микрофлоры. В дальнейшем уровень нефтезагрязнения изменялся как в меньшую, так и большую стороны. Уменьшение уровня нефтезагрязнения может быть связано как с процессами его трансформации, так и миграции с паводковыми, дождевыми и талыми водами, а увеличение в отсутствии новых разливов, по-видимому, только со способностью нефтяных УВ к миграции. Все это указывает на высокую подвижность нефтезагрязнения в почвах криолитозоны.

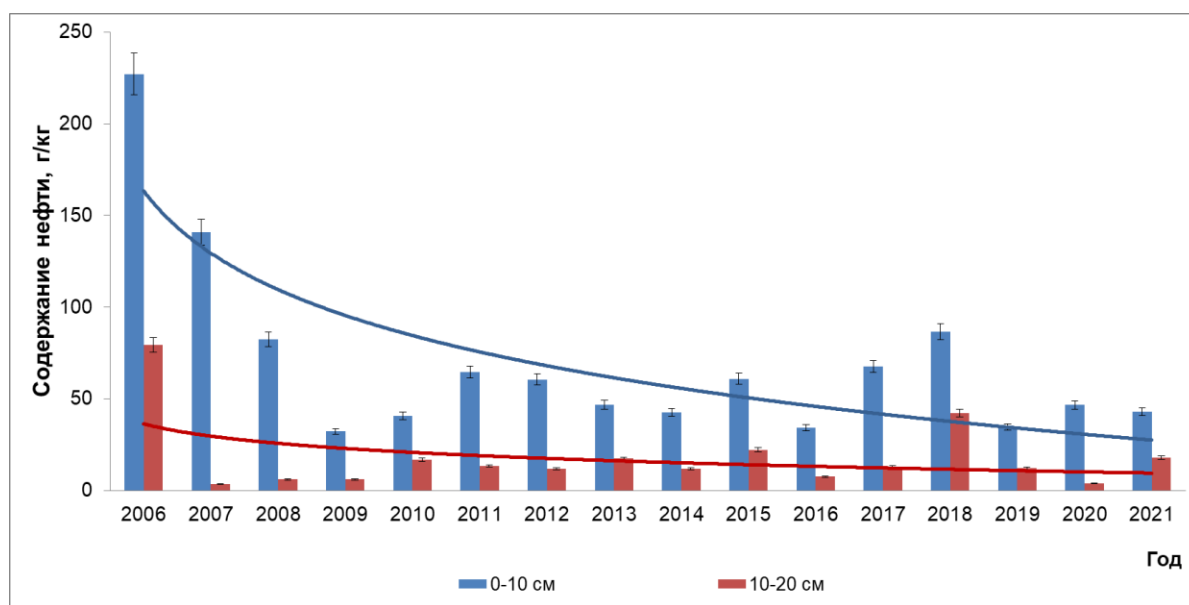


Рисунок 1. Динамика изменения остаточного содержания нефти в почвах исследуемой территории на глубине 0–10 см и 10–20 см.

При однократных разливах нефти для большинства типов почв основная часть нефти концентрируется в верхнем слое мощностью до 10 см [1, 5]. Во все годы мониторинга исследуемой территории содержание нефти на глубине 10–20 см было ниже, чем на глубине 0–10 см. Однако уровень загрязнения также колебался то в меньшую, то в большую сторону. Сезонное промерзание почв способствует накоплению больших количеств влаги в верхней части почвенного профиля и, как следствие, десорбции какой-то части нефти после оттаивания. С талыми водами компоненты нефти могут перемещаться вертикально по почвенному профилю. Кроме того, на горизонте 60 см почвенного профиля идет поступление вод сезонно-талого слоя. Все это приводит к тому, что в результате вертикальной, радиальной и латеральной миграции нефтяных УВ происходит постоянное перераспределение загрязнения в почвенном профиле. Миграция нефтяных УВ может способствовать увеличению первоначальной площади загрязнения.

Согласно данным группового состава ХБ и характеру ИК-спектров нефтезагрязнение постепенно подвергалось процессам окислительной деструкции. В составе почвенных экстрактов произошли изменения в сторону уменьшения доли углеводородных компонентов и увеличения смол и асфальтенов (рис. 2). Состав загрязнения стал приобретать асфальто-смолистый характер. Следует отметить, что согласно линиям тренда, увеличение содержания смол в групповом составе почвенных экстрактов преимущественно осуществлялось за счет новообразования спиртобензольных смол. Несмотря на то, на глубине 0-10 см нефтезагрязнение приобрело асфальто-смолистый характер, но даже через 16 лет после аварии оно сохраняет способность к миграции. Возможно, это связано с тем, что образующиеся в процессе окислительной деструкции спирто-бензольные смолы носят более ароматический характер. Ароматические соединения больше растворимы в воде, а потому сильнее подвержены перемещению при сезонных циклах промерзания-оттаивания грунтов. В спектрах ХБ со временем произошло увеличение поглощения кислородсодержащих групп: гидроксильных (полосы поглощения  $3300-3400\text{ см}^{-1}$ ), карбонильных ( $1700-1740\text{ см}^{-1}$ ), эфирных связей ( $1170\text{ см}^{-1}$ ).

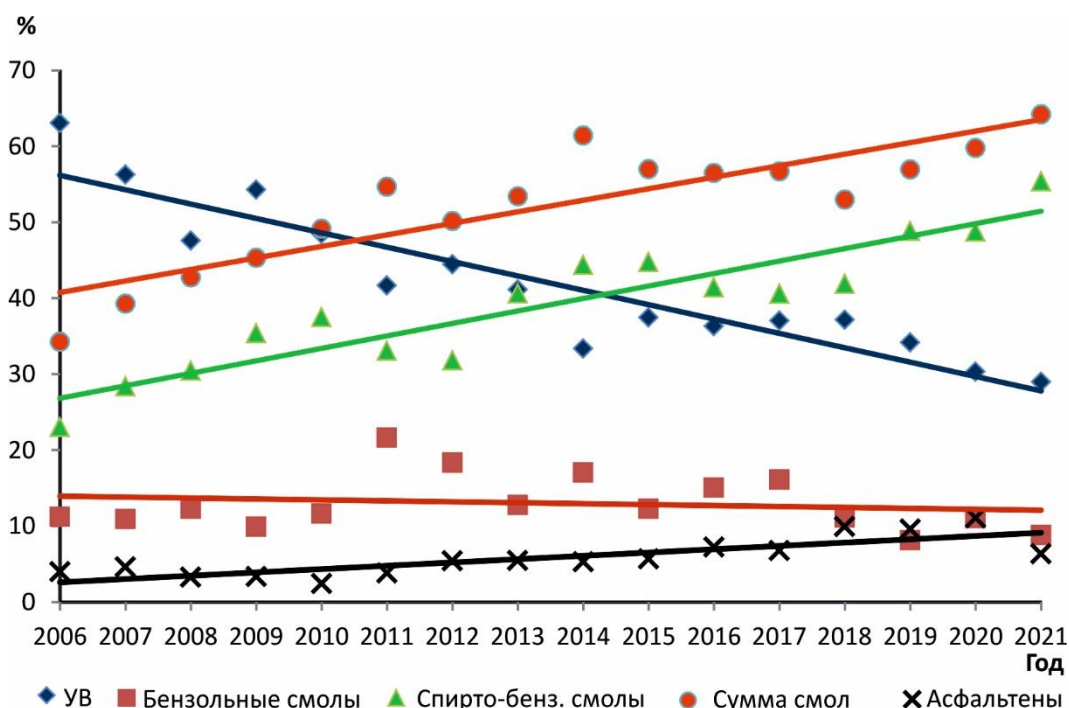


Рисунок 2. Динамика изменения группового состава ХБ.

Сразу после аварии распределение индивидуальных УВ имело нефтяной характер. В составе углеводородных фракций было высокое содержание н-алканов, 12- и 13-метилалканов, относительно низкомолекулярные н-алканы преобладали над высокомолекулярными, максимум в распределении н-алканов находился в относительно низкомолекулярной области на н-С<sub>15,17</sub> (табл. 1). Аналогичное распределение наблюдалось и в 2007 г. Известно, что нефтяные УВ обладают различной устойчивостью к процессам биодegradации [2, 4–6]. Так, в первую очередь процессам биодegradации подвергаются н-алканы, а среди них н-С<sub>17</sub> и н-С<sub>18</sub>, монометилалканы и только затем уже изопреноиды. Соотношение суммы изопреноидов пристана (Pr) и фитана (Ph) к сумме рядом элюирующихся н-алканов нС<sub>17</sub> и нС<sub>18</sub> называют коэффициентом микробной биодegradации. Это связано с избирательностью микробиологического окисления алифатических углеводородов. Из приведенных в табл. 1 данных видно, что микробиологическая активность углеводородокисляющих микроорганизмов в почвах криолитозоны проявляется лишь на второй-третий год после загрязнения, о чем свидетельствует рост коэффициента биодegradации. До этого уменьшение уровня нефтезагрязнения, по-видимому, было преимущественно связано с воздействием физико-химического разложения УВ, т.к. в отличие от биологических процессов физико-химические процессы обычно характеризуются меньшей

степенью избирательности. О протекающих процессах биodeградации нефтезагрязнения свидетельствует также смещение максимума в распределении n-алканов в более высокомолекулярную область с  $nC_{15,17}$  до  $nC_{21}$  в 2017 г. Уменьшается коэффициент отношения относительно низкомолекулярных n-алканов к высокомолекулярным  $\sum n.k.-nC_{20}/\sum nC_{21-k.k.}$ . Далее процессы биodeградации затрагивают все более широкий спектр УВ. Происходит перераспределение в содержании различных групп ациклических алканов и почти полное их исчезновение. С 2015 г. на масс-хроматограммах проявляется «горб» из неразделенных компонентов, которые обычно представляют неразделенные полициклические метаново-нафтеновые и нафтеново-ароматические УВ, в данном случае, вероятно, продукты трансформации нефтяных УВ.

Таблица 1. Особенности распределения индивидуальных УВ в загрязненных почвах

ПАРАМЕТРЫ	Годы							
	2006	2007	2008	2009	2012	2015	2017	2021
Групповой состав алкановых УВ, % на $\sum$ идентифицированных алканов:								
n-алканы	43,7	50,85	36,23	30,03	26,41	21,89	34,57	отс.
изопреноиды	15,5	18,40	22,86	25,76	32,16	35,03	22,71	отс.
12-и 13-метилалканы	14,8	14,52	9,63	16,37	отс.	отс.	отс.	отс.
$\sum n.k.-nC_{20}/\sum nC_{21-k.k.}$	1,5	1,33	1,89	1,17	0,98	–	–	–
максимум n-алканов	$nC_{15}$	$nC_{15}$	$nC_{15}$	$nC_{17}$	$nC_{19}$	$nC_{19}$	$nC_{21}$	–
изопреноиды/ n-алканы	0,35	0,36	0,63	0,86	1,22	1,60	0,66	–
$Pr+Ph/nC_{17}+nC_{18}$	0,9	1,2	1,6	2,6	6,8	4,7	1,7	–

Показано, что процессы самовосстановления мерзлотных почв под влиянием аборигенной углеводородокисляющей микрофлоры активизируются только на 2-3 год после нефтяного загрязнения, в то время как для почв средней полосы активизация микроорганизмов наблюдается уже через 2–3 месяца [5]. По результатам исследований, процессы биodeградации в мерзлотной почве замедляются приблизительно через 11–12 лет. К этому времени в почвах практически не остается УВ доступных для жизнедеятельности микроорганизмов, однако уровень загрязнения все еще остается высоким. Трансформация нефтезагрязнения протекает с накоплением спиртобензольных смол преимущественно ароматического характера, что является токсичным для почвенных биоценозов. Все это свидетельствует о необходимости проведения дальнейшего мониторинга и восстановительных мероприятий для очистки почв криолитозоны от нефтезагрязнений.

Результаты работы получены в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011200369-1 с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта №13.ЦКП.21.0016.

#### Литература

1. Солнцева Н.П. Геохимия ландшафтов в районах добычи и транспортировки углеводородного сырья // География, общество, окружающая среда. Том 4: Природно-антропогенные процессы и экологический риск. М.: Издательский дом Городец, 2004. С. 416–417.
2. Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Зуева И.Н. Мониторинг состояния нефтезагрязненных почв криолитозоны // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Том XXIX. №4, С. 111–128.
3. Саввинов Г.Н. Эколого-почвенные комплексы Якутии. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 312 с.

4. Yang Si-Zhong, Jin Hui-Jun, Wei Zhi, He Rui-Xia, Ji Yan-Jun, Li Xiu-Mei, Yu Shao-Peng. Bioremediation of oil spills in cold environments: a review // *Pedosphere*. 2009. No. 19(3). P. 371–381.
5. Оборин А.А., Хмурчик В.Т., Иларионов С. А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В. Нефтезагрязненные биоценозы. Пермь: УрО РАН; Перм. гос. ун-т; Перм. гос. техн. ун-т., 2008. 511 с.
6. Lifshits S.Kh., Glyaznetsova S.Yu., Chalaya O.N., Zueva I.N. Increase in remediation processes of oil-contaminated soils // *Remediation Journal*. 2017. Vol. 28. No 1. P. 97–104.
7. Исмаилов Н.М., Гасымова А.С. Самоочищающая способность почв от нефти и нефтепродуктов в зависимости от структуры углеводов // *Аридные экосистемы*. 2016. Том 22. № 4 (69). С. 73–808.
8. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими ароматическими углеводородами: метод и опыт составления // *Почвоведение*. 2007. №1. С. 80–92.

#### SELF-HEALING OF PERMAFROST SOILS DISTURBED AS A RESULT OF AN ACCIDENTAL OIL SPILL

Yu.S. Glyaznetsova, I.N. Zueva, O.N. Chalaya, S.Kh. Lifshits, O.S. Lvova  
Institute of Oil and Gas Problems SB of RAS, Yakutsk, glyaz1408@mail.ru

*Summary. The results of a sixteen-year monitoring of permafrost soils contaminated with oil as a result of an accidental spill on an oil pipeline (South-Western Yakutia) are presented. It was found that residual oil pollution is sustainable. Soil self-recovery is slow. There is a migration of pollution in both lateral and vertical directions. Asphalt-resinous components accumulate in the soil. High values of residual oil content in soils indicate formation of abnormal hydrocarbons fields of technogenic genesis.*

*Keywords: accidental spill, oil pollution, permafrost soils, biodegradation, hydrocarbons, permafrost.*

УДК 631.421

#### ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТАХ ОТВАЛОВ НА УЧАСТКАХ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

И.Н. Госсен

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, gossen@issa-siberia.ru

*Аннотация. Представлены результаты полевых исследований 2018 и 2019 годов на опытно-производственной площадке на территории внешнего отвала "Разреза Заречный" «АО СУЭК-Кузбасс». Изучены эколого-ценотические характеристики сообществ растений сформировавшихся на участках с отсыпкой плодородного слоя почвы (ПСП) (мощность 0,5 м), при нанесении потенциально плодородных пород (ППП) (мощностью 1 м), на участке техногенного элювия, а также на участке с послышной отсыпкой PPP мощностью 0,6 м и ПСП 0,4 м. Проведены геоботанические описания по стандартным методикам с учетом повторностей. Установлено, что в первые годы после окончания формирования опытно-производственной площадки на всех участках увеличивается количество видов травянистых растений. Однако использование литогенных ресурсов при проведении рекультивации ускоряет развитие растительных сообществ на техногенных ландшафтах, но не позволяет достичь стадий зональных формаций.*

*Ключевые слова: лесная рекультивации, плодородный слой почвы, потенциально плодородные породы, литогенные ресурсы рекультивации.*

Формирование растительного покрова на техногенных ландшафтах, при благоприятных условиях практически начинается в год окончания отсыпки отвала. В первую очередь поселяются сорные виды (пионеры) [1]. Но не всегда даже эти неприхотливые сорняки могут прижиться. К примеру, на отвалах, сложенных из крупнообломочных скальных пород, естественное зарастание идет очень медленно или вовсе не происходит. Однако, как показано



исследователями [2, 3] использование таких литогенных ресурсов как плодородный слой почвы (ПСП), либо потенциально плодородные породы (ППП) позволяет значительно улучшить физико-химические свойства местообитания, что способствует развитию сукцессионных процессов. Проективное покрытие участков также отличается и зависит от видового состава растений и субстрата почвы.

Целью данной работы является выявление особенностей начальных стадий формирования растительного покрова на разных субстратах.

Исследования проводились в лесостепной зоне Кемеровской области на территории внешнего отвала "Разреза Заречный" «АО СУЭК-Кузбасс». С целью выявления особенностей начальных стадий формирования растительного покрова на отвале (посредством разных комбинаций ПСП и ППП) были сформированы опытные площадки: I вариант – нанесение ПСП мощностью 0,5 м; II вариант – контроль, материал отвала; III вариант – нанесение ППП мощностью 1 м; IV вариант – послойное нанесение ППП мощностью 0,6 м и ПСП мощностью 0,4 м. [4]. На каждой площадке проводились серии геоботанических описаний (учетные участки площадью 100 м<sup>2</sup>) и осуществлялся, в трехкратной повторности, отбор надземной фитомассы (укосы) на участках площадью 1 м<sup>2</sup> [5].

При наблюдении динамики восстановления растительного покрова на исследуемых площадках в 2019 году по сравнению с 2018 годом было отмечено следующее. На площадках были высажены саженцы древесных пород – *Pinus sylvestris* L., *Acer negundo* L., *Sorbus aucuparia* L. и *Betula pendula* Roth, состояние и количество которых, за период проведения наблюдений не изменилось, прирост составил в среднем около 10–15 см, жизненность по Браун-Бланке и Павияр (1922) [5] «удовлетворительная» – вид вегетативно развит неплохо, но плодоносят лишь некоторые растения.

На участке с отсыпкой ПСП 0,5 м изменения в структуре сообщества мало заметны. В травостое преобладают злаковые и бобовые виды. Проективное покрытие сохраняется на высоком уровне 80% с преобладающими видами – *Phleum pratense* L., *Trifolium pratense* L., однако к доминирующим видам, по сравнению с 2018 годом добавился *Hypericum perforatum* L. Количество видов на данном участке также характеризуется незначительным повышением числа видов с 16 до 22, при этом из сообщества исчезли два единично отмеченных вида – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth и *Ranunculus acris* L. Появление луговых видов связано с сохранившимся банком семян в нанесенном ПСП. Надземная продукция травянистых растений за период наблюдения изменяется от 2801 до 308 ц/га. При этом, как показано в таблице 1, отмечается увеличение биомассы злаковых видов почти в два раза, и снижение продуктивности разнотравных видов так же в два раза. Почва – технозем гумусогенный.

Изменения в травянистом ярусе на участке № 2, почвенный покров которого представлен вскрышными и вмещающими породами, более заметны. В частности, в большинстве учетных площадок произошло изменение доминирующих видов. Так, на участке с техногенным элювием в 2018 году с проективным покрытием в 30% преобладали *Cirsium setosum* (Willd.) Besser, *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, в 2019 произошло некоторое изменения. Количество видов увеличилось вдвое с 9 до 18 видов, при этом один вид – *M. officinalis* «выпал» из сообщества. Помимо этого, участок разделился на две площадки с разным проективным покрытием. Первая площадка характеризуется снижением проективного покрытия до 10%, с преобладанием *C. setosum*, *C. vulgare* (Savi) Ten., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. и *Tussilago farfara* L. Почвенный покров представлен эмбриоземом инициальным. Для данных стадий почвообразования характерны однолетние виды быстро заселяющие новые свободные экотопы и также быстро выпадающие из ценоза. Конкурировать с многолетниками они не могут. На второй площадке, по сравнению с прошлым годом, проективное покрытие осталось прежним, однако, значительно выросло количество *C. vulgare*. Почвенный покров представлен эмбриоземом органо-аккумулятивным, на котором формируются бурьянистые растительные группировки. Такое разделение, обусловлено гранулометрическим составом субстрата и как следствие степенью увлажнения и следовательно, доступностью для растений минеральных веществ. Как показано в таблице 1 на участке отсутствуют злаковые и бобовые виды травянистых растений, надземная фитомасса составляет от 40 до 106 ц/га.

Таблица 1. Биомасса травянистых растений.

Повторность	Тип растений			Урожайность, ц/га
	злаковые	бобовые	разнотравье	
Участок 1 отсыпка ПСП				
2018	108	124	48	280
2019	192	96	20	308
Участок 2 техногенный элювий				
2018	-	-	40	40
2019	-	-	106	106
Участок 3 отсыпка ППП				
2018	74	254	593	921
2019	67	248	741	1056
Участок 4 отсыпка ПСП+ППП				
2018	176	85	460	721
2019	211	136	385	732

Значительные изменения наблюдаются в сообществе, произрастающем на техноземе литогенном (отсыпка ППП 1 м) (участок № 3). Проективное покрытие увеличилось с 50 до 95%, видовое разнообразие также увеличилось с 22 до 26 видов, при этом 6 видов отмеченных в 2018 году, при исследовании в 2019 году не зафиксированы. Изменения наблюдаются и в составе доминирующих видов, на смену *C. canadensis* и *T. farfara* пришли *Medicago falcata* L. и *C. vulgare*, последний, встречается очень обильно. Надземная фитомасса растений изменяется от 921 до 1056 ц/га (табл. 1).

Проективное покрытие растений на техноземе гумусогенном с послышной отсыпкой ПСП 0,4 м + ППП 0,6 м (участок № 4), также как на предыдущем участке изменилось с 50 до 95%. Однако, видовое разнообразие уменьшилось с 32 до 28 видов. При этом 11 видов исчезли из сообществ.

В составе доминирующих видов произошла рокировка, доминировавший в 2018 году *C. canadensis* сменился *C. vulgare*, такая же картина наблюдается в содоминантах, помимо *T. farfara*, появились такие виды как *M. falcata*, *C. setosum* и *T. inodorum*. Помимо этого, к содоминантам добавились *Linaria acutiloba* Fisch. ex Rchb. и *Agrostis tenuis* Sibth. Проведенные укосы показали урожайность надземной фитомассы в 721–732 ц/га (табл. 1).

Проведенные исследования показали, что отсыпка ПСП (участок 1) позволяет быстро сформировать травянистый растительный покров, при этом быстро восстанавливается биоразнообразие, что свидетельствует о высоком количестве семян в субстрате. На начальных этапах даже появляются редкие краснокнижные виды, которые впоследствии вытесняются преобладающими сорными и луговыми видами травянистых растений. Проективное покрытие составляет 80%, а также возрастает количество произрастаемых видов. Нанесенный гумусовый слой способствует улучшению количественных и качественных характеристик травянистого покрова.

На участке без использования литогенных ресурсов рекультивации за время проведения научно-исследовательских работ не сформировалось сплошного растительного покрова. Проективное покрытие составляет от 10 до 40%. На участке преобладают пионерные и сорные виды, что свидетельствует о неблагоприятных физико-химических свойствах субстрата.

При отсыпке ППП (суглинка) на начальных этапах развития фитоценозов в травостое преобладают пионерные (не требовательные к качеству субстратов) виды травянистых растений. В последствии они заменяются бурьянистой стадией развития фитоценозов, и появляются бобовые виды. Проективное покрытие возрастает с 50 до 95%, а также увеличивается количество произрастающих видов травянистых растений. Что свидетельствует о более благоприятных почвенных условиях для роста и развития растений.

Участок 4 сформирован по классической технологии с послышной отсыпкой ПСП и ППП. Такой способ формирования рекультивированной поверхности имитирует строение

естественных почв. Плодородие и устойчивость почвоподобных образований (технозём) зависит от количества и качества использованных материалов. Формирование технозёмов по такой технологии позволяет создавать растительный покров различных видов и направлений. В нашем случае при формировании использовался торф. На площадках с естественным восстановлением растительных сообществ преобладают сорные виды, хотя встречаются и растения характерные для болотных экосистем. В дальнейшем виды растений с переувлажненных местообитаний выпадают из фитоценоза на 3–4 год произрастания. Так количество выделенных видов снижается с 32 до 28, в то время как проективное покрытие на участке возрастает с 50 до 95%. На участке выделяются территории с преобладанием злаковых и бобовых видов, а также ареалы с произрастанием разнотравных видов.

#### Литература

1. Глебова О.И. Биогеографические исследования сингенетичности почв и растительности техногенных ландшафтов // Природа и экономика Кузбасса: регион. сб. науч. статей. Новокузнецк, 2004. Вып. 9, Т. 2. С. 4–9.
2. Семина И.С. Рациональное использование литогенных ресурсов рекультивации как основа экологически безопасного развития техногенных ландшафтов // Безопасность труда в промышленности. 2013. № 11. С. 36–38.
3. Соколов Д.А., Мерзляков О.Э., Доможакова Е.А. Оценка литогенного потенциала гумусонакопления в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2015. №399. С. 247–253.
4. Андроханов В.А., Лаврененко А.Т., Госсен И.Н., Куляпина Е.Д. Опыт создания опытно-производственной площадки по рекультивации нарушенных земель на разрезе "Заречный" АО «СУЭК-Кузбасс» // Уголь. 2019. № 12. С. 60–65.
5. Воронов А.Г. Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.

#### FORMATION OF VEGETATION COVER ON DIFFERENT DUMP SUBSTRATES IN FOREST RECLAMATION AREAS

I.N. Gossen

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, gossen@issa-siberia.ru

*Summary. The results of field studies in 2018 and 2019 at the pilot production site on the territory of the external dump "Zarechny" of JSC SUEK-Kuzbass are presented. The ecological and coenotic characteristics of plant communities formed in the areas with the filling of the fertile soil layer (FSL) (0.5 m thickness), with the application of potentially fertile rocks (PFR) (1 m thickness), in the area with the filling of technogenic eluvium, as well as in the area with the layer-by-layer filling of PFR (0.6 m thickness) and FSL (0.4 m thickness) were studied. Geobotanical descriptions were carried out according to standard methods, taking into account iterations. It is established that in the first years after the end of the formation of the pilot production site, the number of herbaceous plant species increases in all areas. However, the use of lithogenic resources in the frame of reclamation accelerates the development of plant communities on man-made landscapes, but does not allow reaching the stages of zonal formations.*

*Keywords: forest reclamation, fertile soil layer, potentially fertile breeds, lithogenic resources of reclamation.*

УДК 504.73; 502.131.1; 631.618

## РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ С ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В.Г. Двуреченский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный педагогический университет,  
Новосибирск, Российская Федерация, [dvu-vadim@mail.ru](mailto:dvu-vadim@mail.ru)

**Аннотация.** *С экологической точки зрения, устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем и сохранность их для будущих поколений. Особое значение имеет жизнеспособность экосистем, от которых зависит глобальная стабильность всей биосферы. Понятие экосистем и ареалов обитания можно понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, антропогенные ландшафты. Рекультивация почв – основной элемент восстановления и улучшения окружающей среды.*

**Ключевые слова:** *антропогенные ландшафты, устойчивое развитие, рекультивация.*

**Актуальность.** Рекультивация является важным элементом экологической составляющей концепции устойчивого развития. Под рекультивацией понимают создание почвенного покрова с заранее заданными параметрами, то есть это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение качества окружающей среды [1].

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являются антропогенные ландшафты Урала, Сибири и Казахстана.

**Обсуждение результатов.** Устойчивое развитие – это такая модель движения вперед, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей, без лишения такой возможности будущих поколений. Концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек зрения: экономической, социальной и экологической.

Экономический подход к концепции устойчивости развития основан на теории максимального потока совокупного дохода, который может быть произведен при условии, по крайней мере, сохранения совокупного капитала, с помощью которого и производится этот доход. Эта теория подразумевает оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологичных, природо-, энерго- и материало-сберегающих технологий, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов.

Социальная составляющая устойчивости развития ориентирована на человека и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем, в том числе на сокращение числа разрушительных конфликтов между людьми. Важным аспектом этого подхода является справедливое разделение благ. Желательно также сохранение культурного капитала и многообразия в глобальных масштабах, а также более полное использование практики устойчивого развития, имеющейся в недоминирующих культурах. Для достижения устойчивости развития современному обществу придется создать более эффективную систему принятия решений, учитывающую исторический опыт и поощряющую плюрализм. Человек должен участвовать в процессах, которые формируют сферу его жизнедеятельности, содействовать принятию и реализации решений, контролировать их исполнение.

С экологической точки зрения устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем. Особое значение имеет жизнеспособность экосистем, от которых зависит глобальная стабильность всей биосферы. Более того, понятие «природных» систем и ареалов обитания можно понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, например, антропогенные ландшафты, города. Основное внимание уделяется сохранению способностей к самовосстановлению и динамической адаптации таких систем к изменениям, а не сохранение их в некотором «идеальном» статическом состоянии. Деградация природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению.



Согласование этих различных точек зрения и их перевод на язык конкретных мероприятий, являющихся средствами достижения устойчивого развития – задача необычайно сложная, поскольку все три элемента устойчивого развития должны рассматриваться сбалансировано. Важны также и механизмы взаимодействия этих трех составляющих. Экономический и социальный элементы, взаимодействуя друг с другом, порождают такие новые задачи, как достижение справедливости внутри одного поколения (например, в отношении распределения доходов) и оказание целенаправленной помощи малоимущим слоям населения. Механизм взаимодействия экономического и экологического элементов породил новые идеи относительно стоимостной оценки и интернализации (учета в экономической отчетности предприятий) внешних воздействий на окружающую среду. Наконец, связь социального и экологического элементов вызвала интерес к таким вопросам как внутр поколенное и межпоколенное равенство, включая соблюдение прав будущих поколений, и участия населения в процессе принятия решений.

Рекультивация является важным элементом экологической составляющей концепции устойчивого развития. Рекультивации подлежат земли, нарушенные при разработке месторождений полезных ископаемых открытым или подземным способом; при прокладке трубопроводов, проведении строительных, мелиоративных, лесозаготовительных и иных работ, связанных с нарушением почвенного покрова; при ликвидации последствий загрязнения земель, если по условиям их восстановления требуется снятие верхнего плодородного слоя почвы; после проведения войсковых операций [2].

Рекультивация нарушенных земель осуществляется для восстановления ландшафтов для различных целей: сельскохозяйственное направление рекультивации – создание на нарушенных землях сельскохозяйственных угодий; лесохозяйственное направление – лесных насаждений различного типа; рекреационное направление – объектов отдыха; водохозяйственное направление – создание в понижениях техногенного рельефа водоемов различного назначения; природоохранное направление – приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для использования в природоохранных целях; санитарно-гигиеническое направление – биологическая или техническая консервация нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых для использования в хозяйственных целях экономически неэффективна; строительное направление – проведение нарушенных земель в состояние, пригодное для промышленного, гражданского и другого строительства.

Биологическая рекультивация нарушенных земель осуществляется на основе сельскохозяйственного подхода, предусматривающего активное восстановление плодородия путем нанесения смеси плодородного слоя почвы (ПСП) с потенциально плодородными породами (ППП), внесение удобрений и мелиорантов, подбор и высаживание разных видов трав и деревьев, устойчивых в техногенной среде [1].

Альтернативой сельскохозяйственному подходу при биологической рекультивации является сукцессионный – использование способности природных геосистем и их компонентов к самовосстановлению в ходе первичных и последующих сукцессий растительности. Этот подход менее продуктивный. Сукцессионный подход учитывает степень нарушений природной экосистемы и позволяет создавать растительный покров, способный существовать и развиваться без постоянных энергетических и вещественных затрат [1]. В этом случае главная задача при проведении восстановительных работ состоит в подготовке нарушенных экотопов таким образом, чтобы она вызвала ускорение сукцессий в результате естественного заселения территории видами микроорганизмов, растений и животных из окружающих естественных ландшафтов. Важным условием успешного развития начальных сукцессий является оптимизация питательного режима путем разового внесения необходимых мелиорантов и удобрений в почву. Оптимизация питательного режима почв может рассматриваться как «катализатор» для возникновения положительных обратных связей в восстанавливающихся экосистемах.

Реализация сукцессионного подхода, основная цель которого «дать старт» сукцессии в условиях антропогенного ландшафта, в зависимости от степени нарушенности экосистемы (наличие органогенного горизонта почв и биоты) предусматривает:

1) внесение мелиорантов и удобрений без семян растений, чтобы способствовать колонизации местными видами территорий с сохранившимися участками из живых растений и почв, имеющих органогенные горизонты;

2) посев семян устойчивых к загрязнению трав и внесения мелиорантов и удобрений на территориях полностью лишенных растительности и органогенных горизонтов почв;

3) внесение мелиорантов, удобрений и посев семян или посадка устойчивых к загрязнению деревьев и кустарников – осины, березы, ивы, ольхи.

Внедрение древесных и кустарниковых растений в искусственно созданный травяной покров можно рассматривать как последовательный этап сукцессии. Травяное сообщество создает корнеобитаемый слой и условия для внедрения местных древесных растений, оптимизирует водный и питательный режим и т.д.

Современные подходы к рекультивации основываются на применении методов стимуляции собственных возможностей природных экосистем к самовосстановлению. Исходя из закономерностей процессов естественного восстановления в ходе сукцессий, процесс рекультивации нарушенных земель также должен носить многоэтапный (многостадийный) характер. Каждый этап должен соответствовать определенной стадии спонтанной восстановительной сукцессии.

Как при сельскохозяйственном, так и при сукцессионном подходе необходимо учитывать особенности природно-климатической зоны, где произошли нарушения почвенного покрова, так как ресурсы рекультивации (ПСП, ППП, потенциал естественных экосистем) в каждой зоне различны как по количеству, так и по качеству.

Почва играет важнейшую роль в природных ландшафтах и в восстанавливающихся экосистемах. Почвенный покров выступает как фактор плодородия для растений и как самая насыщенная организмами среда. Нигде более нельзя встретить такой плотности биоты как в почве. Именно здесь постоянно идут процессы жизнедеятельности множества видов растений, животных, бактерий, грибов. Именно в почве берут свое начало практически все пищевые цепи, выбирая из нее минеральные вещества и создавая из них органику, и здесь же они заканчиваются, замыкая круговорот веществ и элементов в природе. Исключительно важна роль почвы как санитарного барьера.

Почва имеет довольно высокую степень устойчивости и «запас прочности». Это означает, что она может выдерживать значительные внешние воздействия и эффективно после них восстанавливаться. Однако в настоящее время она не в силах справиться с той нагрузкой, что обрушивает на нее человеческая цивилизация. Именно поэтому к деградации почв ведут причины преимущественно антропогенного характера. То, что почва – один из важнейших компонентов окружающей природной среды не случайно. Все основные ее экологические функции замыкаются на одном обобщающем показателе – почвенном плодородии.

В современных условиях интенсивность преобразующего воздействия общественного производства на естественные ландшафты достигла такого уровня, при котором негативные последствия оказывают существенное влияние на природные процессы и среду обитания человека. Непрерывное развитие промышленного производства приводит к разрушению почвенного покрова. Его вызывают различные виды деятельности человека. Добыча полезных ископаемых открытым способом сопровождается образованием карьеров, отвалов, терриконов, которые нарушают растительный и почвенный покровы, гидрологический и гидрохимический режимы территории. Для сохранения почвенного покрова в этом случае рекомендована селективная выемка и складирование ресурсов рекультивации (ПСП, ППП) для последующего использования их для восстановления нарушенных территорий. Подземная добыча полезных ископаемых со временем приводит к развитию просадочных явлений, изменению рельефа и гидрологического режима территории. Добыча нефти ведет к загрязнению почвы сырой нефтью, нефтяными водами, пластовыми водами и т.п.

На большей части изымаемых земель происходит разрушение или омертвление почвенного покрова, что, в конечном итоге, приводит к сдвигу экологической ситуации в негативном направлении. Антропогенные ландшафты, образующиеся на месте нарушенных земель, как правило, обладают низкой способностью к самовосстановлению. Если же эта способность сохранена, то на восстановление естественным путем необходимы десятки или сотни лет. В связи с этим, встала проблема их рекультивации. Полное восстановление нарушенного

естественного покрова искусственным путем невозможно в принципе, так как почва относится к невозпроизводимым природным ресурсам. Поскольку отчуждение земель и нарушение почвенного покрова обусловлено производственной необходимостью, то полностью остановить этот процесс также невозможно, но можно регулировать и сводить к минимуму негативные последствия путем восстановления ландшафтной обстановки подобной прежней. При этом ставится задача – создать оптимальный для конкретной территории ландшафт, который будет успешно выполнять ресурсовоспроизводящие, средовоспроизводящие и природоохранные функции.

В России в настоящее время предложено несколько технологий рекультивации, направленных не только на восстановление сельскохозяйственных угодий и элементов природы, но и на поддержание почвенных экологических функций. Применяются в основном два способа рекультивации.

Первый способ – проведение многолетних фитомелиораций с внесением органических добавок и минеральных удобрений.

Второй способ – нанесение смеси ПСП и ППП с последующими фитомелиорациями, внесением органических и минеральных удобрений [1].

Выбор направлений рекультивации определяется конечным использованием нарушенных земель. Их выбирают на основе комплексного учета следующих факторов: природные условия района разработок (климат, геологическое строение, растительность, почвы); состояние техногенных земель к моменту рекультивации (характер техногенного рельефа, степень естественного зарастания и др.); минералогический состав; водно-физические, физико-химические и агрохимические свойства вскрышных пород и их классификация по пригодности для биологической рекультивации; инженерно-геологические и гидрологические условия; хозяйственные, социально-экономические и санитарно-гигиенические условия; срок службы рекультивированных земель (возможность повторности нарушений и их периодичность); технология и механизация.

Рекультивация земель осуществляется обычно в несколько этапов. Первый – подготовительный. Он включает в себя обследование и типизацию нарушенных земель, изучение специфики их природных условий (геологического строения, состава пород, пригодности их к биологической рекультивации и другим видам использования, прогноз динамики гидрогеологических условий), определение направлений рекультивации и целевого использования рекультивируемых земель, установление требований к последующим этапам рекультивации; составление технико-экономического обоснования и рабочих проектов и планов. Второй этап – горнотехнический. Он включает мероприятия, направленные на подготовку территории к дальнейшему использованию. Сюда входит планировка поверхности, формирование «жизнеобеспечивающего» слоя почвы на спланированную поверхность, прокладывание необходимых дорог, каналов, коллекторно-дренажной сети, создание ложа водоема и т.д. Конечная стадия этого этапа – укладка на выровненную поверхность смеси ПСП и ППП мощностью 0,3–0,5 м для сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования. Третий, биологический, этап – это комплекс мероприятий по восстановлению плодородия нарушенных земель. К нему относятся комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на возобновление флоры и фауны, целевое использование рекультивируемой территории. Общая продолжительность периода, в течение которого осуществляется весь комплекс рекультивационных работ, составляет десять и более лет.

Современные подходы к рекультивации нарушенных ландшафтов служат неотъемлемой частью экологической составляющей концепции устойчивого развития. Тем не менее, при проведении экологических экспертиз проектов рекультивации довольно часто приходится сталкиваться с устаревшими научными подходами к рекультивации антропогенных экосистем, что свидетельствует об отсутствии связей между научными учреждениями, пользователями ресурсов и проектными организациями. С учетом современных геополитических реалий, вызванных напряженной международной обстановкой, нельзя относиться к охране окружающей среды, не имея в арсенале передовых технологий, по остаточному принципу, безответственно. Нужно сохранять баланс триединой системы устойчивого развития для благополучия будущих поколений.

## Литература

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / отв. ред. А.И. Сысо. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
2. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области / отв. ред. Р.В. Ковалев. Новосибирск. Наука, 1975. 289 с.

### SOIL RECULTIVATION FROM THE ECOLOGICAL POINT OF VIEW OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Dvurechenskiy V.G.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,

<sup>2</sup>Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation, [dvu-vadim@mail.ru](mailto:dvu-vadim@mail.ru)

*Summary. From an ecological point of view, sustainable development should ensure the integrity of biological and physical natural systems and their preservation for future generations. Of particular importance is the viability of ecosystems, on which the global stability of the entire biosphere depends. The concept of ecosystems and habitats can be understood broadly, including man-made environments, such as anthropogenic landscapes. Soil recultivation is the main element of restoration and improvement of the environment.*

*Keywords: anthropogenic landscapes, sustainable development, recultivation.*

УДК 631.618

### СОЗДАНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ЛИГНОСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ И МАТЕРИАЛА ОТВАЛОВ КАРЬЕРА

Е.С. Дорогая<sup>1</sup>, Р.Р. Сулейманов<sup>1,2</sup>, А.О. Миннегалиев<sup>3</sup>, М.Г. Юркевич<sup>2,4</sup>, О.Н. Бахмет<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, [ekaterina.s.dorogaya@gmail.com](mailto:ekaterina.s.dorogaya@gmail.com), [soils@mail.ru](mailto:soils@mail.ru)

<sup>2</sup>Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, Петрозаводск, [svirinka@mail.ru](mailto:svirinka@mail.ru), [obahmet@mail.ru](mailto:obahmet@mail.ru)

<sup>3</sup>Уфимский университет наук и технологий, Уфа, [minnegaliev.aleksandr@rambler.ru](mailto:minnegaliev.aleksandr@rambler.ru)

<sup>4</sup>Институт биологии - Карельский научный центр Российской академии наук, Петрозаводск, [svirinka@mail.ru](mailto:svirinka@mail.ru)

*Аннотация. Для решения проблемы нехватки почв при рекультивации в качестве добавки предложено использование почвосмесей на основе лигносульфоната натрия (ЛН) и материала отвалов карьера (МК). В модельном опыте компостировали варианты смесей ЛН с МК и мелиорантами. Почвосмеси имели высокое содержание органического вещества (27,8–76,5%). Добавки на основе ЛН и МК могут положительно влиять на агрохимические показатели новых созданных почв и способствовать утилизации ЛН.*

*Ключевые слова: лигносульфонат натрия, рекультивация техногенно-нарушенных земель, компостирование.*

Наиболее эффективная стратегия при восстановлении техногенно-нарушенных земель, в том числе отвалов карьеров по добыче ископаемых, заключается в нанесении нового почвенного слоя и восстановлении растительного покрова [1]. Недостаточное количество плодородных почв в месте рекультивации или низкие агрохимические показатели почв, используемых для рекультивации, являются актуальными проблемами данной стратегии и препятствуют стабильному восстановлению растительных сообществ [2, 3]. Применение искусственно созданных почвогрунтов на основе материалов, доступных в рекультивируемой местности, имеет перспективное значение в восстановлении техногенно-нарушенных земель. Данное исследование посвящено агрохимической оценке применения лигносульфоната натрия (ЛН) – отхода производств по переработке древесины, в смеси с материалом отвалов карьера (МК) при создании почвогрунтов для рекультивации карьеров. Использование ЛН может обеспечить почву возобновляемыми ароматическими соединениями, сходными по молекулярному составу с негидролизуемой частью гуминовой кислоты. Кроме того, в качестве почвенной добавки ЛН может служить как источником органического углерода, так



и основой для накопления и постепенного высвобождения минеральных компонентов [4]. Применение МК для приготовления почвосмеси позволит использовать материал, находящийся непосредственно на месте рекультивируемого объекта, и обойтись без дополнительного перемещения плодородных почв, что снизит как финансовые, так и временные затраты. Токсическое действие компонентов МК предположительно может быть купировано ЛН, имеющим доказанную сорбционную способность в отношении тяжелых металлов [5].

Для создания почвогрунтов в модельном опыте готовили смеси ЛН и МК в соотношении 0,5/1, 1/1 и 2/1 как без внесения дополнительных компонентов, так и при добавлении минерального азотного удобрения (N) или минерального азотного удобрения в сочетании с жидкой культурой бактерий-деструкторов углеводов (N + бак). Смеси компостировали в течение 3 месяцев при регулярном поливе и перемешивании. После окончания компостирования проводили химический анализ полученных смесей на содержание органического вещества (ОВ) и щелочногидролизуемого азота (ЩГА), а также оценивали pH водной (H<sub>2</sub>O) и солевой (KCl) суспензий стандартными агрохимическими методами анализа [6].

Внесение ЛН в МК существенно повысило содержание ОВ и снизило кислотность среды всех смесей относительно свойств МК. Применение ЛН без дополнительного внесения N не влияло на значения ЩГА (табл. 1).

Таблица 1. Химические свойства полученных смесей на основе ЛН и МК\*

Вариант №	ОВ, %	ЩГА, мг/кг	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl
1 Контроль (МК)	0,6	42	2,9	2,6
2. ЛН/МК (0,5/1)	27,8	42	4,3	4,0
3. ЛН/МК (1/1)	49,0	42	4,4	4,2
4. ЛН/МК (2/1)	76,5	42	4,6	4,3
5. ЛН/МК (0,5/1) + N	29,1	196	4,2	3,9
6. ЛН/МК (0,5/1) + N + бак	34,8	378	4,2	3,9
7. ЛН/МК (1/1) + N	45,8	322	4,5	4,1
8. ЛН/МК (1/1) + N + бак	61,5	336	4,4	4,1
9. ЛН/МК (2/1) + N	70,6	308	4,5	4,2
10. ЛН/МК (2/1) + N + бак	74,4	154	4,5	4,3

Примечание. \*Усредненные результаты опытов.

Как видно из таблицы 1 динамика содержания ОВ и ЩГА сильно зависит от концентрации ЛН в смеси и внесения дополнительных мелиорантов. Вероятно, это обусловлено действием почвенных микроорганизмов и процессами их жизнедеятельности. Несмотря на различия в значениях между вариантами опыта, для всех смесей с добавлением ЛН наблюдалось значительное улучшение агрохимических показателей относительно исходного МК. Полученные смеси имели высокое содержание ОВ (от 27,8 до 76,5%), кислую реакцию среды pH H<sub>2</sub>O 4,2–4,5, pH KCl 3,9–4,3 и при внесении N высокие показатели содержания ЩГА (от 154 до 378 мг/кг).

Использование почвосмесей на основе ЛН с МК имеет перспективное значение в качестве добавки при восстановлении техногенно-нарушенных территорий. Почвосмеси ЛН с МК могут способствовать улучшению агрохимических свойств новых созданных почв, а также снизить количество плодородной почвы, необходимой для нанесения на рекультивируемую поверхность. Внесение дополнительных мелиорантов, содержащих азотные соединения, улучшит также азотное состояние почв, что благоприятно повлияет на восстанавливаемые растительные сообщества. В целом, использование смесей на основе ЛН и МК окажет положительное влияние на почвы рекультивируемых территорий и позволит утилизировать отходы ЛН.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-16-00145 «Перспективы использования отходов целлюлозно-бумажной промышленности для повышения плодородия почв и урожайности агрокультур».

### Литература

1. Gentili R., Casati E., Ferrario A., Monti A., Montagnani Ch., Caronni S., Citterio S. Vegetation cover and biodiversity levels are driven by backfilling material in quarry restoration. CATENA. 2020; 195: 104839. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104839
2. Soliveres S., Gutiérrez-Acevedo E., Moghli A., Cortina-Segarra J. Effects of early irrigation and compost addition on soil and vegetation of a restored semiarid limestone quarry are undetectable after 13 years. Journal of Arid Environments. 2021; 186: 104401. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.10440
3. Soliveres S., Gutiérrez-Acevedo E., Moghli A., Cortina-Segarra J. Effects of early irrigation and compost addition on soil and vegetation of a restored semiarid limestone quarry are undetectable after 13 years. Journal of Arid Environments. 2021; 186: 104401. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104401
4. Ерошина Д.М., Лысухо Н.А., Ракова Ю.С. Лигнин - образование, использование, хранение, воздействие на окружающую среду // Экологический вестник. 2010. №3. С. 109–118.
5. Sobek S., Tran Q.K., Junga R., Sajdak M., Werle S. Comparative assessment of liquid product from hydrothermal treatment of lignosulfonate in batch and nozzle reactors for aromatic compounds recovery. Biomass and Bioenergy. 2023; 172: 106768. DOI: 10.1016/j.biombioe.2023.106768
6. Carter M.R., Gregorich E.G. Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2007.

### CREATION OF ARTIFICIAL GROUNDS BASED ON SODIUM LIGNOSULFONATE AND MATERIAL OF QUARRY DUMPS

E.S. Dorogaya<sup>1</sup>, R.R. Suleymanov<sup>1,2</sup>, A.O. Minnegaliev<sup>3</sup>, M.G. Yurkevich<sup>2,4</sup>, O.N. Bakhmet<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, Ufa, ekaterina.s.dorogaya@gmail.com, soils@mail.ru

<sup>2</sup>Department of Multidisciplinary Scientific Research - Karelian Research Centre the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, svirinka@mail.ru, obahmet@mail.ru

<sup>3</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

<sup>4</sup>Institute of Biology - Karelian Research Centre the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, svirinka@mail.ru

*Summary. To solve the problem of soil shortage during reclamation, the use of ground mixtures based on sodium lignosulfonate (SLN) and quarry dump material (QM) is proposed as an additive. In the model experiment, variants of mixtures of SLN with QM and ameliorants were composted. The grounds mixtures had a high content of organic matter (27,8–76,5%). Additives based on SLN and QM can positively affect the agrochemical indicators of newly created soils and contribute to the utilization of SLN.*

*Keywords: sodium lignosulfonate, recultivation of technogenically disturbed lands, composting.*

УДК 631.517

### РОЛЬ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СОХРАНЕНИИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

**А.В. Игловиков**

ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, Тюмень, iglovikovav@gausz.ru

*Аннотация. При нарушении верхнего напочвенного слоя изменяется теплообмен между грунтами и атмосферным воздухом, что может привести к оттаиванию вечной мерзлоты. Фитоценоз, являясь регулятором тепла, оказывает стабилизирующее действие на свойства почв. Растительность верхнего слоя снижает прогрев грунтов и делает устойчивыми северные ландшафты. Поэтому сохранение вечной мерзлоты является одной из основ сохранения и сбалансированного развития природных экосистем Крайнего Севера.*

*Ключевые слова: рекультивация, Крайний Север, фитоценоз, многолетние травы, лесотундра, температура.*

Вечная мерзлота играет важную роль в гидрологии арктических и субарктических регионов. Однако за последние десятилетия наблюдалось достаточное количество случаев таяния и деградации вечной мерзлоты и, по прогнозам, при интенсивном процессе индустриализации Северных территорий эти случаи будут повторяться.

Тепловой режим почвы в районах вечной мерзлоты чувствителен к изменению климата и может привести к огромным экологическим последствиям при будущих сценариях потепления. Однако до сих пор отсутствует систематическая оценка влияния потепления на термодинамику почвы в различных экосистемах регионов вечной мерзлоты.

В этом исследовании изучались изменения термодинамики почв лесотундровой зоны и нарушенных земель при открытой разработке карьеров в Ямало-ненецком автономном округе.

Для выполнения поставленной цели нами был заложен полевой опыт. На опыте выращивали многокомпонентную травосмесь из овсяницы красной *Festuca rubra* – 40%, костреца безостого *Bromopsis inermis* – 35%, овсяницы луговой *Festuca pratensis* – 10%, тимopheевки луговой *Phleum pratense* – 5%, пырея ползучего *Elytrigia repens* – 5%, мятлика лугового *Poa pratensis* – 3%, бекмании обыкновенной *Beckmannia emiciformis* – 2% [1, 2, 3, 4]

В нашем исследовании наблюдение проводилось с 2008 по 2022 год на трех обозначенных стационарах – типичная лесотундра, открытый нарушенный участок и опытный участок с применением комплексных агротехнических мероприятий.

Результаты показали, что температура почвы, на нарушенном участке, была более восприимчивой к потеплению [7, 8, 9]. В частности, температура почвы при глубине 5–40 см повышается больше на нарушенном участке, чем на участке с живым напочвенным покровом ненарушенной лесотундры при потеплении, особенно в верхнем слое почвы (5–20 см).

Толщина деятельного слоя на нарушенном участке отчетливо увеличилась в среднем до 218 см и продемонстрировала тенденцию к увеличению при повышении температуры в 2020, 2021 и 2022 г.

Было отмечено, что температура на экспериментальных участках возрастала в суточном, декадном и месячном промежутке. Исследования показали, что изменение температуры грунтов было заметнее на глубине 5–10 см и постепенно уменьшалось с глубиной профиля.

Кроме того, изменение температуры было больше на открытом участке, чем на участке лесотундры и на экспериментальном участке, особенно в верхнем слое почвы. Частично это можно объяснить различиями в проективном покрытии растительностью между открытым участком (~27%), лесотундровым участком (100%) и экспериментальным участком (~95%).

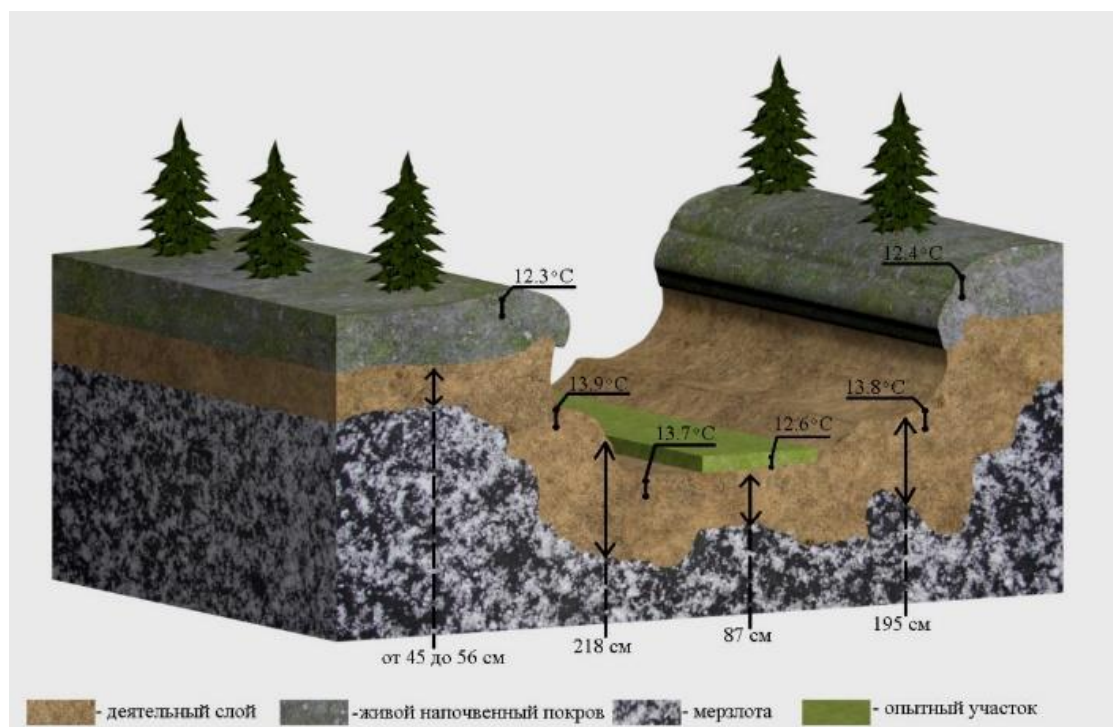


Рисунок 1. Влияние агротехнических мероприятий на сохранение вечной мерзлоты

Так по результатам наших исследований установлено, что в течение вегетационного периода на первом естественном участке лесотундры, при средней температуре 12,3 °С, глубина оттаивания деятельного слоя составила 45 см. На втором естественном участке лесотундры [5, 6] средняя температура вегетационного периода не сильно отличилась, 12,4 °С, а глубина составила 56 см.

Так же замеры были проведены на двух нарушенных участках. Первый показал, что средняя температура вегетационного периода составила 13,9 °С, глубина оттаивания 218 см. Второй показал, что средняя температура вегетационного периода составила 13,8 °С, глубина оттаивания 195 см.

На опытном участке, средняя температура почвы вегетационного периода [10], была максимально приближена к температуре, естественного участка, его температура составила 12,6 °С, а глубина оттаивания при этом равнялась 87 см.

Разница в температурах между естественным и нарушенным участком, составляет 1,6 °С, при этом глубина оттаивания увеличивается с 45 см до 218 см.

В результате исследований установлено, что растительность оказывает значительное изолирующее воздействие на поверхность почвы, отражая и поглощая часть солнечного излучения это способствует снижению температуры деятельного слоя и сохранению вечной мерзлоты в условиях Крайнего Севера.

### Литература

1. Игловиков А.В., Моторин А.С. Физико-химические свойства и питательный режим нарушенных грунтов Крайнего Севера при биологической рекультивации. Аграрный вестник Урала №7 (99), 2012 г. С. 66–72.
2. Игловиков А.В. Биологическая рекультивация карьеров в условиях Крайнего Севера: Автореф. канд. с.-х. наук. Барнаул, 2012. 18 с.
3. Игловиков А.В. Приемы оптимизации водно-теплового режима нарушенных грунтов в условиях Крайнего Севера. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т.47. №5(258). С. 23-32. DOI: 10.26898/03708799-2017-5-3 206
4. Игловиков А.В. Изменение температурного режима земель Крайнего Севера при техногенном нарушении почвенно-растительного покрова. /А.В. Игловиков. // Аграрный вестник Урала № 7 (86). УрГСХА, 2011. С 50–53.
5. Башкин В.Н. Контроль эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв на Тазовском полуострове. / В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин // Агрохимия. 2020. № 3. С. 70-75.
6. Башкин В.Н. Рекультивация нарушенных почв на Тазовском полуострове. / В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин. // Жизнь Земли. 2020. Т. 42. № 2. С. 153–159.
7. Игловиков А. В., Денисов А. А., Санникова Н. В. Инновационные технологии рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера//Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2017. № 2. С. 41–49.
8. Денисов А.А., Тихановский А.Н. Агромелиоративные приемы биологической рекультивации песчаных карьеров в условиях Крайнего Севера. / А.А. Денисов, А.Н. Тихановский // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 5. С. 36–39.
9. Моторин А.С. Особенности температурного режима торфяных почв Северного Зауралья // Сибирский вестник с.-х. науки. 2015. № 2. С. 13–21.
10. Инишева Л.И., Голубина О.А. Инишев Н.Г. Эвтрофное болото, характеристика и гидротермический режим // Инновационные технологии в мелиорации. М.: ВНИИА, 2011. С. 394–398.

### THE ROLE OF LIVING GROUND COVER IN THE CONSERVATION OF PERMAFROST

A.V. Iglovikov

FSBEI HE Northern Trans-Urals SAU, Tyumen, [iglovikovav@gausz.ru](mailto:iglovikovav@gausz.ru)

*Summary. When the upper ground layer is disturbed, the heat exchange between soils and atmospheric air changes, which can lead to thawing of permafrost. Phytocenosis, being a heat regulator, has stabilizing properties of soils. The vegetation of the upper layer reduces the warming of the soils and makes the northern landscapes stable. Therefore, the preservation of permafrost is*



*one of the foundations for the preservation and balanced development of the natural ecosystems of the Far North.*

*Keywords: recultivation, the Far North, phytocenosis, perennial grasses, forest tundra, temperature.*

УДК 551.311.234; 622:6.2.2; 631.417.1

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ НА ОТВАЛАХ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА**

**А.А. Каракулева, И.А. Самофалова**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», Пермь, rochtaua1994@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы, связанные с формированием почв, а также природные и техногенные факторы почвообразования на отвалах угледобывающих районов. Описаны молодые почвы – эмбриоземы. Изучены их морфологические признаки, формирующиеся в результате трансформации пород отвалов. Определены стадии почвообразования на поверхности угольных отвалов Кизеловского бассейна после прекращения эксплуатации: большая часть почв находится на инициальной стадии. Почвенный покров отвалов является фрагментарным. Почвообразование на угольных отвалах происходит при ведущей роли техногенных факторов.

**Ключевые слова:** угольные отвалы, порода, техногенные ландшафты, почвообразование.

Одним из мощных факторов техногенного воздействия является процесс добычи минерального сырья, сопровождающийся разрушением природных систем ведущих к потере биоразнообразия ландшафтов. В пределах Российской Федерации известно 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений угля [1]. Валовая добыча углей в 2015 г. в РФ составила 373,4 млн. т, из которых более 189 млн. т – в Кемеровской области [1]. В России ежегодно предприятиями минерально-сырьевого комплекса нарушается около 150 тыс. га земель, а добыча 1 млн. т угля приводит к нарушению от 2,6 до 43 га земельных угодий [2].

В результате добычи угля происходит разрушение растительного покрова, и образовавшиеся отвалы сохраняют некоторое время облик техногенных пустынь. Проведение рекультивационных работ ускоряет формирование почвенного покрова на техногенных ландшафтах, но их необходимо проводить с учетом специфики естественного формирования почв [3, 4]. Закономерности формирования почв в экстремальных условиях техногенных ландшафтов остаются малоизученными [3–7].

Почвообразование в техногенных ландшафтах имеет некоторые особенности. В первую очередь, это связано с геогенными условиями почвообразования (рельеф и способы его формирования, породы отвалов). Учеными установлено, что процессы почвообразования на отвалах связаны не только с климатическими условиями, рельефом, но также и с природой техногенной почвообразующей породы [2–5] которой часто являются непосредственно вскрышные породы. Также значимыми аспектами, определяющими специфику процесса самоорганизации почвенного покрова, являются возраст техногенных ландшафтов и биологический фактор, интегрально отражающий все условия почвообразования [5–11].

Активное изучение развития почвообразования в техногенных ландшафтах проводилось на угольных месторождениях Сибири [7, 11–16]. Установлено, что на отвалах в фазу посттехногенного развития ландшафта формируются слаборазвитые почвы – эмбриоземы, стадии развития которых зависят от особенностей биологических процессов, протекающих на отвалах [6, 16–18]. В процессе подземной разработки месторождений происходит изменение рельефа, оседание грунтов, изъятие земель под отвалы, процессы пыления, самовозгорания отвалов, эрозия и загрязнение почвенного покрова, загрязнение поверхностных и подземных вод, нарушение гидрологического режима [19–24]. Минералогический состав отвалов объясняет химические свойства образовавшихся на них почв [23, 24]. Процессы почвообразования имеют очаговый характер и протекают в пригодных для них полостях

породы. Общую пригодность исходного субстрата для почвообразования количественно можно оценить посредством определения содержания в нем физической глины.

Важным начальным условием, обуславливающим характер изменения почвенного покрова, является, во-первых, строение приповерхностной толщи субстрата. Установлено, что процесс образования почвенного профиля в техногенных ландшафтах начинается раньше появления органогенных диагностических горизонтов – с момента формирования поверхности и проходит под влиянием абиогенных процессов (гравитационное перемещение материала в незанятые полости) [11, 14, 18]. Во-вторых, происходит упаковка полостей, осуществляемая при помощи температурных колебаний. В-третьих, на незанятой растительностью поверхности активно протекают процессы дезинтеграции обломков (образуются только крупно-пылеватые и песчаные частицы).

Л.Т. Крупская [15, 25] предложила классификацию техногенных факторов и техногенных ландшафтов и выделила 3 фазы образования первичных экосистем: фаза первичной дезинтеграции, посттехногенного развития и фаза оптимизации посттехногенного ландшафта. Учитывая всю специфику особенностей и режимов функционирования техногенных ландшафтов [10], можно отметить, что эти градиенты формируют условия трех порядков. В первую очередь, это макроклиматические условия природной зоны (пояса), в которой расположено месторождение; во-вторых, их местные вариации, вызванные характером рельефа техногенного ландшафта; в-третьих, микроклимат почв, влияние на который, помимо отмеченных особенностей, оказывает характер растительности, а также цвет и состав почвообразующих пород

Цель исследования – изучить особенности условий почвообразования в техногенных ландшафтах в таежно-лесной зоне на Среднем Урале. Исследования проводили в Кизеловском угольном бассейне (КУБ, Кизелбасс) Губахинского округа Пермского края. КУБ расположен в восточной части края, на западном склоне Среднего Урала. В принятых границах общая площадь бассейна: 1500 км<sup>2</sup> (длина более 100 км и ширина 15–20 км) [22]. Эксплуатация Кизеловского угольного бассейна велась с 1797 по 1997 годы. В 1956 году в бассейне насчитывалось 37 шахт, добыча составила 11,4 млн. тонн. К 2002 году Кизеловский угольный бассейн полностью прекратил добычу угля. За время эксплуатации Кизеловского бассейна общая площадь техногенных ландшафтов, утративших природные характеристики под влиянием угледобычи, составила 456 га. На территории городского округа города Губаха отвалами занято 72 га площади, из них 10,8 га приходится на г. Губаха [3].

КУБ (в границах Кизеловского административного района) в тектоническом отношении находится в системе Складчатого Урала в пределах Западно-Уральской зоны складчатости и Центрально-Уральского поднятия. На крайнем западе территории в пределах Западно-Уральской зоны складчатости присутствуют отложения каменноугольной системы, с которой связаны все месторождения угля, девонской и нижние отделы пермской системы. Отложения представлены как карбонатами, так и терригенными породами (песчаники, алевролиты, аргиллиты). Территория КУБа представляет горно-увалистую местность, с плавными очертаниями меридионально ориентированных возвышений с постепенным повышением их при движении на восток. Район сложен из каменноугольных и девонских известняков, доломитов, известковистых песчаников и глинистых сланцев, перекрытых элювиально-делювиальными образованиями. Добыча сернистых углей в Кизеловском бассейне велась закрытым способом с созданием конусообразных отвалов – терриконов высотой 60–100 м, которые выравнивали до состояния плоских отвалов во избежание самовозгорания и уменьшения разноса угольной пыли. Отвалы имеют площадь основания в несколько гектаров, оказывают непосредственное влияние на ландшафты в радиусе приблизительно 1 км, а их косвенное влияние распространяется на растительность до 10 км [3]. Климат умеренно-континентальный. Средняя годовая температура около 0 °С. Годовое количество осадков 550–700 мм. Коренной тип растительности – темнохвойные леса, которые занимают небольшую площадь, как и сосновые. Основную часть территории занимают вторичные березняки и смешанные леса. Растительность отличается обилием луговых и степных видов, много эндемиков и реликтов. Исследуемая территория входит в западный предгорный район Горно-Уральского почвенного округа тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв [26].

Для изучения особенностей условий почвообразования заложены разрезы на отвалах шахт «Крупская», «Каменный цветок» и «Центральная (№ 15)». Указанные отвалы имеют различный возраст и образуют следующую хроносерию по возрасту отвала: «Каменный цветок (1 Мая)» 45 лет – «Крупская» 24 года – «Центральная» 18 лет. Разрезы закладывали на угольных грядках отвалов: на вершине, в средней и нижних частях склона юго-западной экспозиции. Шахты были закрыты: в 1996 году – «Центральная», 1993 году – «Крупская» и 1972 году – «Каменный цветок (1 Мая)». Способ отсыпки отвалов – сухой.

Классификационное положение и описание почв проводили по «Полевому определителю почв России» (2008) [27]. В образцах почв и грунтов определяли массу крупнозема и мелкозема; гигроскопическую влажность почв (грунта); гранулометрический состав по методу Н. А. Качинского в модификации С.И. Долгова и А.И. Личмановой на кафедре почвоведения Пермского ГАТУ.

Отвалы представляют собой систему плосковершинных гряд высотой 5–6 м и понижений между ними. Породы отвалов представлены битуминизированными породами, аргиллитами, сланцами, тонкозернистыми песчаниками и включениями каменного угля. Содержатся также техногенные включения, строительный мусор. Породы отвалов неустойчивы в гипергенных условиях и поэтому постоянно преобразуются.

Вершины гряд отвалов представляет собой пустошь, растительное зарастание происходит островками. Среди растительности присутствуют: пионерные виды – мать-и-мачеха, метла, лютик едкий, одуванчик, полынь обыкновенная, пырей ползучий, горошек мышиный. Характерно присутствие ксерофитных видов – полыни. В межрядовых понижениях и на северных склонах, характеризующихся большей влагообеспеченностью, растительность представлена одновидовыми сообществами березы, с единичными кустами ивы. Средняя высота деревьев 1,5–2 м, возраст не более 10 лет. Напочвенный покров под древесной растительностью отсутствует. В целом характер растительности соответствует начальному этапу зарастания отвалов. С помощью кластерного анализа, основываясь на данных полевых наблюдений, было выделено три типа поверхности: открытая поверхность отвала, травянистая растительность и древесная растительность. В структуре растительного покрова на поверхности отвалов преобладает травянистая растительность. Максимальная площадь зарастания травянистой растительностью отмечена на отвале шахты «Каменный цветок» – 61% от общей площади отвала.

Состав пород отвала неоднороден, и отличается слоистостью залегания. Присутствуют битуминизированные сланцы, аргиллиты, тонкозернистые песчаники, встречаются слои каменного угля. Слои характеризуются высокой каменистостью. Окраска выделенных слоев и горизонтов изменчива как в пределах профиля, так и на поверхности отвалов: преобладают оттенки серого от светлого до темного, оттенки коричневого. Слои различаются по степени увлажнения: от сухих до увлажненных. Почвы определены как эмбриоземы, и характеризуются малой мощностью профиля, четкой дифференциацией на слои и горизонты.

Гранулометрический состав формирующихся почв наследуется от пород отвалов, который сразу после отсыпки подвергается процессам физической дезинтеграции. В составе фракций по абсолютному содержанию преобладает песчаная. Содержание ила является очень низким и составляет в среднем около 4%. На отвалах шахт «Крупская» и «Каменный цветок» доля илистой фракции несколько возрастает, достигая 8–10%. Таким образом, исследуемые почвы отвалов шахт «Крупская» и «Каменный цветок» характеризуются преимущественно супесчаным и легкосуглинистым составом, а на отвале шахты «Центральная» – песчаным. В соответствии с результатами однофакторного дисперсионного анализа выявлена статистически значимая связь между содержанием илистой фракции в горизонтах формирующихся почв и микрорельефом отвалов: содержание ила достоверно увеличивается в направлении от вершины к нижним частям склонов. Каменистость пород отвалов, достигающая в ряде случаев 50–90 % и незначительное содержание ила определяют провальную фильтрацию и низкую влагоемкость, что может служить причиной ксероморфности местообитаний, что в свою очередь затрудняет развитие растительности.

Таким образом, почвообразование на угольных отвалах происходит при ведущей роли техногенных факторов: рельеф, минералогический и гранулометрический состав пород. Низкая биологическая продуктивность сдерживает развитие органо-аккумулятивных

процессов. Большая часть почв находится на инициальной стадии. Почвенный покров отвалов представлен фрагментарно.

### Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов российской федерации в 2015 году». Москва, 2016. 341 с.
2. Ческидов В.И., Бобыльский А.С. Технологические аспекты отвалообразования вскрышных пород на разрезах Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых // 2017. №5. С. 96–104.
3. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты: монография. Пермь: Изд-во ПГУ, 2010. 163 с.
4. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Порошина Н. В., Перминова А.А., Малышкина Е.Е. Классификация и свойства почв, образовавшихся на рекультивированных угольных отвалах Кизеловского угольного бассейна // Теоретическая и прикладная экология. 2022. №4. С. 180–187.
5. Андроханов В.А. Сингенез почвенно-генетических и биологических процессов в техногенных ландшафтах Кузбасса. Томск, 2003. № 7. С. 16–23. 12.
6. Андроханов В.А. Специфика и генезис почвенного покрова техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 795–800.
7. Андроханов В.А., Курачев В.М. Принципы оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2009. № 2. С. 165–169.
8. Голушов П.В. Формирование почв в условиях самозарастания отвалов вскрышных горных пород [Электронный ресурс] // 2004. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=13680> (дата обращения: 29.07.2023).
9. Кусов А.В. Гранулометрическая диагностика внутрипочвенного выветривания обломочного материала в техногенных ландшафтах // Сибирский экологический журнал 2007. № 5. С. 837–842.
10. Курач В., Фроуз М. Изменение некоторых средних свойств почв в хроносерию участков самозарастания карьерно-отвального комплекса Соколов // Почвоведение. 2012. № 3. С. 309–316.
11. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Госсен И.Н. Особенности формирования почв техногенных ландшафтов в различных природно-климатических зонах юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 364. С. 225–229.
12. Двуреченский В.Г. Соколов Д.А. Качественная оценка почв техногенных ландшафтов Горловского антрацитового месторождения // Вестн НГАУ. 2018. № 3 (48). С. 53–61
13. Mikheeva I.V., Androkhonov V.A. Physical properties of technosols at brown coal mine wastes in Eastern Siberia // Soil and Tillage Research. 2022. V. 217. Article No. 105264. doi: 10.1016/j.still.2021.105264
14. Соколов Д.А. Дифференциация почвенного покрова техногенных ландшафтов Сибири как отражение их экологического состояния // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. 2015. С. 146–149.
15. Крупская Л.Т. Техногенное разрушение почв на горных предприятиях юга Дальнего Востока России и их рекультивация. Владивосток: Издательство Дальневосточного университета, 1994. 36 с.
16. Подурец О.И. Связь динамики запасов растительного вещества с фазами посттехногенного почвообразования // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 346. С. 169–173.
17. Двуреченский В. Г., Андроханов В. А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Новокузнецкого промышленного комплекса [Электронный ресурс] // 2017. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-20/article-3>; DOI: 10.18522/2308-9709--20-3.
18. Соколов Д.А., Андроханов В.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири // Почвоведение. 2015. № 1. С. 106–117.
19. Tozsın G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey // International Journal of Coal Geology. 2014. V. 131. P. 1–6. doi: 10.1016/j.coal.2014.05.011.



20. Bragina P.S., Tsibart A.S., Zavadskaya M.P., Sharapova A.V. Soils on overburden dumps in the forest steppe and mountain taiga zones of the Kuzbass // *Eurasian Soil Science*. 2014. V. 47. P. 723–733. doi: 10.1134/S1064229314050032
21. Cheng H., Li M., Zhao C., Li K., Peng M., Qin A., Cheng X. Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. V. 139. P. 31–52. doi: 10.1016/j.gexplo.2013.08.012
22. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения: монография. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 288 с.
23. Arefieva O., Nazarkina A.V., Gruschakova N.V., Skurikhina J.E., Kolycheva V.B. Impact of mine waters on chemical composition of soil in the Partizansk Coal Basin, Russia // *International Soil and Water Conservation Research*. 2019. V. 7. No. 1. P. 57–63. doi: 10.1016/j.iswcr.2019.01.001
24. Chen X., Jiang C., Zheng L., Zhang L., Fu X., Chen S., Chen Y., Hu J. Evaluating the genesis and dominant processes of groundwater salinization by using hydrochemistry and multiple isotopes in a mining city // *Environmental Pollution*. 2021. V. 283. ArticleNo. 117381. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117381.
25. Крупская Л.Т., Новикова Е.В. О рекультивации горных пород в условиях муссонного климата // *Научные и прикладные вопросы мониторинга земель Дальнего Востока*. 1993. С. 97–103.
26. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. 278 с.
27. Полевой определитель почв. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

#### FEATURES OF SOIL FORMATION ON DUMPS KIZELOVSKOYE COAL BASIN

A.A. Karakul'eva, I.A. Samofalova

Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Pryanishnikova, Perm, pochtaua1994@gmail.com

*Summary. The article deals with issues related to the formation of soils, as well as natural and technogenic factors of soil formation on the dumps of coal mining areas. Young soils – embryozems are described. Their morphological features of soils, which are formed as a result of the transformation of dump rocks, have been studied. The stages of soil formation on the surface of the coal dumps of the Kizel basin after the cessation of exploitation were determined: most of the soils are at the initial stage. The soil cover of dumps is fragmentary. Soil formation on coal dumps occurs with the leading role of technogenic factors.*

*Keywords: coal dumps, rock, technogenic landscapes, soil formation.*

УДК 631.42

#### ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ ОСОБОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ

Е.И. Ковалева, С.А. Исакова, П.М. Перебасова, С.Я. Трофимов

МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва, katekov@mail.ru

*Аннотация. Оценивается эффективность ряда мероприятий по ремедиации нефтезагрязненных почв земель особого землепользования южной тундры. Объектами исследования послужили: подбур грубогумусированный, криозем глееватый; глеезем криотурбированный; аллювиальная темногумусовая. Изучены свойства почв по основным физико-химическим показателям, дана оценка изменениям биологических параметров (активность дыхания, ферментативная активность, численность биоты) почвам при загрязнении дизельным топливом и внесении мелиорантов в разных дозах в лабораторном эксперименте. Предложены мероприятия, запускающие механизмы их самоочищения, позволяющие почвам выполнять свои экологические функции.*

*Ключевые слова: ремедиация, почвы тундры, водоохраные зоны, пероксид кальция, нормирование нефтепродуктов.*

Окружающая среда Арктической зоны Российской Федерации затронута антропогенным воздействием, характеризуется наличием нарушенных земель, существованием объектов прошлого экологического ущерба. Негативное воздействие на компоненты природной среды, в том числе загрязнение почв, приводят к потере биоразнообразия, изменению экологических функций и экосистемных услуг. Одним из постоянных загрязнителей в Арктике являются нефтепродукты, которые повсеместно используются в хозяйственной деятельности. Нефтепродукты не относятся к группе стойких органических загрязнителей, но могут сохраняться в почвах в условиях Арктики в течение длительного времени, изменяя их функционирование.

Требования законодательства Российской Федерации устанавливают необходимость рекультивации загрязненных земель и их восстановления до состояния, пригодного для использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, путем обеспечения соответствия земель нормативам качества окружающей среды и требованиям законодательства Российской Федерации в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Поэтому разработка мероприятий по ремедиации и оценка их эффективности с учетом основного землепользования является актуальным вопросом в свете задач государственной политики в области экологического развития [1].

Почва является основной депонирующей средой в ландшафтах, принимающей на себя загрязняющие вещества, в результате чего происходит как трансформация самих почв, так и загрязнителей. Следовательно, характеристика и свойства почв непосредственно определяют поток вещества и энергии в компоненты природной среды, определяемые миграционными показателями. Экологические функции почв и их свойства должны учитываться при оценке степени загрязнения и нарушенности, уровня очистки почв от загрязнения, как индикаторы, маркеры возможного перехода загрязняющих веществ в компоненты природной среды. Важным аспектом в оценке и выборе технологий (способов) рекультивации (ремедиации) является вид загрязнителя, его свойства, форма нахождения, условия распространения, а также особенности функционирования почв, степень их загрязнения и нарушенности, приуроченность земель к категории земель и особым зонам, техническая возможность проведения рекультивационных работ. Основным принципом выбора технологий ремедиации является эколого-экономическая эффективность, при которой отсутствует нанесение вреда рекультивационными мероприятиями большего, чем тот, который уже имеется на земельном участке [2].

Настоящее исследование посвящено изучению эффективности мероприятий по ремедиации нефтезагрязненных земель в Арктике. Задачи исследования заключались в изучении свойств почв южной тундры полуострова Таймыр по основным физико-химическим показателям, оценке изменения биологических параметров (таких как дыхание почвы, активность ферментов, численность биоты) почв при их загрязнении дизельным топливом (далее по тексту НП) и внесении разных доз мелиорантов в лабораторном эксперименте; предложении мероприятий, запускающих механизмы их самоочищения, позволяющие почвам выполнять свои экологические функции.

Район исследования расположен на стыке Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной и Евразийской полярной почвенно-биоклиматической области. Природно-климатические и ландшафтные условия арктической тундры характеризуются особыми условиями: продолжительной холодной зимой и коротким летом, среднегодовая температура воздуха составляет  $-8,8...-10,1^{\circ}\text{C}$ , среднегодовым количеством осадков – 450–613 мм, наличием многолетней мерзлоты, коротким периодом сезонного протаивания почв. Глубина сезонного протаивания варьирует в широких пределах – от 0,2 м - торфянистые грунты на севере территории до 2–2,5 м – на песчаных террасах Енисея на юго-западе. Для наиболее распространенных суглинистых грунтов сезонно-талый слой изменяется от 0,4 м на севере до 0,8–1 м на юге Таймыра. Повсеместное распространение многолетней мерзлоты обуславливает широчайшее распространение форм криогенного рельефа всех известных видов [3].

Главными особенностями формирования тундровых почв являются суровость климата и наличие многолетней мерзлоты близко к поверхности, а также обогащенность пород

соединениями тяжёлых металлов [4]. Суровые условия приводят к формированию почв с различной устойчивостью к антропогенному воздействию в зависимости от их свойств, к самоочищающей способности.

Изучены типичные почвы Южной тундры полуострова Таймыр в том числе в пределах водоохранных зон (ВОЗ): подбур грубогумусированный, криозем глееватый; глеезем криотурбированный; аллювиальная темногомусовая; названия приводятся по [5].

В качестве ремедиантов использован торфяной сорбент и пероксид кальция ( $\text{CaO}_2$ ), поскольку их применение не противоречит требованиям водного законодательства Российской Федерации для ВОЗ.

Для оценки эффективности мероприятий по ремедиации проведены модельные лабораторные эксперименты с пробами почв из верхних почвенных горизонтов, которые наиболее подвержены загрязнению. Сроки отбора проб: август. Эксперименты проводились в стеклянных сосудах при температуре около  $18^\circ\text{C}$  и влажности, примерно равной предельной полевой влагоемкости.

В рамках модельного эксперимента в образцы всех изученных почв вручную вносились различные дозы дизельного топлива (от 1 до  $20 \text{ г кг}^{-1}$ ). В часть образцов был внесен рекультивант (пероксид кальция и торф) в соответствии с вариантом опыта. В качестве мелиоранта выбран пероксид кальция  $\text{CaO}_2$  для стимуляции местных микроорганизмов поскольку он используется для аэрации и очистки воды в реках и озерах, поэтому его можно было бы использовать в почвах водоохранных зон без нанесения вреда водным объектам и соблюдения требований водного законодательства. Доза внесения пероксида кальция определена с учетом кислотно-основной буферности почвы. Всего для каждой почвы было получено 9-ть вариантов, включая контроль – исходные образцы. Образцы тщательно перемешивались до гомогенного состояния.

При внесении разных доз ремедиантов изучены изменения в содержании нефтепродуктов, направленность активности дыхания почвенной микробиоты в лабораторном эксперименте во времени (1-30 дней). Кроме того, наблюдали активность дыхания в почвах, загрязненных 1-30 г/кг почвы без внесения добавок, чтобы сравнить активность дыхания при различных нагрузках. Содержание НП в незагрязненных почвах варьировалось от 0,2 до 0,5 г/кг, присутствие которых объясняется наличием одних и тех же биогенных углеводов, которые характерны для органического вещества почвы, а также нефти и дизельного топлива.

Суммарное содержание НП в почвах выполнено ИК-спектрометрическим методом на анализаторе КН-2м [6]. Активность каталазы оценивали методом [7]. Параметры почвенного дыхания определяли в соответствии с [8] в динамике на 1, 3, 10, 18, 30 дни. Для количественного определения  $\text{CO}_2$  использовался газоанализатор М3700-400 (Кристалл, ООО "Гранат", Россия). Микробное базальное дыхание (БД) оценивали по скорости выделения  $\text{CO}_2$  из почвы в течение 72 ч инкубации при  $22^\circ\text{C}$  и  $\sim 80\%$  влагоудерживающей способности и выражали в  $\text{мкгCO}_2 \text{ г}^{-1}\text{-кг}^{-1} \text{ ч}^{-1}$ . Дыхание, индуцированное в почвенном субстрате (СИД), определено по начальной максимальной скорости микробного дыхания после обогащения почвы глюкозой, а затем пересчитано в микробную биомассу  $\text{C}$  как  $\text{C}_{\text{mic}}$  ( $\text{мкг г}^{-1}$  почвы) =  $\text{SIR}$  ( $\text{мкг г}^{-1}$  почвы  $\text{час}^{-1}$ )  $\times 40,04 + 0,37$ . Удельную активность дыхания (микробный коэффициент)  $q\text{CO}_2$  ( $\text{мкгCO}_2\text{-C}_{\text{mic}}^{-1} \text{С}_{\text{мик}} \text{час}^{-1}$ ) рассчитывали как отношение БД/ $\text{C}_{\text{мик}}$  [9].

Исследованные почвы характеризовались активными признаками вечной мерзлоты, низкой биологической активностью, низкой устойчивостью к антропогенному стрессу. Основными характеристиками незагрязненных почв были: pH 4,5–6,0, высокое увлажнение и содержание органического вещества почвы (7-70%). Высокий уровень содержания никеля и меди по сравнению с установленными ОДК для этих металлов был обусловлен региональной геохимической зоной, а также антропогенной нагрузкой.

Внесение торфа увеличивало сорбционную способность почв. Добавление пероксида кальция вызывало сдвиг реакции среды в сторону подщелачивания на единицу pH, что может благоприятно сказываться на подвижности ряда металлов.

Микробное сообщество часто первым реагирует на изменения состояния окружающей среды. Поэтому оценивалось микробное дыхание почвы и углерод микробной биомассы ( $\text{C}_{\text{mic}}$ ) в качестве биологических параметров. Как и ожидалось, БД варьировало в широком диапазоне, но имело определенную направленность. Активность БД не снижалась с

увеличением нефтепродуктов в первые 2–3 недели от внесения нефтепродуктов в почву, однако к 18–30 суткам наблюдался рост величин БД в образцах почв с ДТ, по сравнению с контролем. Аналогичная тенденция была и для Смик. Вероятно, в почвах в сосудах формировались условия, микроклимат и перестройка структуры микробного сообщества. Внесение мелиорантов дополнительно активизировало биоту (стимулировало активность нефтеокисляющих микроорганизмов); значения БД в образцах почвы, обработанных пероксидом кальция  $\text{CaO}_2$ , резко возросли.

Оценка численности микроорганизмов, в том числе нефтеструктуров, показала, что доля микроорганизмов-нефтеструктуров увеличилась в образцах, загрязненных НП, по сравнению с незагрязненным образцом почвы от 6% до 52%. Идентификация углеводородокисляющих микроорганизмов из образцов почвы выявила присутствие *Herbaspirillum*, *Pseudomonas Sphingobium*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Rhodococcus* и *Pseudomonas*, которые могут быть деструкторами нефтяных углеводородов.

Наличие бацилл свидетельствовало об анаэробных условиях в почве. Также мы наблюдали снижение активности каталазы в 3 раза по сравнению с незагрязненной почвой (с 2,5 до 0,5 мл  $\text{O}_2/\text{г мин}^{-1}$ ), что позволяет предположить, что присутствие НП в почвах влияло на метаболические процессы биоты. Снижение активности каталазы в нашем исследовании объясняется присутствием анаэробных микробов в почвах, загрязненных нефтью. Поскольку активность каталазы коррелирует с метаболической активностью аэробных организмов (*Bacillus*), это указывает на то, что в почвах, загрязненных НП, наблюдается переход к сообществу анаэробных микроорганизмов. Это свидетельствует о развитии процессов биодegradации НП в почвах в анаэробных условиях. Выявлена корреляция между активностью каталазы и концентрациями НП в почвах ( $R^2 = 0,95$ ,  $p < 0,01$ ).

Присутствие НП в почвах изменило структуру биоты и увеличило долю нефтеокисляющих микроорганизмов в почвах. Добавление мелиоранта -  $\text{CaO}_2$  увеличивает микробиологическую активность и биодegradацию НП в почве и обеспечивает запуск механизмов самоочищения почв в условиях Арктики; также позволит не изымать почвы и не нарушать экосистемы, а также соблюдать требования к охране ВОЗ.

Степень процессов биодegradации дизельного топлива в почвах зависит от характеристик почвы, доз внесения мелиорантов. Выбор методов ремедиации, их эффективности является основной задачей по поиску достаточного комплекса мер, обеспечивающих постепенное восстановление функций почвы. Превышение объема необходимых мероприятий по ремедиации приведет только к увеличению площади нарушенных земель.

Таким образом, экологическая оценка проявлений воздействия НП на почвы посредством фиксации в изменениях химических и биологических параметров почвы является важным инструментом для разработки подходов к ремедиации и руководящих принципов очистки до допустимых концентраций НП в различных типах почв; для выбора наиболее подходящих методов восстановления почв с учетом требований к охраняемым зонам земель.

### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации 33. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», утверждена Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 года N 176 [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215668/71330e43fc48d840d45e7c44eb8e184f03207692/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/71330e43fc48d840d45e7c44eb8e184f03207692/)
2. Трофимов С. Я. Современное состояние и перспективы развития системы нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почвах после проведения рекультивационных работ // Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. Москва, 2013. С. 93–97.
3. Anisimov M. A., Pospelov I. N. The landscape-geobotanical characteristic of Levinson-Lessing Lake basin (Byrranga mountains, Central Taimyr) // Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic. Dynamics and Hystory. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.
4. Васильевская В. Д. Почвообразование в тундрах Средней Сибири. Москва: Наука, 1980. 236 с.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.



6. ПНДФ 16.1:2.2.22-98 «Методика измерения массовой доли нефтепродуктов в почве и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. Количественный химический анализ почв». 2005. 18 с.
7. Галстян А.Ш. Унификация методов определения ферментативной активности почв // Почвоведение. 1978 г. № 2. С. 107–114.
8. Anderson, J.P.E., Domsch, K.N., 1978. A physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soil // Soil Biol. Biochem. № 10. С. 215–221.
9. Anderson, T.H., Domsch, K.H., 1985. Maintenance requirements of actively metabolizing microbial populations under in situ conditions // Soil Biol. Biochem. №17. С. 97–203.

#### EFFECTIVENESS OF MEASURES FOR REMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS OF SPECIAL LAND USE LANDS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN TUNDRA

E.I. Kovaleva<sup>1</sup>, S.A. Isakova<sup>1</sup>, P.M. Perebasova<sup>1</sup>, S.Ya. Trofomov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Moscow, katekov@mail.ru

*Summary.* The effectiveness of ameliorants for remediation of oil-contaminated soils of special land use of the southern tundra was evaluated. The objects of the study were: Turbic, Spodic & Follic, Cryosols, Gleyic & Histic-Gleyic Albeluvisols, Fluvisols. The physico-chemical properties of soils were studied. The changes in biological parameters (respiration activity, enzymatic activity, the number of biota) in soils, contaminated with diesel fuel and ameliorants additions in different doses were assessed in a lab. Measures are proposed that trigger the mechanisms of their self-purification, allowing soils to perform their ecological functions.

*Keywords:* remediation, tundra soils, water protection zones, calcium peroxide, rationing of petroleum hydrocarbons.

УДК 631.461

#### ВЛИЯНИЕ МОНТМОРИЛЛОНИТА МОДИФИЦИРОВАННОГО СУНАТАЛОМ НА РОСТ И ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

С.В. Козьменко<sup>1,2</sup>, М.В. Бурачевская<sup>1</sup>, Л.В. Переломов<sup>1</sup>, Е.С. Федоренко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула, marina.0911@mail.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, kozmenko@sfnu.ru

*Аннотация.* Исследовано влияние различных концентраций монтмориллонита модифицированного сунаталом (лауретсульфат натрия) на рост и динамику численности олиготрофных микроорганизмов. Для этого производился посев почвенной суспензии на твердую питательную среду на основе почвенной вытяжки для селективного культивирования группы олиготрофных бактерий. Модифицированный монтмориллонит вносился в питательную среду в соотношении 3%, 5% и 7% от объема среды. Показано отсутствие токсического эффекта на микроорганизмы, что делает сорбент на основе монтмориллонита модифицированного сунаталом (лауретсульфат натрия) перспективным сорбентом.

*Ключевые слова* монтмориллонит, сунатал, почва, ремедиация, олиготрофы.

Возрастающее антропогенное влияние на экосистемы приводит к попаданию в почву высоких концентраций поллютантов, среди которых наибольшую опасность представляют тяжелые металлы (ТМ) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В связи с чем становится актуальной разработка новых методов и подходов к ремедиации загрязненных почв. Известные на сегодняшний день методы обладают рядом недостатков, которые делают невозможным их повсеместное применение. Так, при технологии вакуумной экстракции почв с усиленным паром от соединений ПАУ основной проблемой является синтез токсичных производных [1]. Выемка и удаление загрязненного слоя приводит к устранению верхнего

плодородного слоя почвы, а также к появлению необходимости хранения или складирования загрязненного слоя в другом месте, что не решает проблему полностью.

Эффективным методом нейтрализации загрязнений поллютантами является их химическое связывание с помощью различных сорбентов. Одним из перспективных направлений в этой области является разработка высокоэффективных сорбентов на основе органоглин, таких как бентонит, монтмориллонит. Монтмориллонит относится к алюмосиликатам – минералам чья кристаллическая решетка представляет собой слои. Это обуславливает их высокую дисперсность и вследствие этого большую удельную поверхность, что делает их эффективными сорбентами [2, 3].

Модификация органоглин различными ПАВ позволяет получить сорбенты с новыми физико-химическими свойствами. Так за счет «привитых» слоев из ПАВ органоглины приобретают свойства гидрофобности и органотропности. Кроме того, увеличение расстояния между слоями алюмосиликатов облегчает проникновение адсорбатов и как следствие приводит к увеличению сорбционной емкости [4]. Однако, остается не до конца изученным влияние модифицированных органоглин на почвенную биоту.

Целью данной работы было изучение токсичности монтмориллонита модифицированного сунаталом и монтмориллонита модифицированного додецилсульфатом натрия в отношении почвенных олиготрофных микроорганизмов.

Для оценки роста бактерий в присутствии монтмориллонита модифицированного сунаталом был произведен посев почвенной суспензии методом десятикратных разведений в трех повторностях. Для селективного культивирования группы олиготрофных бактерий готовилась питательная среда на основе почвенной вытяжки с добавлением органоглины модифицированной сунаталом. Навески органоглины добавлялись непосредственно перед розливом питательной среды на чашку Петри в соотношении 3%, 5% и 7% органоглины от объема питательной среды.

Для приготовления почвенной суспензии навеска почвы 10 г добавлялась в колбу со стерильной водой объемом 100 мл. Десорбция бактериальных клеток с почвенных частиц производилась резиновым пестиком в фарфоровой ступке с последующим перемешиванием на шейкере при 150 об/мин в течение 20 мин. Количественный учет численности бактерий производился на 3, 7, 14 и 30 сутки.

На диаграмме показано изменение численности бактерий в течение 30 сут. (рис. 1). Отличий между контролем и образцами с различным процентным содержанием монтмориллонита модифицированного сунаталом не наблюдается. Динамика изменения численности сохраняется, по истечении 30 суток, отличий в динамике численности олиготрофных бактерий, также, не наблюдается.

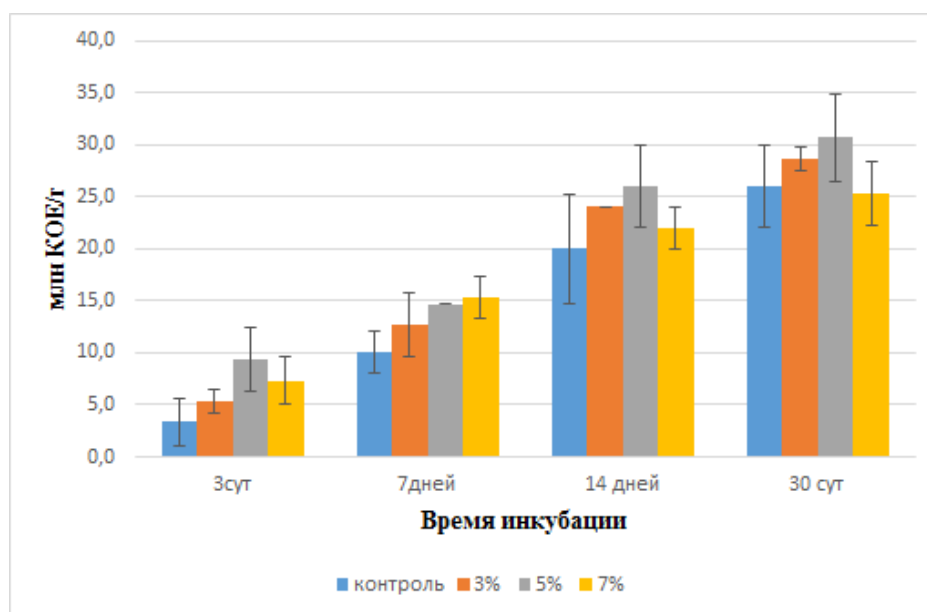


Рисунок 1. Влияние монтмориллонита модифицированного сунаталом на численность олиготрофных микроорганизмов.

Таким образом, исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что монтмориллонит модифицированный сунаталом не оказывает токсического действия на сообщество олиготрофных микроорганизмов, что позволяет использовать данный сорбент для ремедиации загрязненных почв.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ на развитие молодёжных лабораторий, в рамках реализации ТГПУ им. Л. Н. Толстого программы "Приоритет 2030" по Соглашению №073-03-2022-117/7.

#### Литература

1. Асякина Л.К., Дышлюк Л.С., Просекоев А.Ю. Мировой опыт в области рекультивации посттехногенных ландшафтов // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. №. 4. С. 805-818.
2. Переломов Л.В., Лагунова Н.Л., Сяндюкова К.В., Переломова И.В., Хасая Д.А., Равендра Н. Адсорбция свинца натриевым бентонитом и бентонитом, модифицированным гидроксидом алюминия, в присутствии органических кислот // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. №. 6-2. С. 237–245.
3. Завгородняя Ю.А., Степанов А.А., Трофимов С.Я., Фарходов Ю.Р., Первакова В.Н., Соколова Т.А., Аптикаев Р.С. Влияние внесения глинистых минералов, минеральных удобрений и мелиоранта на разложение органических поллютантов в нефтезагрязненном песке в условиях модельного опыта // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2017. №. 1. С. 39–46.
4. Явна В.А., Лазоренко Г.И., Каспржицкий А.С. Способ получения наноматериалов модификацией слоистых силикатов цвиттер-ионными поверхностно-активными веществами. 2019. 8 с.

#### INFLUENCE OF SORBENTS ON THE BASE OF MONTMORILLONITE ON THE GROWTH AND DYNAMICS OF SOIL OLIGOTROPHIC MICROORGANISMS

S.V. Kozmenko<sup>1,2</sup>, M.V. Burachevskaya<sup>1</sup>, L.V. Perelomov<sup>1</sup>, E.S. Fedorenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula

<sup>2</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, marina.0911@mail.ru

*Summary. The influence of various concentrations of montmorillonite modified with sunatal (sodium laurethulfate) on the growth and dynamics of the density of oligotrophic emissions has been studied. To do this, the soil suspension was sown on a solid nutrient medium based on soil extract for the selective cultivation of groups of oligotrophic crops. Modified montmorillonite is absorbed into the nutrient medium in the range of 3%, 5% and 7% of the environment. The absence of a toxic effect on microorganisms was shown, which makes sorbents based on montmorillonite promising sorbents.*

*Keywords: montmorillonite, sunatal, soils, remediation, oligotrophs.*

УДК 631.41

## РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫЕ ОТВАЛЫ КАК ДЕПОНИРУЮЩАЯ СРЕДА АКТУАЛЬНОГО И ОТЛОЖЕННОГО УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

П.П. Кречетов, А.В. Шарапова, Д.А. Касимова, О.В. Черницова

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Москва, di\_kasimovaa@mail.ru

**Аннотация.** Эксплуатация угольных месторождений приводит к формированию терриконов и отвалов, наполненных углефицированными породами. Выходя на дневную поверхность, уголь может окисляться кислородом воздуха, что приводит к эмиссии углекислого газа. Часто происходит возгорание материала отвалов и объемы эмиссии парниковых газов резко возрастают, что обеспечивает увеличение актуального углеродного следа. В работе проведена оценка интенсивности окисления органического вещества углеродсодержащих компонентов почв природных и природно-техногенных ландшафтов в районах угледобычи как индикатора состояния депонирования отложенного и актуального углеродного следа. Объекты исследования – природные, природно-техногенные и техногенные почвы, сформированные на отвалах шахт Подмосковского бурогоугольного бассейна (ПБУБ) разной степени рекультивации. Оценка эффективности секвестрации углерода при его депонировании в почвах проведена на основании показателей биохимического окисления органических веществ. Для оценки интенсивности биохимического окисления органических остатков (*in-situ*) использован показатель биохимического окисления легкогидролизуемых органических веществ (БОЛГОВ). Потенциальная доступность органических веществ почв и пород к биохимическому окислению основана на оценке интегрального показателя, отражающего долю углерода почвы, способного окислиться биохимическим путем (БОС). Оценка вклада естественного поступления углекислого газа из некультивируемых отвалов в формирование актуального углеродного следа в результате окисления кислородом входящих в их состав угольных частиц показала, что данный источник не существенен, хотя эмиссия углекислого газа из него происходит постоянно. Установлено, что рекультивация снижает вероятность поступления парниковых газов в атмосферу из-за изоляции материала отвала от доступа кислорода. Создаваемые в результате рекультивации отвалов антропогенные фитоценозы обеспечивают снижение актуального углеродного следа. Эффективность депонирования углерода на рекультивированных отвалах повышается при использовании для фитомелиорации древесных видов растений. Секвестрация углерода травянистым фитоценозом сопоставима со снижением углеродного следа естественными ненарушенными экосистемами.

**Ключевые слова:** рекультивация, углеродный след, угольные отвалы.

**Актуальность.** Угледобыча наносит урон природным ландшафтам, подвергая их техногенной трансформации [1]. На территории угольных бассейнов формируются отвалы и терриконы, вмещающие углефицированные породы, которые являются источниками потенциальной экологической опасности [2]. Для сокращения негативных последствий воздействия отвалов на окружающую среду и восстановления природных ландшафтов проводится их рекультивация [1, 3]. Рекультивационные мероприятия включают в себя два этапа: технический и биологический [4]. Технический этап рекультивации предполагает устранение источников или минимизацию последствий негативного влияния породных отвалов на сопредельные ландшафты. Биологический этап рекультивации включает комплекс фитомелиоративных и агротехнических мероприятий, направленных на восстановление биоценоза.

Эксплуатация угольных месторождений приводит к увеличению эмиссии парниковых газов [5]. В то же время антропогенно-измененные ландшафты снижают или даже прекращают секвестрацию атмосферного углерода. Более того, терриконы и отвалы состоят из нескольких сотен тысяч кубических метров вмещающих пород, содержащих в себе значительные запасы угля. Этот углерод является потенциальным источником углекислого газа в случае его окисления кислородом и может рассматриваться как отложенный углеродный след. Особенно интенсивно процесс эмиссии парниковых газов происходит при пиролизе и возгорании



материала отвалов [6]. В этом случае они попадают в атмосферу в значительных количествах, что обеспечивает увеличение актуального углеродного следа.

В настоящее время набирает популярность стратегия Environmental Social Governance (ESG), включающая принцип сокращения содержания в атмосфере углекислого газа. Для ее выполнения вводятся «углеродные налоги», создается правовая основа для реализации климатических проектов, создаются карбоновые полигоны и фермы, планируется осуществление торговли «углеродными единицами». Известно, что одним из основных способов уменьшения концентрации углекислого газа в атмосфере является сохранение природных экосистем, которые способны депонировать углерод и накапливать его в фитомассе [7]. Таким образом, рекультивация отвалов является одним из способов сокращения выбросов парниковых газов, произведенных в результате человеческой деятельности [8]. Использование древесных культур при фитомелиорации отвалов может рассматриваться как процедура, способствующая восстановлению секвестрационной функции данных объектов [5], и тем самым такие отвалы могут служить карбоновыми фермами, на которых будут отрабатываться технологии поглощения углекислого газа [7]. С другой стороны, следует помнить, что содержание в них значительного количества угля позволяет рассматривать их как источник отложенного углеродного следа.

Целью работы является оценка интенсивности окисления органического вещества углеродсодержащих компонентов почв природных и природно-техногенных ландшафтов в районах угледобычи как индикатора состояния депонирования отложенного и актуального углеродного следа.

**Объекты исследования.** В качестве территории исследования был выбран Подмосковский буроугольный бассейн (ПБУБ). Он расположен в густонаселенных регионах Центральной России, в настоящее время не эксплуатируется и характеризуется наличием многочисленных экологических аспектов отложенного техногенного следа [9]. Одна из проблем угледобычи в ПБУБ заключается в высоком содержании угля и серы во вмещающих породах, что определяет их токсичность и низкий уровень плодородия, и, следовательно, подавляет восстановление фитоценозов.

Ключевые участки на территории ПБУБ расположены в Киреевском и Узловском районах Тульской области. Отвал «Каменецкая-2» был террасирован и фитомелиорирован в 1970-х годах. Спланированный отвал «Синяевка» фитомелиорирован в 2015 г. Отвал «Владимировка» спланирован, на нем идут процессы самозарастания. Конический террикон «Ильинка» не был рекультивирован. Объекты исследования - почвы отвалов разных стадий рекультивации и природные черноземы выщелоченные. Нереккультивированные, лишённые растительности, участки отвалов и терриконов представлены токсилитостратами и литостратами. Они представляют собой слабодифференцированные толщи углефицированных и пиритизированных вмещающих пород (участки «Ильинка» и «Владимировка»). В отличие от токсилитостратов, литостраты формируются на участках прогоревшей породы, что уменьшает углефицированность и степень их токсичности. Дерновые примитивные почвы формируются на выположенных вершинах самозарастающих отвалов (участок «Владимировка»). Почвы рекультивированных и фитомелиорированных отвалов ключевых участков «Синяевка» и «Каменецкая-2» представлены реплантаземами, отличающимися между собой мощностью плодородного слоя, используемого при рекультивации. Так, во время рекультивации на участке «Каменецкая-2» отсыпка плодородным слоем достигала 1 м; при фитомелиорации высаживали как травянистую растительность, так и древесную, в том числе клены, сосны. Технология рекультивации участка «Синяевка» предполагала перекрытие углефицированных толщ суглинистым субстратом, с последующим нанесением плодородного слоя, мощность 20-40 см; для фитомелиорации использовали только злаково-разнотравные виды растений.

**Методы исследования.** На площадках оценивали запасы биомассы (Б) и мортмассы травянистых сообществ на площади 1x1 м<sup>2</sup>. Содержание органического углерода в почвах и породах определяли методом бихроматного окисления по И.В. Тюрину.

Оценка интенсивности биохимического окисления органических остатков (in-situ) осуществлялась на основе показателя биохимического окисления легкогидролизуемых органических веществ (БОЛГОВ) по величине целлюлозолитической активности (ЦА), которая основывается на количественном определении степени разложения льняного полотна,

помещенного в почву на глубину до 10 см (корнеобитаемый слой) [10]. Для оценки потенциальной доступности органических веществ почв к биохимическому окислению использован интегральный показатель, отражающий долю углерода почвы, способного окислиться биохимическим путем (БО<sub>с</sub>). Его вычисление основано на измерении биологического потребления кислорода (БПК) в почвенной суспензии, которое пошло на биохимическое окисление органических веществ. Доля углерода, потенциально доступного для окисления, определялась по соотношению содержания углерода, вовлекаемого в биохимические процессы по величине БПК к общему содержанию органического углерода [11].

**Результаты и обсуждение.** Запасы надземной биомассы на фоновых участках со злаково-разнотравной растительностью на черноземах выщелоченных составляют 95,6 г/м<sup>2</sup> (табл. 1).

Таблица 1. Показатели химических и биологических свойств почв и пород

Участок/ Характеристики		Фон	"Ильинка"		"Владими- ровка"		"Каменецкая-2" (Рекультивация в 1970-е гг.)		"Синяевка" (Рекультив ация в 2015 г.)		
Почвы:		Ч <sup>в</sup>	Т	Л	Т	Д	Р		Д	Р	
Показатели:											
ОПП	%	80	0	0	0	5	80	60	5	30	20
Б	г/м <sup>2</sup>	95,6	0	0	0	19,7	71,9	16,4*	0	126	44,7
pH	ед.	5,7	3,5	4,6	4,4	5,5	6,5	5,9	4	6,8	6,9
TDS	мСм/см <sup>3</sup>	60	650	530	54	41	77	62	220	111	155
S	%	0,05	0,55	0,35	0,17	0,15	0,08	0,13	0,52	0,09	0,04
C <sub>орг</sub>	%	4,47	5,85	2,08	1,98	1,62	4,91	6,43	5,02	3,04	0,87
БО <sub>ЛГОВ</sub>	мг ЛГОВ/ сутки	3,65	2,86	4,58	1,94	6,58	14,3	4,69	2,16	9,58	7,03
БПК	ммоль O <sub>2</sub> /100 г почвы	0,65	0,07	0,1	0,07	0,45	0,53	0,54	0,19	0,41	0,2
БО <sub>с</sub>	х10 <sup>-3</sup> %	2,7	0,2	0,9	0,6	5,2	2,1	1,6	0,7	2,6	4,2

Примечание.

Почвы: Ч<sup>в</sup> – чернозем выщелоченный; Т- токсилитострат; Л – литострат; Д – дерновая примитивная; Р – реплантазем;

\* – запасы мортмассы; Б – запасы надземной биомассы; ОПП – общее проективное покрытие; TDS (Total dissolved solids) – общее содержание растворенных твердых веществ; S – содержание серы, C<sub>орг</sub> – содержание углерода органических соединений.

Ландшафты вершин рекультивированных отвалов с разнотравно-злаковой растительностью на реплантоземах (на примере ключевого участка «Синяевка») отличаются большим поступлением растительных остатков, до 126,1 г/м<sup>2</sup>. Это объясняется большим участием травянистых растений, как засеянных в процессе фитомелиорации, так и поселившихся впоследствии с сопредельных экосистем. На крутых склонах рекультивированных отвалов запасы биомассы значительно снижаются и не превышают 44,7 г/м<sup>2</sup>. Поступление биомассы на вершине рекультивированного отвала «Каменецкая-2» дифференцировано в зависимости от растительной ассоциации, созданной в процессе фитомелиорации. На вершине отвала под злаковой растительностью биомасса достигает 71,9 г/м<sup>2</sup>. Под посадками клена с участием жимолости травянистый покров практически отсутствует, а запасы мортмассы, представленной подстилкой из листового опада, не превышают 16,4 г/м<sup>2</sup>. В то же время в пределах склонов этого отвала растительность полностью отсутствует.

Нерекультивированный отвал «Ильинка» практически лишен растительности, единичные березы произрастают на литостратах, сформировавшихся на участках выгоревшего и нетоксичного субстрата.

Максимальное содержание  $C_{орг}$  установлено в токсилитостратах нерекультивированного террикона «Ильинка» – 5,8%, при этом в токсилитостратах самозарастающего отвала «Владимировка» содержание  $C_{орг}$  не превышает 2%. Установленные различия обусловлены разной степенью углефицированности отвальных толщ. В литостратах, сформированных из выгоревшего материала, значение  $C_{орг}$  также не превышает 2,1%. В поверхностных горизонтах реплантоземов участка «Каменецкая-2» содержание  $C_{орг}$  варьирует от 4,3 до 6,4%. В то же время для реплантоземов участка «Синяевка» выявлены более низкие значения от 0,9% до 3%, что обусловлено менее значительной степенью трансформации органических веществ в результате меньшего возраста рекультивации. Кроме того, на содержание  $C_{орг}$  может оказывать влияние разный состав используемого при рекультивации плодородного слоя.

БОЛГОВ черноземов выщелоченных в период максимальной биологической активности составляет 6,2 мгЛГОВ/сутки. Наименьшая интенсивность БОЛГОВ характерна для токсилитостратов, сформированных на незадернованных участках отвалов и терриконов, что связано с торможением биохимических процессов трансформации углеродсодержащих веществ из-за низкой доступности для биологического разложения угольных частиц, отсутствия растительного опада, а также высокой кислотности среды, подавляющей биологическую активность микроорганизмов. Диапазон значений представлен от 1,9 до 3 мгЛГОВ/сутки. В литостратах, в условиях снижения токсичности субстратов, БОЛГОВ возрастает до 5,1 мгЛГОВ/сутки. В дерновых примитивных почвах самозарастающих участков отвала «Владимировка» БОЛГОВ достигает 8,4 мгЛГОВ/сутки. Максимальные значения, в два раза превышающие фоновый уровень, характерны для реплантоземов вершин рекультивированных отвалов. Так, в почвах участка «Синяевка» БОЛГОВ достигает 11,6 мгЛГОВ/сутки, а в поверхностных горизонтах реплантоземов участка «Каменецкая-2» 13,8 мгЛГОВ/сутки.

Потенциальная доступность углерода к биохимическому окислению ( $BO_C$ ) в гумусовом горизонте чернозема выщелоченного составила  $2,7 \times 10^{-3} \%$ . В токсилитостратах и литостратах значение этого показателя в 13–15 раз ниже природных почв, варьирует от  $0,2 \times 10^{-3}$  до  $0,6 \times 10^{-3} \%$ . Углерод в этих почвах имеет литогенное (угольное) происхождение и трудно подвергается БО. К тому же, биологическая активность в данных почвах минимальна. В реплантаземах, за счет увеличения поступающего на поверхность почвы свежего растительного опада, биохимическая доступность к окислению углерода значительно увеличивается (от  $2,1 \times 10^{-3} \%$  до  $5,2 \times 10^{-3} \%$ ), в ряде случаев превышая фоновый уровень.

**Заключение.** Остатки угля в нерекультивированных и рекультивированных отвалах пород в районах угледобычи являются отложенным углеродным следом. Оценка вклада естественного поступления углекислого газа из нерекультивированных отвалов в формирование актуального углеродного следа в результате окисления кислородом входящих в их состав угольных частиц показала, что данный источник не существенен, хотя эмиссия углекислого газа из него происходит постоянно. Однако, в случае протекания химического окисления углерода с последующим возгоранием отвалов возможно поступление больших количеств парниковых газов в атмосферу. Рекультивация снижает вероятность поступления парниковых газов в атмосферу в результате самовозгорания или поверхностного окисления угольных частиц из-за изоляции материала отвала от доступа кислорода. Создаваемые в результате рекультивации отвалов антропогенные фитоценозы обеспечивают снижение актуального углеродного следа. Эффективность депонирования углерода на рекультивированных отвалах повышается при использовании для фитомелиорации древесных видов растений. Секвестрация углерода травянистым фитоценозом сопоставима со снижением углеродного следа естественными ненарушенными экосистемами.

Таким образом можно утверждать, рекультивированные отвалы можно использовать в качестве карбоновых ферм.

## Литература

1. Андроханов В.А. Практическое решение проблемы рекультивации нарушенных земель на основе инновационного процесса // Горн. информ. -аналит. бюл. 2008. Отд. вып. № 7. Кузбасс. С. 258–264. Библиогр.: с. 264
2. Никифорова Е.М., Солнцева Н.П. Техногенные изменения ландшафтов под влиянием добычи горючих полезных ископаемых // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. 1984. № 6. С. 59–66.
3. Кожевников Н.В., Заушинцева А.В. Отечественный и зарубежный опыт биологической рекультивации нарушенных земель // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 1. С. 43 – 47.
4. Ганеев И.Г., Кулагин А.А. Ремедиация и рекультивация техногенно деградированных земель // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №6. С.554–557.
5. Уфимцев В.И., Куприянов А.Н. Карбоновые фермы – отвалы угольных предприятий Кузбасса // Уголь. 2021. № 11. С.56–60.
6. Язиков Е.Г., Худяков В.М., Азарова С.В. Геоэкологические проблемы угледобывающих предприятий и геохимическая оценка воздействия отвалов на почвы (на примере угольного разреза Чалпан, Республика Хакасия) // Известия Томского политехнического университета. 2002. Т. 305. Вып. 6: Геология, поиски и разведка полезных ископаемых Сибири. С. 433–445.
7. Уфимцев В.И., Андроханов В.А. Особенности накопления фитомассы в лесных насаждениях на отвалах Листвянского угольного разреза. Научные известия. 2022; 29: С. 152–157.
8. Калистратов В.В. Экологическая нагрузка в отраслях АПК: углеродный след, экологический след, утилизация вторичных отходов животноводства и птицеводства // Российские регионы как центры развития в современном социокультурном пространстве: сборник научных статей 8-й Всероссийской конференции, 2 октября 2022 года: С.37–41.
9. Шарпова А.В., Семенов И.Н., Леднев С.А. и др. Саморазвитие горнопромышленных ландшафтов старого района угледобычи в Тульской области // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 12. С.54–59.
10. Шарпова А.В. Биохимическое окисление легкогидролизующих органических веществ как показатель окислительно-восстановительного состояния почв зоны влияния терриконов угольных шахт // Мир науки, культуры, образования. 2012. №6 (37). С.526–530
11. Krechetov P.P., Sharapova A.V., Semenov I.N., Koroleva T.V. Protocol of conjugate evaluation of the biological activity of soils in terms of cellulolytic activity and biological consumption of oxygen // METHODSX, 2022. Vol. 9. 101841. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101841>

### RECOLTIVATED DUMPS AS THE DEPOSITING MEDIUM OF THE ACTUAL AND DEPOSITED CARBON FOOTPRINT

P.P. Krechetov, A.V. Sharapova, D.A. Kasimova, O.V. Chernitsova

Moscow State University named M.V. Lomonosov, Moscow, di\_kasimovaa@mail.ru

*Summary. The exploitation of coal deposits leads to the formation of waste heaps and dumps filled with coalified rocks. Coming to the surface, coal can be oxidized by atmospheric oxygen, which leads to the emission of carbon dioxide. Dump material often ignites and greenhouse gas emissions increase dramatically, increasing the current carbon footprint. The paper assesses the intensity of oxidation of organic matter of carbon-containing soil components in natural and natural-technogenic landscapes in coal mining areas as an indicator of the state of deposition of the deferred and actual carbon footprint. The objects of study are natural, natural-technogenic and technogenic soils formed on the dumps of mines of the Moscow Brown Coal Basin (PBUB) of varying degrees of reclamation. Evaluation of the efficiency of carbon sequestration during its deposition in soils was carried out on the basis of indicators of biochemical oxidation of organic substances. To assess the intensity of biochemical oxidation of organic residues (in-situ), the indicator of biochemical oxidation of easily hydrolysable organic substances (BO<sub>Lgov</sub>) was used. The potential accessibility of soil and rock organic matter to biochemical oxidation is based on the assessment of an integral indicator that reflects the proportion of soil carbon that can be biochemically oxidized (BO<sub>C</sub>). An assessment of the*



*contribution of the natural supply of carbon dioxide from non-reclaimed dumps to the formation of the actual carbon footprint as a result of the oxidation of coal particles included in their composition by oxygen showed that this source is not significant, although carbon dioxide emission from it occurs constantly. It has been established that reclamation reduces the likelihood of greenhouse gases entering the atmosphere due to the isolation of the dump material from oxygen access. Anthropogenic phytocenoses created as a result of dump reclamation provide a reduction in the current carbon footprint. The efficiency of carbon deposition on reclaimed dumps increases when woody plant species are used for phytomelioration. Carbon sequestration by herbaceous phytocenosis is comparable to carbon footprint reduction by natural undisturbed ecosystems.*

*Keywords: reclamation, carbon footprint, coal dumps.*

УДК 631.42

## МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЧВ ГОРЛОВСКОГО АНТРАЦИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Д.А. Матвеева<sup>1</sup>, Д.А. Соколов<sup>2</sup>, Е.А. Гуркова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, daveeva5@gmail.com

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, sokolovdenis@mail.com

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы, связанные с морфологической диагностикой почвообразовательных процессов в почвах техногенных ландшафтов Горловского антрацитового месторождения. Получены результаты морфологических исследований почв, сформированных на поверхностях разновозрастных отвалов, на макро-, микро- и субмикроморфологическом уровнях. Установлено, что количество мелкозема увеличивается в ряду от инициальных к гумусово-аккумулятивным эмбриоземам, при этом тонкодисперсный материал редко агрегирован. Показано, что в профиле эмбриоземов часто встречаются углистые частицы, слабо затронутые гипергенными процессами, а также железистые конкреции, являющиеся следствием возникновения в профиле почв восстановительных условий.

**Ключевые слова:** техногенные ландшафты, микроморфология, эмбриоземы, гранулометрический состав.

**Введение.** Интенсивное нарушение почвенного покрова, вызванное добычей полезных ископаемых и их промышленной переработкой, является одной из значительных проблем в современном мире. В результате горнодобывающей деятельности, территории теряют естественные, исторически сформировавшиеся почвы, а вместо них возникают техногенные ландшафты. Эти ландшафты представляют собой насыпные отвалы из вскрышных и вмещающих пород, на которых со временем формируется почвенно-растительный покров. Для ускорения этого процесса и регулирования экологической обстановки необходимо проведение исследований формирующихся молодых почв. Эти исследования помогут в понимании преобразований, происходящих в техногенных ландшафтах, и определении эффективных методов для стимулирования почвообразования. Такие меры помогут восстановлению почвенного покрова и улучшению экологической ситуации на территориях горнодобывающих предприятий.

**Объекты и методы.** На территории Горловского антрацитового месторождения проведены исследования по изучению почвенного покрова. Для этого были выбраны отвалы разного возраста, состоящие из плотных осадочных пород, таких как алевриты и аргиллиты. На поверхности этих отвалов были изучены инициальные эмбриоземы, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные. Для проведения исследований были применены методы макро-, микро- и субмикроморфологии почв. Макроморфологическое строение эмбриоземов было описано с использованием общепринятых методов в почвоведении. Для микроморфологического исследования был применен сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-3000 с приставкой Bruker Quantax 70 для анализа микроморфологических признаков верхнего 10-ти сантиметрового слоя эмбриоземов. В этом исследовании был

использован особый подход, поскольку изготовление шлифов из сильнокаменистых почв затруднено. Вместо этого был нанесен тонкий слой мелкозема на специальную клеевую основу. Методическая основа для исследования была взята из работы Герасимовой М.И. и ее соавторов [1], и хотя изучение проводилось в немного иной форме, результаты исследования по применяемым методам и описанным микроморфологическим признакам верхнего слоя эмбриоземов согласуются с этим исследованием.

**Результаты и обсуждения.** Результаты макроморфологического исследования показали, что дифференциация профиля эмбриоземов происходит путем образования характерных органогенных горизонтов, каждый из которых диагностирует тип почвы [2]: инициальный, органо-аккумулятивный, дерновый и гумусово-аккумулятивный эмбриозем.

Инициальный эмбриозем (A0-AC-C1-C2) (рис.1, А) является первым типом в эволюционном ряду этих почв. Для него характерна максимальная каменистость (табл. 1), поскольку разрушение крупных обломков до мелкозема осуществляется здесь только за счет физического выветривания, в результате процессов промерзания-оттаивания и высушивания-увлажнения. В отличие от рыхлых осадочных пород почвообразование здесь сталкивается с лимитом материала, пригодного для освоения процессами, которые свойственны зональным почвам. Высокая каменистость исходных субстратов и дефицит тонкодисперсного материала определяет не профилеобразующий характер визуальных проявлений процессов почвообразования.

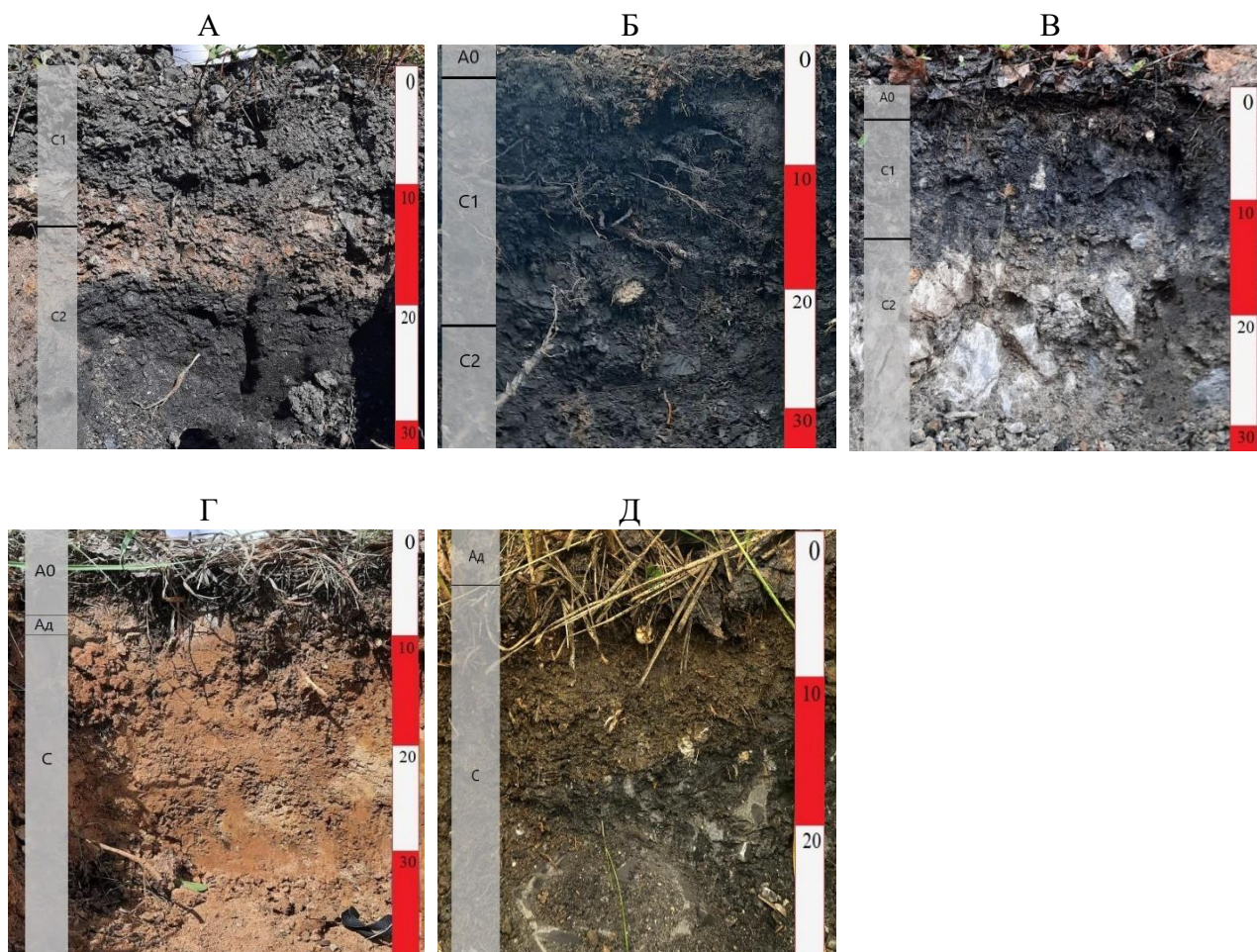


Рисунок 1. Почвенные профили эмбриоземов: А – инициального; Б – органо-аккумулятивного под лесной растительностью; В – органо-аккумулятивного под травянистой растительностью; Г – дернового на глинах; Д – дернового на плотных породах.

Следующую ступень в эволюционном ряду занимают органо-аккумулятивные эмбриоземы (A0-C1-C2) под лесом (рис. 1, Б) и под травянистой растительностью (рис. 1, В). Для них присуще накопление на дневной поверхности остатков травянистой, древесной растительности разной степени разложения, что ведет к формированию подстилки. Профиль



дернового эмбриозема (рис. 1, Г, Д) отличается еще более выраженной дифференциацией, проявляющейся в формировании биогенного горизонта – дернины. Здесь процессы физического выветривания уступают биофизическим. Под их воздействием уменьшается содержание каменных фракций и увеличивается количество мелкозема как в органо-аккумулятивных, так и в дерновых эмбриоземах. Максимальное содержание мелкозема отмечается на глубине 0–5 см (табл. 1) в органо-аккумулятивном эмбриоземе под лесной растительностью. В органо-аккумулятивном эмбриоземе под травянистой растительностью большее количество мелкозема так же сохраняется в слое 0–5 см и уменьшается с глубиной, но уступает по значениям в ЭОАл (табл. 1).

Таблица 1. Фракционный состав крупнозема исследуемых почв

Тип почв	Глубина, см	Доля фракций диаметром (мм), %				
		>10	5–10	3–5	1–3	<1
Эмбриозем инициальный на спланированном участке (ЭИс)	0–5	16,6	12,7	6,4	17,3	47,0
	5–10	29,3	11,8	4,8	5,4	48,7
	10–20	43,2	7,9	6,3	6,6	35,7
Эмбриозем органо-аккумулятивный под лесной растительностью (ЭОАл)	0–5	10,8	6,9	3,1	9,3	69,5
	5–10	44,2	5,0	2,7	6,9	41,1
	10–20	56,7	4,1	2,5	4,1	32,4
Эмбриозем органо-аккумулятивный под травянистой растительностью (ЭОАт)	0–5	11,7	13,1	7,8	20,7	45,6
	5–10	27,5	30,1	3,0	11,0	28,1
	10–20	21,1	27,6	7,5	12,7	30,9
Эмбриозем дерновый на плотных породах (ЭДп)	0–5	11,5	10,1	6,8	13,4	57,8
	5–10	14,1	10,8	11,9	12,5	50,4
	10–20	45,1	5,6	4,4	6,8	38,1
Эмбриозем дерновый на глинах (ЭДг)	0–5	0,0	0,3	0,1	0,1	99,0
	5–10	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
	10–20	0,0	0,1	0,1	0,5	99,2

Микроморфологические наблюдения показали, что грубо- и тонкодисперсный материал почв, как сформированных на плотных обломочных, так и на рыхлых глинистых породах, крайне редко ассоциирован в микроагрегаты (рис. 2, А, Б).

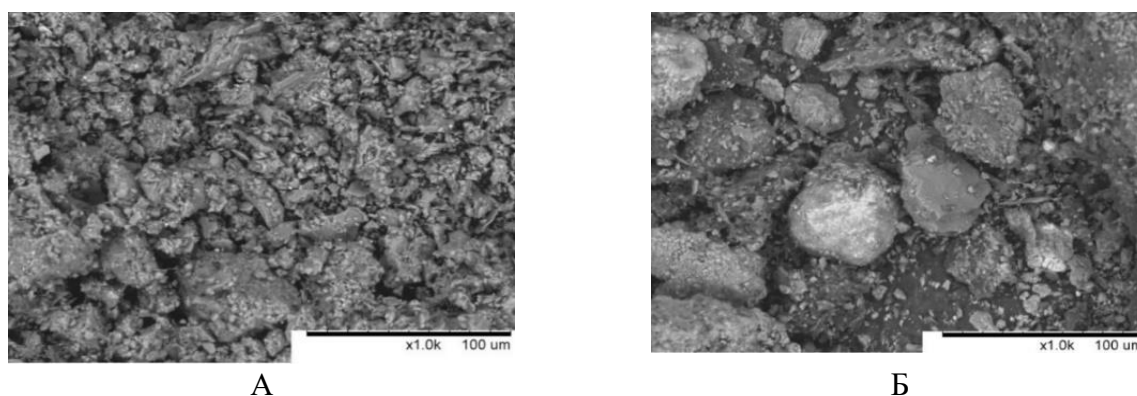


Рисунок 2. Микрофотографии фракции  $<0,25\text{ мм}$  горизонтов  $C_1$  дерновых эмбриоземов, сформированных: А – на глинах мел-палеогеновой коры выветривания; Б – техногенном элювии обломков аргиллитов, алевролитов и песчаников.

Основным отличительным морфологическим признаком изучаемых почв является наличие в них включений литогенного органического вещества, представленного углем. Угли в эмбриоземах отмечаются как на макроморфологическом уровне исследования в виде обломков различного размера, так и на микроморфологическом – в виде включений частиц угольной пыли. Кроме того, присутствие литогенного органического вещества в почвах, сформированных на плотных осадочных породах, обеспечивается также за счет углистого цемента, скрепляющего илистые и пылевые фракции в аргиллитах и алевролитах. Следствием

этого является серая и темно-серая окраска эмбриоземов на отвалах каменноугольных и антрацитовых месторождениях (рис. 3, А, Б, В).

В ходе исследований установлено, что угли исследуемого месторождения мало податливы к гипергенному преобразованию. Так, анализируемые образцы почв и углесодержащих пород разновозрастных отвалов при рассмотрении на субмикроморфологическом уровне в целом были идентичны, поскольку демонстрируют хорошую сохранность углистых включений (рис. 3, В).

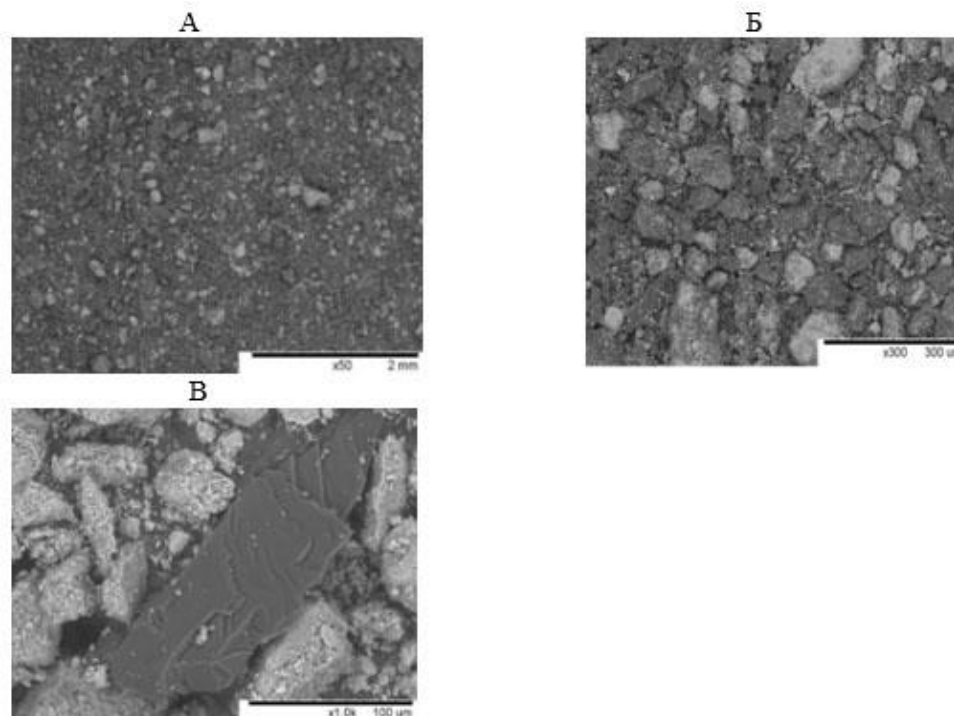


Рисунок 3. Включения углистых частиц во фракции  $<0,25$  мм эмбриоземах, сформированных на техногенном элювии плотных осадочных пород: А – мезоморфологический уровень; Б – микроморфологический уровень; В – субмикроморфологический уровень.

Еще одной особенностью почв изученных отвалов является наличие железистых конкреций. Это следствие восстановительных условий, периодически складывающихся в сильноуплотненных почвах техногенных ландшафтов [3]. Кратковременное оглеение с последующим иссушением в условиях сильного прогревания обуславливают установление в молодых почвах контрастного окислительно-восстановительного режима, который и ведет к образованию микроконкреций. Вследствие этого в почвах отвалов антрацитовых месторождений протекают процессы химического преобразования органической и минеральной частей почв, свойственные дерново-подзолистым и серым лесным почвам.

**Выводы.** Таким образом, процентное содержание фракции мелкозема увеличивается в следующем ряду: Эи-ЭАОт-ЭОАл-ЭДп-ЭДг вслед за видоизменением растительных сообществ. Угли в эмбриоземах отмечаются как на макроморфологическом уровне исследования, так и на микроморфологическом. Наличие железистых конкреций является следствием контрастного окислительно-восстановительного режима в сильноуплотненных почвах техногенных ландшафтов.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00116.

#### Литература

1. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1992. 214 с.
2. Андроханов В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка/ В.А. Андроханов, В.Н. Курачев; отв.ред. А.И. Сысо; Рос. Акад. Наук, Сиб.отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 204 с.



3. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири / Д. А. Соколов, В. А. Андроханов, С. П. Кулижский и др. // Почвоведение. 2015. № 1. С. 106–117.

## MORPHOLOGICAL DIAGNOSIS OF SOILS IN THE GORLOVSKY ANTHRACITE DEPOSIT

D.A. Matveeva<sup>1</sup>, D.A. Sokolov<sup>2</sup>, E.A. Gurkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk, [daveeva5@gmail.com](mailto:daveeva5@gmail.com)

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [sokolovdenis@mail.com](mailto:sokolovdenis@mail.com)

*Summary. The issues related to the morphological diagnosis of soil-forming processes in the technogenic landscapes of the Gorlovsky anthracite deposit were examined. Results of morphological studies of soils formed on different-aged dumps were obtained at macro-, micro-, and submicro-morphological levels. It was found that the amount of fine earth increases from initial to humus-accumulative embryozems, with the fine-dispersed material rarely being aggregated. It is shown that coal particles, weakly affected by hypergenic processes, and iron concretions, resulting from the development of restorative conditions in the soil profile, are frequently encountered in the embryozem profiles.*

*Keywords: technogenic landscapes, micromorphology, embryozems, grain size composition.*

УДК 626.86.631.445(571.1)

## ВЛИЯНИЕ АГРОМЕЛИОРАНТОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОНЕ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

А.С. Моторин, А.А. Денисов

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, [a.s.motorin@mail.ru](mailto:a.s.motorin@mail.ru)

*Аннотация. Агрохимические свойства песчаных грунтов неудовлетворительны для развития многолетних трав: высокая обменная ( $pH_{\text{кол.}}$  4,15) и гидролитическая кислотность (2,8 мг-экв/100 г почвы), низкое содержание обменных оснований (Ca – 0,97, Mg – 0,56 мг-экв/100 г почвы). Необходимо совместное внесение торфа (100–150 т/га) и доломитовой муки (4,6 т/га) на фоне внесения минеральных удобрений в количестве  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Грунты песчаных карьеров имеют низкие запасы валовых и подвижных форм азота (0,06% и 1,17  $NO_3$  мг/кг), фосфора (0,03% и 1,1–5,6 мг/кг) и калия (0,4% и 32,5 мг/кг).*

*Ключевые слова: карьер, песчаный грунт, торф, доломитовая мука, агрохимические свойства, питательный режим.*

Почвы Крайнего Севера имеют низкое естественное плодородие, обладают высокой кислотностью, слабой микробиологической активностью [1]. Данные [2] по содержанию в песках основных элементов питания показывают, что они очень бедны питательными элементами: азота общего содержится 0,009–0,07%, фосфора – 0,021–0,096%, общего калия 0,9–1,3%. Основным мероприятием по коренному улучшению песков является так называемая «гумусовая мелиорация», то есть внесение органических удобрений [3]. Внесение органических и минеральных удобрений, периодическое известкование оказывают весьма многообразное и глубокое влияние на агрохимические свойства, улучшают условия питания растений [4, 5]. На территории ЯНАО практически не проводилось систематических исследований по влиянию органических удобрений и известкования на агрохимические свойства и питательный режим песчаных грунтов.

**Цель исследования** – изучить влияние торфа и доломитовой муки на агрохимические свойства и питательный режим песчаных грунтов в лесотундровой зоне ЯНАО.

**Объекты и методы исследования.** Опытный участок расположен в песчаном карьере 25-летней выработки (15 км от г. Салехарда). Песчаный грунт имеет легкий гранулометрический состав с плотностью сложения 1,28–1,30 г/см<sup>3</sup>. Схема двухфакторного полевого опыта включала изучение 3-х доз торфа (50, 100, 150 т/га) и 4-х доз доломитовой муки (2,4, 6,8 т/га).

Площадь делянок первого порядка составляла 62 м<sup>2</sup>, учетная – 40,6 м<sup>2</sup>; площадь делянок второго порядка – 12 м<sup>2</sup>, учетная – 5 м<sup>2</sup>. Варианты с дозами доломитовой муки располагались в опыте поперек вариантов с различными дозами торфа. Повторность опыта – трехкратная. Внесение торфа, доломитовой муки и минеральных удобрений (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) проводили вручную путем разбрасывания. Агромелиоранты перемешивали с песчаным грунтом путем фрезерования на глубину 15–18 см. После фрезерования проводили прикатывание гладким водоналивным катком. Беспокровный посев овсяницы красной с нормой высева 60 кг/га проведен вручную в оптимальные сроки во вторую декаду июня с последующим боронованием на глубину 3–4 см и прикатыванием гладким водоналивным катком. Перед закладкой полевого опыта и ежегодно после учета урожайности трав были отобраны образцы почвы через 0,1 м до глубины 0,3 м и проведены агрохимические анализы по методикам, общепринятым в почвоведении.

**Обсуждение результатов.** Исследованиями установлено, что содержание органического вещества в грунте на контрольных делянках в слое 0,2 м очень низкое. Его количество резко возрастает при внесении торфа, особенно дозой 150 т/га. Например, добавление в слой почвы 0,2 м 50 т/га торфа увеличивает содержание гумуса в 13,6 раза. При этом внесение доломитовой муки различными дозами не оказало существенного влияния на содержание гумуса в почве на всех фонах с использованием торфа. Из этого следует вывод, что увеличение гумуса в почве напрямую обеспечивается только внесением органических удобрений.

Внесение торфа без дополнительного использования доломитовой муки повышает актуальную и гидролитическую кислотность песчаного грунта (табл. 1).

Таблица 1. Влияние доз торфа и доломитовой муки на агрохимические показатели песчаного грунта (среднее за 2016–2018 гг.)

Варианты опыта *		Гумус, %	рН (сол.)	Нг мг-экв/100 г почвы	Ca	Mg
Доза торфа, т/га (А)	Доза доломитовой муки, т/га (В)				мг-экв./ 100 г почвы	
0	0	0,22	4,15	2,83	0,97	0,56
50	0	2,99	4,15	3,79	1,68	0,44
	2	3,18	4,35	4,42	2,25	0,38
	6	3,20	4,30	-	3,25	0,26
100	0	7,06	3,60	2,50	2,50	1,70
	2	6,25	4,15	2,90	5,50	1,44
	6	6,28	4,65	2,50	7,37	1,51
150	0	7,83	3,70	3,40	6,25	2,00
	2	8,04	4,10	4,20	9,98	3,14
	6	8,25	4,45	3,95	10,30	2,82
НСР <sub>05</sub> фактора А		0,70	0,16	-	0,65	0,46
НСР <sub>05</sub> фактора В		1,88	0,32	-	1,28	0,97

Примечание. \* - на фоне внесения N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>

При внесении 150 т/га торфа рН<sub>(сол.)</sub> увеличивается на 0,45 ед. Связано это с подкисляющим действием торфа, поскольку он имел более высокую кислотность по отношению к песчаному грунту. Эффективность доломитовой муки в значительной степени зависела от дозы внесенного торфа. Максимальное положительное действие доломитовой муки по снижению кислотности установлено на делянках опыта с внесением минимального количества торфа (50 т/га). Здесь рН<sub>(сол.)</sub> на фоне внесения 6 т/га доломитовой муки снизилась на 2,15 ед., достигнув величины близкой к нейтральной. Гидролитическая кислотность на этом варианте изменилась в несколько раз меньше по сравнению с высокими дозами торфа. Полученные результаты подтверждают высокую буферную способность торфа.

Песчаный грунт, подлежащий рекультивации, содержит малое количество обменных оснований. Их величина существенно увеличивается при внесении торфа, особенно содержание кальция. Например, внесение 50 т/га торфа повысило содержание кальция на 0,71

мг-экв./100 г (1,7 раза), 150 т – 5,28 мг-экв./100 г почвы (6,4 раза). Количество магния также возрастает, но значительно меньше, чем кальция. Существенную роль на содержание обменного кальция оказала доломитовая мука. При этом необходимо отметить, что действие муки по – разному проявилось в зависимости от дозы внесения торфа. В варианте с внесением 50 т/га торфа добавление 8 т/га доломитовой муки повысило содержание кальция на 33,4%, 6 т/га – на 93,4%. На варианте, где было внесено 150 т/га торфа, количество кальция выросло почти в 2,5 раза. Относительно магния аналогичная зависимость отчетливо не просматривается.

Исходное содержание питательных веществ в грунте очень низкое (табл. 2). Поэтому положительный результат биологической рекультивации может быть достигнут только при использовании различных агромериторативных приемов, направленных на оптимизацию питательного режима. Увеличение содержания общего азота в обрабатываемом слое грунта достигается внесением торфа. При этом наибольшее количество общего азота содержится в варианте с использованием 150 т/га торфа. Внесение доломитовой муки не оказывает влияния на содержание общего азота в грунте.

Среди питательных веществ в минимальном количестве представлены нитратный и аммонийный азот. Особенно мало содержится нитратного азота, что подчеркивает очень жесткие гидротермические режимы в песчаном грунте в условиях Крайнего Севера. Только внесение высокой дозы торфа обеспечивает значительное его увеличение. Этого количества нитратного азота совершенно недостаточно для нормального роста и развития многолетних трав.

Таблица 2. Влияние торфа и доломитовой муки на содержание питательных веществ в песчаном грунте, среднее за 2016–2018 гг.

Варианты опыта*		N, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Доза торфа, т/га (А)	Доза доломитовой муки, т/га (В)					
0	0	0,06	102,9	32,5	1,17	6,25
50	0	0,074	114,5	43,8	1,15	10,83
	2	0,105	101,3	52,5	1,16	9,38
	6	0,071	104,8	55,0	1,50	9,27
100	0	0,551	105,5	57,5	1,23	16,45
	2	0,584	183,0	125,0	1,44	39,58
	6	0,591	170,5	137,5	1,67	64,6
150	0	0,922	102,8	80,0	11,7	58,33
	2	0,711	155,1	125,0	15,0	60,40
	6	0,922	179,0	125,0	17,6	68,80
НСР <sub>05</sub> фактора А		0,012	6,4	8,9	0,11	7,6
НСР <sub>05</sub> фактора В		0,229	28,85	21,6	0,32	11,7

Примечание. \* - на фоне внесения N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>

Основная часть минерального азота в грунте представлена его аммонийной формой. На контрольных делянках она составляет 84,2%. Внесение 50 т/га торфа увеличивает количество аммонийного азота на 4,58 мг/кг (73,3%), 100 т/га – 10,2 мг (163,2%), 150 т/га – 52,08 мг/кг (833,3%). Доломитовая мука дозой 6 т/га при внесении торфа в количестве от 100 до 150 т/га повышает содержание аммонийного азота. Следует отметить, что эффективность доломитовой муки значительно ниже, чем от внесения торфа. Максимальный результат получен при совместном использовании торфа и доломитовой муки.

Получены важные данные в научном и практическом отношении по содержанию доступного фосфора. Внесение всех доз торфа при высокой кислотности грунта не оказало положительного влияния на величину фосфора. Снижение кислотности торфа и грунта за счет внесения 6 т/га доломитовой муки обеспечило увеличение количества доступного фосфора: на фоне 100 т – на 67,6 мг; 150 т/га – на 76,1 мг/кг. Результаты анализов подтверждают, что использованный торф содержит малое количество доступного фосфора. Поэтому внесение

фосфорных удобрений должно быть обязательным приемом при рекультивации песчаных грунтов.

Подвижный калий в песчаном грунте находится еще в меньшем количестве по сравнению с доступным фосфором. На контрольном варианте его количество составляет всего 32,5 мг/кг почвы, что в 3,2 раза меньше, чем фосфора. Внесение торфа увеличивает содержание подвижного калия: на фоне 50 т – на 11,3 мг (34,8%); 100 т – на 25 мг (76,9%); 150 т/га – на 47,5 мг/кг (146,1%). Объясняется это тем, что почти весь калий в торфе находится в подвижной форме из-за отсутствия двух-трехслойных минералов типа монтмориллонита и каолинита. Влияние доломитовой муки на содержание подвижного калия в грунте заметно не проявляется.

#### Выводы

1. Агрохимические свойства песчаных грунтов, подлежащих рекультивации, неудовлетворительны для роста и развития многолетних трав: высокая обменная ( $pH_{\text{сол.}}$  4,15) и гидролитическая кислотность (2,8 мг-экв/100 г почвы), низкое содержание обменных оснований (Ca – 0,97, Mg – 0,56 мг-экв/100г почвы).

2. Для снижения отрицательного воздействия кислотности и улучшения агрохимических свойств грунтов необходимо совместное внесение торфа (100–150 т/га) и доломитовой муки (4 – 6 т/га) на фоне внесения минеральных удобрений в количестве  $N_{90}P_{90}K_{90}$ .

3. Грунты песчаных карьеров имеют низкие запасы валовых и подвижных форм азота (0,06% и 1,17  $NO_3$ , 6,25 мг/кг  $NH_4$ ), фосфора (0,03% и 1,1–5,6 мг/кг почвы) и калия (0,41 и 32,5 мг/кг), без дополнительного внесения которых невозможно выращивать многолетние травы.

#### Литература

1. Арчегова И.Б., Лиханова И.А. Проблема биологической рекультивации и ее решение на Европейском Северо-Востоке на примере Республики Коми // Известия Коми научного центра Уро РАН. 2012. Вып. 1. С. 29 – 34.
2. Иванов А.Е., Дрюченко М.М. Комплексное освоение песков. М.: Сельхозгиз, 1962. 24 с.
3. Тихановский А.Н. Теория и практика применения удобрений на почвах Крайнего Севера. – М: Изд-во «Научный консультант», 2015. 273 с.
4. Игловиков А.В. Приемы оптимизации водно-теплового режима нарушенных грунтов в условиях Крайнего Севера // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2017. Т. 47. №5. С. 23–32.
5. Попов А.И., Капелькина Л.П. Восстановление растительного покрова на нарушенных землях в Ненецком автономном округе // Растительные ресурсы. 2012. Т. 48. Вып. 2. С. 276–287.

### INFLUENCE OF AGROMELIORANTS ON AGROCHEMICAL PROPERTIES AND NUTRITIONAL REGIME OF SANDY SOIL IN THE FOREST-TUNDRA ZONE OF THE EXTREME NORTH

A.S. Motorin, A.A. Denisov

State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, a.s.motorin@mail.ru

*Summary.* The agrochemical properties of sandy soils are unsatisfactory for the development of perennial grasses: high exchangeable ( $pH_{\text{sol.}}$  4.15) and hydrolytic acidity (2.8 mg – eq / 100 g of soil), low content of exchangeable bases (Ca – 0.97, Mg – 0, 56 meq/100 g of soil). It is necessary to jointly apply peat (100–150 t/ha) and dolomite flour (4.6 t/ha) against the background of mineral fertilizers in the amount of  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Sand pit soils have low reserves of gross and mobile forms of nitrogen (0.06% and 1.17  $NO_3$  mg/kg), phosphorus (0.03% and 1.1–5.6 mg/kg) and potassium (0.4 % and 32.5 mg/kg).

*Keywords:* quarry, sandy soil, peat, dolomite flour, agrochemical properties, nutrient regime.



УДК 631.42

## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРАЖНЫХ ОТВАЛОВ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ

А.И. Петров, С.В. Залесов

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,

PetrovAI2009@yandex.ru, zalesovsv@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Проанализирована производительность искусственных сосновых насаждений, созданных на дражных отвалах. Отмечается, что субстрат дражных отвалов в условиях Южно-Уральского лесного района обеспечивает формирование сосновых насаждений II-III класса бонитета.

**Ключевые слова:** дражные отвалы, рекультивация, лесные культуры, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

На Урале накоплен значительный опыт рекультивации нарушенных земель путем создания лесных культур [1–3]. Однако в научной литературе относительно мало работ по рекультивации нарушенных земель при добыче россыпного золота, несмотря на то, что именно на Урале было открыто первое на территории Российской Федерации месторождение золота.

Специфическими особенностями добычи россыпного золота является изменение ландшафтов, коренное уничтожение имеющейся растительности, перемешивание горизонтов почвогрунтов и необходимость проведения рекультивационных работ, направленных на предотвращение эрозии почвы и заиления рек. Для условий Пермского края специфику изменения почв и ландшафтов подробно описали А.К. Касимов и В.А. Галако [4].

Цель исследования – установление возможности и целесообразности создания лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на дражных отвалах в Южно-Уральском лесном районе.

В основу исследований положен метод закладки пробных площадей (ПП). При проведении работ на ПП учитывались апробированные методические рекомендации [5, 6].

Объектом исследований служили лесные культуры сосны обыкновенной, созданные на дражных отвалах посадкой 2-летних сеянцев. Посадка производилась вручную под меч Колесова без подготовки почвы. В процессе исследований были определены основные таксационные показатели древостоев.

Исследования показали, что несмотря на отсутствие почвы, как таковой, субстрат дражных отвалов обеспечивает формирование чистых искусственных сосновых насаждений относительно высокой производительности (табл.).

Таблица. Таксационные показатели древостоев пробных площадей, заложенных на дражных отвалах

№ ПП	Состав древостоя	Возраст, лет	Густота, шт./га		Средние		Полнота		Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
			посадка	на момент перечета	высота, м	диаметр, см	абсолютная, м <sup>2</sup> /га	Относительная		
1	10С	7	5050	4860	2,3	1,8	1,6	0,6	6	III
2	10СедБ	11	5200	5120	3,1	4,1	3,1	0,7	17	III
3	10С	16	3600	3500	4,2	4,4	12,8	0,8	30	III
4	10СедБ	21	4500	4370	7,1	7,8	18,5	0,8	81	II

Материалы таблицы наглядно свидетельствуют, что до 21-летнего возраста искусственные сосновые древостои произрастают достаточно успешно, а их относительная полнота увеличивается от 0,6 до 0,8.

Особо следует отметить, что средний прирост древостоев по запасу увеличивается с 0,9 до 3,9 м<sup>3</sup>/га в год в возрастном интервале от 7 до 21 года.

Все обследованные искусственные насаждения представлены чистыми сосновыми древостоями. Полагаем, что отсутствие примеси мягколиственных пород объясняется низким плодородием субстрата дражных отвалов. При этом класс бонитета сосняков в возрасте до 16 лет характеризуется как III, а в 21-летнем возрасте как II. Другими словами, с увеличением возраста производительность искусственных сосновых насаждений возрастает.

Специфической особенностью выращивания искусственных сосновых насаждений на дражных отвалах является возможность создания лесных культур без подготовки почвы. Кроме того, чистый состав лесных культур и отсутствие конкуренции со стороны живого напочвенного покрова и мелколиственных древесных пород исключает необходимость агротехнических и лесоводственных уходов. Первый лесоводственный уход целесообразен в 15-20 лет с целью снижения густоты древостоев.

### Выводы

1. Субстрат дражных отвалов позволяет широко использовать лесохозяйственное направление рекультивации созданием лесных культур сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.).

2. Искусственные сосновые древостои, созданные на дражных отвалах в Южно-Уральском лесном районе, характеризуются II–III классами бонитета и к возрасту 21 год имеют запас 81 м<sup>3</sup>/га.

3. Создание лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах не только предотвращает дальнейшую деградацию и эрозию почв, а также заиление рек, но и депонирует в своей фитомассе значительную массу углерода из атмосферного воздуха. Последнее позволяет создавать на дражных отвалах карбоновые плантации.

4. Значительная площадь дражных отвалов вызывает необходимость продолжения исследований по изучению потенциального плодородия дражных субстратов и разработке рекомендаций по выращиванию высокопроизводительных, устойчивых искусственных насаждений.

### Литература

1. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетаев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золотвале Рефтинской ГРЭС // ИВУЗ «Лесной журнал», 2013. № 2. С. 66–73.
2. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетаев А.С., Толкач О.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67.
3. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. 282 с.
4. Касимов А.К., Галако В.А. Экологические аспекты лесовосстановления отработанных россыпей Прикамья. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 229 с.
5. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
6. Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 146 с.

### POTENTIAL PRODUCTIVITY OF DREDGE DUMPS FOR ARTIFICIAL AFFORESTATION

A.I. Petrov, S.V. Zalesov

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, PetrovAI2009@yandex.ru,  
zalesovsv@m.usfeu.ru

*Summary.* The productivity of artificial pine plantations created on draining dumps is analyzed. It is noted that the substrate of the dredge dumps in the conditions of the South Ural forest region ensures the formation of pine plantations of the II-III bonitet class.

*Keywords:* draining dumps, recultivation, forest crops, common pine (*Pinus sylvestris* L.).

УДК 631.4:631.417.2

## ГУМУС МОЛОДЫХ ПОЧВ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ЗОЛОТВАЛОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Т.А. Петрова, О.А. Некрасова, А.П. Учаев

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, o\_nekr@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию качественного состава гумуса эмбриоземов под лесными сообществами в условиях южной тайги на золоотвалах Среднего Урала. Было установлено, что формирование системы гумусовых веществ в зольном субстрате на участках с лесным сообществом в условиях южной тайги идет по зональному типу с преобладанием синтеза фульвокислот над гуминовыми кислотами, в составе которых преобладают наиболее подвижные бурые гуминовые кислоты и связанные с ними фульвокислоты.

**Ключевые слова:** зола, эмбриозем, гумус, гуминовые кислоты, фульвокислоты, южная тайга, Средний Урал.

**Актуальность.** На Среднем Урале большое количество электростанций работало на угле. Зола, образующаяся в результате их деятельности, складировалась, образуя техногенные сооружения – золоотвалы, которые оказывает негативное воздействие на природные компоненты и здоровье человека. Заселение золоотвалов живыми организмами запускает процесс почвообразования, которое в первую очередь диагностируется по накоплению гумуса в зольном субстрате. Знание состава гумусовых веществ почв, формирующихся на поверхности золоотвалов, их свойств и специфичности позволяет определять направление процессов гумусообразования и почвообразования в целом [1–3]. Изучение процессов формирования системы гумусовых веществ на зольном субстрате может способствовать уточнению некоторых аспектов начальных этапов гумусообразования, а также решению вопросов, связанных с восстановлением нарушенных земель. В связи с тем, что данные состава гумуса почв, формирующихся на золе как техногенном субстрате, практически отсутствуют, **целью** данной работы было выявление особенностей состава гумуса молодых почв, формирующихся под лесными сообществами в условиях южной тайги на золоотвалах Среднего Урала.

**Объекты и методы исследования.** Исследование проводилось на золоотвалах Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТГРЭС) и Среднеуральской государственной районной электростанции (СУГРЭС), находящихся в предгорьях Среднего Урала, в Свердловской области. Золоотвал ВТГРЭС занимает площадь 125 га, образован золой уноса бурых углей Челябинского и Богословского месторождений. Золоотвал СУГРЭС имеет площадь 192 га, образован золой уноса бурого угля Челябинского и Экибастузского месторождений [1 см статью в Пермь]. Территория расположения обоих золоотвалов находится в бореальной, умеренно-континентальной климатической области, в подзоне южной тайги, среднегодовая температура воздуха составляет 1,9–2,2 °С, сумма положительных температур свыше 10 °С – 1600 °С, годовая сумма осадков в среднем равна 600–660 мм. Изучение физико-химических свойств почв проводилось с использованием общепринятых в почвоведении методов. Состав гумуса изучался по методу И. В. Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой [4].

**Результаты и обсуждение.** К моменту проведения исследования на золоотвалах самопроизвольно сформировались однотипные смешанные лесные сообщества с доминированием березы (*Betula pendula* Roth) и осины (*Populus tremula* L.) близкого возраста – на золоотвале ВТГРЭС возраст древесных растений составляет 50 лет, на СУГРЭС – 55 лет [5, 6], в которых были заложены почвенные разрезы и проводилось их морфологическое описание.

Молодые почвы золоотвала ВТГРЭС имеют следующие морфологические характеристики: А0 (0–2 см) – лесная подстилка, представленная опадом из листьев деревьев и трав; АС (2–7 см) – светло-серый, рыхлый, бесструктурный, с единичными тонкими корнями суглинок; С (7–40 см) – серо-сизая, рыхлая, бесструктурная, с единичными тонкими корнями супесь.

Почвы, сформировавшиеся на золоотвале СУГРЭС, имеют следующее морфологическое строение: А0 (0–0,5 см) – лесная подстилка, представленная опадом из листьев деревьев и трав; АТ (0,5–3 см) – серый, рыхлый, слабоструктурированный, плитчатый, с включениями мелких, средних и единично крупных корней суглинок; АС (3–10 см) – буровато-серый, рыхлый, слабоструктурированный, с включениями мелких корней суглинок; С (10–40 см) – сизовато-серая, более плотная, бесструктурная, с включениями корней разного диаметра супесь.

Морфологический анализ позволил выявить в почвенных разрезах золоотвалов начальные этапы почвообразования, проявляющиеся в формировании горизонта подстилки, иногда грубогумусового горизонта, а также переходного горизонта АС, отличающегося более серой окраской, мощностью 5–7 см. Таким образом, под обоими лесными сообществами золоотвалов сформировались почвы, которые могут быть отнесены к эмбриоземам [7].

Физико-химические показатели эмбриоземов ВТГРЭС (на примере разреза Р56-22) и СУГРЭС (разрез 4-19) приведены в Таблице 1. В связи с тем, что процессы начального почвообразования охватывают главным образом верхнюю 20-см толщу почвообразующих пород [8], все характеристики исследуемых эмбриоземов будут рассматриваться с учетом этой глубины.

Аналитические данные показали, что эмбриозем золоотвала ВТГРЭС имеет слабокислые значения реакции среды, наибольшая аккумуляция общего органического углерода (41%), общего азота (1,5%), обменных катионов кальция и магния (10 и 5 мг-экв/100 г соответственно), легкорастворимых фосфатов (70 мг/100 г) и подвижных форм калия (7 мг/100 г) приурочена к подстилке, глубже по профилю количество всех этих элементов резко снижается (табл. 1).

В отличие от эмбриозема золоотвала ВТГРЭС молодая почва золоотвала СУГРЭС имеет слабокислые значения рН только в подстилке и грубогумусовом горизонте, в то время как нижележащие горизонты имеют кислые значения. В ней также отмечается накопление в верхней толще общего органического углерода (35%), общего азота (1,2 %), обменных катионов кальция и магния (соответственно 50 и 15 мг-экв/100 г), легкорастворимых фосфатов (40 мг/100 г) и подвижных форм калия (3 мг/100 г).

Таблица 1. Физико-химические характеристики эмбриоземов лесных участков золоотвалов

Горизонт, глубина, см	рН <sub>Н2О</sub>	С <sub>орг.</sub>	Ν <sub>общ.</sub>	Са <sup>2+</sup>	Мg <sup>2+</sup>	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	К <sub>2</sub> О
		%		мг-экв/100 г почвы		мг/100 г почвы	
<b>Эмбриозем золоотвала ВТГРЭС</b>							
А0, 0–2	6,16	41,3	1,49	10,0	4,5	69,7	7,4
АС, 2–7	5,40	2,43	0,06	0,6	0,8	10,6	2,1
С, 7–20	6,08	1,80	0,03	0,6	0,9	14,7	1,6
<b>Эмбриозем золоотвала СУГРЭС</b>							
А0, 0–0,5	6,22	34,33	1,18	50,0	15,0	40,1	2,5
АТ, 0,5–3	5,86	19,44	0,71	24,5	14,0	35,1	3,3
АС, 3–10	5,06	3,20	0,07	1,8	1,3	11,6	0
С1, 10–20	5,26	2,70	0,04	0,7	1,0	18,7	0,4

Эмбриозем золоотвала СУГРЭС характеризуются более высоким содержанием общего органического углерода, что, в принципе, может быть связано с присутствием в исходной золе большего количества несгоревших частиц угля, а также повышенным накоплением катионов кальция и магния в верхних горизонтах.

Показатели состава гумуса молодых почв золоотвалов представлены в таблице 2. В эмбриоземе, формирующемся на лесном участке золоотвала ВТГРЭС, доля гуминовых кислот (ГК) составляет лишь 5–13 % в составе гумуса. В горизонтах А0 и АС среди ГК преобладает фракция свободных и связанных с подвижными полуторными оксидами гуминовых кислот, относительно высокое представительство также имеют гуминовые кислоты, связанные с



глинистыми частицами и устойчивыми полуторными оксидами. Гуминовые кислоты, связанные с кальцием, присутствуют в количестве 0,2–3,2 %.

На долю фульвокислот (ФК) в составе гумуса приходится 12–24 %. В подстилке и горизонте АС преобладают фульвокислоты, связанные с фракцией ГК1, в горизонте С – с фракцией ГК2. Гумус горизонта А0 имеет гуматно-фульватный состав (Сгк:Сфк=0,83), в горизонте АС – пограничный между гуматно-фульватным и фульватным (Сгк:Сфк=0,54), в горизонте С он становится фульватным со значением интегрального показателя 0,40.

Таблица 2. Качественный состав гумуса (% к С<sub>общ</sub>) эмбриоземов лесных участков золоотвалов и гумусового горизонта дерново-подзолистых почв Среднего Урала

Горизонт, глубина, см	С <sub>орг.</sub> , %	Гуминовые кислоты			ΣГК	Фульвокислоты				ΣФК	Гумины	Сгк:Сфк
		ГК1	ГК2	ГК3		ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3			
Эмбриозем золоотвала ВТГРЭС												
А <sub>0</sub> 0–2	30,69	5,9	0,2	4,2	10,3	1,6	9,3	0,3	1,2	12,4	77,3	0,83
АС 2–7	2,23	5,9	2,4	4,6	12,9	3,3	10,3	8,1	2,2	23,9	63,2	0,54
С 7–20	1,39	0,7	3,2	1,2	5,1	1,5	3	6,7	1,6	12,8	82,1	0,40
Эмбриозем золоотвала СУГРЭС												
А0 0–0,5	28,55	8,3	0,3	5,2	13,8	1,5	12,3	0,1	2,2	16,1	70,1	0,86
АТ 0,5–3	9,57	8,6	0,6	9,7	18,9	1,9	17,4	0,2	5,8	25,3	55,8	0,75
АС 3–10	3,36	3,0	0,1	0,8	3,9	2,3	8,5	0,4	1,5	12,7	83,4	0,31
С1 10–20	2,14	0,6	0,2	0,2	1,0	0,6	4,3	0,2	1,3	6,4	92,6	0,16
Горизонт А дерново-подзолистых почв Среднего Урала (n=24) [9]												
$\bar{x}$	4,08	16,9	2,2	4,5	24,5	3,6	15,7	9,2	4,0	33,2	42,9	0,74
s	1,46	6,2	2,1	3,3	6,2	1,5	4,7	6,6	3,1	9,6	16,2	0,13

Примечание.  $\bar{x}$  – среднее значение, s – стандартное отклонение.

В эмбриоземе лесного участка золоотвала СУГРЭС, в целом содержащего более высокие количества С<sub>орг.</sub>, (см, таблицу 2) доля гуминовых кислот варьирует в более широких пределах, чем на золоотвале ВТГРЭС, составляя 1–19 % в составе гумуса. Практически во всех горизонтах профиля среди ГК преобладают бурые гуминовые кислоты, в трех верхних горизонтах (также как в эмбриоземе золоотвала ВТГРЭС) следующими по количеству представлены ГК3. Черные гуминовые кислоты присутствуют в минимальных количествах, не превышающих 0,6 %.

Содержание фульвокислот в составе гумуса так же, как и ГК, имеет более широкие по сравнению с почвой первого объекта пределы варьирования – от 6 до 25 %. Во всем профиле преобладают фульвокислоты, связанные с фракцией наиболее подвижных ГК1. Значения интегрального показателя соотношения углерода гуминовых кислот и фульвокислот убывают с глубиной и соответствуют в подстилке и грубогумусовом горизонте гуматно-фульватному типу (Сгк:Сфк=0,75–0,86), а начиная с горизонта АС – фульватному типу (Сгк:Сфк=0,16–0,31).

Система гумусовых веществ, сформировавшаяся в молодых почвах на самозарастающих участках золоотвалов под смешанными лесами возрастом 50–55 лет, по сравнению с преобладающими на прилегающих к золоотвалам территориях дерново-подзолистыми

почвами, состав гумуса которых был обобщен для Среднего Урала [9] (см. таблицу 2) характеризуется значительно более низким содержанием экстрагируемых гумусовых кислот (ГК и ФК) и, соответственно, большей долей гуминов. В то же время в верхних горизонтах эмбриоземов пропорции отдельных фракций гуминовых кислот и фульвокислот близки к таковым в фоновых почвах – преобладают свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами ГК1 и ассоциированные с ними ФК1. Кроме того, состав гумуса двух верхних горизонтов эмбриоземов также как его состав в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы соответствует гуматно-фульватному типу.

Таким образом, полученные материалы позволяют сделать вывод о том, что формирование системы гумусовых веществ в кислом зольном субстрате, значительно отличающемся содержанием органического углерода, на участках с лесными сообществами в условиях южной тайги идет по зональному типу с преобладанием синтеза фульвокислот над гуминовыми кислотами, в составе которых преобладают наиболее подвижные ГК1 и связанные с ними ФК1.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2023–0023).

#### Литература

1. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды / М. И. Дергачева. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2018. 292 с. DOI: 10.15372/SYSTEM2018DMI. EDN YVBVKP.
2. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин, М.: Издательство ЛКИ, 2008, С. 530–560.
3. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984, 155 с.
4. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л., 1975. 105 с.
5. Nekrasova O., Radchenko T., Filimonova E., Lukina N., Glazyrina M., Dergacheva M., Uchaev A., Betekhtina A. Natural forest colonization and soil formation on ash dump in southern taiga // Folia Forestalia Polonica, Series A-Forestry, 2020, Vol. 62 (4), 306–316. DOI: 10.2478/ffp-2020-0029
6. Nekrasova O., Radchenko T., Filimonova E., Uchaev A., Dergacheva M., Petrova T., Betekhtina A. Features of forest communities and soils formed on an ash dump of the Middle Urals / FORESTRY IDEAS, 2022, vol. 28, No 1 (63): 88–99.
7. Гаджиев И. М., Курачев В. М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификация почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1992. С. 6–15.
8. Махонина Г.И. Экологические аспекты формирования почв в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
9. Некрасова О. А., Дергачева М. И., Учаев А. П. К рецентной основе палеоэкологических реконструкций по гумусу палеопочв Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 12 (212). С. 12–15.

#### HUMUS OF FOREST COMMUNITIES IN YOUNG SOILS OF THE MIDDLE URAL ASH DUMPS

T.A. Petrova, O.A. Nekrasova, A. P. Uchaev

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg,  
o\_nekr@mail.ru

*Summary.* The work is devoted to the study of the humus qualitative composition of Technosols under forest communities in the southern taiga on the ash dumps of the Middle Urals. It was found that the formation of humus substance system in the ash substrate on the sites with forest communities in southern taiga conditions follows a zonal type with the predominance of fulvic acid synthesis over humic acids, among which the most mobile brown humic acids and related with them fulvic acids prevail.

*Keywords:* fly ash, Technosols, humus, humic acids, fulvic acids, southern taiga, Middle Urals.

УДК 631.42

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЗЕМАХ КУЗНЕЦКОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ

О.И. Подурец

Кузбасский гуманитарно-педагогический институт ФГБОУ ВО КемГУ, Новокузнецк,  
glebova-podurets@mail.ru

***Аннотация.** На урбанизированных территориях происходят коренные изменения естественных экосистем, связанные с полной трансформацией фитоценозов и почвенного покрова. Под влиянием условий физико-географической среды на преобразованных ландшафтах постепенно развиваются почвообразовательные процессы, которые имеют отражение в почвенных профилях, характеризующихся специфическими морфологическими и физико-химическими свойствами.*

***Ключевые слова:** техноземы, почвообразование, черноземы, свойства.*

Современное динамично развивающееся антропогенное землепользование приводит к постепенной трансформации естественных ландшафтов. Функциональное использование территории непосредственно определяет интенсивность и характер воздействия на почвенный покров [1]. В рамках решения проблемы рационального природопользования урбанизированных территорий вопрос комплексной оценки состояния сохранившихся природных и формирующихся антропогенных экосистем, имеющих свою специфику и биологический потенциал, имеет возрастающую актуальность.

Город Новокузнецк представляет крупную городскую агломерацию с более полумиллионным населением и с более 1200 промышленными предприятиями. Город расположен в южной части Кузнецкой котловины, характеризуется окружением невысоких гряд: с запада возвышаются Старцевы горы; с севера на правом берегу реки Томи круто открываются Становые горы; в междуречье рек Кондомы и Томи, с востока подступают Караульные сопки. Наиболее высокая часть города находится на Соколиных горах (445м), расположенных в южной части города. Вознесенская гора (352м), расположенная на правом берегу реки Томь, является одной из возвышенностей Станового хребта, на ней расположены историко-архитектурный комплекс Кузнецкая крепость и Кузнецкая экологическая тропа. В процессе строительства центральной части города Новокузнецка в 1950-1955гг. почти вся масса лессовидных суглинков имеющих мощность 8–10 м в южной части горы была снята. Плодородные слои почвы были использованы для озеленения города, а лессовидные суглинки для строительных целей и засыпки левобережной низкой поймы, на которой создавался Центральный район [2-3].

Наиболее важным компонентом, формирующейся в условиях урбанизации геосистемы, является почва, которая в отличие от воздушной и водной сред, испытывает наиболее сильное влияние урбанистического пресса. Городской способ землепользования оказывает влияние на все факторы почвообразования, представляющих комплекс различных физических, химических и биологических процессов, которые взаимодействуют между собой и влияют на формирование почвы. На урбанизированных территориях происходят коренные изменения естественных экосистем. Это сопровождается постепенной заменой природных биоценозов с зональными черноземными почвами на структуры со специфическими почвенными образованиями. Объектом данного исследования являются техноземы, особенностью которых является их малопрофильность, поэтому особое внимание при изучении данных почв уделялось морфологическому изучению почвенного профиля методами почвенно-морфологического профилирования, для оценки физико-химических параметров использовались инструментальные методы [4].

На территории Кузнецкой экологической тропы выделены следующие категории почвенных образований:

1) зональные почвы естественных ландшафтов, приуроченные к сохранившимся участкам естественного ландшафта с возможными урбаногенными признаками, но незначительно изменившимися ход биологических и физико-химических процессов;

2) урбаноземы с ненарушенным почвенным профилем, сформированные под влиянием естественных факторов почвообразования, но характеризующихся особыми физико-

механическими свойствами в результате поглощения поллютантов и других элементов геосистемы;

3) насыпные почво-грунты, имеющие поверхностный плодородный слой, искусственно созданный в результате переотложения;

4) антропогенно-измененные почво-грунты или «почвоподобные тела», слабообразованные почвы техногенно-преобразованных ландшафтов [3], имеющие созданный поверхностный плодородный слой, полученный перемешиванием, насыпанием, погребением или накоплением материала.

На «скальпированной» территории под влиянием действия естественных факторов среды и развития почвообразовательных процессов сформировались новые специфические почвенные образования, возрастом 65–70 лет, следующих типов:

1) техноземы с простым неполнообразованным профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с разряженным травянистым покровом;

2) техноземы с простым примитивным профилем, развивающиеся под пологом бурьянистых злаково-разнотравных группировок;

3) техноземы со сложным неполнообразованным профилем, характеризующиеся наличием погребенных гумусово-аккумулятивных горизонтов, приуроченные к периферийной части карьерной выемки.

Почвообразование – это совокупность взаимно связанных явлений превращения и перемещения вещества и энергии между почвой и смежными природными телами (грунт, атмосфера, живые организмы). Характерной особенностью почвообразования является переход одной формы вещества в другую; процесс синтеза и разрушения органического вещества, процесс преобразования минеральных соединений в органические и обратно. Новые почвенные образования развиваются под воздействием тех же факторов физико-географической среды, что и естественные почвы, но достаточно долгое время сохраняют специфичность морфологических и физико-химических параметров.

Материнскими породами естественных и техногенно преобразованных почв являются лессовые отложения. Вся территория характеризуется весьма значительным разнообразием почвообразующих пород, представленных карбонатными, светло-бурыми и буровато-желтыми лессовидными иловато-пылеватыми тяжелыми суглинками или пылевато-иловатыми легкими глинами, и имеют мощность 5–10 м. При рассмотрении данных механического состава покровных лессовидных отложений отмечается его однородность и постоянство. Количество отдельных фракций почти одинаково во всех разрезах [3]. По содержанию фракции физической глины покровные породы Кузнецкой котловины следует классифицировать, как пылеватые тяжелые суглинки или даже легкие глины, которые характеризуются высокой пористостью, тенденцией распадаться на крупные вертикальные отдельности [5].

Профиль техноземов имеет четко выраженную органогенную и литогенную части. В органогенной части выделен гумусово-аккумулятивный горизонт, густо переплетенный корнями растений, мощностью 6–8 см, мелко-зернистой, а при высыхании пылеватой структуры. Переходный горизонт слабо выражен и резко переходит к материнским горным породам.

На периферийной части карьерной выемки формируются техноземы со сложным профилем и наличием погребенных горизонтов. За счет значительного поверхностного стока с борта котлована постоянно привносится почвенный и органический материал, обогащенный различными растительными компонентами, и за счет этого происходит перекрытие поверхностной части почвенного профиля техноземов.

Черноземные почвы естественных ландшафтов, в отличие от техноземов, характеризуются полнопрофильностью, за исключением черноземов, расположенных на границе с карьерной выемкой, и подверженных эрозионно-дефляционным процессам разрушения поверхностного гумусного горизонта. Черноземы, не подверженные каким-либо трансформационным процессам, характеризуется мощностью гумусного горизонта (А) более 40 см, а с учетом переходного горизонта (АВ) более 60 см, обогащенного гумусом, корнями растений и ходами животных. Иллювиальный горизонт уплотненный, заметно метаморфизованный, трещеноватый, слабо макроагрегированный и хорошо пористый. По стенкам трещин



выражены органо-минеральные пленки и потеки (кутаны), отсутствующие в технозомах. Иллювиально-карбонатный горизонт (Вк–ВСк) уплотнен и характеризуется наличием новообразований карбонатов преимущественно в виде псевдомицелия, а в горизонте С почвообразующей породе – в форме мелких рассеянных пятен [2].

Для черноземов выщелоченных характерно изменение почвенной среды от нейтральной до слабощелочной. Для гумусово-аккумулятивного горизонта pH 6,5–7,0, что связано со значительным накоплением органического материала, поступающего с травянистым и животным опадом, постепенно преобразуемым огромным количеством почвенных микроорганизмов. Постепенно, с глубиной почвенного профиля (ВСк) на глубине 115 см среда изменяется в щелочную сторону, что связано, уже с влиянием материнской почвообразующей породой, представленной подстилающими карбонатными лессовидными суглинками. Технозома характеризуется резкой динамикой изменения кислотности среды. В гумусово-аккумулятивном горизонте среда нейтральная, на глубине 6–8 см резко сдвигается в щелочную сторону (pH 8,5–8,8).

Для черноземов характерно глубокое проникновение гумуса по профилю. В горизонтах А (0–52 см) и АВ (52–72 см) содержание гумуса составляет от 13,8% до 11,5%, с постепенным снижением его количества в иллювиальном горизонте В (72–115 см) до 3% и переходном к материнским горным породам ВС (115–150 см) до 0,3%. Для техноземов отмечено варьирование содержания гумуса от 3,0 до 7,0% в органогенной части профиля (6–8 см), с резким снижением (менее 1%) в переходном горизонте к литогенной части, что также объясняет ограниченным во времени и в пространстве проникновением процессов гумусообразования.

Технозома, как генетически самостоятельные почвы, имеют некоторые черты сходства с зональными типами, но сохраняют свою специфику и характеризуются малопрофильностью. Развитие почвообразовательных процессов способствуют постепенному преобразованию изначального грунта и формированию почв. Это обусловлено, прежде всего, биологическими процессами, поступлением на дневную поверхность органических остатков растительного и животного происхождения и их синтезом под влиянием биологических, химических и физических процессов.

### Литература

1. Подурец О.И. Техногенез и почвообразование в южной лесостепи Кемеровской области // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2018. № 1. С. 68–73.
2. Подурец О.И. Структурное и агрегатное состояние черноземов района Кузнецкой Крепостной горы города Новокузнецка // Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов; сб. научн. статей III (XX) Всероссийской научной конференции с международным участием, под общей редакцией О.С. Андреевой. Новокузнецк, 2022. С. 99–103.
3. Подурец О.И. Экологические особенности техноземов Кузнецкой крепостной горы // Почвы в Биосфере. Новосибирск, 2018. С. 338–341.
4. Федорев Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
5. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. 477 с.

## INVESTIGATION OF THE INITIAL PROCESSES OF SOIL FORMATION IN TECHNOZEMS OF THE KUZNETSK ECOLOGICAL TRAIL

O.I. Podurets

Kuzbass Humanitarian and Pedagogical Institute of KemSU, Novokuznetsk,  
glebova-podurets@mail.ru

*Summary. In urbanized territories, radical changes in natural ecosystems occur, associated with the complete transformation of phytocenoses and soil cover. Under the influence of the conditions of the physical and geographical environment on the transformed landscapes, soil-forming processes*

*are gradually developing, which are reflected in soil profiles characterized by specific morphological and physico-chemical properties.*

*Keywords: technozems, soil formation, chernozems, properties.*

УДК 631.427.22

## **ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ МИКРОБОЦЕНОЗОВ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

**Ю.М. Поляк<sup>1</sup>, Л.Г. Бакина<sup>1</sup>**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности  
Российской академии наук – Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук, Санкт-Петербург, [yuliapolyak@mail.ru](mailto:yuliapolyak@mail.ru)

**Аннотация.** *В условиях многолетних полевых экспериментов исследованы закономерности изменения микробоценозов нефтезагрязненных почв, характерных для Северо-Западного региона РФ. Различия в динамике самовосстановления почв и микробной сукцессии, выявленные для почв разных типов, указывают на существование сложных взаимодействий между почвенными микроорганизмами и условиями окружающей среды. Показано, что продолжительность нарушающего действия нефтяного загрязнения на функционирование комплекса почвенных микроорганизмов зависит от степени деградации нефтяных углеводородов и свойств загрязненной почвы, в т.ч. ее обогащенности органическим веществом и питательными элементами. Экологическая уязвимость почвы к стрессовому воздействию оказывает заметное влияние на способность микробных сообществ к биодegradации нефтяных углеводородов и процессы восстановления загрязненных экосистем.*

**Ключевые слова:** *почвы подзолистого типа, бактерии, микромицеты, нефтеокисляющие микроорганизмы, видовое разнообразие.*

Проблема загрязнения почвенных экосистем нефтью и нефтепродуктами неразрывно связана с деятельностью микроорганизмов. Нефтяные углеводороды (УВ) активно воздействуют на микробное сообщество почвы, способствуя активному развитию микроорганизмов – деструкторов УВ и элиминации наиболее чувствительных компонентов микробного сообщества [1]. Продолжительное загрязнение оказывает влияние на видовое разнообразие почвенного микробного сообщества и приводит к упрощению его структуры, нарушению естественного равновесия между отдельными группами микробиоты [2]. В результате, в почве изменяется интенсивность отдельных стадий процессов круговорота биогенных элементов, что способствует деградации почв, минерализации гумуса, нарушению экологических функций почвы [3, 4].

В процессе ремедиации нефтезагрязненных почв, происходит постепенное восстановление исходного состояния почвенного микробного сообщества, при этом токсическое действие остаточных углеводородов и образующихся продуктов трансформации зависит от времени загрязнения почвы и выбранного способа рекультивации [5]. Изучение динамики микробных сообществ нефтезагрязненных почв при проведении рекультивационных работ или самовосстановлении почвы заслуживает особенного внимания, что связано с актуальностью и жизненной важностью проблемы нефтяного загрязнения. Основная цель настоящих исследований заключалась в изучении особенностей восстановления и оценке биоразнообразия микробиоты нефтезагрязненных почв Северо-западного региона в условиях полевого эксперимента.

Процессы биодеструкции нефти изучали в многолетних экспериментах, заложенных на двух контрастных, широко распространенных на территории Северо-Западного региона почвах подзолистого типа – подзоле иллювиально-железистом песчаном и дерново-подзолистой суглинистой почве [6]. Песчаный подзол был выбран в качестве неустойчивой, уязвимой в экологическом отношении почвы с неблагоприятными агрохимическими показателями: повышенной кислотностью, незначительным содержанием органических веществ и питательных элементов. Дерново-подзолистая суглинистая почва отличалась

благоприятными с агрохимической точки зрения свойствами – оптимальным гранулометрическим составом, почти нейтральной реакцией среды, высоким содержанием обменных оснований и высокой степенью насыщенности почвенно-поглощающего комплекса, высоким содержанием гумуса (3,5%). После загрязнения нефтью почва не утратила своих характеристик, которые по агрохимическим параметрам были оптимальными как для подавляющего большинства растений, так и для функционирования почвенного микробиоценоза.

С использованием полифазного подхода, основанного на сочетании методов культивирования микроорганизмов с молекулярно-генетическими методами, был проведен анализ таксономической структуры микробиомов нефтезагрязненных почв. Таксономический анализ грибного сообщества определяли на основании анализа ампликонных библиотек фрагментов рибосомальных оперонов грибов (ITS2), полученных методом ПЦР с использованием ITS3/ITS4 праймеров (GCATCGATGAAGAACGCAGC / TCCTCCGCTTATTGATATGC). Таксономический анализ бактериального сообщества проводили с универсальными праймерами F515/R806 на переменный участок гена 16S рНК v4 (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA /GGACTACVSGGGTATCTAAT), специфичными для широкого круга микроорганизмов, включая бактерии и археи [7]. Для выделения из почвы сообщества углеводородокисляющих микроорганизмов применяли метод посева на селективные агаризованные питательные среды. Бактерии выделяли на среде Ворошиловой-Диановой, углеводородокисляющие грибы – на среде Чапека с 1% нефти.

Анализ таксономической структуры микробиомов исследуемых почв выявил четкие различия в составе сообществ песчаного подзола и дерново-подзолистой суглинистой почвы. В песчаном подзоле преобладали альфа- и гамма-протеобактерии и бациллы. Известно, что доминирование протеобактерий типично для нарушенных почвенных местообитаний [8], и особенно характерно для нефтезагрязненных почв [9]. В дерново-подзолистой почве помимо *Gamma*proteobacteria и *Alphaproteobacteria*, были широко представлены бактерии, относящиеся к классам *Bacteroidia* и *Actinobacteria*. Для песчаного подзола, в отличие от дерново-подзолистой почвы, выявлено низкое обилие актиномицетов, которые играют важную роль в круговороте органических веществ и пополнении запаса питательных веществ в почве. Данная почва обеднена органическим веществом и питательными элементами. Низкое трофическое богатство предопределяет уязвимость комплекса почвенных микроорганизмов подзола к любым неблагоприятным, стрессовым условиям, в том числе и к нефтяному загрязнению.

В сообществе нефтеокисляющих микромицетов дерново-подзолистой почвы доминировали представители семейств *Coniochaetaceae* и *Aspergillaceae*, лидирующее положение занимали микромицеты из семейства *Rhizopodaceae*. В песчаном подзоле представители этого семейства отсутствовали, но выявлены микромицеты р. *Mucor* семейства *Mucoraceae* и *Rhodotorula* семейства *Sporidiobolaceae*, не характерные для дерново-подзолистой почвы. Известно, что микромицеты родов *Rhizopus*, *Mucor* и *Rhodotorula* относятся к числу микроорганизмов, осуществляющих биodeградацию углеводов, в том числе полиароматических [10, 11].

Дерново-подзолистая почва и песчаный подзол различались по скорости разложения нефти. Через два года после загрязнения степень биodeградации нефтепродуктов в дерново-подзолистой почве достигла 55%, в то время как в песчаном подзоле содержание нефтепродуктов практически не изменилось. Через девять лет, степень биodeградации НП в дерново-подзолистой почве составила 91%, что указывает на достаточно высокую степень самоочищения почвы. В песчаном подзоле за тот же период разложилось лишь 42% нефтепродуктов.

Оценка биоразнообразия микробиоценозов на разных этапах микробной сукцессии показала, что на более ранних стадиях самовосстановления песчаного подзола в микробном сообществе доминировали  $\alpha$ -протеобактерии (род *Sphingomonas*). На более поздних стадиях доминирующими группами стали бациллы (представители семейств *Bacillaceae*, *Planococcaceae* и рода *Paenibacillus*) и  $\alpha$ -протеобактерии, представленные семейством *Acetobacteraceae*. В сообществе микромицетов песчаного подзола, аскомицеты р. *Coniochaeta* доминировали на протяжении всего периода исследования. На ранних стадиях

самовосстановления почвы доминирующими группами были также аскомицеты рода *Exophiala*, базидиомицеты рр. *Solicoccozyma* и *Rhodotorula*, мукоромицеты рода *Mucor*. На более поздних стадиях, доля этих групп в сообществе значительно снизилась и доминирование представителей рода *Coniochaeta* стало абсолютным.

Проблема сохранения биологического разнообразия в настоящее время стоит очень остро, и видовое разнообразие - - один из самых показательных и важных элементов оценки биоразнообразия. Как характеристика структурной сложности биоценоза, видовое разнообразие связано с его устойчивостью и может отражать степень его стабильности или нарушенности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что флотипы бактерий и микромицетов связаны как с различными фазами деградации нефтяных углеводородов, так и со свойствами загрязненной почвы, ее обогащенностью органическим веществом и питательными элементами. Выявленные различия в динамике самовосстановления почв и микробной сукцессии, указывают на существование сложных взаимодействий между почвенными микроорганизмами и условиями окружающей их среды, которые оказывают влияние на способность микробных сообществ к биодеградации нефтяных углеводородов и процессы восстановления загрязненных экосистем.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-24-00580.

#### Литература

1. Исмаилов Н.М. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. 254 с.
2. Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) Почвоведение. 2022. № 2, С. 228–243.
3. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв. Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1087.
4. Gomiero T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. Sustainability. 2016. V. 8(3). P. 281.
5. Polyak Y., Bakina L., Chugunova M., Mayachkina N., Gerasimov A., Bure V. Bioaugmentation and biostimulation: Comparison of long-term effects on ecotoxicity and biological activity of oil-contaminated soil / In: Saljnikov E., Mueller L., Lavrishchev A., Eulenstein F. (eds) Advances in Understanding Soil Degradation. Innovations in Landscape Research. Springer, Cham. 2022. pp. 361–377.
6. Polyak Y., Bakina L., Mayachkina N., Polyak M. The possible role of toxigenic fungi in ecotoxicity of two contrasting oil-contaminated soils – A field study. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020. V. 202. P. 110959.
7. Bates S.T., Berg-Lyons D., Caporaso J.G., Walters W.A., Knight R., Fierer N. 2010. Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil. ISME J. V. 5. P. 908-917.
8. Spain A., Krumholz L., Elshahed M. Abundance, composition, diversity and novelty of soil *Proteobacteria*. ISME J. 2009. V. 3. P. 992–1000.
9. Mao J., Luo Y., Teng Y., Li Z. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soil by a bacterial consortium and associated microbial community changes. International Biodeterioration & Biodegradation. 2012. V. 70. P.141–147.
10. Ide-Pérez M.R., Fernández-López M.G., Sánchez-Reyes A., Leija A., Batista-García R.A., Folch-Mallol J.L., Sánchez-Carbente M.D.R. Aromatic hydrocarbon removal by novel extremotolerant *Exophiala* and *Rhodotorula* spp. from an oil polluted site in Mexico. J. Fungi (Basel). 2020. V. 6(3). P. 135.
11. Бикташева Л.Р., Селивановская С.Ю., Галицкая П.Ю. Изменение структуры грибного сообщества почв при высоком содержании нефти в условиях модельного эксперимента. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2020. № 162(4). С. 573–591.



## ASSESSMENT OF BIODIVERSITY OF MICROBOCENOSSES OF OIL-CONTAMINATED SOILS AT DIFFERENT STAGES OF THEIR RESTORATION

Yu.M. Polyak<sup>1</sup>, L.G. Bakina<sup>1</sup>

Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences,  
Saint-Petersburg, yuliapolyak@mail.ru

*Summary. The changes in microbocenoses of oil-contaminated soils of the North-Western Russia have been studied in long-term field experiment. Differences in the dynamics of soil rehabilitation and microbial succession identified for different types of soils indicate the existence of complex interactions between soil microorganisms and environmental conditions. The duration of the disruptive effect of oil pollution on the functioning of soil microbiota depends on the degree of degradation of petroleum hydrocarbons and the properties of contaminated soil including its enrichment with organic matter and nutrients. The ecological vulnerability of soil ecosystem has a noticeable effect on the ability of microbial communities to degrade petroleum hydrocarbons and the processes of rehabilitation of polluted soils.*

*Keywords: podzolic soils, bacteria, micromycetes, oil-oxidizing microorganisms, species diversity.*

УДК 631.42

## ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА ОТВАЛАХ В РАЙОНАХ КАРЬЕРНОЙ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Т.В. Пономарёва, Е.И. Пономарёв

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, bashkova\_t@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru

*Аннотация. В работе представлены некоторые результаты исследования почвообразования на отвалах вскрышных пород, образующихся при открытой добыче золота в среднетаежной зоне Сибири. За 18-летний период наблюдается формирование инициальных почв, в результате самозарастания отвалов коренными видами растительности. Отмечается изменение их физико-химических и тепловых свойств. Почвы на отвалах могут служить моделями почвообразования в техногенных экосистемах.*

*Ключевые слова: отвалы вскрышных пород, самозарастание, почвенный профиль.*

Изучение почвообразования на отвалах, образующихся при карьерной добыче полезных ископаемых, обусловлено необходимостью разработки подходов восстановления функционирования нарушенных ландшафтов. Исследование первичных процессов почвообразования на отвалах известного возраста, позволяет определить скорость и направление почвообразования, закономерности формирования почвенного профиля в период его развития, особенности образующихся почв, а также выявить возможные пути ускорения процесса почвообразования. Эти вопросы относятся к общей проблеме современной эволюции почвенного покрова в условиях интенсивного промышленного освоения.

Исследование почвообразования на отвалах вскрышных пород проводилось в среднетаежной зоне Красноярского края в районе интенсивной разработки месторождений золота карьерным способом. Фоновые почвы в коренных темнохвойных насаждениях относятся к текстурно-дифференцированным, к подтипу подзолистых грубогумусовых, характеризуются малой мощностью профиля и хорошо развитым органогенным горизонтом (Oao-EL-BEL-BT-C). Материалы отвалов на обследованной территории состоят из хаотичной смеси вскрышных и вмещающих пород (суглинки, песчаники, сланцы). Субстрат не фитотоксичен, тем не менее, на начальных этапах освоения является малопригодным по физико-механическим свойствам. Отвал сложен крупно щебнистым материалом, характеризуется плоско-выравненной поверхностью, трехярусный, высотой 20–23 м. Верхний слой техногенных пород изначально практически не содержит гумусовых веществ, поэтому инициальная стадия почвообразования характеризуется очень слабой морфологической дифференциацией верхнего слоя. На этот момент невозможно выделить генетические горизонты в толще техногенного субстрата. Со временем при развитии растительного покрова формируется горизонт, содержащий органическое вещество, который указывает на изменение

структурной организации и усиление процесса дифференциации профиля. Формирование на поверхности органогенного либо органо-аккумулятивного горизонта почв на отвалах диагностирует начальные стадии почвообразования. Исследователи первичного почвообразования в техногенных экосистемах отмечают, что процессы почвообразования в техногенных ландшафтах естественным образом могут развиваться только сингенетично стадиям растительных сукцессий [1, 3]. На формирование фитоценоза существенное влияние оказывает микрорельеф отвала. Так, отмечено, что на автомобильных отвалах, где вскрышные породы размещали отдельными кучами диаметром 2–4 м и высотой до 1–2 м, наблюдается очень хорошее возобновление древесных пород всех видов, присутствующих на фоновых ненарушенных участках, что объясняется более благоприятными условиями увлажнения и возможностью закрепления растений, в отличие от выровненных при организации отвалов участков.

В ходе обследования территории 18-летних отвалов установлено, что формирующийся почвенный покров представлен, в основном техногенными поверхностными образованиями (литостратами), по классификации представленной Курачевым В.М., Андрохановым В.А. [2] эмбриоземами инициальными и, в незначительной мере, эмбриоземами органо-аккумулятивными. На поверхности сформирован практически сплошной, но очень маломощный (от 0,5 до 1 см) слой мхов и лишайников. Растительный покров на большей части отвалов представлен пионерным фитоценозом с единично произрастающими древесными и травянистыми растениями. Травянистый покров разрежен и представлен злаковыми и разнотравными видами, соответствующими коренным примыкающим фоновым лесным экосистемам.

В ходе выполнения исследований был проведен анализ морфологических, химических и физических параметров почв и субстратов техногенных ландшафтов.

На фоновых участках значения рН почв верхних 0–20 см характеризуются сильнокислыми значениями. На отвале 18 лет произошли заметные изменения физико-химических свойств почв, в связи с интенсивным развитием процессов почвообразования, накоплением органического вещества до 0,61–1,97 %. Наблюдается перераспределение мелкоземистых частиц с верхней террасы отвала на нижнюю. На отвале значения рН в верхней 0-5 см толще варьируется от сильнокислых до кислых значений (таблица).

Таблица. Характеристика почв фоновых участков и на отвалах.

Название пробной площади	Гумус, % (по Тюрину)	рН водный	Физический песок (> 0,01 мм)	Физическая глина (< 0,01 мм)	Гранулометрический состав
<i>Фоновые участки</i>					
0-5см	27,227	4,4	-	-	-
5-10см	8,743	4,5	90	10	песок связный
10-20см	2,387	4,7	79	21	легкосуглинистый
<i>Отвалы (0-5 см)</i>					
Верхняя терраса отвала каменистый участок	1,03	5,01	92	8	песок связный
Верхняя терраса отвала песчаный участок	1,19	3,94	93	7	песок связный
Склон между террасами отвала	0,61	3,09	93	7	песок связный
Нижняя терраса	1,27	5,5	84	16	супесчаный
Подножие отвала	1,97	5,89	85	15	супесчаный

На всех участках отвала отмечается снижение каменистости, что свидетельствует об увеличении интенсивности процессов дезинтеграции пород при более активном развитии

растительности на поверхности отвала, что и отразилось на свойствах формирующихся молодых почв.

Формирование растительного покрова и изменения гумусовых свойств почв приводит к существенному изменению их теплового состояния. Так определено, что амплитуда суточных температур на поверхности отвала в первой декаде августа в период с 2015 по 2022 гг. уменьшилась на 40% (с 20 до 12°C), а на глубине 5 см – на 20% (с 11 до 9°C), а отношение амплитуды суточной температуры на отвале к амплитуде суточной температуры в фоновом темнохвойном лесу сократилось в 1,5 раза. Таким образом, зарастание отвала и образование на поверхности, хотя и маломощного, но сплошного органо-аккумулятивного горизонта способствует восстановлению теплоизолирующего слоя и функционирования экосистемы.

Проведенные исследования показали, что почвенно-экологическое состояние техногенных объектов связано, в первую очередь, со свойствами почвообразующих пород, а также с рельефом и биогенным фактором, которые оказывают существенное влияние на скорость восстановления почвенного покрова на техногенных объектах при их самозарастании.

На отвалах золотодобывающих предприятий формируются специфические техногенные поверхностные образования. По своим физико-химическим свойствам они близки минеральным горизонтам фоновых почв. В пределах одного отвала морфологические, физико-химические свойства могут существенно различаться. Зарастание отвала происходит коренными видами растительности, это обусловлено отсутствием культурных ландшафтов в пределах территории «Олимпиадинского» ГОКа. Отмечается слабая аккумуляция органического вещества на выровненных участках отвалов. Все профили исследуемых техногенных поверхностных образований на отвале 18 летнего возраста находятся на начальном этапе почвообразования, в связи с чем, такие объекты могут служить моделями почвообразования в техногенных экосистемах.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки.

### Литература

1. Андроханов В. А., Курачев В. М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
2. Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. №3. С. 255–261.
3. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2003. 356 с.

### SOIL FORMATION ON DUMPS IN AREAS OF QUARRY GOLD MINING IN THE MIDDLE TAIGA ZONE OF THE KRASNOYARSK REGION

T.V. Ponomareva, E.I. Ponomarev

V.N. Sukachev Institute of Forest, Federal Research Center, Russian Academy of Science, Siberian Branch, 660036 Krasnoyarsk, bashkova\_t@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru

*Summary.* The paper presents some results of the study of soil formation on overburden dumps formed during open-cast gold mining in the middle taiga zone of Siberia. Over the 18-year period, the formation of initial soils is observed, as a result of self-overgrowing of dumps by indigenous species of vegetation. A change in their physicochemical and thermal properties is noted. Soils on dumps can serve as models of soil formation in technogenic ecosystems.

*Keywords:* dumps, self-overgrowing, soil profile.

УДК:632.118.3:633

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ПЕРИОДОВ НА ДОСТУПНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ $^{137}\text{Cs}$ И $^{90}\text{Sr}$ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КУЛЬТУРАМ

Ю.В. Путятин, И.М. Богдевич, И.С. Станилевич

Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь, put@tut.by

**Аннотация.** В более теплые и сухие вегетационные периоды отмечается существенное увеличение переходов  $^{90}\text{Sr}$  в растения из дерново-подзолистых почв. Высокие переходы радиостронция в растения определяются наличием легкодоступных форм  $^{90}\text{Sr}$  59,5–75,5% от валового содержания в почве. Основная доля  $^{137}\text{Cs}$  находится в прочно связанной форме, что определяет низкие переходы  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию растениеводства. Доля легкодоступных форм радиоцезия для растений составляет в дерново-подзолистых почвах от 3,9 до 10,9%.

**Ключевые слова:** цезий-137, стронций-90, коэффициенты перехода радионуклидов, климат.

Подвижность радионуклидов в биоценозах зависит от их физико-химических свойств, условий внешней среды и биологических особенностей растений и животных. Формы нахождения радионуклидов в объектах окружающей среды являются одним из определяющих факторов их поведения в экосистемах. Степень опасности любых радионуклидов зависит не только от их общего содержания, но и от их подвижности в почве. От форм нахождения радионуклидов в почве зависит их миграция по почвенному профилю, а также размеры вымывания с осадками, интенсивность поступления в растения. Чем прочнее связаны радионуклиды с почвой, тем меньше их миграция, в том числе и поступление в растения и далее в продукцию животноводства и в организм человека. Эти сведения необходимо учитывать для разработки мер по реабилитации загрязненных радионуклидами территорий [1–3].

Как показывают многочисленные исследования, содержание мобильных форм  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах не различалось в течение двух-трех лет после аварии. Пик содержания водорастворимых и обменных форм радиоцезия достигал 40% (суммарно) в 1988–1989 гг., и затем их содержание снизилось до 5–10% за счет сорбции почвенными минералами. Содержание мобильных форм  $^{90}\text{Sr}$  нарастало от 5–10% в первые два года после выпадений, до 50–70% к 1990 г. В настоящее время, в радиационно-стабильных условиях, доля фиксированной фракции  $^{137}\text{Cs}$  составляет 83–98% от валового содержания в почве, содержание  $^{90}\text{Sr}$  в прочносвязанной форме не превышает 7–12%. Процессы трансформации форм радионуклидов в почвах различаются, что связано с механизмом поглощения радионуклидов твердой фазой: вхождением в кристаллическую решетку глинистых минералов, ионным обменом, химическим соосаждением и т.п. [1–4]. Выветривание и выщелачивание радионуклидов из топливных частиц выпадений под влиянием природных процессов привело к тому, что ведущая роль физико-химических форм выпадений как фактора, обуславливающего радиоэкологическую обстановку, уменьшается, а со временем роль почвенно-климатических факторов увеличивается [5].

После аварии на ЧАЭС с 1989 года в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений за температурой воздуха на протяжении последних 130 лет. За период с 1989 по 2015 г. среднегодовая температура воздуха в Беларуси на 1,3°C превысила климатическую норму, принятую Всемирной метеорологической организацией (ВМО). В 2015 году средняя годовая температура воздуха составила +8,5°C, что на 2,7°C выше климатической нормы и оказалась самой высокой за весь период инструментальных наблюдений, начиная с 1881 года. В результате потепления произошло изменение границ агроклиматических зон. Северная агроклиматическая область распалась, а на юге Белорусского Полесья образовалась новая, более теплая агроклиматическая область. Исследования показывают, что тенденции этих изменений в ближайшие десятилетия сохраняться [6].

В настоящее время в Беларуси агроклиматические зоны сдвинулись более чем на 200 километров на север и новая агроклиматическая зона с суммой температур 2600–2800 с эффективными температурами свыше 10°C появилась на юге республики. Новая



климатическая зона распространилась на большую часть территории загрязнения радионуклидами Чернобыльских выпадений, где ведется сельскохозяйственное производство и также на зону отчуждения. Согласно экспертной оценки Института природопользования НАН Беларуси и Гидрометеорологической службы Республики Беларусь к 2030 году эта новая агроклиматическая зона распространится полностью на земли, загрязненные радионуклидами, где преобладают минеральные почвы легкого гранулометрического состава и осушенные торфяные почвы [6, 7]. Понимание того, как агроэкосистемы территорий, загрязненных радионуклидами, реагируют на изменение климата, является чрезвычайно важным для продовольственной и экологической безопасности и оптимизации защитных мероприятий.

Цель исследования заключалась в определении форм нахождения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава и влияния климатических условий вегетационного периода на переход  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения.

Для оценки условий вегетационного периода использовали гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который показывает уровень влагообеспеченности территории и представляет собой отношение суммы осадков в миллиметрах за период с температурами выше  $+10^\circ\text{C}$  к сумме температур в градусах Цельсия ( $^\circ\text{C}$ ) за то же время. [14]. По данным экспертов Центра климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси по гидротермическому коэффициенту увлажнения (ГТК) характеризуют следующие условия увлажнения территории: больше 1,6 – влажные, от 1,6 до 1,3 – оптимальные, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливые, от 1,0 до 0,7 – засушливые, от 0,7 до 0,4 – очень засушливые, от 0,4 до 0,2 – сухие, от 0,2 и меньше – очень сухие [6,7].

Исследования по оценке подвижности радионуклидов проводили с образцами дерново-подзолистых легкосуглинистой, супесчаной и песчаной почв, отобранных с пахотных земель в 2021 г. (таблицы 1,2). В исследованиях использовали метод последовательной экстракции форм нахождения радионуклидов, предложенный Ф.И. Павлоцкой и получивший дальнейшее развитие в работах большой группы радиоэкологов [8–11]. Метод включает в себя выделение пяти фракций радионуклидов, характеризующихся разной прочностью и природой связи с твердой фазой почвы. Подвижные и кислоторастворимые формы радионуклидов цезия-137 и стронция-90 определяли последовательной обработкой почв дистиллированной  $\text{H}_2\text{O}$  (водорастворимая форма), 1М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{pH}=4,8$  (обменная и легкорастворимая форма), 1М  $\text{HCl}$  (подвижная форма) и 6М  $\text{HCl}$  (кислоторастворимая форма). Соотношение твердой и жидкой фаз составляло 1:5. Содержание каждого радионуклида в почвенных фракциях рассчитывали в процентах от его суммарного содержания в навеске почвы [12].

Маршрутные исследования проводились путем отбора проб растительных образцов в фазы технической спелости и сопряженных почвенных образцов в производственных посевах Хойникского и Брагинского районов Гомельской области методом учетных площадок на дерново-подзолистых супесчаных почвах в период с 2008 по 2019 год.

Коэффициенты перехода (Кп) радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения рассчитывались как отношение удельной активности радионуклида в растении ( $\text{Бк кг}^{-1}$ ) к плотности загрязнения почвы радионуклидом ( $\text{кБк м}^{-2}$ ).

В связи с тем, что транспорт стронция в растения ускоряется транспирацией, нами проведена сравнительная оценка влияния климатических условий на перенос  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения с использованием гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) в качестве интегрального показателя влагообеспеченности, отражающего соотношение температуры и осадков в течение вегетационного периода. Полевые исследования, проведенные в период с 2008 по 2019 год, показывают, что в более теплые и сухие вегетационные периоды с высокой степенью вероятности можно ожидать значительного увеличения переноса стронция из почвы в растения (таблица 1).

Вегетационные периоды в годы отбора проб для люцерны характеризовались как слабозасушливые и засушливые, для кукурузы – засушливые, для тритикале – оптимальные и слабозасушливые и гороха – засушливые и очень засушливые. Результаты исследований показывают, что для всех исследуемых сельскохозяйственных культур отмечается увеличение переходов стронция-90 от 1,1 до 3,9 раза со снижением показателя ГТК с 1,45 до 0,65. Максимальное увеличение Кп стронция-90 с 1,6 до 6,4 отмечено у гороха посевного в более засушливых и теплых условиях вегетационного периода. Вероятно, это связано с тем, что

горох является кальциефильной культурой, определяя высокие размеры выноса его химического аналога  $^{90}\text{Sr}$ .

Таблица 1. Влияние отношения осадков к сумме активных температур вегетационного периода (ГТК) на переходы  $^{90}\text{Sr}$  (Кп) из дерново-подзолистых супесчаных почв в сельскохозяйственные культуры

Культура	Продукция	ГТК	Кп
Люцерна	сено	0,99	17,87±3,22
		0,73	18,79±2,82
Кукуруза	зеленая масса	0,96	1,01±0,16
		0,69	1,41±0,21
Тритикале	зерно	1,49	0,74±0,11
		1,12	1,16±0,16
Горох	зерно	0,98	1,62±0,29
		0,65	6,36±0,96

Эксперименты показали, что в исследуемых почвах радионуклиды цезия и стронция находятся в разных формах и соотношениях (табл. 2, 3).

Таблица 2. Формы  $^{137}\text{Cs}$  в образцах пахотного горизонта (0–20 см) дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава (2021 г.)

Дерново-подзолистая почва	Форма				
	Водорастворимая	Обменная	Подвижная	Кислото-растворимая	Остаток
	Бк/кг почвы				
Песчаная	0,7±0,3	119±8,3	140±8,1	820±49,2	21,2±1,5
<i>Доля от валового содержания, %</i>	<i>0,06</i>	<i>10,81</i>	<i>12,72</i>	<i>74,48</i>	<i>1,93</i>
Супесчаная	0,4±0,2	23,6±1,6	25,8±1,8	408±24,5	9,5±0,8
<i>Доля от валового содержания, %</i>	<i>0,09</i>	<i>5,05</i>	<i>5,53</i>	<i>87,38</i>	<i>2,03</i>
Суглинистая	11±0,9	109±6,5	228±13,7	2620±157,2	104±7,3
<i>Доля от валового содержания, %</i>	<i>0,36</i>	<i>3,55</i>	<i>7,42</i>	<i>85,29</i>	<i>3,39</i>

Результаты исследований, полученные при изучении форм нахождения  $^{137}\text{Cs}$  определили, что количественное распределение радиоцезия по формам нахождения зависит от гранулометрического состава почвы. Основная доля  $^{137}\text{Cs}$  находится в прочно связанной форме и, вероятнее всего, в кристаллической решетке глинистых минералов. Доля легкодоступных форм радиоцезия (водорастворимая + обменная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 10,9%, в супесчаных 5,1% и в суглинистой 3,9% от валового содержания в почве. В настоящее время прочная фиксация радиоцезия минеральными почвам и определяет низкие переходы данного радионуклида в продукцию растениеводства (таблица 2).

Доля доступных форм радиостронция (водорастворимая + обменная + подвижная) для растений составляет в дерново-подзолистых песчаных почвах 87,3%, в супесчаных 81,2% и в

суглинистой 92,0% от валового содержания в почве и доля легкодоступных (водорастворимая + обменная) составляет 67,2%, 59,5% и 75,5% соответственно (таблица 3). Данный факт определяет высокие переходы радиостронция в продукцию растениеводства.

Таблица 3. Формы  $^{90}\text{Sr}$  в образцах пахотного горизонта (0–20 см) дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава (2021 г.)

Дерново-подзолистая почва	Форма				
	Водо-растворимая	Обменная	Подвижная	Кислото-растворимая	Остаток
	Бк/кг почвы				
Песчаная	8,78±3,16	48,23±8,68	17,09±7,01	8,68±5,03	2,07±1,28
<i>Доля от валового содержания, %</i>	<i>10,35</i>	<i>56,84</i>	<i>20,14</i>	<i>10,23</i>	<i>2,44</i>
Супесчаная	7,41±4,37	20,42±5,31	10,11±4,14	7,76±5,51	1,05±0,86
<i>Доля от валового содержания, %</i>	<i>15,85</i>	<i>43,68</i>	<i>21,63</i>	<i>16,60</i>	<i>2,25</i>
Суглинистая	8,98±4,85	65,30±11,1	16,23±5,68	4,14±2,15	3,69±2,10
<i>Доля от валового содержания, %</i>	<i>9,13</i>	<i>66,40</i>	<i>16,50</i>	<i>4,21</i>	<i>3,75</i>

Результаты исследований показывают, что для исследуемых сельскохозяйственных культур отмечается увеличение переходов  $^{90}\text{Sr}$  в растения из дерново-подзолистой супесчаной почвы в более теплые и сухие вегетационные периоды. По предварительным данным можно отметить, что с потеплением климата на территории радиоактивного загрязнения проблемы с высокими переходами  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию будут усугубляться. В связи с этим необходима разработка мер адаптации по использованию сельскохозяйственных земель загрязненных радионуклидами. Для этого будет необходимо изменить структуру посевных площадей, включая внедрение засухоустойчивых культур, применять меры по борьбе с дефляцией земель для ограничения переноса радионуклидов на прилегающие территории и внедрять влагосберегающие технологии.

#### Литература

1. Сельскохозяйственная радиоэкология. [Алексахин Р.М. и др.]. М: Экология, 1992. 400 с.
2. Архипов А.Н. Поведение  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в агроэкосистемах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.01 / В.А. Котик; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии и агроэкологии. Обнинск, 1995. 26 с.
3. Формы нахождения в почвах и динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова [и др.] // Почвоведение. 1997. № 2. С. 129–134.
4. Круглов С.В., Осипов Б.В., Просьяников Е.В. Распределение и формы нахождения радиоактивных и стабильных изотопов Cs и Sr в торфяных почвах / Радиоэкология торфяных почв: материалы междунар. конф. / С.-Петерб. гос. аграр. ун-т. СПб, 1994. С. 95–97.
5. Путятин Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию: Монография. Минск: РУП Институт почвоведения и агрохимии, 2008. 255 с.
6. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата. [В. И. Мельник и др.]. Минск-Женева, 2017. 84 с.
7. Мельник В. И. Изменение климата и меры по адаптации сельского хозяйства к этим изменениям в Республике Беларусь // Труды ФГБУ «ВНИИСХМ», 2013. № 38. С. 249-256.
8. Павлоцкая. Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф.И. Павлоцкая. М.: Атомиздат, 1974. 215 с.

9. Goryachenkova T.A., Kazinskaya I.E., Novikov A.P. et al. Comparison of methods for assessing plutonium speciation in environmental objects // Radiochem. 2005. V. 47. № 6. P. 599–604.
10. Круглов С.В., Куринов А.Д., Архипов Н.П. Формы нахождения радионуклидов в почвах 30-км зоны ЧАЭС и их изменение со временем // IV Междунар. науч.-техн. конф. "Итоги 8 лет работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС". Сб. докл. Чернобыль, 1994. Т. 1. С. 243–250.
11. Arkhipov N.P., Fedorova T.A., Fevrалеva L.T. Relative amounts of compounds of heavy natural radionuclides // Sov. Soil Sci. 1986. V. 18. № 3. P. 66–70.
12. Методы изучения форм нахождения радионуклидов в почвах / [Д.В. Манахов и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология, 2019, Т. 59, № 4. С. 410–418.
13. International Atomic Energy Agency. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA-TECDOC-1092. Vienna, 1999. 307 p.
14. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / Гл. ред. В. К. Месяц. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 656 с.

#### INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS OF GROWING SEASONS ON THE AVAILABILITY OF $^{137}\text{Cs}$ AND $^{90}\text{Sr}$ RADIONUCLIDES TO AGRICULTURAL CROPS

Yu.V. Putyatin, I.M. Bogdevich, I.S. Stanilevich

Institute for Soil Science and Agrochemistry, Minsk, Belarus, put@tut.by

*Summary.* In warmer and drier growing seasons, there is a significant increase in  $^{90}\text{Sr}$  transfers to plants from sod-podzolic soils. High transfers of radiostrontium into plants are determined by the presence of easily available forms of  $^{90}\text{Sr}$  59,5%–75,5% of the total content in the soil. The main share of  $^{137}\text{Cs}$  is in a strongly bound form, which determines the low transfers of  $^{137}\text{Cs}$  into crop production. The proportion of readily available forms of radiocaesium for plants in sod-podzolic soils ranges from 3,9 to 10,9%.

*Keywords:* caesium-137, strontium-90, radionuclide transfer factors, climate.

УДК 504.064

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕСОЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

В.П. Середина<sup>1</sup>, М.В. Носова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, seredina\_v@mail.ru

<sup>2</sup>Акционерное общество "Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа", Томск, NosovaMV@tomsknipi.ru

*Аннотация.* В работе рассмотрено влияние высокоминерализованных вод и сырой нефти на свойства зональных (подзолистых) и интразональных (аллювиальных) почв Западной Сибири: содержание легкорастворимых солей техногенного происхождения и закономерности их пространственного распределения. Обнаруженные изменения позволяют оценить экологическое состояние техногенно-загрязнённых почв в районах, подверженных избыточному увлажнению (Западная Сибирь) как неудовлетворительное, и разработать комплекс научных рекомендаций по осуществлению трехэтапного комплекса по их рекультивации.

*Ключевые слова:* пойменные экосистемы, нефтесолевое загрязнение, нефтяные углеводороды, легкорастворимые соли, техногенный галогенез, Западная Сибирь.

Одной из актуальных экологических проблем данной территории является увеличение ареалов техногенно-засоленных почв Западной Сибири [1–3]. Их происхождение связано с аварийными разливами высокоминерализованных вод, используемых для поддержания пластового давления на нефтяных залежах. Также засолению способствует и нефтяное загрязнение земель, обусловленное сильной обводненностью сырой нефти [2–5]. Наиболее ценным источником информации об экологическом состоянии нефтезагрязненной территории являются почвы – основной компонент наземных экосистем.



Объектами исследования послужили почвы на территории разлива сырой нефти и минерализованных жидкостей на территории средней тайги Западной Сибири. Очаги загрязнения сформировались в результате порыва промысловых трубопроводов в центральной части поймы р. Оби и при аварийном отказе водовода высокого давления на водораздельной равнине левобережья реки Оби. На первом этапе (благоприятный летний период, июнь-август) выполнено почвенное обследование фоновых и загрязненных участков. Описание участков выполнялось в полевых условиях с помощью фотосъемки и GPS Garmin. Пространственный анализ проводился на участках, подвергшихся разным типам техногенного загрязнения – минерализованными жидкостями и обводненной сырой нефтью. Для контроля изменений свойств почв нефтесолевого загрязнения были заложены фоновые почвенные разрезы. Ненарушенные (естественные) почвы расположены в непосредственной близости от объекта исследования и представлены различными типами аллювиальных и подзолистых почв. Для изучения техногенных трансформаций почв под воздействием нефтесолевого загрязнения пробы отбирались в эпицентре загрязнения.

Морфологически границы распространения загрязнения устанавливались по наличию или отсутствию на поверхности почв битуминозной корки и по визуальным признакам угнетенности растительного покрова. Из-за невозможности дифференциации границ генетических горизонтов в почве, загрязненной углеводородами нефти (р-2), пробы отбирались послойно через каждые десять сантиметров до глубины 1 метра. Для исследования латеральной миграции поллютантов (нефтепродуктов – НП, легкорастворимых солей) была заложена методом конверта серия почвенных прикопок. В отличие от загрязнений сырой нефтью, в почвах, где источником загрязнения являлись минерализованные пластовые жидкости (р-1), морфологическими индикаторами техногенной нагрузки (загрязнения) является угнетение растительности. В полевых условиях миграция поллютанта в радиальной плоскости практически не визуализируется. Поэтому для более детального изучения вертикальной миграции загрязняющих веществ был заложен один полнопрофильный разрез с отбором образцов по генетическим горизонтам и ряд почвенных прикопок на различном удалении от эпицентра загрязнения (импактная зона). Систематическая принадлежность почв определялась по «Классификации и диагностике почв России» [6] и World Reference Base for Soil Resources [7].

В соответствии с профилно-генетическим анализом, исследованные засоленные подзолистые почвы (р-1) не имеют ярко выраженных представительных признаков трансформации морфологического облика по сравнению с зональными незасоленными аналогами. Наиболее характерным признаком солевого загрязнения почв является полная деградация растительного покрова по всей площади распространения минерализованных жидкостей. В эпицентре единично встречаются высохшие осины, выражена деградация древесно-кустарничкового яруса, на поверхности почв наблюдаются выцветы солей. В соответствии с классификацией почв России, почва приурочена к стволу постлитогенных, отделу текстурно-дифференцированных почв, подзолисто-му типу (подтип: типичные), иллювиально-железистому роду, мелкоосветленному виду, легкосуглинистой разновидности. По классификации World Reference Base for Soil Resources) почва диагностируется как *Solonchaks Gleyic Toxic*.

Полевые наблюдения свидетельствуют о том, что наибольшие морфологические преобразования испытывает корнеобитаемый слой нефтезагрязненных аллювиальных почв (р-2). Верхняя часть почвенного профиля запечатана под плотным техногенным материалом – битуминозной коркой. Корнеобитаемые горизонты отличаются сильной переуплотненностью. По классификации почв России данная почва относится к стволу синлитогенных, отделу аллювиальных почв, аллювиальному серогумусовому (дерновому) типу (подтип: типичная глееватая, род: ненасыщенный), средне-мелкому виду, тяжелосуглинистой разновидности. В соответствии с классификацией World Reference Base for Soil Resources почва диагностируется как *Solonchaks Fluvic Toxic*.

Влияние минерализованных вод на нефтяные эмульсии приводит к трансформации состава поглощенных катионов почвенно-поглощающего комплекса. Замещение ионов  $\sum Al^{3+} + H^+$  катионом  $Na^+$  негативно влияет на свойства почвы.

Подзолистые почвы (р-1), загрязненные минерализованными жидкостями, имеют сильную степень засоления. Анализ профильного распределения солей в почве, где минерализованный источник является единственным источником загрязнения, демонстрирует ряд трендов, отличающих данный тип загрязнения от загрязнения обводнённой сырой нефтью. Загрязненные почвы отличаются сильной степенью засоления, с выносом хлоридов и слабой миграцией карбонатов в профиле. Легкорастворимые соли аккумулируются в корнеобитаемом слое, оказывая токсическое воздействие на растения. Засоление может также происходить на глубоких уровнях почвы в результате поднятия грунтовых вод во время паводков.

В нефтезагрязненных почвах (р-2) сумма токсичных солей ( $\Sigma_{\text{токс}}$ ), возрастает с глубиной и имеет наиболее высокие значения в зоне водонасыщения – нижних горизонтах (1.18%). Распределение солей по профилю носит пирамидальный характер: концентрация солей нарастает с глубиной при значительном количестве по всему профилю и наличии одного солевого максимума, приуроченного к нижним горизонтам.

Для техногенно-засоленных почв отсутствует общепринятая система критериев по оценке степени и опасности засоления и как следствие нормативов допустимых остаточных содержаний солей после проведения рекультивационных мероприятий. Рекультивация техногенно-засоленных почв в гумидных климатических условиях требует учета особенностей местных условий и применение комплексного подхода. При этом важно стремиться к сохранению природного потенциала почвы и достижению равномерного густоты и площади растительного слоя. Анализ данных позволяет определить эффективность мероприятий и создать предпосылки для полноценного восстановления почвы. Для успешной рекультивации необходимо учитывать классификационную принадлежность почв, степень засоления, химический состав и тип загрязнителя. Ключевыми этапами рекультивации являются подготовительный, технический и биологический этапы.

На подготовительном этапе необходимо провести оценку глубины проникновения солей и степени засоления почв, а также выполнить почвенный разрез для более детального анализа. Это позволит определить целесообразность проведения ремедиации и выбрать соответствующие методы. Технический этап включает в себя реализацию конкретных мероприятий по очистке и восстановлению почвы. Биологический этап направлен на восстановление естественной биологической активности и биоразнообразия в почве. Важными мероприятиями являются посев или внесение семян растительности, а также проведение мероприятий по стимуляции микробиологической активности и декомпозиции загрязняющих веществ. Важным аспектом является использование аборигенной или адаптированной к местным условиям растительности, особенно семейств маревых, подорожниковых и злаковых. Оценка глубины проникновения солей и мониторинг помогают контролировать процесс рекультивации и достичь установленных критериев восстановления.

Самовосстановление почв может быть рекомендовано для участков, где отсутствует техногенная нагрузка, разница в рН не превышает 1,0 единицы и наблюдаются положительные изменения в растительном покрове.

Мониторинг загрязненных почв и проведение натурных обследований являются важными для контроля процессов восстановления и подтверждения эффективности применяемых мероприятий. Одной из проблем при сдаче рекультивированных участков контролирующим органам является создание равномерного по густоте и площади растительного слоя. Поэтому необходимо организовать мониторинг и проводить натурное обследование участков для подтверждения эффективности рекультивации и соответствия установленным критериям.

#### Литература

1. Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязнённые почвы: свойства и рекультивация. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 270 с.
2. Носова М.В., Середина В.П., Стовбуник С.А. Изменения почв под влиянием загрязнения сырой нефтью и минерализованными жидкостями в условиях Среднего Приобья Западной Сибири // Трансформация экосистем. 2023. 6 (2). С. 64–73.
3. Солнцева Н.П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. 2002. № 1. С. 9–20.
4. Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 30–39.

5. Середина В.П., Колесникова Е.В., Кондыков В.А., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108–112.
6. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 2022, 181 p.

## THEORETICAL ASPECTS OF RECLAMATION OF OIL-SALT SOIL POLLUTION

V.P. Seredina<sup>1</sup>, M.V. Nosova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, seredina\_v@mail.ru

<sup>2</sup>Joint-stock company "Tomsk Research and Design Institute of Oil and Gas", Tomsk, NosovaMV@tomsknpi.ru

*Summary.* The paper considers the influence of highly mineralized waters and crude oil on the properties of zonal (podzolic) and intrazonal (alluvial) soils of Western Siberia: the content of readily soluble salts of technogenic origin and the patterns of their spatial distribution. The revealed changes make it possible to assess the ecological state of technogenically polluted soils in areas subject to excessive moisture (Western Siberia) as unsatisfactory, and to develop a set of scientific recommendations for the implementation of a three-stage complex for their reclamation.

*Keywords:* floodplain ecosystems, oil-salt pollution, petroleum hydrocarbons, soluble salts, technogenic halogenesis, Western Siberia.

УДК 631.618

## СПЕЦИФИКА СУКЦЕССИИ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ОТВАЛАХ ПЛОТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ ГОРЛОВСКОГО АНТРАЦИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

А.Е. Скотарева<sup>1</sup>, Д.А. Соколов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, skotareva04@mail.ru

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, sokolovdenis@mail.ru

*Аннотация.* Выявлены основные особенности и тенденции протекания смены сукцессионных рядов представителей растительного сообщества под действием абиотических и антропогенных факторов, изучено соответствие между структурой, составом почвы и характерным для нее фитоценозом. При помощи кластерного анализа (метод Варда) проведена оценка показателя флористического сходства.

*Ключевые слова:* техногенные ландшафты, сложный фитоценоз, пионерное сообщество, коэффициент флористического сходства, самовосстановление, первичный фитоценоз, видовое разнообразие, кластер, стадия сукцессии.

В настоящее время функционирование и регуляция работы многих наземных экосистем претерпевают довольно значительные изменения, связанные, в первую очередь, с повышением антропогенной нагрузки. Зачастую, вмешательство человека в ход естественных циклических процессов, энергетических связей, которыми характеризуются все природные экосистемы часто несет за собой разрушительные последствия: от смены доминирующих сообществ (на примере фитоценоза) до полного исчезновения и обеднения естественных экосистем.

Данные изменения можно считать характеристикой протекания одного из преобразующих во времени и пространстве процессов, а именно - сукцессии. Смена сукцессионных рядов сопровождается трансформацией почв: их химических, физических и микробиологических свойств [1].

**Целью** данной работы изучение специфики сукцессионных процессов в фитоценозах самозрастающих отвалов Горловского антрацитового месторождения.

В качестве объектов исследований были выбраны внешний породный отвал Горловского антрацитового месторождения (54.568880, 83.588956). Биологическая рекультивация на отвале не проводилась. Поэтому на всех участках исследований восстановление растительных сообществ происходит при самозарастании. Описание растительных сообществ и сбор характерных представителей для дальнейшей гербаризации, а исследование почв проводились в июне 2023г. Участки выбирались по ходу рекогносцировочных маршрутов с учетом разрешения снимков для вычисления NDVI и SAVI. Маршрут прокладывался по периметру участков 2-3 летней отсыпки с тем расчетом, чтобы охватить как можно больше участков дифференцированных по различиям в рельефе, экспозиции склонов, возрасте и характере зарастания, особенностях подстилающей породы (табл. 1). Детальные геоботанические описания были проведены на 8 выбранных репрезентативных участках. Площадь участков была равна площади одного пикселя, получаемого по данным дистанционного зондирования, и составила 100 м<sup>2</sup>. Также в работе использовались материалы, полученные нами по результатам аналогичных исследований ранее [2]. На поверхности отвала сформированы эмбриоземы, относящиеся, в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов [3], к типам инициальных, органо-аккумулятивных и дерновых. Классификационная принадлежность подтипов эмбриоземов определялась по характеру типодиагностических горизонтов [4].

Сбор гербарных образцов производился по всему периметру выбранного для анализа участка с целью наибольшего охвата различных факторов и условий, влияющих на развитие растительных сообществ.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакетов программ PAST V2.17. Степень сходства видового состава флоры на разных участках проводили при помощи дисперсионного анализа. Для этого при проведении кластерного анализа использовали метод Варда.

**Результаты исследований.** Проведенные исследования показали, что развитие растительного покрова на начальных этапах контролируется абиогенными, главным образом, техногенными факторами. На более поздних этапах эволюции определяющее значение приобретают биогеоценотические свойства сообществ [5]. По результатам визуальной оценки местности, составления геоботанических описаний, сбора и идентификации гербарных образцов на отвалах были выявлены разнообразные пионерные, простые и сложные растительные группировки (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика исследуемых участков

Номер участка	Описание участка (почвообразующие породы)	Возраст, лет	Число видов, шт.	Фитоценоз
1	южный склон (плотные)	35-40	8	пионерный
2	горизонтальный, бугристый участок (плотные)	35-40	15	сложный
3	горизонтальный, выровненный участок (плотные)	25-30	16	простой
4	горизонтальный выровненный участок (плотные)	25-30	21	сложный
5	северный склон (плотные)	35-40	5	простой
6	горизонтальный, бугристый участок (рыхлые)	20-25	25	сложный
7	горизонтальная поверхность, выровненный участок (плотные)	10-15	11	пионерный
8	пологий (7-10°) южный склон, выровненный участок (плотные)	20-25	6	простой



**Пионерные растительные группировки** приурочены к молодым (до 10 лет), так же средневозрастным (10-20 лет) участкам отсыпки плотных осадочных пород. На таких участках растительный покров изреженный, представлен отдельными куртинами и ассоциациями донника желтого (*Melilotus officinalis* L.) и синяка обыкновенного (*Échium vulgáre* L.), реже клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). На горизонтальных спланированных участках отсыпки плотных осадочных пород (участок №7) общее число видов не превышает 11. Процент общего проективного покрытия низкий, составляет около 10-15%. На таких участках выражена мозаичность, отмечено формирование небольших ассоциаций пионерных видов, что свидетельствует о начальном этапе протекания сукцессионных процессов. Старые (более 20 лет) участки отсыпки, занятые пионерными группировками, представлены южными (участок №1) и западными склонами (рис. 1). Здесь помимо вышеописанных видов встречаются также другие рудеральные виды, среди которых превалирует икотник серый (*Bertéroa incána* L.) и желтушник левкойный (*Erýsimum cheiranthoídes* L.). Кроме того, пионерные растительные группировки встречаются также на молодых и средневозрастных (10-20 лет) горизонтальных участках с бугристым рельефом. Их отличительной особенностью является присутствие древесных видов таких как береза повислая (*Betula pendula* Roth.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и осина обыкновенной (*Populus tremula* L.), которые распространены на участках, получающих дополнительное увлажнение.

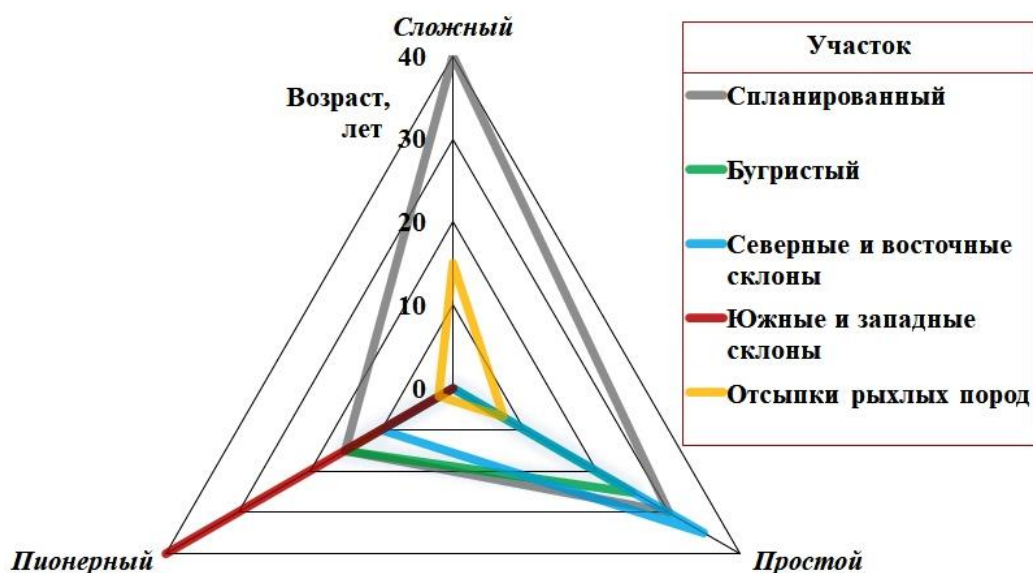


Рисунок 1. Схема сукцессий фитоценозов в техногенных экосистемах Горловского антрацитового месторождения.

Преобладающими почвами на участках с пионерной растительностью являются инициальные эмбриоземы. Типичный подтип отмечается на молодых и средневозрастных участках, криптопедогенный – на старых участках с экстремальными эдафическими условиями. Как правило инициальные эмбриоземы сильнокаменистые по составу. Поскольку слагающие породы имеют преимущественно серый или темно-серый цвет, поверхность инициальных эмбриоземов характеризуются значительными амплитудами колебаний температур, что, свою очередь, способствует активной дезинтеграции каменных отдельностей и с образованием мелкозема [6]. На склонах, особенно южных и западных, этот процесс более выражен. Здесь образовавшийся материал перемещается вниз по склонам, в результате чего происходит обновление поверхности, что также препятствует закреплению травянистой растительности.

На участках, где в почвах накапливается мелкозем, эдафические условия со временем улучшаются способствуя, тем самым, развитию **простых растительных группировок**. Простые фитоценозы на горизонтальных спланированных участках формируются за 5-7 лет на рыхлых и за 15-20 лет на плотных осадочных породах (рис. 1). В их составе сохраняется высокая доля рудеральных видов, но преобладают донник желтый (*Melilotus officinalis* L.) и

земляника зеленая (*Fragaria viridis* Duch.). Отдельными куртинами встречаются злаковые растения ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) и костер ржаной (*Bromus secalinus* L.). Общее число видов (участок №3) достигает 16.

В почвах благодаря накоплению на поверхности растительных остатков формируются горизонты их аккумуляции. Такие почвы называют органо-аккумулятивными эмбриоземами. На отвалах Горловского антрацитового месторождения встречаются два подтипа этих почв. Подтип войлочных формируются под травянистыми простыми растительными группировками, подстилочный подтип под древесной растительностью.

Простые сообщества с доминированием древесных видов характерны для средневозрастных и старых участков с бугристым рельефом и склонов. При этом на бугристых участках (участок №2) отмечено формирование березняка (*Betula pendula* Roth.) с одиночными включениями представителей осины (*Pópulus trémula* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvéstris* L.). Сомкнутость крон около 70%. В травостое (формируется сообщество с преобладанием пионерных видов мать-и-мачехи (*Tussilágo fárfara* L.), донника желтого (*Melilotus officinalis* L.) и, реже, ежи сборной (*Dáctylis glomeráta* L.) процент общего проективного покрытия высокий и составляет 80%. В целом число видов здесь достигает 15 и более видов. Данные, полученные о качественном и количественном распределении видов в экотопе, позволяют оценить данную сукцессионную стадию как: березово-сосновый лес с разнотравно-злаковым травостоем, характерную для лесостепной зоны Западной Сибири [7]. Кроме того, на таких участках выражен напочвенный ярус, представленный моховым покровом, являющимся идентификационным признаком зоны прикронового увлажнения.

Простые древесные группировки склоновых участков отличаются более низким количеством видов (табл. 1). Здесь, по причине описанного выше обновления поверхности и провальной водопроницаемости, на начальных этапах формирования растительного покрова древесные виды получают преимущество перед травянистыми [8]. В последствии закреплению травянистых видов, препятствует изменение светового режима поверхности при смыкании крон деревьев. Поэтому на обследованных нами участках №5 и №7 травянистый ярус практически не развит.

Формирование на отвалах **сложных растительных группировок** (участки №4 и №6) характеризуется увеличением количества видов (20 и более) и рассредоточением их в пространстве, также отмечается дифференцированность по ярусам. Процент проективного покрытия находится в интервале 80-100%. В составе таких сообществ преобладают злаки такие как ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), мятлик узколистный (*Poa angustifolia* L.) и костер ржаной (*Bromus secalinus* L.). На исследуемых отвалах образование сложных фитоценозов наблюдается на участках отсыпки плотных пород только на старых (более 20 лет) горизонтальных выровненных участках, на участках сложенных рыхлыми породами также и на участках с бугристым рельефом. В формирующемся фитоценозе с корневищными или корнеотпрысковыми растениями с мощной корневой системой более активно происходит освоение внутрпочвенного пространства [9]. В результате этого под сложными растительными группировками формируются дерновые эмбриоземы, относящиеся к мезофитному подтипу.

Для группировки исследуемых ключевых участков по составу растительных сообществ был проведен кластерный анализ. Кластеризация, осуществляемая с помощью дисперсионного анализа, разделила их две группы по типу доминирующей растительности по принципу доминирующей растительности древесные/травянистые (рис. 3). Простые группировки лесных фитоценозов вошли в первую группу. При этом в этой группе обособился более богатый по видовому составу участок №2. Вторая группа объединила участки с пионерными, простыми и сложными травянистыми фитоценозами. В этой группе, также обособился наиболее богатый по видовому разнообразию участок №7. В отдельную подгруппу были включены участки пионерных сообществ (№ 1 и №7). Третья подгруппа объединила отличающиеся простые и сложные фитоценозы участков №3 и №4.

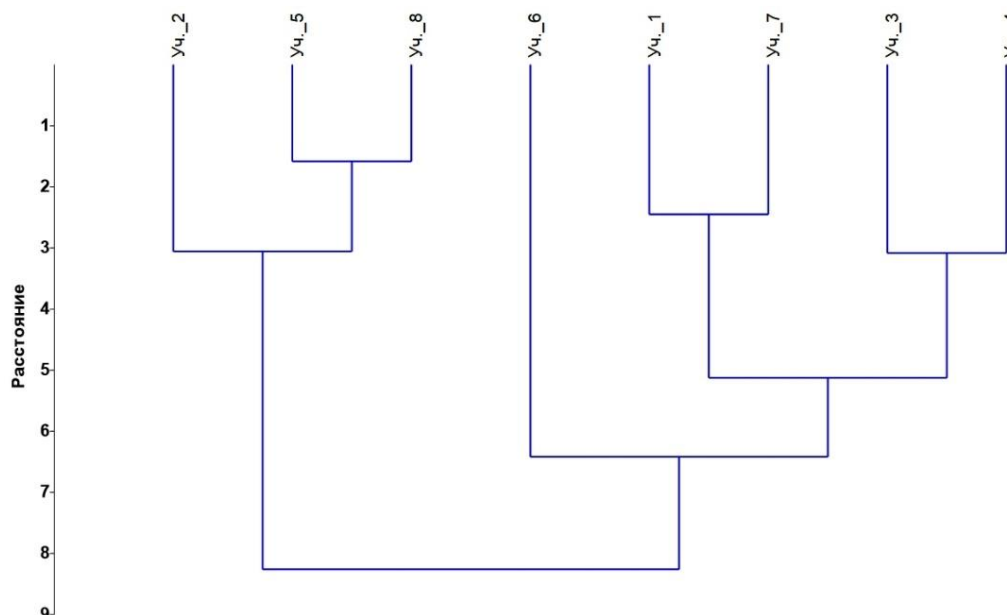


Рисунок 3. Дендрограмма иерархической группировки участков исследований (метод Варда).

**Заключение.** В ходе проведенных исследований была выявлена тенденция развития пионерных растительных группировок на молодых и средневозрастных участках отсыпки плотных осадочных пород, характеризующихся преобладанием инициальных эмбриоземов с сильнокаменистым составом. Отмечено, что на склоновых площадках формируются условия (обновление поверхности под действием фактора экспозиции и угла склона), препятствующие закреплению растений в почве.

Специфика формирования простых фитоценозов проявляется в преобладании донника желтого (*Melilotus officinalis* L.) и земляники зеленой (*Fragaria viridis* Duch.) на горизонтальных средневозрастных и старых участки отсыпки плотных пород. Простые древесные фитоценозы формируются на старых участках с бугристым рельефом, а также теневых склонах. Для них характерно преобладание березы повислой (*Betula pendula* Roth). В результате развития простых фитоценозов на поверхности происходит накопление растительных остатков и, как следствие, формирование органо-аккумулятивных эмбриоземов.

На старых участках отсыпки плотных пород, а также средневозрастных участках, сложенных рыхлыми породами образуются сложные фитоценозы. Для них характерно частая встречаемость ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), мятлика узколистного (*Poa angustifolia* L.) и костра ржаного (*Bromus secalinus* L.). Высокий процент освоения внутрпочвенного пространства обуславливает формирование вместе со сложными фитоценозами дерновых эмбриоземов.

Результаты кластерного анализа позволили разделить репрезентативные участки на две крупные группы по доминирующему типу растительности: древесной/травянистой. Показано, что на склоновых и бугристых поверхностях преимущество получают древесные сообщества, на горизонтальных выровненных участках – травянистые.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00116.

#### Литература

1. Курачев В.М., Кандрашин Е.Р., Рагим-заде Ф.К. Сингенетичность растительности и почв техногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация // Сиб. экол. журн. 1994. Т. 1, № 3. С. 205-214.
2. Restoration of the biodiversity of technogenic landscapes of anthracite deposits in Siberia // bioconferences: сайт. – URL: [https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/full\\_html/2021/03/bioconf\\_pibidr2021\\_00026/biocnf\\_pibidr2021\\_00026.html](https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/full_html/2021/03/bioconf_pibidr2021_00026/biocnf_pibidr2021_00026.html)

3. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9, № 3. С. 255-261.
4. Androkhonov V.A., Sokolov D.A. Soil evolution and reclamation of technogenic landscapes in Siberia // Advances in raw material industries for sustainable development goals. 2019. P. 268-273.
5. Глебова О.И. Биogeографическая диагностика эмбриоземов Кузбасса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 18 с.
6. Sokolov D.A., Androkhonov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Tomsk State University Journal of Biology. 2021. № 56. P. 6-32.
7. Кандрашин Е.Р. Сукцессии биоты в техногенных экосистемах (на примере Кузнецкого угольного бассейна): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Днепропетровск: 1989. 17 с.
8. Frouz J., Mudrák O., Reitschmiedová E., Walmsley A., Vachová P., Šimáčková H., Albrechtová J., Moradi J., Kučera J. Rough wave-like heaped overburden promotes establishment of woody vegetation while leveling promotes grasses during unassisted post mining site development // Journal of Environmental Management. 2018. № 205. P. 50-58.
9. Батурина В.Б. Особенности гумификации и минерализации корневой массы в почвах техногенных ландшафтов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 18 с.

#### THE SPECIFICITY OF SUCCESSION OF PHYTOCENOSES ON DEPOSIT OF DENSE SEDIMENTARY ROCKS (ON THE EXAMPLE OF THE GORLOVSKY ANTHRACITE DEPOSIT)

A.E. Skotareva<sup>1</sup>, D.A. Sokolov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University, skotareva04@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, sokolovdenis@mail.ru

*Summary.* The main features and tendencies of the change in the succession series of representatives of the plant community under the influence of abiotic and anthropogenic factors were identified, the correspondence between the structure, composition of the soil and its characteristic phytocenosis was studied. With the help of cluster analysis (Ward's method), an assessment of the indicator of floristic similarity was carried out.

*Keywords:* technogenic landscapes, complex phytocenosis, pioneer community, coefficient of floristic similarity, self-recovery, primary phytocenosis, species diversity, cluster, succession stage.

УДК 504.054+504.53

#### СОЗДАНИЕ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВО-ГРУНТОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Сутурин А.Н.

Лимнологический институт СО РАН, Россия, Иркутск, san@lin.irk.ru

*Аннотация.* Рекультивация антропогенно-нарушенных земель требует большого количества плодородных почв. Комплементарный способ создания искусственных почво-грунтов из отходов производства с применением различных биопрепаратов позволяет создать необходимый объем плодородных почво-грунтов для рекультивации, лесопосадок и дорожного строительства. Приведены примеры решения проблем рекультивации.

*Ключевые слова:* Комплементарные почво-грунты, биопрепараты, рекультивация, лесопосадки.

Одной из проблем рекультивации антропогенно-нарушенных территорий является создание почвенного горизонта на биологической стадии работ. Завоз плодородных почв из других территорий сопряжено с дефицитом таких почв, значительными финансовыми затратами и получением в местах отбора почв новых нарушенных земель. Для создания искусственных почво-грунтов на основе различных ингредиентов требуется детальное изучение состава отходов на нарушенных территориях, характера их влияния на окружающую среду. В техническую стадию рекультивации разрабатываются технологии устранения



экологической опасности отходов, снижающие пожароопасности, выброса токсических газов, избыточной влажности и т.д. Для каждого типа полигонов промотходов разрабатываются собственные технологии, учитывающие специфику промотходов и характер их преобразования в процессе длительного хранения.

Биологический этап рекультивации предполагает создание на полигонах промотходов почвенного слоя мощностью не менее 30 см. Искусственные почво-грунты должны обладать главным качеством почв-плодородием.

По В.В. Докучаеву: Почвы – это наружные горизонты горных пород, измененных совместным воздействием воды, воздуха и различного рода организмов живых и мертвых. В дальнейшем эти идеи получили развитие в представлениях о почве как об органо-минеральной (биокосной) динамической системе. Основным свойством почв является плодородие, т.е. способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, доступность воздуха для корневых систем. Агентами почвообразования является почвенная биота и микроорганизмы, а также продукты их жизнедеятельности, вода, кислород, углекислота. Главные процессы в почвах – это трансформация минералов, взаимодействие микробиоты с минеральной компонентной почв с образованием сложной экосистемы органо-минеральных соединений, накопление в почве доступных для растений биофильных элементов, передвижение в почвенном слое воды и воздуха. Важное значение имеют пористость почв, связность, коркообразование.

Создание почво-грунтов путем комплементарного смешения различных субстратов с обеспечением физико-химических параметров для плодородных почв. Финальным этапом искусственного почвообразования является внесение биопрепаратов со специфической почвенной микрофлорой, обеспечивающей переход минерально-органического субстрата в биокосную почвенную экосистему.

Рассматриваемые типы почвенных конструкций включают: антросоли (китайские насыщенные почвы, почвы о. Валаам, мелиорированные торфяники); спортивно-игровые сооружения, откосы автодорог; изоляционные почвенные конструкции (защитные экраны, захоронение полигонов) селезащитные почвенные конструкции. В большинстве из предлагаемых конструкций используются пластик, как структурирующий момент. Общая структурная схема создания комплементарных почво-грунтов отображена на рис.1.

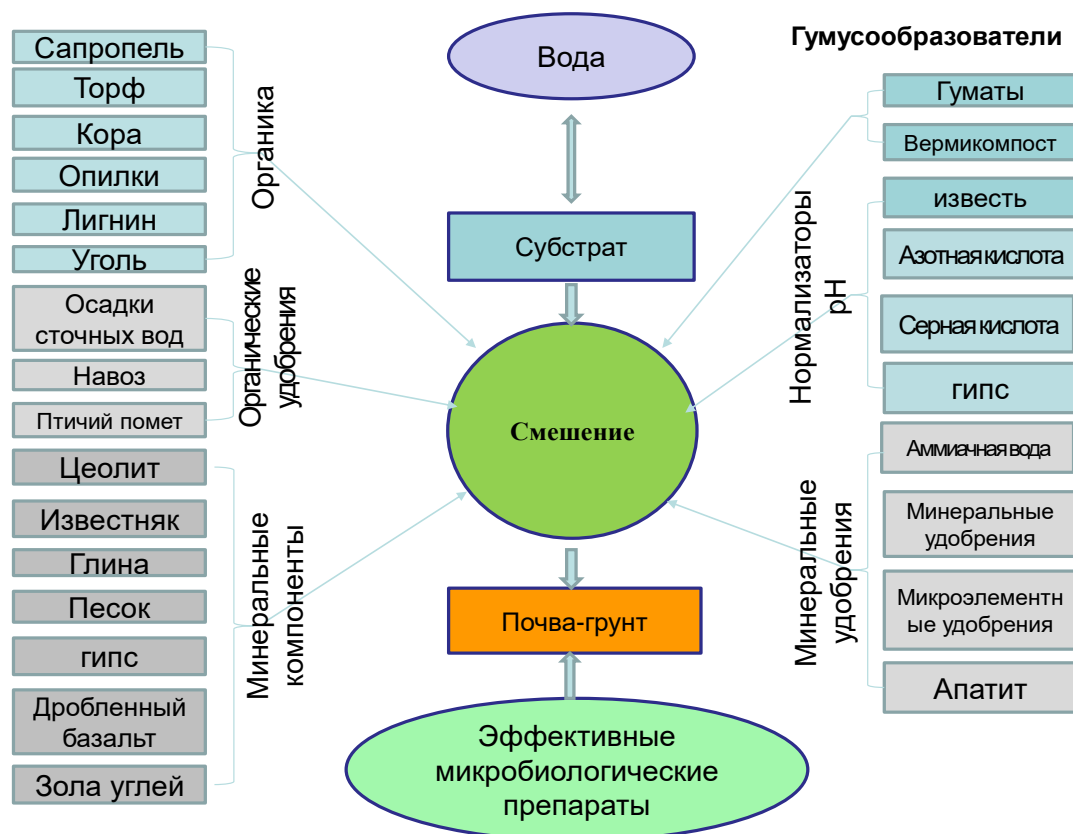


Рисунок 1. Схема создания комплементарных почво-грунтов

В субстрат, на основе которого создается почво-грунт, добавляются недостающие компоненты, обеспечивающие плодородие. Комплементарные компоненты представлены органикой, органическими удобрениями, минеральными соединениями, гумусообразователями, нормализаторами pH и минеральными удобрениями.

Впервые комплементарный метод создания искусственных почвогрунтов был испытан на промплощадке Селенгинского ЦКК. Здесь было накоплено миллионы тонн шлам-лигнина, глиноземистой золы азейских углей, коры деревьев. Выработано оптимальное соотношение отходов. В качестве органического удобрения, как источника микрофлоры, азота и фосфора, используется птичий помет из близлежащей птицефабрики. Всего было изготовлено 250 000 м<sup>3</sup> почво-грунтов. Они были внесены на 80 га земель. На удобренные почвы был посажен топинамбур, давший рекордные для Сибири урожаи зеленой массы и клубней.

На Братском ЛПК при строительстве гидролизного завода были проведены опыты по созданию почво-грунтов из гидролизного лигнина, опилок, коры, кальциевой золы углей КАТЭК и отходов свиного комплекса. Почво-грунты, стерилизованные от патогенной микрофлоры, использовались в тепличном комбинате. Получены хорошие урожаи овощей.

Золоотстойник Усольской ТЭЦ-11 площадью 80 га был причиной экологической катастрофы, когда переполненное водное зеркало прорвало дамбу и поток зольной пульпы, пройдя 6- км участок достиг русла р. Ангары. После ремонта дамбы и заполнения отстойника золой попытались его оставить без водного зеркала, что привело к запылению прилегающих районов города. Объемов почв для создания 30-сантиметрового слоя на золоотстойнике в округе нет. Было предложено создать 30 см почвенный слой *in situ* с добавлением в золу отходов птицефабрики, опилок и последующей обработкой перемешанного субстрата микробиологическим препаратом «Байкал ЭМ – 1». На 30-см защитном слое почво-грунта посажены многолетние травы и деревья. Полностью рекультивированный 80-гектарный золоотстойник не представляет опасности для окружающей среды.

Пахотные земли Иркутского района характеризуются повышенной кислотностью. Ежегодно проводилось дорогостоящее известкование. На 3 сопряженных участках по 10 га проведены сравнительные опыты. Участки с известкованием, внесением золы углей (pH=8) сравнивались с исходными землями. Нормализованные по кислотности почвы дали лучшую всхожесть и урожайность. Внесение золы углей с высоким содержанием бора ускорили созревание пшеницы на 2 недели по сравнению со смежными участками.

Зиминский гидролизный завод оставил после своего закрытия полигон захоронения лигнина в 50 га и мощностью до 30 метров. Полигон горел более 10 лет, образовались кратеры глубиной до 20 метров. Задымление охватило автодорогу и поселки. Тушение пожара осуществлялась с помощью золы углей ТЭЦ. После полного подавления пожара в зольно-лигниновый субстрат вносили помет из птицефабрики. На полученном почво-грунте посадили облепиху.

Аналогичная работа была проведена на горящем полигоне лигнина Канского биохимического комбината. Пожар был потушен с помощью кальциевой тонкозернистой золы из отстойников Канской ТЭЦ. В верхний слой зольно-лигниновой смеси внесена почва из отстойников близлежащей птицефабрики. На месте горящего полигона сейчас зеленый луг.

На лесопильных комбинатах севера Иркутской области накоплены миллионы кубометров отходов лесопиления. Происходит постоянное возгорание опилок. Внесение специального микробиологического биопрепарата «Экорик» с последующим перемешиванием обработанных опилок с монтморилонитовой глиной не только убирает пожароопасность, но и создает почво-грунт для лесопосадок.

Рядом с горящими отходами лесопиления Свердловской области нет золоотстойников, птицефабрик и свиного комплекса. Для тушения пожаров и создания почво-грунтов перспективно использование полимиктовых песков из вскрышных пород железорудных месторождений. Тушение пожара песком с последующим перемешиванием и внесением биопрепарата «Экорик» позволит создать искусственный почво-грунт для лесопосадок и озеленения.

Осадки сточных вод очистных сооружений г. Ангарска занимают площадь на берегу р. Ангары в 8 га. Осадок представляет плотную сцементированную массу с характерным запахом и наличием патогенной микрофлоры. Структурирование осадка осуществлено с помощью

зола ТЭЦ-1. Последующая обработка почво-грунта препаратом «Байкал ЭМ-1» привела к подавлению патогенной микрофлоры и возрастанию плодородия почво-грунта.

Значительный объем работ был проведен на полигонах отходов Байкальского ЦБК. Здесь накоплено 6,2 млн. м<sup>3</sup> шлам-лигнина, 2,8 млн. т золы и 0,5 млн. м<sup>3</sup> коры.

Главными характеристиками шламов, препятствующими вывоз их за пределы БПТ, сжигание, использование в стройматериалах и т.д. являются: повышенная влажность, наличие сероводорода и метилмеркаптана. Для дегидратации шлам-лигнина в промышленности используется глинозем, для дезодорации треххлорное железо. Глиноземистые и железистые частицы составляют основную массу зол азейских углей от ТЭЦ БЦБК. Смешение золы углей со шлам-лигнином приводят к следующим эффектам: за счет воздействия глиноземистых частиц золы на жидкий шлам-лигнин, связанная с ним вода выходит в свободную водную фазу. По экспериментальным и опытно-промышленным данным выделяется до 75% связанной воды. Железистые частицы при перемешивании одновременно связывают сероводород и другие дурнопахнущие газы. Запах исчезает полностью. Остаточный уголь связывает хлороорганические соединения.

Шлам-лигнин после химической и биологической очистки складировался в картах на Солзанском полигоне промтоходов. В составе шлам-лигнина при влажности 85–90% обнаруживается кроме лигнина, полиакрилоид, глинозем, отходы отбельного цеха. В картах в шламе обнаружены цианобактерии, гифы грибов, актиномицеты, палочковидные и кокковидные формы бактерий. Из-за анаэробных условий, высокой кислотности и плотности осадков не смотря на наличие активных сообществ микроорганизмов деструкции лигнина не наблюдается. Из шлам-лигнина выделен штамм лигнин – деструктора *Bacillus subtilis* subsp. BR – 1256 ускоряющий процесс деструкции лигнина. Экологические параметры штамма: рН-7, температура 30 °С, аэробные условия. Штамм BR – 1256 использован в качестве лигнин – деструктора в опытных буртах из смеси шлам-лигнина, золы углей и коры. Наблюдалось значительное ускорение компостирования по сравнению с контрольным опытом. Почво-грунт по всем показателям соответствует ГОСТ 17.5.1.02.-85 для почв лесопитомников, на полученных почво-грунтах посажены кедры. В лесопитомнике проведено испытание почво-грунта для выращивания саженцев сосны с закрытой корневой системой. Выживаемость саженцев 92%.

Разработан проект ремедиации Солзанского полигона шлам-лигнина. В техническую стадию рекультивации карт со шлам-лигнином проводится смешивание шлам-лигнина с золой азейских углей. Высвобождается вода, уничтожаются токсичные газы: сероводород и метилмеркаптан, связывается хлороорганика. Субстрат преобразует облик почво-грунта. Аэробные условия способствуют. На биологической стадии рекультивации в зольно-лигниновый субстрат добавляются целлюлозосодержащие кора деревьев, опилки, дробленая древесина. В почво-грунт вносится лигнин-деструктор бацилла BR – 1256. Создается комплементарный плодородный почво-грунт для лесопосадок и дорожного строительства.

**Заключение.** В течение 45 лет проводятся промышленные испытания комплементарного способа создания искусственных плодородных почво-грунтов. Итогом работ стало производство пожароустойчивых, плодородных почво-грунтов для лесовосстановления и дорожного строительства из различных отходов производства. Большое значение имеет подбор биопрепаратов для компостирования. Результаты исследований отображены в 30 статьях и 8 патентах.

**Финансирование.** Работа выполнена в Лимнологическом институте СО РАН в рамках государственного задания при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проекты 0345-2019-0010, 0279-2021-0008).

## CREATION OF COMPLEMENTARY ARTIFICIAL SOILS FOR RECULTIVATION OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED TERRITORIES

Suturin A.N.

Limnological Institute of RAS SB, Russia, Irkutsk, e-mail: [san@lin.irk.ru](mailto:san@lin.irk.ru)

*Summary. Recultivation of anthropogenically disturbed lands requires a large amount of fertile soils. A complementary way of making of artificial soils from industrial wastes using differents*

*biopreparations allows to create a necessary amount of fertile soils for recultivation, forests planting and roads construction. Examples of solution of recultivation problems are given.*

*Keywords: Complementary soils, biopreparations, recultivation, forests planting.*

УДК 633.2 : 631.61

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА СЕВЕРЕ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

А.Г. Тюрюков

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, algt@inbox.ru

**Аннотация.** Установлена возможность использования травосмеси многолетних злаковых трав для проведения биологической рекультивации нарушенных земель. Рассмотрены некоторые особенности роста многолетних злаковых трав в экстремальных условиях субарктической тундры северной части полуострова Ямал.

**Ключевые слова:** Биологическая рекультивация, травостой, многолетние травы, кострец безостый, минеральное удобрение, урожайность, травосмесь.

В связи с промышленным освоением полуострова Ямал большие площади тундровых земель оказались техногенно нарушены. Природа Крайнего Севера ранима к техногенным воздействиям. Проведённые на Крайнем Севере исследования по биологической рекультивации техногенно нарушенных земель показали, что процессы их самозарастания дикорастущими растениями во времени и пространстве происходят очень медленно [1]. Поэтому поиск путей проведения биологической рекультивации в данном регионе особенно актуален.

Целью работы было изучение возможности проведения биологической рекультивации отвалов гидронамыва грунта Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения на основе использования травосмеси многолетних злаковых трав и внесения комплексных минеральных удобрений. В задачи исследований входило определение урожайности травостоя, высоты растений, густоты стояния травостоя.

**Объекты и методы исследования.** Работы по биологической рекультивации техногенно нарушенных земель проводились на территории Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения, которое расположено в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Место проведения рекультивационных работ техногенно нарушенных земель расположено севернее Полярного круга. Опытный участок находился на отвалах гидронамывного грунта, добытого со дна крупных озер.

Климат региона субарктический. Самый теплый месяц – июль, среднемесячная температура воздуха составляет +7,3°C. Продолжительность безморозного периода – 52 дня. Сумма выпавших осадков за год составляет около 400 мм.

Почва опытного участка – отвалы гидронамывного грунта, взятого со дна крупных озер. Содержание гумуса составляет 0,01–1,1%, общего азота – 0,03–0,22%, подвижного фосфора (по Чирикову) – 1,0–17,0, обменного калия – 30–120 мг/100 г почвы, рН водной вытяжки – 6,1–6,7. Все почвы легкого механического состава. Механический состав гидронамывного грунта – супесь. Методы исследования – полевой и лабораторный.

**Обсуждение результатов.** До посева злаковых многолетних трав рекультивируемые участки техногенно нарушенных земель тщательно выравнивались бульдозером и планировщиком. Для проведения посева семян многолетних трав и рядкового внесения минеральных удобрений использовали сеялку СЗТ–3,6А в агрегате с гусеничным трактором Т–170. Глубина заделки семян многолетних злаковых трав составила 1–2 см. Посев многолетних трав провели 10 июля 2016 года, что является оптимальным сроком посева для данного региона. Послепосевное прикатывание почвы не проводили, так как влаги в гидронамывном грунте находилось в избытке. Таким образом, особенность данной технологии в том, что практически никаких обработок до посева семян многолетних трав не проводилось.



Для создания благоприятных условий роста, развития и повышения холодостойкости и зимостойкости многолетних растений применяли рядковое внесение комплексного минерального удобрения. Использовали азофоску с содержанием 15% действующего вещества каждого основного элемента питания растений. Доза внесения минеральных удобрений – (NPK)<sub>90</sub>. Без внесения минеральных удобрений многолетние растения значительно отставали в росте и развитии и плохо переносили перезимовку [2].

В данном регионе наиболее эффективна травосмесь из злаковых многолетних трав, так как климатические условия региона близки к экстремальным. Регион северный, поэтому общая норма высева семян травосмеси составила 160 кг/га, из них костреца безостого – 80 кг/га, тимофеевки луговой – 40 кг/га, овсяницы красной – 20 кг/га и овсяницы луговой – 20 кг/га.

Учеты, наблюдения и обработка полученных данных проводилась с помощью общепринятых методик [3, 4]. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [5] с помощью пакета прикладных программ SNEDECOR V3 [6].

Результаты химического анализа грунта гидронамывных карьеров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химический анализ грунта гидронамывных карьеров до проведения биологической рекультивации

Номер образца	Гумус, %	Азот			Фосфор подвижный (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/кг (по Чирикову)	Калий обменный (K <sub>2</sub> O), мг/кг	рН водн.
		общий, %	аммиачный (NH <sub>4</sub> ), мг/кг	нитратный (NO <sub>3</sub> ), мг/кг			
1	0,44	0,10	14,0	1,9	2,0	33	5,8
2	0,54	0,08	15,0	1,8	3,0	34	5,6
3	0,38	0,07	16,0	2,0	1,0	37	5,7
4	0,44	0,06	14,0	1,7	2,0	34	5,5
5	0,54	0,11	12,0	1,6	1,0	37	5,4
6	0,64	0,08	8,0	1,4	2,0	40	5,4
7	0,57	0,07	11,0	1,5	1,0	32	5,5
8	0,52	0,08	12,0	1,4	2,0	34	5,6
9	0,51	0,07	14,0	1,6	1,0	32	5,7
10	0,24	0,09	10,0	1,5	2,0	35	5,4
Среднее	0,51	0,08	12,6	1,6	1,7	35	5,6

Содержание гумуса в грунте гидронамывных карьеров составляет 0,24–0,64%, что свидетельствует об очень низком их плодородии. Общего азота содержится 0,06–0,11%, аммиачного азота – 8,0–16,0 мг/кг почвы, нитратного азота – 1,4–2,0 мг/кг почвы. Подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) содержится 1,0–3,0, обменного калия (K<sub>2</sub>O) – 32–120 мг/кг почвы. Реакция почвенной среды слабокислая, рН водной вытяжки составляет 5,4–5,8.

Основных элементов питания растений содержится в гидронамывном грунте очень мало, что недостаточно для нормального роста и развития многолетних трав. Поэтому на данных грунтах необходимо внесение комплексных минеральных удобрений.

В первый год жизни травостоя многолетних злаковых растений высота их составила 5–10 см. Наиболее развитыми в травостое были растения костреца безостого, наименее – тимофеевки луговой (рис. 1).

Высота растений костреца безостого составила 10 см, овсяницы луговой – 7 см, овсяницы красной и тимофеевки луговой – 6 см. Длина подземной части растений была значительно меньше надземной. Корни многолетних трав проникли на глубину 5–10 см.

На второй год жизни травостоя фазы колошения многолетние злаковые травы не достигали. К концу вегетации растений их высота составляла 10–30 см. Глубина проникновения корней – 10–17 см. Причем надземная вегетативная масса значительно превышала подземную массу корней и корневищ, что характерно для условий Крайнего Севера [7]. На местах стояния поверхностных и талых вод отмечалась значительная гибель многолетних злаковых растений от вымокания.

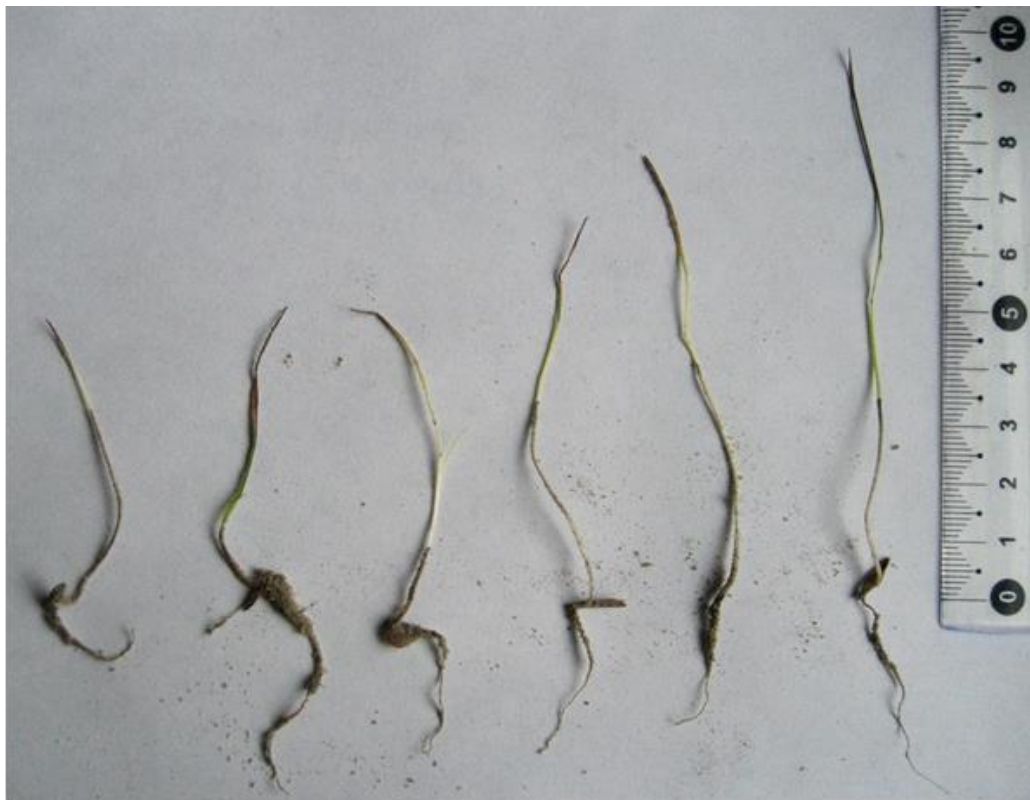


Рисунок 1. Многолетние злаковые травы в первый год жизни травостоя

На третий год жизни травостоя его проективное покрытие составило 40–60%. Наиболее сильно в травосмеси развились растения костреца безостого: высота их достигала 49 см, количество побегов составило 64 шт./м<sup>2</sup>, глубже проникновение корневой системы – 20 см; наименее – растения тимофеевки луговой: 40 см, 23 шт./м<sup>2</sup> и 17 см, соответственно. Овсяница луговая полностью выпала на второй год жизни травостоя (табл. 2).

Таблица 2. Показатели злаковых многолетних растений на третий год жизни травостоя. Фон (NPK)<sub>90</sub>. (12 августа 2018 г.)

Вид многолетнего растения	Урожайность сухой массы, ц/га	Количество побегов на 1 м <sup>2</sup> , шт.	Высота растений, см	Глубина проникновения корней, см
Кострец безостый	4,4	64	49	20
Тимофеевка луговая	1,3	23	40	17
Овсяница красная	2,9	57	34	19
Овсяница луговая	–	–	–	–
Дикорастущие растения	0,8	70	15–60	15–23
Сумма	9,4	214	–	–
Среднее	–	–	41	18,7
НСР <sub>05</sub>	1,4			

Общая урожайность сухой массы травосмеси многолетних злаковых трав составила 9,4 ц/га, из которой на долю костреца безостого приходится 4,4 ц/га или 47%, тимофеевки луговой – 1,3 ц/га или 14%, на долю овсяницы красной – 2,9 ц/га или 31%, дикорастущих растений – 0,8 ц/га или 8%. Растения костреца безостого оказались наиболее экологически адаптированным видом среди испытанных многолетних злаковых трав [8–10].

На момент проведения наблюдений глубина оттаивания гидронамывного грунта составила 40–85 см.

Генеративные побеги у злаковых многолетних трав в тундровой зоне Заполярного Ямала формировались только на третий год жизни травостоя. В условиях субарктического климата Ямала семена многолетних злаковых трав не успевали вызреть.

В данном регионе очень медленно происходят процессы минерализации растительных остатков, поэтому высохшая надземная фитомасса сохраняется в течение длительного времени.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования в условиях Заполярного Ямала свидетельствуют о реальной возможности проведения биологической рекультивации карьеров гидронамыва грунта путем посева травосмеси многолетних злаковых трав с обязательным рядковым внесением комплексных минеральных удобрений в дозе (NPK)<sub>90</sub>.

Генеративные побеги у злаковых многолетних трав в тундровой зоне Заполярного Ямала формировались только на третий год жизни травостоя.

В условиях субарктического климата семена многолетних злаковых трав не успевали вызреть, поэтому их необходимо завозить из других регионов.

#### Литература

1. Денисов Г.В. Агрофитоценоотические аспекты травосеяния в зоне вечной мерзлоты. Новосибирск: Наука. 1984. 247 с.
2. Коровин А.И. Эколого-физиологические особенности роста и развития растений на холодных почвах Севера // Проблемы освоения пойм северных рек. М.: Агропромиздат, 1987. С. 77–84.
3. Методика опытов на сенокосах и пастбищах. Ч. 1. М.: ВНИИ кормов, 1971. 174 с.
4. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ кормов, 1987. 196 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985. 351 с.
6. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.
7. Денисов Г.В. Травосеяние в зоне вечной мерзлоты (эколого-биологические основы). Новосибирск: Наука, 1983. 222 с.
8. Кашеваров Н.И., Осипова Г.М., Тюрюков А.Г., Филиппова Н.И. Результаты изучения костреца безостого *Bromopsis inermis* Leys и его использование в экстремальных условиях среды // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 14–17.
9. Кашеваров Н.И., Тюрюков А.Г., Осипова Г.М. Урожайность костреца безостого в разных природно-климатических зонах Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2015. №11. С. 81–83.
10. Kashevarov N.I., Osipova G.M., Tyuryukov A.G. Investigation of the characteristics of smooth bromegrass (*Bromopsis inermis* Leys) biological traits for cultivation under extreme environmental conditions // Russian Agricultural Sciences. // <http://link.springer.com/article/10.3103/S1068367415010085>. V. 41. Issue 1. 2015. pp. 14–17.

#### FEATURES OF BIOLOGICAL RECULTIVATION IN THE NORTH OF THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS OKRUG

A.G. Tjurjukov

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, algt@inbox.ru

*Summary.* The possibility of using a grass mixture of perennial grasses for biological recultivation of disturbed lands has been established. Some features of the growth of perennial grasses in extreme conditions of the subarctic tundra of the northern part of the Yamal Peninsula are considered

*Keywords:* Biological recultivation, herbage, perennial grasses, smooth bromegrass, fertilizer, yield, grass mixture.

УДК 579.69

## МИКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕМЕДИАЦИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Н.В. Фомина<sup>1</sup>, М.М. Патрушева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН», Красноярск, natvalf@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, patrusheva1998@mail.ru

**Аннотация.** *Описана роль некоторых грибов в деградации различных видов загрязнителей и охарактеризованы механизмы, используемые ими для удаления токсичных веществ. Представлены факторы повышения скорости и эффективности процесса микоремедиации, определяющие интенсивность процесса очистки разных природных сред.*

**Ключевые слова:** *грибы, загрязнители, биоремедиация, микоремедиация, ферменты, биохимический потенциал грибов.*

**Введение.** Быстрый рост населения и индустриализация способствуют истощению природных ресурсов и накоплению побочных продуктов антропогенной деятельности в окружающей среде. В качестве наиболее токсичных загрязнителей разных природных сред можно обозначить такие как: тяжелые металлы, летучие органические соединения, синтетические красители, пестициды и др. Снизить их вредное влияние на экосистемы можно путем либо полного, либо частичного разложения [1, 2].

Существуют разнообразные физические, химические или биологические механизмы для устранения их токсического воздействия на окружающую среду [3]. При этом, биоремедиация является своего рода механизмом, при котором загрязняющие вещества превращаются в неопасные соединения с помощью биоремедиантов (живых организмов): грибов, бактерий, водорослей.

Успешное осуществление биоремедиации напрямую зависит от использования ферментативного потенциала микроорганизмов, используемого для разложения органических загрязнителей и перевода их менее токсичную форму, т.е. минерализации [4, 5].

Известно, что грибы являются аккумуляторами токсикантов в плодовых телах или мицелии. При этом, покрывая поверхность поллютанта мицелием, происходит биоосорбция. Отмечается, что грибы обладают достаточно активным метаболизмом за счет имеющихся у них ферментов, в первую очередь, таких как: пероксидаза, лакказа, монооксигеназы, трансферазы и т. д. Высокое отношение клеток к поверхности, определяет лучший контакт грибов с окружающей средой как физически, так и ферментативно. Кроме того, биомасса грибов обладает отличными сорбционными характеристиками и может быть легко культивирована в больших масштабах с помощью простых методов ферментации [6, 7].

Установлено, что применение различных микробных катализаторов необходимо для биологической деградации и детоксикации токсичных химических веществ. При этом, серьезной угрозой для окружающей среды являются стойкие соединения, такие как полиароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные дибензо-*n*-диоксины (ПХДД) и полихлорированные дибензофураны (ПХДФ). Как правило, в качестве способов очистки используются либо биостимуляция, либо биоаугментация или их комбинация.

Определено, что грибы являются живыми организмами, способными разлагать достаточно широкий спектр загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, полиароматические углеводороды (ПАУ), пестициды, компоненты нефти, красители и многие другие опасные и токсичные соединения до более простых молекул [8]. Микоремедиация с использованием различных видов грибов имеет потенциал для развития, поскольку это экологически чистый и экономически эффективный метод биоремедиации.

**Обсуждение.** Биоремедиация является процессом удаления и разложения вредных токсичных загрязнителей, присутствующих в окружающей среде, до более простых форм с помощью биохимического потенциала микроорганизмов. При этом, использование грибов, а также консорциумов микроорганизмов, является эффективной, рентабельной и экономичной стратегией защиты окружающей среды по сравнению с другими традиционными методами. Различия в морфологии и метаболической способности грибов, определяет их важную роль в



биоремедиации.

Разнообразные группы грибов из разных мест обитания обладают огромным потенциалом для удаления различных токсичных веществ и ксенобиотиков. Установлена роль грибов в биоремедиации органических загрязнителей, текстильных красителей, стоков текстильной промышленности, нефти, полиароматических углеводородов, пестицидов, фармацевтических препаратов [9–11].

Актуальность микоремедиации обоснована тем, что грибы:

- ✓ являются базовыми микроорганизмами, ответственными за разложение органических веществ в окружающей среде;
- ✓ обладают уникальной способностью удалять загрязняющие вещества путем поглощения (биосорбция или биоаккумуляция);
- ✓ продуцируют неспецифические внутриклеточные и внеклеточные ферменты, обладающие высокой каталитической способностью превращать загрязняющие вещества в менее токсичные или безвредные соединения.

Установлено, что грибы *Aspergillus* и *Penicillium*, могут участвовать в биодegradации окрашенных стоков текстильной, сахарной и целлюлозно-бумажной промышленности.

Благодаря лигнинолитическим внеклеточным ферментам грибы обладают способностью адсорбировать красители, что обуславливает возможность их применения в их деградации. Известен также биоремедиационный потенциал грибов *A. niger* и *P. chrysosporium* показывающий возможность утилизировать углеводороды в нефтезагрязненной почве.

Поверхностно-активные вещества (ПАУ) относятся к наиболее сложным органическим соединениям, а грибы считаются эффективным средством их биоремедиации.

ПАУ представляют собой высокостабильные, поликонденсированные ароматические кольца, которые легко разрушаются под действием фермента липазы грибов. Установлена более высокая продукция липазы у следующих штаммов грибов (*Aspergillus*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*).

В целом, микодетоксикация загрязнителей окружающей среды происходит посредством различных ферментативных процессов, биоадсорбции и хелатирования, например, тяжелых металлов и ПАУ.

Такие ферменты грибов, как амилазы, протеазы, целлюлазы, ксиланазы, липазы, лакказы, пероксидазы, каталазы, имеют промышленное значение с точки зрения переработки органических отходов. Они участвуют в гидролизе полимерных веществ (целлюлозы, ксилана, крахмала, белков и липидов), пищевых отходов [10, 11].

Грибы могут модулировать pH своей микросреды вокруг гиф, чтобы лучше поглощать неорганические соединения. Таким образом, они могут совместно поглощать другие элементы с аналогичными химическими и физическими характеристиками (хотя они бесполезны или токсичны) даже при дефиците минеральных питательных веществ.

Различные валентные состояния и формы тяжелых металлов иногда оказывают обратное воздействие на микробов, когда они становятся токсичными для микробов, что в конечном итоге влияет на их эффективность восстановления. Следует указать, что факторы окружающей среды, такие как pH почвы, влажность, температура и аэрация, также влияют на эффективность биоремедиации. Исследования показали, что pH является основным решающим фактором эффективности биоремедиации ПАУ и тяжелых металлов [12–14].

Таким образом, понимание экологии и биологии различных видов грибов в различных экосистемах, а также их взаимодействия с живыми и неживыми организмами имеет важное значение для поддержки эффективных и инновационных технологических разработок. В таблице 1 представлены некоторые загрязнители и микоремедианты, осуществляющие процесс их детоксикации и разрушения и биохимические характеристики грибов, определяющие эффективность данных процессов.

Таким образом, степень деградации разных видов загрязнителей может зависеть от состава внеклеточного лигнинолитического комплекса грибов. Например, в присутствии одного лигнинолитического фермента лакказы происходит накопление хиноновых метаболитов, а их дальнейшая утилизация возможна уже с участием лигнинолитических пероксидаз. Поэтому, для правильного подбора штаммов грибов для микоремедиации необходимо не только идентификации образующихся метаболитов, но и изучение активности основных

лигнолитических ферментов.

Таблица 1. Основные загрязнители и возможные микоремедианты

№ п/п	Загрязняющие вещества	Грибы	Биохимическая характеристика
1.	Красители	<i>Aspergillus flavus</i>	Лакказы, марганцевая пероксидаза и лигнинпероксидаза в деградации красителей
2.	Пестициды	<i>Botryosphaeria laricina</i> , <i>Aspergillus glaucus</i> , <i>Trametes pavonia</i> , <i>Penicillium spiculisporus</i> , <i>Penicillium verruculosum</i>	Лигнинолитические ферменты, этерификация, диоксигенация, дегидрирование, дехлорирование, деградация
3.	Антибиотики	<i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Leptosphaerulina sp.</i> , <i>Irpex lacteus</i> , <i>Lentinula edodes</i>	Пероксидаза, лакказы, марганцевая пероксидаза, система цитохрома 450
4.	Фармацевтика	<i>Mucor hiemalis</i> , <i>Trametes versicolor</i> , <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Лигнинолитические ферменты и цитохром 450
5.	Цианотоксины и цветение водорослей	<i>Mucor hiemalis</i> , <i>Trametes versicolor</i> , <i>Trichoderma citrinoviride</i>	Лакказы, гидролаза, протеаза, целлюлаза и пероксидаза марганца
6.	Полициклические ароматические углеводороды	<i>Phanerochaete chrysosporium</i> , <i>Trametes versicolor</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Pleurotus eryngii</i> , <i>Cochliobolus lunatus</i>	Лигнинолитические ферменты, монооксигеназа цитохрома P-450, диоксигеназа, дегидрогеназы, FAD-зависимые монооксигеназы, глутатионтрансфераза и эпоксидгидролазы, опосредованные деградацией
7.	Тяжелые металлы	Виды <i>Aspergillus</i> , виды <i>Fusarium</i> , виды <i>Pleurotus</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Trichoderma ghanense</i> , <i>Penicillium rubens</i>	Лигнинолитические ферменты и ферменты-антиоксиданты

Интерес к изучению параметров биоремедиации, осуществляемой с помощью грибов, актуален благодаря наличию у данной группы организмов биохимического потенциала для детоксикации и биодеградации из-за присутствия внеклеточных и внутриклеточных ферментов, включая лакказы и пероксидазу. Выделяя значительное количество различных внеклеточных ферментов, грибы обладают устойчивостью к высоким концентрациям токсикантов, а способность грибов выживать в разнообразных средах обитания, определяет возможность использования их для биоремедиации в разных экосистемах.

**Заключение.** Биоремедиация является легкоадаптируемым, экологически безопасным способом восстановления окружающей среды, позволяющим детоксицировать загрязнители в менее токсичные формы. Данный метод основан на способности как совместного взаимодействия микроорганизмов, так и на работе отдельных групп, формируя определенную специфичность.

Биоремедиация, при которой разные виды грибов используются для обеззараживания загрязненных территорий, является микоремедиацией. Благодаря морфологическим особенностям и высокому метаболическому потенциалу, грибы являются наиболее распространенными редуцентами и симбионтами в почве и в воде, следовательно, могут эффективно использоваться для биовосстановления нарушенных экосистем. Основные преимущества грибного мицелия в отношении загрязняющих веществ заключаются в солубилизации нерастворимых субстратов под действием внеклеточных ферментов по сравнению с одноклеточными организмами. В данном случае, факторы высокой деградационной способности связаны с повышенным отношением клеток грибов к поверхности и их способности эффективно контактировать с окружающей средой как физически, так и ферментативно (лакказы и пероксидазы). Соответственно, помимо действия

ферментов, в качестве механизма очистки используется, и абсорбция биомассой грибов. Таким образом, создавая схемы скрининга выявления потенциальных инструментов микоремедиации необходимо ориентироваться на биохимические возможности грибов.

#### Литература

1. Остроумов С.А. Биоконтроль загрязнения водной среды: проблемы реабилитации и ремедиации, включая фиторемедиацию и зооремедиацию // Токсикологический вестник. 2009. №. 6 (99). С. 31–38.
2. Позднякова Н.Н., Турковская О.В. Биотехнологический потенциал лигнинолитических грибов в процессе микоремедиации нефтезагрязненной почвы // Перспективы развития химических и биологических технологий в 21-м веке. 2015. С. 122–127.
3. Позднякова Н.Н., Турковская О.В. Микоремедиация: теоретические и практические аспекты // Экотоксикология-2020. 2020. С. 150–152.
4. Varjani S.J., Patel R.K. Fungi: a remedy to eliminate environmental pollutants // Mycoremediation and Environmental Sustainability: Volume 1. 2017. С. 53–67.
5. Goltapeh E.M., Danesh Y.R., Varma A. (ed.). Fungi as bioremediators // Springer Science & Business Media. 2013. Т. 32. P.300.
6. Chugh M., Kumar L., Bharadvaja N. Fungal diversity in the bioremediation of toxic effluents // Development in Wastewater Treatment Research and Processes. Elsevier. 2022. С. 61–88.
7. Khatoon H., Rai J. P. N., Jilani A. Role of fungi in bioremediation of contaminated soil // Fungi bio-prospects in sustainable agriculture, environment and nano-technology // Academic Press. 2021. С. 121–156.
8. Negi B. B., Das C. Mycoremediation of wastewater, challenges and status: A review // Bioresource Technology Reports. 2023. С. 101409.
9. Pozdnyakova N.N. et al. Ligninolytic basidiomycetes as promising organisms for the mycoremediation of PAH-contaminated Environments // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2018. Т. 107. №. 1. С. 012071.
10. Singh A., Kumari R., Yadav A.N. Fungal Secondary Metabolites for Bioremediation of Hazardous Heavy Metals // Recent Trends in Mycological Research: Volume 2: Environmental and Industrial Perspective. 2021. P. 65–98.
11. Singh A., Roy A. Fungal communities for the remediation of environmental pollutants // Recent Trends in Mycological Research: Volume 2: Environmental and Industrial Perspective. 2021. С. 127–165.
12. Tomasini A., León-Santesteban H.H. The role of the filamentous fungi in bioremediation // Fungal Bioremediation. CRC Press, 2019. P. 3–21.
13. Hota S. et al. Fungal communities for bioremediation of contaminated soil for sustainable environments // Recent Trends in Mycological Research: Volume 2: Environmental and Industrial Perspective. 2021. P. 27–42.
14. Yadav A.N. et al. Environmental and Industrial Perspective of Beneficial Fungal Communities: Current Research and Future Challenges // Recent Trends in Mycological Research: Vo. 2: Environmental and Industrial Perspective. 2021. P. 497–517.

#### MYCOLOGICAL REMEDIATION: OPPORTUNITIES AND PROSPECTS

N.V. Fomina<sup>1</sup>, M.M. Patrusheva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> V.N. Sukachev Institute of Forest SB of RAS, Krasnoyarsk, natvalf@mail.ru

<sup>2</sup>FGBOU VO "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev", Krasnoyarsk, patrusheva1998@mail.ru

*Summary. The role of some fungi in the degradation of various types of pollutants is described and the mechanisms they use to remove toxic substances are characterized. The factors of increasing the speed and efficiency of the mycoremediation process that determine the intensity of the purification process of various natural environments are substantiated.*

*Keywords: fungi, pollutants, bioremediation, mycoremediation, enzymes, biochemical potential of fungi.*

## REDUCING SOIL MINERALIZATION USING DENGIZKUL COLLECTOR WATERS

Z.F. Khodjaeva<sup>1, a)</sup> and N.E. Rashidov<sup>2, b)</sup>

<sup>1</sup>Bukhara State University, Bukhara, 200100, Uzbekistan

Corresponding author: a) z.f.xodjaeva@buxdu.uz, xadjaeva@2993gmail.com

b) n.e.rashidov@buxdu.uz, rashidovnegmurod@gmail.com

**Summary.** *The article presents experiments carried out within the territory of the Dengizkul Collector. In particular, the effective technological uses of Agriculture in the farming sector have been cited by reducing mineralization in collector water using meliorant algae*

**Keywords:** *microscopic algae, plankton, benthos, hydrobiont, salinity, meliorant, monitoring, hydrochemical.*

**Introduction:** today, special attention is paid to monitoring the state of water bodies prone to anthropogenic pressure, determining the factors affecting the state of hydrobionts in them and introducing promising types into efficient development. In particular, variations in hydrological and hydrochemical indicators of inland water bodies distributed in local areas have been identified, and ways to develop fisheries in them have been developed based on various hydrobionts, including algae. As you know, salts are constantly changing in the structure of soils, watering brine and crops in places where there are collector-plant networks, processing between the rows leads to a decrease in salts, but on the contrary, not working at the required level of collector-plant networks, settling mineralized grunt waters close to the surface of the Earth, not washing the brine, The result is a change in salts for the season or a year, either positive or negative.

**Literature analysis and research methods:** in conditions of water scarcity, taking into account the above, it is difficult to obtain a stable, high yield from agricultural crops, to create additional water reserves. Scientific research has been carried out by several scientists in this regard, and effective and high results have been obtained. Including a.Khamidov conducted scientific research on improving the reclamation of land in the lower reaches of the Amudarya, as well as desalination of saline lands by phytomelioration. D.S.Yadavov, S.Azimov, M.L.Ikramovas studied the procedures for irrigation of acorns in the conditions of the Bukhara region in which the waters of sizot are located at different depths, groundwater is located at a depth of up to 2 m, mechanical composition irrigation in heavy soils is found in the system 1-2-1, groundwater is in the system 1-4-1 on land located at a depth of 2–3 m,

Research work began in the spring season of 2020–2023 and was carried out in field and laboratory conditions. Hydrobiological samples were collected from the Dengizkul collector of the Bukhara region once a month. The main three streams of the Dengizkul Collector were covered during the research:

Upper reaches of Kagan district, Bukhara region;

Middle stream of Jandar district, Bukhara region;

Lower reaches of Karakul District, Bukhara region;

Analysis of the physicochemical state of water consists of two types.

1. Hydrochemical analysis in field conditions.

2. Hydrochemical analysis under laboratory conditions

In field conditions, indicators of water temperature, color, clarity, turbidity and  $r_n$  were determined. With the air temperature thermometer "TSN -15", The temperature of the water should be determined using the number thermometer Wt-1, and the thermometer should be kept at a sampling depth of at least 7–10 minutes to determine the temperature. A common technique for determining the clarity of water is the Sekki disc (a white plate with a diameter of 20 cm is mounted on a measuring rope).

The water environment  $R_N$  i.e., the amount of hydrogen ion of water ( $r_n$ )– was measured using indicator paper and the LPU-01 brand  $R_N$  in meters. The light was measured on the Yu-16 brand luxmeter instrument. During the experiment, a DRL-400 lamp was used to provide light to algae in laboratory conditions. All remaining indicators of water were determined in laboratory conditions. In the conditions of laboratory, the Scientific Laboratory of biotechnology and ichthyology of Bukhara State University and the scientific laboratory of yu under the State Committee for Ecology and Environmental Protection. Yu.Lore[6; 446-b] and N.S.Stroganov[13; 195-B] were analyzed in terms of styles.



Plankton collection consists of two types: qualitative and quantitative samples. In this, the Apstein Capron net was used. Capron No. 76, water inlet diameter No. 20. Samples from Benthos and periphyton were collected by hand, using a scalpel and knife. In determining the amount of phytoplankton, plankton samples were collected mainly with a specially prepared bottle of kefir (up to 0.5; 3M depth). The collection of Material and its reanalysis was carried out according to the generally accepted style. The samples were collected and a few drops of 4% formalin were instilled into it, and no formalin was added to the sample to isolate the algologically clean cell, and the number of species in both cases was determined. In the process of work, the XDS-3, B-380 microscope was used. Phytoplankton levels were found at ECZ/L, and biomass at mg, g/m<sup>3</sup>. In laboratory conditions, an increase in cells was observed, and the number was determined through the Goryaev camera. At the end of the experiment, the cells of the algae were isolated using centrifuga[4,7].

The following authors' styles [5; 50-54-B,] were used to distinguish algologically pure species from the identified algae from plant species identifiers [11; 350-B, 12;405-B], and extract biomass from algae species in the waters of the Dengizkul collector. When determining the number and biomass of phytoplankton, G.K. Plotnikov (2017) [10; 282-b] et al.

Results of the study: during the research, scientific research was carried out on the biological reduction of mineralization of collector-freshwater waters using small ryaska (*Lemna minor*), azolla (*Azolla caroliniana*) and eichhornia (*Eichhornia crassipes*) meliorant-aquatic plants, as well as the use of purified water in irrigation. In the course of experiments, the mineralization of the Collector-plant Waters was biologically reduced and carried out with these waters on the irrigation of the Acorn.

The results of the experiment to study the growth and development of aquatic plants in the waters of the Collector-plant were carried out mainly in small pools dug next to the Collector-plant. The size of the pools dug next to the Collector hole: 11 meters long and 8 meters wide, and the depth of the pool, that is, the bottom of which was 2.2 meters lower than the level of the Collector-reservoir water, was installed in the basin to extract water from the Collector-reservoir and discharge facilities.

In experiments, it was initially found that the pond water was dominated by small ryaska (*Lemna minor*), azolla (*Azolla caroliniana*), and eichhornia (*Eichhornia crassipes*) aquatic plants. In the course of the experiment, it was determined that in all years an aquatic plant was initially planted on an area of 20 m<sup>2</sup> in the pool water, covering the pool surface every 12 hours (Table 1).

When the results of the research on the growth and development of aquatic plants were analyzed, plants were planted in all variants in the amount of 20 m<sup>2</sup> per pond water.

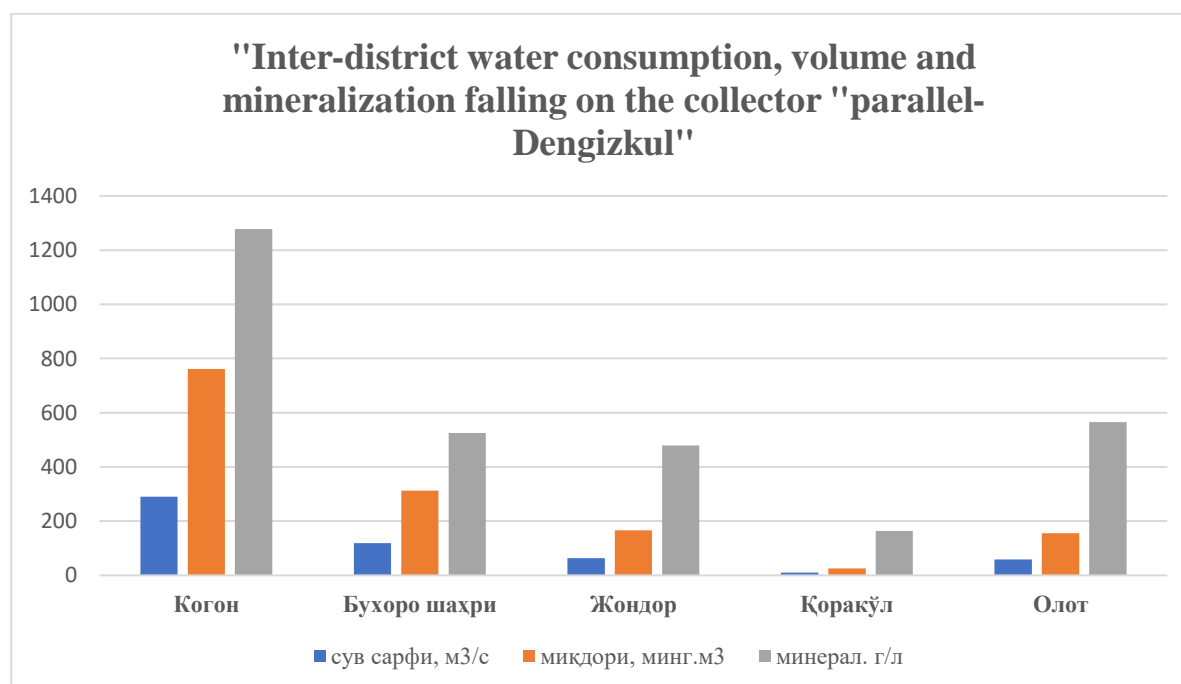
Table 1. Reproduction of Algae in pond waters, accumulation of biomass

Duration of observation (hour)	The area covered by the Algae, m <sup>2</sup> .		
	<i>Lemna minor</i>	<i>Azolla caroliniana</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
Originally	20	20	20
12	22	24	21
24	26	28	21
36	30	32	23
48	36	38	23
60	42	44	24
72	45	48	24
84	50	54	25
96	53	62	26
108	59	68	26

120	66	74	28
144	73	82	28
168	78	84	28
180	84	88	29
192	88	88	29
204	88		30
<b>Biomass</b>	<b>23 кг</b>	<b>21 кг</b>	<b>46 кг</b>

During the observations, when experiments were carried out on the growth and accumulation of biomass in the waters of the algae collector-plant, initially the amount of *Lemna minor* algae at the beginning of the experiment was 6 kg, going to the end of the experiments, that is, after 9 days its biomass content was 23 kg. While the *Azolla caroliniana* algae was originally planted in peat water at the beginning of the experiments in an amount of 5 kg, by the end of the experiments, the biomass of the *Azolla caroliniana* algae was 21 kg. If, when the results of the experiment on the water plant *Eichhornia crassipes* were analyzed, initially planted at the beginning of the experiment in the amount of 28 kg in pond waters, then by the end of the experiments, the biomass of the water plant *Eichhornia crassipes* was 46 kg.

In 2020, the average water consumption was 16.1 m<sup>3</sup> /c, mineralization was 5,867 g/L, and water volume was 507.1 thousand m<sup>3</sup>. (Diagram 1)



The content of chlorides in Dengizkul water is 966.05–879.1 mg/l, it was found that sulfates are present in a high concentration of 2261.4–1931.2 mg/l, seasonal due to water glare, the degree of salinity is due to chlorides sulfates [8, 9]. The biogenic elements contained in the water are absorbed by nitrogen-containing and phosphorus-containing compounds, bottom and high plants in the lake. In scientific research, the amount of collector-worm water No. 3 in Region 1, where the *Lemna minor* water plant was planted in collector-worm water by the end of experiments, initially decreased to 13 mg/L and amounted to 22 mg/l, while the amount of PO<sub>4</sub> was equal to 13 mg/L at the end of the experiment, as well as Going to the end of the experiment in Area 2, where the *Azolla caroliniana* was planted in collector-sulfur waters, the nitrate ion content in collector-sulfur water increased to 12 mg/l compared to the beginning of the experiment to 47 mg/l, while the PO<sub>4</sub> content decreased to 6 mg/l compared to the beginning of the experiment to 11 mg/l. In contrast, the potassium content in

collector-worm water decreased to 7 mg/l compared to the beginning of the experiments and was equal to 35 mg/l. Also, in Region 3, where the water plant *Eichhornia crassipes* was planted in collector-plant waters, the amount of collector-plant water decreased to 19 mg/l compared to the experimental head and amounted to 16 mg/l, while the amount of PO<sub>4</sub> was equal to 11 mg/l, respectively, and the amount of potassium was equal to 19 mg/l.

**Conclusion:** plant species that grow in wetlands rich in organic matter produce large amounts of green biomass in conjunction with biological treatment of water from minerals. This ensures the growth and development of green algae at the expense of mineral substances and cleanses them of all kinds of toxic chemicals in the composition of zovur water. The large amount of biomass generated can be used in many areas of Agriculture.

### References

1. Yadavov D.S., Azimov S., Ikromova M.L. Rational and effective use of water is a guarantee of a rich harvest of cotton // PSUEAITI of the international scientific conference on Atomic Energy. Tashkent, 2003, pp. 118–120.
2. Rashidov N.E. Algoflora of collectors of the Bukhara region (monograph) Bukhara-"Masterpiece", 2020. pp. 7–13.
3. Khodjaeva, Z. (2022). Geograficheskoe pologenie I Ekologicheskiiy analiz kollektora Dengizkul. Tsentr nauchnich publikasiiy (buxdu.Uz), 8 (8). [http://journal.buxdu.uz/index.php/journals\\_buxdu/article/view/5782](http://journal.buxdu.uz/index.php/journals_buxdu/article/view/5782)
4. Khodjaeva, Z. (2022). Sezonniiy analiz rva Denizkul sentr nauchnich publikasiiy (.buxdu.Uz),(8).[http://journal.buxdu.uz/index.php/journals\\_buxdu/article/view/4984](http://journal.buxdu.uz/index.php/journals_buxdu/article/view/4984) ODG582. 232. 263. 7
5. Alekin O.A. Ximicheskiiy analiz vod sushi. L.: Hydrometeoisdat, 1954. 199 P.
6. Lore Yu.Yu. Analiticheskaya khimiya promishlennix stochnix VOD. Moscow.: Khimiya, 1984. 446 P.
7. Khodjayeveva, Z. Hydrochemical analysis VOD srednego techeniya kollektora Seikkul // Центр научных публикаций. 2022. (buxdu.Uz), 7 (7). izvlecheno horse [http://journal.buxdu.uz/index.php/journals\\_buxdu/article/view/4973](http://journal.buxdu.uz/index.php/journals_buxdu/article/view/4973)
8. Khodjayeveva Z. Suvo'tlari yordamida Dengizko'l kollektori suvlarini organo-mineral moddalardan tozalash // Центр научных публикаций. 2023. (buxdu.Uz), 35(35). URL: [https://journal.buxdu.uz/index.php/journals\\_buxdu/article/view/9955](https://journal.buxdu.uz/index.php/journals_buxdu/article/view/9955)
9. Khodjayeveva, Z. Algae of the Dengizkul Collector Waters // Центр научных публикаций. 2023 (buxdu.Uz), 39(39).
10. Plotnikov G.K., Pescova T.Yu., Shkute A., Pupinia A., Pupinsch M. Sbornik klassicheskix metodov hydrobiologicheskix issledovaniy dlya ispolzovaniya V aquaculture. M.: Akademicheskoe Izdatelstvo Daugavpilsskogo universiteta. Saule, 2017. 282 P.
11. Muzafarov A.M., Ergashev A, E., Khalilov S. Opredelitel sinezelenix hydrogenosley Sredney Azii. Kn.2. Organizational.: Fan. 1988. pp. 406–892.
12. Kvitko K. Poluchenie Kultur ot otdelnix kletok chlorelli // Issledovaniya po genetike. L.: LGU. 1961. pp. 50–54.
13. Strogonov N.S. Prakticheskoe rukovodstvo po hydroximii. Moscow. 1980. 195 P.

### СНИЖЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОД ДЕНГИЗКУЛЬСКОГО КОЛЛЕКТОРА

З.Ф. Ходжаева<sup>1</sup>, а) и Н.Э. Рашидов<sup>2</sup>, б)

Бухарский государственный университет, Бухара, 200100, Узбекистан

Автор-корреспондент: а) [z.f.xodjaeva@buxdu.uz](mailto:z.f.xodjaeva@buxdu.uz), [xadjaeva@2993gmail.com](mailto:xadjaeva@2993gmail.com)

б) [n.e.rashidov@buxdu.uz](mailto:n.e.rashidov@buxdu.uz), [rashidovnegmurod@gmail.com](mailto:rashidovnegmurod@gmail.com)

*Аннотация.* В статье представлены эксперименты, проведенные на территории Денгизкульского коллектора. В частности, было указано на эффективное технологическое использование сельского хозяйства в фермерском секторе путем снижения минерализации коллекторной воды с использованием водорослей-мелиорантов.

*Ключевые слова:* микроскопические водоросли, планктон, бентос, гидробионт, соленость, мелиорант, мониторинг, гидрохимический.

УДК 631.416

## СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ СОВМЕСТНОГО ПИРОЛИЗА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ЛИГНИНСОДЕРЖАЮЩЕЙ БИОМАССЫ НА СВОЙСТВА БИОЧАРА И ЕГО АДсорбЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ

О.Е. Хронюк, Т.В. Бауэр, Т.М. Минкина, В.Э. Болдырева

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, [hronuyk@sfedu.ru](mailto:hronuyk@sfedu.ru)

**Аннотация.** Для восстановления почв, загрязненных тяжелыми металлами, применяются адсорбенты различного рода. В данной работе получен биосорбент из осадков сточных вод и соломы пшеницы по технологии сопирилиза. Проведены лабораторные опыты по поглощению ионов  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  полученным биочаром. Построены изотермы и аппроксимированы уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха. Установлено, что получен перспективный адсорбент для целей ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, адсорбция, осадки сточных вод, биочар, биоуголь, почва, медь, цинк.

В связи с бурным развитием промышленности, увеличением видов и количества сельскохозяйственной, химической, энергетической продукции все более серьезным становится загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) [1]. Для обеспечения контроля качества и безопасности почв необходимо постоянное совершенствование технологий ремедиации почв. В последние годы в центре внимания исследователей находилась адсорбция и иммобилизация как наиболее многообещающие методы ремедиации почв.

В качестве адсорбентов активно применяются углеродистые сорбенты, при этом особой популярностью пользуются биочары. Это сорбенты, получаемые при пиролизе органических остатков различного рода. В процессе пиролиза образуется графитоподобный материал с низкой плотностью и большой площадью удельной поверхности. Сырьем для получения биочаров обычно служат сельскохозяйственные и пищевые отходы.

Одной из потенциальной сырьевой базы для создания биочаров являются осадки сточных вод (ОСВ). Осадок обычно содержит больше количество органических и неорганических загрязняющих веществ. Для решения данной проблемы все чаще прибегают к пиролизу с целью получения биочара.

Однако высокое содержание влаги и ТМ в осадках сточных вод делают процесс энергоемким и снижают качество биочара из-за его высокой зольности, низкого содержания С, малой удельной поверхности и высоких концентраций ТМ [2].

Смешивание отходов биомассы с осадками сточных вод для совместного пиролиза может стать решением возникшей проблемы. Добавление сельскохозяйственных и пищевых отходов, не содержащих ТМ, для совместного пиролиза с осадками может способствовать увеличению содержания углерода, снижению содержания золы, созданию хорошо развитой пористой структуры и снижению концентрации ТМ в биочаре. Также при смешивании понижается содержание влаги в сырье, что улучшает экономическую составляющую, ввиду меньших затрат на пиролиз [3].

В данном исследовании был разработан способ получения биочара из осадка сточных вод и соломы пшеницы методом сопирилиза. Проведены лабораторные исследования по изучению поглотительной способности полученного сорбента по отношению к ТМ (на примере Cu и Zn).

Сырьем для получения биочара сырьем служили частично обезвоженные и уплотненные после обработки на центрифуге иловые ОСВ городских канализационных очистных сооружений, отобранные с АО «РостовВодоканал». Биочар был получен из ОСВ и при смешивании ОСВ с соломой пшеницы в соотношении 1:1 по массе (ОСВСП) при температуре пиролиза 700 °С, времени выдержки 60 мин и скорости нагрева 15 °С/мин.

Определение площади удельной поверхности (SBET) и пористости сорбента выполнено на волюметрическом анализаторе «ASAP 2020» (Micromeritics, США) по методу низкотемпературной адсорбции азота. Расчет параметров проведен с использованием метода Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) в интервале относительного давления  $P/P_0=0,05-0,33$ . Распределение пор по размеру рассчитано с помощью метода теории функционала плотности [4]. Элементный состав образцов биочара (С, Н, N) определен на анализаторе Perkin Elmer



(модель CHN, 2400 Series II) методом сжигания в потоке кислорода. Содержание общей золы измерялось путем сжигания образцов в муфельной печи при температуре 650 °С в течение 3 часов [5], а содержание кислорода рассчитывалось по разнице между 100% и суммой определяемых элементов (С, Н, N) и содержанием золы. Результаты исследования использованы для расчета атомных соотношений Н/С и О/С, характеризующих степень ароматичности и карбонизации биочара [6].

Элементный состав и физико-химические свойства полученных биочаров представлены в таблицах 1–2. Добавление лигнинсодержащей биомассы к ОСВ приводит к снижению выхода биочара. Площадь удельной поверхности биочара, полученного в результате сопирилиза ОСВ с растительным отходом, ниже, чем у образца из ОСВ в чистом виде, что, вероятно, связано с блокированием пор смолой, образуемой в результате термического разложения растительного сырья [7]. Также заметно уменьшается средний размер пор, что улучшает сорбционные свойства образца с добавлением соломы пшеницы. При этом сопирилиз привел к увеличению содержания С и Н и снижению содержания N и О по сравнению с биочаром из ОСВ в чистом виде. Отмечалось также снижение соотношений Н/С и О/С, что способствует повышению ароматичности и устойчивости к окислению полученных образцов биочара [8].

Таблица 1. Физико-химические свойства биочара, полученного из осадка сточных вод в чистом виде (ОСВ) и при добавлении соломы пшеницы в соотношении 1:1 (ОСВСП)

Образец	Выход продукта, %	pH	S <sub>ВЕТ</sub> , м <sup>2</sup> /г,	V <sub>общ</sub> , см <sup>3</sup> /г	Средний размер пор, нм
ОСВ	54,18±0,27	8,26±0,10	31,35±0,57	0,062±0,004	11,46±0,26
ОСВСП	37,26±0,16	9,86±0,16	28,26±0,91	0,057±0,003	6,49±0,10

Таблица 2. Элементный состав биочара, полученного из осадка сточных вод в чистом виде (ОСВ) и при добавлении соломы пшеницы в соотношении 1:1 (ОСВСП)

Образец	Элементный состав, %				Зола общая, %	Н/С	О/С
	С	Н	N	О			
ОСВ	14,73±0,61	0,83±0,03	2,07±0,02	5,97	76,40±0,97	0,67	0,30
ОСВСП	28,03±1,12	0,85±0,02	1,56±0,01	7,66	61,90±0,45	0,36	0,21

Сорбционную способность биочара, полученного из осадка сточных вод путем сопирилиза с соломой пшеницы, по отношению к ТМ на примере Cu и Zn изучали в условиях лабораторного модельного эксперимента. Рабочие растворы готовили из нитратных солей металлов квалификации «ч.д.а.» в концентрациях 0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10 мМ·л<sup>-1</sup>. Массовое соотношение твердой и жидкой фаз составляло 1:10. Суспензии взбалтывали в течение часа и оставляли на сутки при температуре 298±1 К. Выбранного времени достаточно для достижения полного равновесия в системе [9]. Затем суспензию фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрацию ионов ТМ в водном растворе определяли с использованием атомно-абсорбционного спектрометра «Квант-2».

По полученным данным строили графическую зависимость в координатах C<sub>p</sub> – C<sub>ад</sub>; где C<sub>p</sub> – равновесная концентрация внесенного поллютанта в растворе, мМ·л<sup>-1</sup>; C<sub>ад</sub> – удельное содержание поллютанта в фазе сорбента, мМ·кг<sup>-1</sup>. Для аппроксимации изотерм использованы двухпараметрические сорбционные модели Ленгмюра (1) и Фрейндлиха (2):

$$C_{ад} = C_{\infty} \frac{K_L C_p}{(1 + K_L C_p)} \quad (1)$$

$$C_{ад} = K_{\phi} C_p^{1/n} \quad (2)$$

где  $C_{\infty}$  – величина максимальной адсорбции металла,  $\text{мМ}\cdot\text{кг}^{-1}$ ;  $K_L$  – константа Ленгмюра,  $\text{л}\cdot\text{мМ}^{-1}$ ;  $K_{\phi}$  – константа Фрейндлиха,  $\text{кг}\cdot\text{л}^{-1}$ ;  $1/n$  – эмпирический показатель степени в уравнении Фрейндлиха

Свободную энергию Гиббса ( $\Delta G$ ) рассчитывали по формуле (3):

$$\Delta G = -RT \ln K_L \quad (3)$$

Построение экспериментальных изотерм и их аппроксимация были выполнены в статистической программе «SigmaPlot 12.5» (Systat Software, США) и графическом пакете программы «Origin 2018» (OriginLab, США).

Полученные изотермы адсорбции (рис. 1) относятся к L-форме по классификации Джайлса [10].

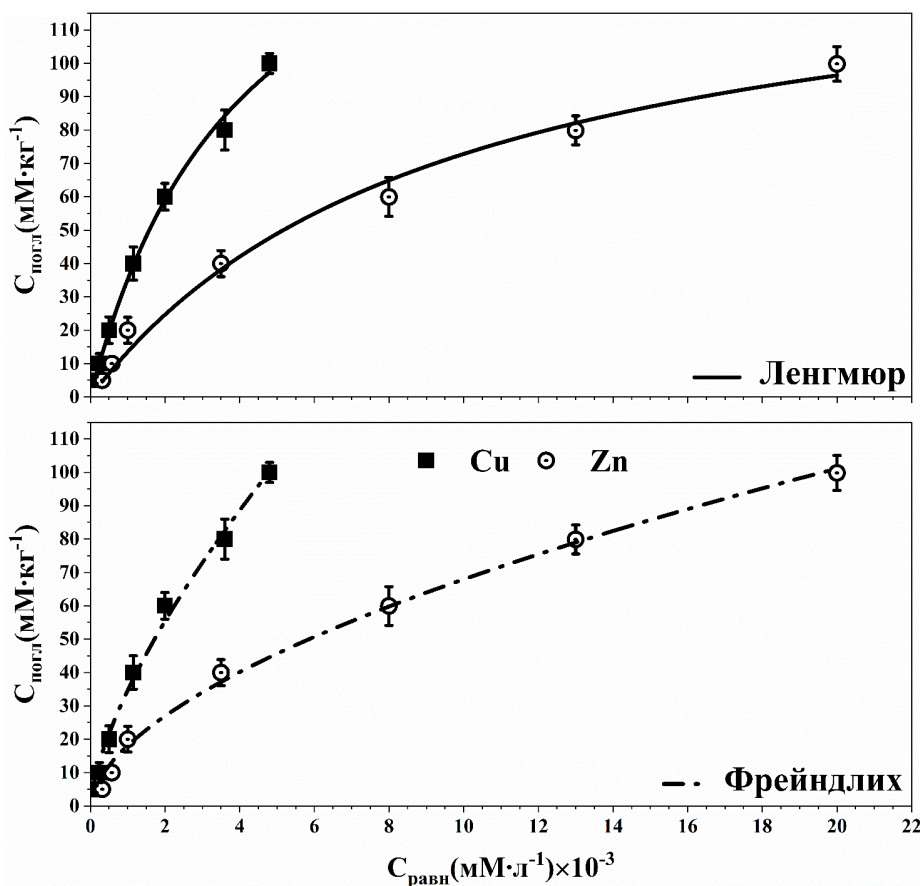


Рисунок 1. Изотермы адсорбции ТМ исследуемым биочаром.

Представленные модели хорошо описывают эмпирические зависимости (табл. 3).

Таблица 3. Параметры уравнения Ленгмюра и Фрейндлиха для адсорбции ТМ исследуемым биочаром

Металл	Уравнение Ленгмюра				Уравнение Фрейндлиха		
	$K_L$ , $\text{л}\cdot\text{мМ}^{-1}$	$C_{\infty}$ , $\text{мМ}\cdot\text{кг}^{-1}$	$-\Delta G$ , $\text{кДж}\cdot\text{М}^{-1}$	$R^2$	$K_{\phi}$ , $\text{л}\cdot\text{кг}^{-1}$	$1/n$	$R^2$
Cu	$241,77 \pm 34,39$	$181,01 \pm 14,43$	13,60	0,997	$3735,69 \pm 295,39$	$0,67 \pm 0,04$	0,994
Zn	$104,69 \pm 23,54$	$142,45 \pm 12,71$	11,52	0,989	$955,42 \pm 125,27$	$0,57 \pm 0,03$	0,991

Установлено, что по максимальному количеству адсорбированных ионов ( $C_{\infty}$ ), полученному из уравнения Ленгмюра, металлы расположены в ряду:  $Cu^{2+} > Zn^{2+}$ . Параметр, который отвечает за адсорбционно-десорбционное равновесие и указывает на степень закрепления ионов на поверхности углеродистой матрицы ( $K_L$ ), имеет идентичные тенденции с величиной  $C_{\infty}$ . Отрицательные значения  $\Delta G$  показали, что реакция поглощения ТМ биочаром самопроизвольна в прямом направлении, что соответствует устойчивому закреплению ионов ТМ на поверхности сорбента.

Коэффициент уравнения Фрейндлиха ( $K_F$ ), характеризующий относительную величину сорбции, убывает в аналогичном ряду:  $Cu^{2+} > Zn^{2+}$ . Данная зависимость согласуется с предыдущей моделью, однако параметр  $K_F$  всегда значительно больше параметра  $C_{\infty}$ . Величина коэффициента  $1/n$  позволяет определить энергетическую неоднородность реакционных центров на сорбирующей поверхности и может изменяться в интервале  $0 < 1/n < 1$  или  $= 1$  [11]. При величине  $1/n$ , приближающейся к 0, возрастает неоднородность сорбционных центров, к 1 – уменьшается.

Поведение металлов объясняется их различной природой и характеристиками. Электроотрицательность является важным фактором, определяющим способность металла к хемосорбции [12], чем больше значение данного параметра, тем эффективнее проходит сорбция:  $Cu (1,90) > Zn (1,65)$ . Свой вклад вносят значения констант гидролиза по первой ступени ( $pK_1$ ), так как гидролиз катионов металла играет важную роль в процессе адсорбции [13]. Величины  $pK_1$  составляют 7,3–8,0 для  $Cu(II)$  и 9,0–9,4 для  $Zn(II)$ . Более низкие значения для  $Cu$  указывают на более активное взаимодействие с сорбентом за счет образования внутрисферных комплексов ионов металла, в отличие от  $Zn$ , у которого данный параметр выше.

Таким образом, установлен синергетический эффект совместного пиролиза осадков сточных вод и соломы пшеницы на сорбционные свойства биочара: площадь удельной поверхности, пористость, содержание углерода и ароматичность. Выполнены сорбционные исследования синтезированного биочара по отношению к ТМ. Установлено, что поглощение  $Cu$  биочаром более эффективно, чем  $Zn$ . Выявлено, что подходящими моделями для описания изотерм адсорбции ТМ исследуемым сорбентом являются уравнение Ленгмюра и Фрейндлиха. Рассчитанные с помощью  $K_L$  изобарно-изотермические потенциалы Гиббса указывают на то, что процесс поглощения является самопроизвольным процессом для всех адсорбатов. В целом, биочар, полученный с применением технологии сопиролиза, является эффективным адсорбентом и может применяться в качестве ремедианта почв, загрязненных ТМ, особенно  $Cu$ .

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

#### Литература

1. Xu Y., Qi F., Bai T., Yan Y., Wu C., An Z., Luo S., Huang Z., Xie P. A further inquiry into co-pyrolysis of straws with manures for heavy metal immobilization in manure-derived biochars // Journal of hazardous materials. 2019. Vol. 380. p. 120870.
2. Ahmed M. J., Hameed B. H. Insight into the co-pyrolysis of different blended feedstocks to biochar for the adsorption of organic and inorganic pollutants: A review // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 265. p. 121762.
3. Sun Y., Chen G., Yan B., Cheng Z., Ma W. Behaviour of mercury during Co-incineration of sewage sludge and municipal solid waste // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 253. p. 119969.
4. Landers J., Gor G.Y., Neimark A.V. Density functional theory methods for characterization of porous materials // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2013. Vol. 437. P. 3–32.
5. ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-97) Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности (с Изменением № 1). Взамен ГОСТ 11022-90. Введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2006. 8 с.

6. Suliman W., Harsh J.B., Abu-Lail N.I., Fortuna A.M., Dallmeyer I., Garcia-Perez M. Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties // *Biomass Bioenergy*. 2016. Vol. 84. P. 37–48.
7. Huang H.J., Yang T., Lai F.Y., Wu G.Q. Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2017. Vol. 125. P. 61–68.
8. Du J., Zhang L., Liu T., Xiao R., Li R., Guo D., Qiu L., Yang X., Zhang Z., 2019. Thermal conversion of a promising phytoremediation plant (*Symphytum officinale* L.) into biochar: dynamic of potentially toxic elements and environmental acceptability assessment of the biochar // *Bioresource technology*. 2019. Vol. 274. P. 73–82.
9. Пинский Д. Л., Минкина Т. М., Манджиева С. С., Федоров Ю. А., Бауэр Т. В., Невидомская Д. Г. Особенности поглощения Cu (II), Pb (II) и Zn (II) черноземом обыкновенным из растворов нитратов, хлоридов, ацетатов и сульфатов // *Почвоведение*. 2014. №. 1. С. 22–22.
10. Джайлс Ч., Инграм Б., Клюни Дж., Ликлема Я. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел. М.: «Мир», 1987. 488 с.
11. Круглов С.В., Анисимов В.С., Лаврентьева Г.В., Анисимова Л.Н. Параметры селективной сорбции Co, Cu, Zn и Cd дерново-подзолистой почвой и черноземом // *Почвоведение*. 2009. № 4. С. 419–428.
12. McBride M. B. *Environmental Chemistry Of Soils* // *Environmental Chemistry Of Soils*. 1994.
13. Park J.-H., Ok Y.S., Kim S.-H., Cho J.-S., Heo J.-S., Delaune R.D., Seo D.-C. Competitive adsorption of heavy metals onto sesame straw biochar in aqueous solutions // *Chemosphere* 142 (2016) 77–83.

#### SYNERGETIC EFFECT OF JOINT PYROLYSIS OF SEWAGE SLUDGE AND LIGNIN-CONTAINING BIOMASS ON THE PROPERTIES OF BIOCHAR AND ITS ADSORPTION CAPACITY WITH RESPECT TO HEAVY METALS

Khronyuk O.E., Bauer T.V., Minkina T.M., Boldyreva V.E.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, hronuyk@sfedu.ru

*Summary. Adsorbents of various kinds are used to restore soils contaminated with heavy metals. In this work, a biosorbent was obtained from sewage sludge and wheat straw using the technology of copyrolysis. Laboratory experiments were carried out on the absorption of Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> ions by the resulting biochar. Isotherms are constructed and approximated by the Langmuir and Freundlich equations. It is established that a promising adsorbent has been obtained for the remediation of soils contaminated with heavy metals.*

*Keywords: heavy metals, adsorption, sewage sludge, biochar, biochar, soil, copper, zinc.*



УДК 631.618

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВ ОТВАЛОВ АНТРАЦИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Г.В. Щемелева<sup>1</sup>, Д.О. Дьяконов<sup>2</sup>, Д.А. Соколов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, shgv95@mail.com

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, irlingg@bk.ru

**Аннотация.** Проведены исследования по оценке содержания углерода и степени внутримолекулярной окисленности органического вещества почв отвалов Горловского угольного месторождения. Выявлено, что значения степени внутримолекулярной окисленности органического вещества наибольшие в образцах антрацита, наименьшие – в глинах и черноземах. Отмечена тенденция снижения данного показателя по стадиям восстановления эмбриоземов. По содержанию углерода аккумулятивная дифференциация в профиле выявлена только в дерновом эмбриоземе, в остальных образцах значения лишены порядка. Установлена устойчивость антрацитовых углей к преобразованиям, что свидетельствует о меньшей степени их причастности к процессу гумусообразования.

**Ключевые слова:** углерод, степень внутримолекулярной окисленности органического вещества, эмбриозем, антрацит.

Органическое вещество почвы и процессы его трансформации имеют большое влияние на формирование почвы, а также определяют кислотно-основные, буферные и сорбционные свойства почвы [1], обуславливающие актуальность изучения данного показателя. Определение содержания органического вещества и его накопления в почвах, представленных отвалами угольных разрезов, содержащих немалое количество углистых частиц, является одной из первостепенных задач изучения секвестрации углерода техногенными экосистемами [2].

В настоящее время существует множество методов определения содержания углерода в углесодержащих почвах, например термические, спектроскопические, морфологические, изотопные, магнитные, сорбционные, биodeградационные и химические. Однако наиболее распространенными являются методы мокрого и сухого сжигания [3]. В первом случае содержание углерода органических веществ определялось по И.В. Тюрину [4], во втором при помощи автоматического CHN-анализатора.

Метод И.В. Тюрина основан на окислении органического углерода почв избытком  $K_2Cr_2O_7$ , протекающим в сильноокислой среде. При этом содержание органического углерода в почве вычисляется по разности бихромата до и после окисления. Принцип работы автоматического CHN-анализатора основан на окислительном разложении пробы органического вещества в реакторе и доокислении в специальной зоне. Затем газообразные продукты разложения проходят через восстановительную зону, где поглощается избыток кислорода, введенного в реактор или выделенного реагентами, а также осуществляется восстановление оксидов азота до элементного азота. Содержание продуктов окисления измеряют, применяя термокондуктометрический детектор катарометр [5].

Объектами исследования послужили эмбриоземы, сформированные на отвалах Горловского угольного месторождения, расположенного в лесостепной зоне на правом берегу реки Оби в Искитимском районе Новосибирской области. Морфологически здесь определены эмбриоземы инициальные, органо-аккумулятивные и дерновые, особенностями которых являются слаборазвитый профиль, высокая каменистость, и наличие частиц антрацита [6].

Для анализа были выбраны 20 образцов мелкозема из репрезентативных почвенных разрезов, а также пробы антрацита и глин, складированных в отвал. Образцы почв отбирались с двух глубин: 0–10 и 10–20 см. Помимо почв техногенных ландшафтов, сформированных на плотных и рыхлых почвообразующих породах, для сравнения были взяты образцы естественных почв района исследований (серые и темно-серые лесные и черноземы выщелоченные). Анализ образцов методом мокрого сжигания выполняли в 6-кратной повторности. При работе с помощью CHN-анализатора анализ осуществлялся в 4-кратной повторности.

На основе полученных данных рассчитывалась степень внутримолекулярной окисленности (СВО) органического вещества, по формуле, предложенной В.В. Пономаревой и Т.А.

Плотниковой [7]:  $\omega = (C_{\text{сух}} - C_{\text{мок}})/C_{\text{мок}} \times 100$ ; где  $\omega$  – степень внутримолекулярной окисленности органического вещества, в %;  $C_{\text{мок}}$  – содержание органического углерода, определенное методом мокрого сжигания, в %;  $C_{\text{сух}}$  – содержание общего углерода, полученное методом сухого сжигания, в %. Кроме того, чтобы иметь возможность оценить качественное состояние систем органических веществ по способности депонировать биогенные элементы, для исследуемых почв были рассчитаны отношения углерода и азота (C/N).

Результаты анализов показали, что содержание углерода, определенного двумя способами, демонстрирует хаотичные значения, как в эволюционном ряду исследуемых почв, так и по их глубинам (табл. 1). Единственным разрезом, в котором была отмечена тенденция аккумулятивной дифференциации содержания углерода в профиле, является дерновый эмбриозем, сформированный на безугольных глинистых породах. Содержание углерода в почвах, развивающихся на углесодержащем техногенном элювии плотных осадочных пород, находится в интервалах от 1,6 до 14,3% по  $C_{\text{мок}}$  и 3,0 до 51,3% по  $C_{\text{сух}}$ . Соотношение углерода и азота в этих почвах также варьирует в широких пределах от 12,4 до 94,9. Для сравнения, в естественных почвах отмеченные значения не выходят за пределы диапазонов, свойственных своему типу, а разница между  $C_{\text{мок}}$  и  $C_{\text{сух}}$  часто не превышает стандартной ошибки методов. При этом выделяется четкая тенденция уменьшения содержания углерода в ряду образцов в верхних горизонтах серых, темно-серых лесных почв и выщелоченных черноземов, что, по всей видимости, связано с различной интенсивностью дегумификационных процессов, инициированных сельскохозяйственной нагрузкой. Следует отметить, что в районе исследований эталонные для юга Западной Сибири целинные выщелоченные тяжелосуглинистые черноземы практически отсутствуют в связи с почти полным сельскохозяйственным освоением территории. Максимальные и минимальные расхождения  $C_{\text{мок}}$  и  $C_{\text{сух}}$ , равно как и отношение C/N были получены при анализе образцов угля и глин.

Расчет значений степени внутримолекулярной окисленности органического вещества образцов позволил выявить тенденции в трансформации качественного состояния исследуемых почв. Так, максимальные значения СВО были отмечены в образцах антрацита, минимальные в черноземах и глинах. В почвах техногенных ландшафтов прослеживается тенденция снижения СВО в ряду от инициальных до дерновых эмбриоземов, особенно если оценивать средние содержания по профилю (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют об эволюционном преобразовании литогенных систем органических веществ в педогенные. Исключением здесь представляются образцы, взятые с инициального эмбриозема спланированного участка. Низкое содержание  $C_{\text{мок}}$  и  $C_{\text{сух}}$ , а также узкое отношение C/N в свидетельствуют о том, что сформированы эти почвы на безуглистых почвообразующих породах. То же можно сказать и о дерновых эмбриоземах участков отсыпки глин.

Примечательно, что отмеченная тенденция снижения средних величин СВО прослеживается также и в естественных почвах в ряду от серых лесных до черноземов. Ранее отмечалось [2, 3], что распределение СВО органического вещества в ряду зональных почв обратно пропорционально степени их педогенной зрелости (гумифицированности) [8].

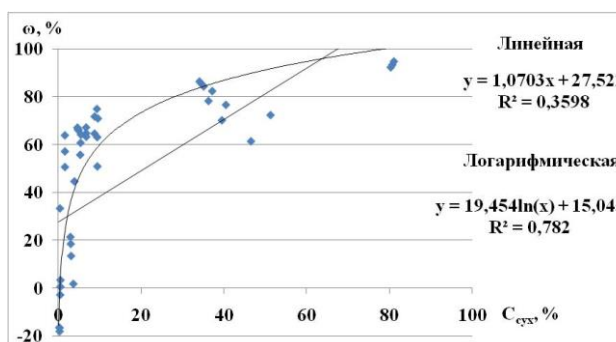
Статистическая обработка полученных результатов позволила выявить зависимости между параметрами качественного состояния систем органических веществ и содержанием углерода в почвах техногенных ландшафтов (рис. 1). Результаты показали, что степень внутримолекулярной окисленности органического вещества и отношение углерода к азоту находятся в зависимости от содержания углерода в почвах. Выявленные зависимости демонстрируют преимущество использования показателя СВО по сравнению C/N для оценки качественного состояния систем органических веществ углесодержащих почв.

Таблица 1. Содержание углерода и степень внутримолекулярной окисленности органического вещества исследуемых объектов

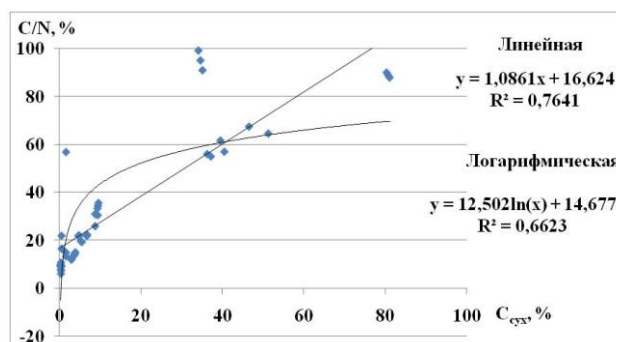
Образец	Глубина, см	$C_{\text{мок}}^*$ , %	$C_{\text{сух}}$ , %	C/N	$\omega$ , %	$\omega_{\text{ср.}}$ , %
Антрацит	—	5,5	80,8	88,8	93,3	—
Мел-палеогеновые глины	—	0,3	0,2	9,6	-16,5	—
Эмбриозем инициальный спланированный участок (ЭИС)*	0–10	2,9	3,7	14,4	22,7	20,6
	10–20	2,4	3,0	12,4	18,4	
Эмбриозем инициальный бугристый участок (ЭИБ)	0–10	7,9	36,3	55,9	78,1	75,2
	10–20	14,3	51,3	64,4	72,2	
Эмбриозем органо-аккумулятивный под травянистой растительностью (ЭОАт)	0–10	2,4	6,7	22,1	64,7	64,6
	10–20	3,1	8,7	30,9	64,5	
Эмбриозем органо-аккумулятивный под лесной растительностью (ЭОАл)	0–10	5,1	34,6	94,9	85,2	68,0
	10–20	4,6	9,4	34,4	50,8	
Эмбриозем дерновый на плотных породах (ЭДп)	0–10	2,1	5,4	19,4	60,6	63,5
	10–20	1,6	4,7	21,9	66,3	
Эмбриозем дерновый на глинах (ЭДг)	0–10	0,7	1,6	56,7	57,1	28,8
	10–20	0,5	0,5	21,9	0,5	
	20–30	0,3	0,3	7,8	-16,6	—
	30–40	0,3	0,3	9,8	-16,6	—
Серая лесная почва	0–10	5,4	6,2	15,4	14,2	20,9
	10–20	2,0	2,8	18,5	27,6	
Темно-серая почва	0–10	3,5	4,7	14,9	24,6	17,1
	10–20	3,3	3,7	15,3	9,7	
Чернозем выщелоченный	0–10	3,4	4,2	14,8	17,9	13,3
	10–20	3,8	4,1	14,2	8,7	

— цветом выделены значения, не выходящие за пределы стандартной ошибки метода

Примечание. \* $C_{\text{мок}}$  и  $C_{\text{сух}}$  – среднее содержание углерода, определяемого, соответственно, методами мокрого и сухого сжигания; C/N – соотношение углерода  $C_{\text{сух}}$  и азота в почвах;  $\omega$  и  $\omega_{\text{ср.}}$  – степень внутримолекулярной окисленности органического вещества, соответственно, образца и в среднем по 20-сантиметровому профилю.



а



б

Рисунок 1. Зависимость параметров качественного состояния систем органических веществ от содержания углерода в почвах техногенных ландшафтов (n=47): а – степень внутримолекулярной окисленности органического вещества; б – отношение содержания углерода к азоту в почвах.

Таким образом, результаты исследования специфики систем органических веществ показывают, что содержание окисляемого углерода, получаемого методами как мокрого, так и сухого сжигания варьирует в широких пределах от 0,3% до 14,3% и от 0,3% до 51,3%, соответственно. В среднем, содержание углерода определяемого при помощи CHN-анализатора на углесодержащих почвах от 1,3 до 6,8 раз выше, чем получаемом при мокром сжигании. Это связано с различной степенью внутримолекулярной окисленности органического вещества, высокие значения которой определяет наличие углистых частиц в почвах. Максимальные значения степени внутримолекулярной окисленности органического вещества характерны для углей, минимальные для черноземов и безугольных пород. В почвах прослеживается тенденция снижения СВО в ряду от инициальных до дерновых эмбриоземов. Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении литогенных органических веществ в почвах и увеличении доли педогенных. Все это говорит о возможности использования степени внутримолекулярной окисленности органического вещества для оценки качественного состояния систем органических веществ углесодержащих почв. Антрацитовые угли Горловского месторождения являются максимально устойчивыми к каким-либо преобразованиям и не могут играть значительную роль в процессах гумусообразования.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00116.

#### Литература

1. Бойцова Л.В., Рижия Е.Я. Определение содержания общего органического углерода в дерново-подзолистой почве с помощью методов окисления и учета выделившегося углекислого газа // Агрофизика. Физика, биофизика и экология. 2014. № 3(15). С. 20–27.
2. Sokolov D.A., Androkhonov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Tomsk State University Journal of Biology. 2021. № 56. P. 6–32.
3. Соколов Д. А., Мерзляков О. Э., Доможакова Е. А. Оценка литогенного потенциала гумусонакопления в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 399. С. 247–253.
4. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе. М.-Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
5. Пилипенко А. Т. Аналитическая химия [Текст]: учебное пособие. Кн.2. / А. Т. Пилипенко, И. В. Пятницкий. М.: Химия, 1990. 481 с.
6. Двуреченский В. Г., Кузнецова М.Ю. Морфологические особенности эмбриоземов, формирующихся на автотранспортных отвалах Горловского антрацитового месторождения // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века : сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию выдающегося организатора науки и первого директора ИПА СО РАН Романа Викторовича Ковалева, 4–8 декабря 2017 г., г. Новосибирск. Томск, 2017. Ч. 2. С. 164–168.
7. Пономарева В. В., Плотникова Т.А. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) // Почвоведение. 1967. № 7. С. 85–95
8. Соколов Д.А., Иванова И.С., Морозов С.В., Пчельникова Т.Г., Солдатова Е.А. Полициклические ароматические углеводороды в торфяных олиготрофных почвах северных территорий Западной Сибири // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1228–1240.

#### SPECIFICITY OF ORGANIC MATTER SYSTEMS OF SOILS OF ANTHRACITE DEPOSITS DUMPS

G.V. Shchemeleva<sup>1</sup>, D.A. Sokolov<sup>1</sup>, D.A. Diakonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, shgv95@mail.com

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, irlingg@bk.ru

*Summary. Studies have been carried out to assess the carbon content and the degree of intramolecular oxidation of organic matter in the soils of the Gorlovka coal deposit dumps. It was revealed that the values of the degree of intramolecular oxidation of organic matter are greatest in anthracite samples, the lowest in clays and chernozems. There is a tendency to decrease this indicator*



*according to the stages of recovery of embryosems. According to the carbon content, accumulative differentiation in the profile was revealed only in the turf embryo, in the remaining samples the values are devoid of order. The stability of anthracite coals to transformations has been established, which indicates a lesser degree of their involvement in the process of humus formation.*

*Keywords: carbon, the degree of intramolecular oxidation of organic matter, embryo, anthracite.*

## СЕКЦИЯ 5. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА, ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ

УДК 546.65:550.47(571.63)

### ОБ УНИКАЛЬНОЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ СПЕЦИФИКЕ СИСТЕМЫ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ» НА ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ Н.В. Барановская<sup>1</sup>, А.М. Паничев<sup>2</sup>, И.В. Середкин<sup>2</sup>, Е.В. Агеева<sup>1</sup>, Р.А. Макаревич<sup>2</sup>, Л.В. Жорняк<sup>1</sup>, Д.А. Стрепетов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, Томск, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, [sikhote@mail.ru](mailto:sikhote@mail.ru)

**Аннотация.** Установлено, что на некоторых участках территории Приморского края распространены горные породы, содержащие в повышенных концентрациях редкоземельные элементы, что является причиной формирования особой геохимической специализации вод, почв, растительности, а также биотканей животных. Феномен геофагии, распространенный на таких территориях среди растительноядных животных, обусловлен преобладанием в растительности редкоземельных элементов тяжелой подгруппы.

**Ключевые слова:** почва, растения, млекопитающие, редкоземельные элементы, геофагия, Приморский край.

**Актуальность.** Исследования показали, что закономерности распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в коре выветривания и почвах зависят от многих факторов: от типов и устойчивости пород и первичных минералов, содержащих РЗЭ, а также от эдафических, климатических, топографических и гидрологических условий. Большую роль в концентрировании и распределении редкоземельных элементов (РЗЭ) в ландшафте играют органические соединения почв [1]. В Европе, например, средняя сумма РЗЭ в верхнем слое почвы (125,59 мг/кг) близка к их концентрации в верхней части континентальной коры (146,37 мг/кг). А сумма РЗЭ в почвах Южного Китая, колеблется от 40,32 до 260,77 мг/кг [2]. На территории Приморского края, как показывают данные разных авторов, также встречаются аномальные по концентрации РЗЭ участки, приуроченные к рудным объектам с высокими, вплоть до ураганных, содержаниями этих элементов [3, 4]. Наши исследования на территории Приморского края, проведенные в 2020 году в рамках междисциплинарного гранта РНФ (Влияние литолого-геохимической специфики горных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока на формирование элементного состава организма млекопитающих, № 20-64-47021 и №20-67-47005) показали, что в некоторых районах имеет место концентрирование РЗЭ в водах, горных породах, а так же в растительности и тканях животных [5, 6]. При этом наш выбор районов для исследований был обусловлен наличием на их территории природных солонцов-кудууров, регулярно посещаемых дикими животными с целью употребления горных пород и минерализованных родниковых вод. Результаты проведенного анализа геолого-геохимических данных, собранных нами по кудурам и поедаемым породам (кудуристам) в горах Южной Сибири и на Кавказе, а также другими исследователями в Африке и Индонезии, с учетом появившихся в последние десятилетия новых данных о распространенности РЗЭ в живом веществе и их медико-биологических свойствах, заставляют обратить внимание на факты связи геофагии как среди животных, так и среди человека с высокими концентрациями РЗЭ в ландшафтных компонентах [5]. В организме человека нарушения минерального обмена, вызванные дисбалансом поступления с пищей и питьевой водой РЗЭ уже известны. Так, исследованиями по определению площади наиболее высокой распространенности эндомикардиального фиброза Леффлера (ЭФЛ) в Индии выявлены четыре участка вблизи береговой линии моря в пределах 3 округов, в которых известны месторождения монацитовых песков [7]. При этом все эти территории не связаны с проявлениями филяриоза и эозинофилии, с которыми ранее связывали возникновение ЭФЛ в Индии. Аналогичные исследования, проведенные в Уганде, показали, что церий в этом эндемичном по ЭФЛ районе планеты содержится не в монацитовых песках, а в виде вторичных минералов в почве и подпочвенных грунтах. Отсюда вполне очевидно, что выявление закономерностей накопления и распределения в ландшафтах элементов из группы редких земель является весьма актуальной

задачей в свете установления их роли в организме млекопитающих, а также в возникновении соответствующих микроэлементозов с выходом на профилактику заболеваемости в том числе у человека.

**Объекты и методы исследования.** В 2020 году нами были проведены исследования на территории Приморского края в четырех административных районах – Лазовском, Ольгинском, Пожарском, Тернейском, на трех участках «Бикин», «Солонцовый» и «Ванчин» (рис. 1).



Рисунок 1. Местоположение районов исследования: 1 – «Бикин»; 2 – «Солонцовый»; 3 – «Ванчин».

Материалы для исследований были получены в рамках полевых работ в июле и сентябре 2020 г. Для аналитических исследований было отобрано 135 проб растительности (57 – Ванчин, 60 – Солонцовый, 18 – Бикин). Надземная часть растений отбирались в пределах 10-метрового радиуса от точки отбора почвенной пробы (количество проб почвы – по 40 на каждом участке). В составе растений повсеместно отбирались три вида: один из папоротников (отбирались виды: *Matteuccia struthiopteris*, *Osmundastrum asiaticum*, *Leptorumorha amurensis*, *Dryopteris crassirhizoma*, *Athyrium sinense*, *Pseudocystopteris spinulosa*, *Cornopteris crenulatoserratula*); один из видов осок (*Carex ussuriensis*, *Carex хуphium*, *Carex siderosticta*, *Carex campylorhina*, *Carex sordida*) и один из рода лабазника (*Filipendula palmata*). Папоротники отбирались, прежде всего, как известные концентраторы REE, причем широко распространенные в различных ландшафтах Дальнего Востока России, к тому же некоторые из них входят в состав кормов копытных. Осоки отбирались как самые распространенные травянистые растения, входящие в состав кормов животных. Лабазники также широко распространены в изученных районах и также входят в состав кормов растительных животных. Каждая проба состояла из 3–10 индивидуальных растений в бумажный пакет. В указанных районах был отобран также материал органов и тканей млекопитающих, в том числе от 8 изюбрей (*Cervus elaphus*), 8 кабанов (*Sus Scrofa*) и 2 свиней домашних (*Sus Scrofa domesticus*). Биопсийный материал органов и тканей животных отбирался в стерильные полиэтиленовые пакеты и полипропиленовые пробирки и помещались в автомобильный холодильник (-20°C). Общее количество проб с каждого животного взято от 48 до 50. Предварительная подготовка биологических проб проводилась во Владивостоке, в лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН. Пробы помещались в тарированные фарфоровые тигли и высушивались в сушильном шкафу при медленном в течение 2 суток подъеме температуры до 105°C до постоянной массы (пробы крови высушивались до постоянного веса при температуре 60°C). Растения высушивались при комнатной температуре. Аналитические исследования проб биологического материала и почвы выполнялись в г. Томске в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета (ТПУ) (зав. лабораторией к.г.-м.н. А.А. Хвощевская, аналитик Куровская В.В.). Пробы перед анализом методом ИСП-МС истирались, развешивались в пластиковые

пробирки по 200 мг и растворялись в смеси азотной кислоты и перекиси водорода. Определение содержаний химических элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре NexION 300D (Perkin Elmer, США). Для поведения инструментального нейтронно-активационного анализа биоматериал озоляли при температуре 600°C. Анализ проводили на учебном ядерном реакторе ТПУ в ядерно-геохимической лаборатории Уранового центра ТПУ (аналитик – с.н.с. Судыко А.Ф.). Изучение микроминеральных фаз химических элементов проводилось в лабораториях ДВГИ ДВО РАН (микроскоп Tescan Lyra 3 XMN + EDS AZtec X-Max 80 Standart) и ТПУ (Hitachi S-3400N с энерго-дисперсионным спектрометром (ЭДС) Bruker X@Flash 5010).

**Обсуждение результатов.** Химические анализы жидких и твердых проб, исследования пород с помощью оптического и электронного микроскопа, а также изучение архивных отчетов государственной геологической съемки по данным территориям однозначно указывают на то, что на всех трех исследованных участках, где в массовом виде распространена геофагия среди растительноядных животных, широко развиты однотипные кислые и кисло-средние цеолитизированные вулканические и вулканогенно-осадочные породы раннекайнозойского возраста (преимущественно палеоцен), содержащие в повышенных концентрациях редкоземельные элементы. При этом РЗЭ находятся в таких минеральных формах, которые легко разрушаются слабокислыми грунтовыми водами. Среди хорошо растворимых в слабокислых водах минеральных форм РЗЭ, согласно данным электронной микроскопии, чаще всего встречаются рабдофан (водный фосфат) и бастнезит (фторкарбонат РЗЭ). В результате на таких территориях наблюдается повышенный фон концентраций РЗЭ в поверхностных и грунтовых водах (особенно в подгруппе тяжелых лантаноидов и иттрия), отличающийся от средних показателей по водотокам Приморского края и рек мира в десятки и сотни раз [5]. Тем не менее, сопоставление концентраций РЗЭ в почвах на изученных участках в Приморье с литературными данными не выявляет в них особых отличий (табл. 1). Данный факт может указывать на то, что наибольшую роль в накоплении РЗЭ в организме животных играют потребляемые ими растения и природные воды, поскольку содержания этих элементов значимо выше мировых уровней [5, 6].

Таблица 1. Содержание редкоземельных элементов (мг/кг) в почве на изученных участках в Приморском крае

Элемент	Участки			Литературные данные	
	«Солонцовый»	«Ванчин»	«Бикин»	Эталонные почвы по [8]	Обобщенные данные по [1]
La	25,2	23	16,1	35,1	26,1
Ce	54,8	53,7	38,2	75,1	48,7
Nd	22,8	14,8	12,2	3,6	19
Sm	4,7	4,9	2,7	6,7	3,1
Eu	1,2	0,6	0,6	1,2	4,8
Tb	0,6	0,6	0,4	0,5	6,03
Yb	2,5	3	1,9	2,4	2,06
Lu	0,3	0,4	0,3	0,4	0,34
∑РЗЭ	112	101	72	125	110

Так, в растениях, отобранных на участках "Солонцовый" и "Ванчин", зафиксированы существенные концентрации РЗЭ. Так, содержание Се достигает величин 0,4 г/т на сухое вещество в осоке, 1,3 г/т в лабазнике. В папоротниках (мы отбирали несколько видов, преимущественно, *Athyrium sinense*, *Pteridium aquilinum* и *Osmundastrum asiaticum*) в отдельных точках содержание церия достигает величин – 300 г/т, в расчете на золу растения. Для участка «Бикин» характерно менее выраженное концентрирование РЗЭ. Картина формирования редкоземельной специализации участков "Солонцовый" и "Ванчин" находит яркое отражение в концентрировании элементов этой группы в организме животных. Наиболее существенные отличия характерны для организма всеядных животных – диких кабанов. В их головном мозге и некоторых других тканях зафиксированы микроминеральные



фазы, содержащие РЗЭ (в основном Се, La, Nd). Для костей характерно концентрирование европия.

По данным анализа биологических тканей животных получается, что в тканях кишечника травоядных и всеядных животных, обитающих на исследованных территориях, наблюдаются высокие концентрации РЗЭ из подгруппы тяжелых. В этой связи с учетом всей совокупности фактов можно предполагать, что причина геофагии в горах Сихотэ-Алиня может быть связана с токсичным действием на животных РЗЭ тяжелой подгруппы, поступающих из растительных кормов и воды. Вполне вероятно, что замещение легких РЗ элементов, выполняющих важные функции в организме, тяжелыми аналогами, которые неспособны выполнять эти функции, может приводить к серьезным нарушениям обменных процессов в организме. Это и может являться главной причиной инстинктивного потребления минеральных (в данном случае глинисто-цеолитовых) сорбентов, обогащенных натрием и РЗ элементами легкой подгруппы.

**Заключение.** Таким образом, на территории Приморского края встречаются участки с уникальным концентрированием редкоземельных элементов в части смещения интенсивности концентрирования в сторону средней и тяжелой подгрупп. Полученные данные по изучению концентрирования РЗЭ в системе «почва-растения-животные» показали, что, несмотря на имеющиеся фоновые содержания химических элементов в почвах изученных участков, имеется факт значимого накопления их в составе растений и тканей животных. Это свидетельствует о высоком значении почвенных растворов, оказывающих существенное влияние на концентрирование РЗЭ средней и тяжелой подгрупп в составе растительности, а также в поверхностных водах, определяющих комплекс элементов, поступающих в организм млекопитающих. Данное обстоятельство является, по-видимому, ведущим фактором возникновения феномена геофагии среди животных. Как очевидно, данный вопрос требует дальнейшего изучения.

#### Литература

1. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. NW: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011. 505 p.
2. Miao L., Xu R., Xu J. Geochemical characteristics of rare earth element (REEs) in the soil-plant system in west Guangdong province // *Acta Pedol. Sinica*. 2007. № 44. P. 54–62.
3. Середин В. В. О новом типе редкоземельного оруденения кайнозойских угленосных впадин // Доклады Академии наук СССР. 1991. Т. 320. № 6. С. 1446–1450.
4. Чекрыжов И.Ю., Попов В.К., Паничев А.М., Середин В.В., Смирнова В.В. Новые данные по стратиграфии, вулканизму и цеолитовой минерализации кайнозойской Ванчинской впадины, Приморский край // *Тихоокеанская геология*. 2010. Т. 29. №4. С. 45–63.
5. Паничев А.М. Редкоземельные элементы как причинный фактор геофагии среди растительноядных животных / Паничев А.М., Барановская Н.В., Чекрыжов И.Ю., Серёдкин И.В., Вах Е.А., Беляновская А. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 1. С. 82–86.
6. Ветошкина А.В. Радиоактивные (Th, U) и редкоземельные элементы в природных водах Центрального Сихотэ-Алиня (Приморский край) / Ветошкина А.В., Чекрыжов И.Ю., Паничев А.М., Вах Е.А., Барановская Н.В., Луценко Т.Н. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 1. С. 45–56.
7. Raman Kutty V., Abraham S., Kartha C.C. Geographical Distribution of Endomyocardial Fibrosis in South Kerala // *International Epidemiological Association*. 1996. V. 25. №. 6. P. 1220–1207.
8. Govindaraju K. 1994 compilation of working values and sample description for 383 geostandards // *Geostandarts and geoanalytical research*. 1994. V. 18. № 1. P. 1–158.

#### THE UNIQUE RARE-EARTH SPECIFICITY OF THE «SOIL-PLANT-ANIMAL» SYSTEM ON THE TERRITORY OF PRIMORSKY KRAI

N.V. Baranovskaya<sup>1</sup>, A.M. Panichev<sup>2</sup>, I.V. Seryodkin<sup>2</sup>, E.V. Ageeva<sup>1</sup>, R.A. Makarevich<sup>2</sup>, L.V. Zhornyak<sup>1</sup>, D.A. Strepetov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, nata@tpu.ru

<sup>2</sup>Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, sikhote@mail.ru

*Summary. It is established that in some areas of Primorsky Krai the rocks containing rare-earth elements in increased concentrations are the cause of formation of rare-earth specialization of waters, soils, vegetation as well as animal biological tissues. The phenomenon of geophagy, common in such territories among herbivorous animals, is due to the predominance of rare earth elements of the heavy subgroup in the vegetation.*

*Keywords: soil, vegetation, mammals, rare earth elements, geophagy, Primorsky krai.*

УДК 504.054

## **ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ МЕДИ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ЛЕСОПАРКА «ЗАТЮМЕНСКИЙ» ГОРОДА ТЮМЕНЬ**

**В.А. Боев, М.Е. Нагибин, А.В. Горских**

Тюменский государственный университет, Тюмень, [vikboev2009@mail.ru](mailto:vikboev2009@mail.ru)

**Аннотация.** Городские парки выполняют важную роль в формировании благоприятной экологической обстановки на территории города и служат местом отдыха для горожан. Почвы парков являются не только местом произрастания растительности, но и активно участвуют в биогеохимических циклах круговорота микро- и микроэлементов. Свойства почв городских парков определяются как зональными факторами, так и антропогенным воздействием. Внесение в парковые почвы торфа в качестве органического удобрения, наличие различных строительных материалов, атмосферные аэрозольные выпадения способствуют изменению физико-химических характеристик почв, таких как рН почвенного раствора и содержание органического углерода, и их неоднородности. Поступление с атмосферными выпадениями и пылью частиц, содержащих тяжелые металлы, приводит к загрязнению почв парков этими токсикантами, что подтверждается большим количеством литературных источников. В почвах парков с аэрозольными выпадениями происходит поступление тяжелых металлов, их накопление, с последующим поступлением в растения через корневую систему. Нами было проведено исследование содержания обменных форм меди и свинца в почвах лесопарка «Затюменский» города Тюмени, в ходе которого были выявлены закономерности распределения этих элементов в верхнем горизонте почв на территории парка, а также изменение рН почвенного раствора и содержания органического углерода под влиянием антропогенного воздействия.

**Ключевые слова:** свинец, медь, подвижные формы соединений, почвы, содержание органического углерода, городские парки.

Многолетние исследования почв урбанизированных территорий показали, что эти почвы выполняют многочисленные экологические функции: поддержание микроклимата, регулирование поверхностного стока, снижение загрязнения атмосферного воздуха [1, 2, 3]. Однако городские почвы подвергаются при этом значительному антропогенному воздействию, в том числе тяжелыми металлами [4, 5].

Загрязнению тяжелыми металлами подвержены и почвы городских парков. Источниками загрязнения почв парков могут быть выбросы автомобильного транспорта и промышленных предприятий, строительный и другой мусор, а также привозные грунты и удобрения [6].

Физико-химические характеристики почв городских парков (в том числе рН почвенного раствора и содержание органического углерода) также претерпевают изменения вследствие антропогенного воздействия. В частности, содержание гумуса в верхних горизонтах почв может возрасти до 5–8% и более [7, 8].

Нами были проведены исследования почв на территории лесопарка «Затюменский» города Тюмени, расположенного в черте г. Тюмени в Калининском Административном округе. С севера ограничен улицей Барнаульской, с юга – улицей Ямской, с запада – жилым массивом, с востока – улицей Аккумуляторной. Общая площадь составляет 77,193 га. Расположение лесопарка «Затюменский» на карте города Тюмени представлено на рисунке 1.

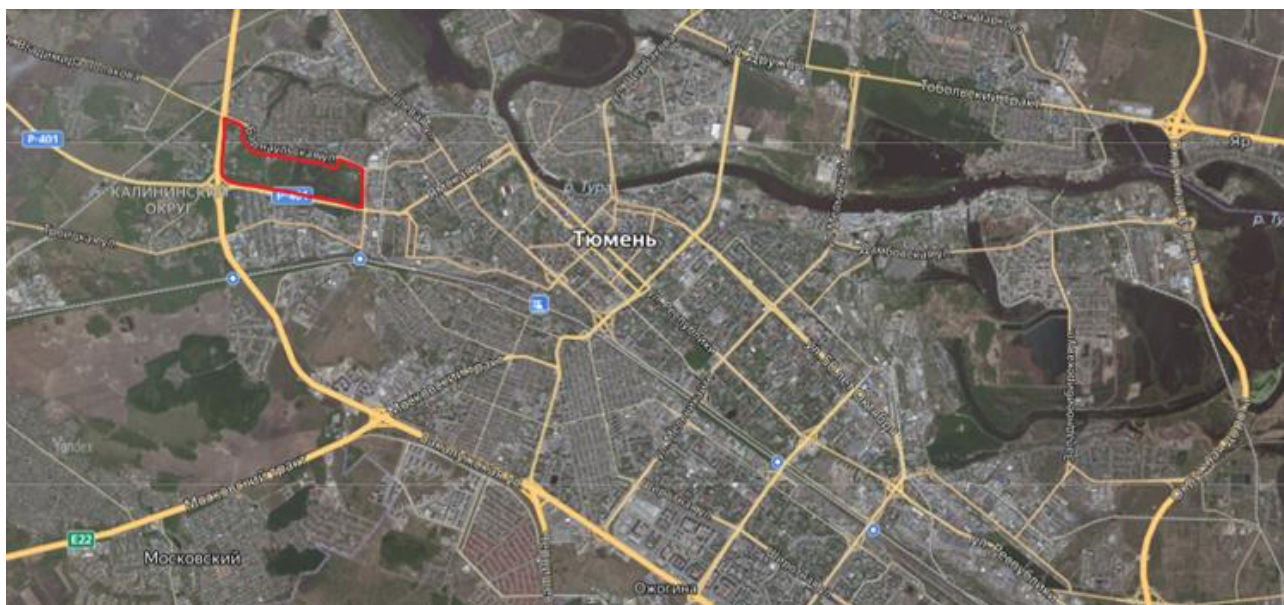


Рисунок 1. Расположение лесопарка «Затюменский в городе Тюмени [9].

Лесопарк включает бывший лесопитомник. Насаждения имеют смешанное (естественное и искусственное) происхождение. В верхнем ярусе преобладает сосна и береза, встречаются дубы. Лесопарк является единственным в Тюменской области местом возобновления дубов. Для второго яруса характерны культуры сосны, клена, тополя, встречаются также ели. Подрост представлен осинником и березой. В подлеске встречаются шиповник, боярышник, малина, ивняк, черемуха. Травяной покров представлен разнотравьем. Памятник природы один из немногих участков городских лесов в зоне жилой застройки [10].

Отбор проб производился согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017, на участке 5x5 м методом «конверта» из верхнего 0–10 см горизонта почв. Из отобранных проб была составлена сборная проба, которая была помещена в емкость из химически стойкого полимерного материала и промаркирована.

В почвах лесопарка провели определение pH почвенного раствора в солевой вытяжке, содержание гумуса фотометрическим методом Тюрина и содержание обменных форм свинца и меди (экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8). Определение содержания микроэлементов в образцах почв, отобранных в 2022 году, проводилось методом атомной эмиссии с применением ИСП-АЭ Спектрометра «Varian 720-ES» в испытательной лаборатории отдела количественного химического анализа филиала ФГБУ «Центра лабораторного анализа и технических измерений по Уральскому федеральному округу» по Тюменской области, а в образцах, отобранных в 2023 году – методом атомно-абсорбционного анализа в лаборатории Института наук о Земле Тюменского государственного университета с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра МГА-915М.

Содержание подвижных форм свинца, а также pH почвенного раствора и содержание гумуса представлены в таблице 1. Из представленных данных следует, что содержание подвижных форм свинца в почвах лесопарка колеблется в широких пределах (от 0,3 до 54 мг/кг), что свидетельствует о мозаичности почв. В значительной части исследованных почв (38,1%) содержание подвижных форм свинца превышает ПДК, что указывает на большое антропогенное влияние на почвы лесопарка. Источниками поступлений свинца в почвы лесопарка являются выбросы автомобильного транспорта и, возможно, аккумуляторного завода, а также металлургического цеха, который в течении продолжительного времени находился вблизи лесопарка.

Таблица 1. Содержание подвижных форм свинца (мг/кг, экстрагент ацетатно-аммонийный буфер), рН почвенных вод (солевая вытяжка) и гумуса (в %)

№ точки	Содержание Pb, мг/кг	рН водной вытяжки, ед. рН	Содержание гумуса, %
1	18,3	6,73	3,22
2	29,6	6,27	4,27
3	54,8	4,93	4,05
4	0,3	6,47	5,06
5	14,0	6,72	5,14
8	4,2	6,13	2,89
9	10,3	6,47	3,17
10	12,3	5,73	6,83
11	3,9	6,39	3,00
12	6,0	6,36	2,45
13	2,6	6,05	3,23
14	2,5	6,05	3,64
15	3,5	6,64	2,75
16	5,1	5,30	2,25
17	7,2	5,31	1,56
18	17,3	6,59	2,15
19	20,7	6,46	7,64
20	11,4	6,17	1,70
22	28,3	5,10	3,30
24	20,2	6,90	2,61
25	19,4	6,40	3,99

Примечание: образцы, отобранные в 2022 году, обозначены фиолетовой окраской; в 2023 – голубой.

Для свинца: среднее значение – 13,9 мг/кг, медиана – 11,4 мг/кг, минимальное – 0,3 мг/кг, максимальное – 54,8 мг/кг, стандартное отклонение – 12,7, ошибка среднего – 2,8.

Данные о содержании в почвах лесопарка подвижных форм свинца представлены на рис. 2.

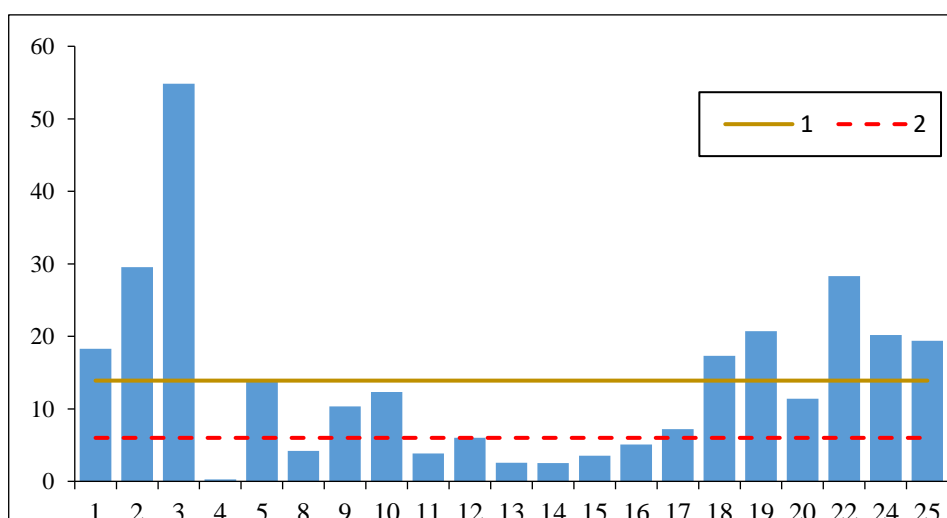


Рисунок 2. Содержание подвижных форм свинца в почвах лесопарка Затюменский (мг/кг, экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8).

Примечание: (1 – среднее значение, 2 – ПДК по СанПиН 1.2.3685-21).

Содержание подвижных форм меди, а также рН почвенного раствора и содержание гумуса представлены в таблице 2.



Таблица 2. Содержание подвижных форм меди (мг/кг, экстрагент ацетатно-аммонийный буфер), рН почвенных вод (солевая вытяжка) и гумуса (в %)

№ пробы	Содержание Cu, мг/кг	рН водной вытяжки, ед. рН	Содержание гумуса, %
1	24,5	6,73	3,22
2	17,8	6,27	4,27
3	15,7	4,93	4,05
4	4,5	6,47	5,06
5	28,1	6,72	5,14
9	13,9	6,47	3,17
13	14,3	5,73	6,83
14	16,4	6,39	3,00
23	23,4	6,37	4,45

Минимальное значение – 4,5 мг/кг, максимальное – 28,1 мг/кг, среднее значение – 17,6 мг/кг, медиана – 16,4 мг/кг, стандартное отклонение – 7,0, ошибка среднего – 2,3 мг/кг.

Данные о содержании в почвах лесопарка подвижных форм меди представлены на рис. 3.

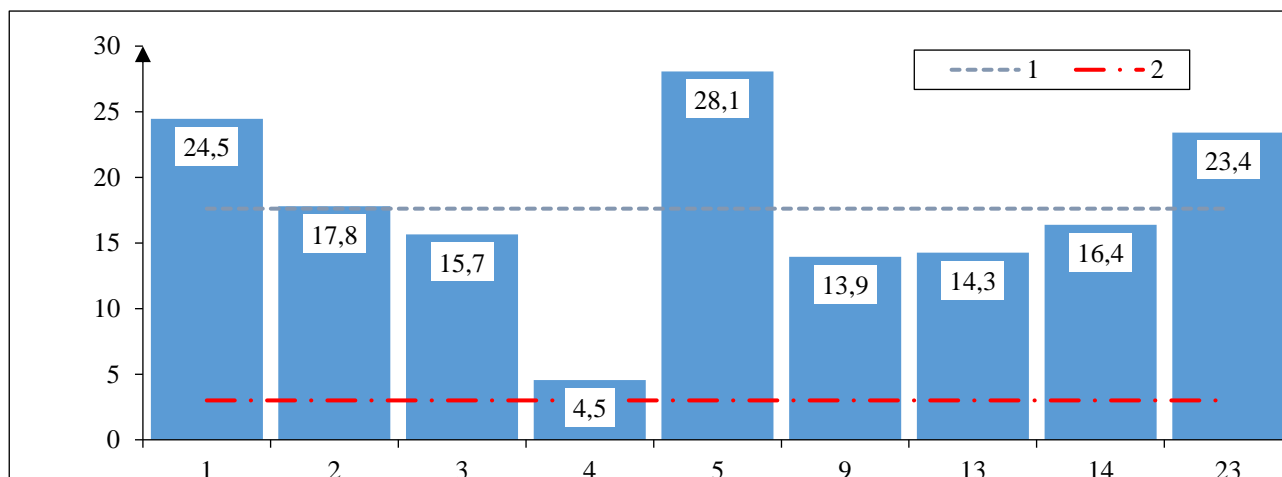


Рисунок 3. Содержание подвижных форм меди в почвах лесопарка Затюменский (мг/кг, экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8).

Примечание. Для меди: (1 – среднее значение, 2 – ПДК по СанПиН 1.2.3685-21).

Представленные в табл. 3 и на рис. 3 данные показывают, что содержание подвижных форм меди колеблется в менее значительных пределах, а размах колебаний гораздо меньше, чем у свинца. Медь в меньшей мере загрязняет почвы лесопарка, поскольку в городе Тюмени отсутствуют крупные источники ее выбросов.

Содержание гумуса колеблется в пределах 3,0–6,83%, что указывает на мозаичность парковых почв и увеличение содержания гумуса, вследствие, прежде всего, его внесения с торфом. рН почвенных вод колеблется в пределах 4,9–6,7, но в основном имеет слабокислый характер (среднее значение – 6,2). Влияние на этот показатель оказывают такие факторы, как кислотные атмосферные выпадения, внесение торфа в качестве удобрения и наличие в почвах строительного мусора.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-35-1009).

## Литература

1. Васенев В.И., Ауденховен А.П., Рамзайкина О.Н., Гаджиагаева Р.А. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) // Почвоведение. 2018. №10. С. 1197–1191.
2. Vasenev V.I., Smagin A.V., Ananyeva N.D., Ivaschenko K.V., Gavrilenko E.G., Prokofeva T.V., Paltseva A., Stoorvogel J.J., Gosse D.D., Valentine R. Urban Soil's Functions: Monitoring, Assessment and Management // Adaptive Soil Management: from Theory to Practices. P. 359–409.
3. Wessolek G., Toland A. Devil and the Sand – the Case of Teufelsberg Berlin and Cultural Ecosystem Services Provided by Urban Soils // Soils within Cities. IUSS Working Group SUITMA. Catena Soil Sciences. Stuttgart, 2017. P 231–240.
4. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Городские почвы: генезис, классификация, функции // Почва. Город. Экология. М., Изд-во Фонд «За экологическую грамотность» 1997. С. 15–85.
5. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2001.
6. Бахматова К.А., Матинян П.Н., Шешукова А.А. Антропогенные почвы городских парков (обзор) // Почвоведение, 2022, №1, С. 77–95.
7. Ковязин В.Ф., Усков И.Б., Державин Л.М. Парковые экосистемы Санкт-Петербурга различной степени урбанизации и агрохимические свойства их почв // Агрохимия, 2010, №3, С. 58–66.
8. Полякова А.Ю. Агрохимические свойства почв Дворцового парка Гатчины // Агрофизика, 2022, №2, С. 32–37.
9. URL:[https://yandex.ru/maps/org/zatyumenskiy\\_ekopark/63861970389/?l=sat&ll=65.458842%2C57.163467&z=15](https://yandex.ru/maps/org/zatyumenskiy_ekopark/63861970389/?l=sat&ll=65.458842%2C57.163467&z=15) (дата обращения 07.05.2023).
10. Департамент недропользования и экологии Тюменской области. Кадастровое дело №006. Памятник природы регионального значения «Лесопарк Затюменский». URL: <https://dnes.admtumen.ru> (дата обращения 07.05.2023).

#### MOBILE FORMS OF COPPER AND CADMIUM IN THE SOILS OF THE ECOPARK "ZATYUMENSKY" OF THE CITY

V.A. Boev, M.E. Nagibin, A.V. Gorskikh

Tyumen State University, Tyumen, vikboev2009@mail.ru

*Summary. City parks play an important role in the formation of a favorable ecological situation in the city and serve as a place of rest for citizens. The soils of parks are not only a place of vegetation growth, but also actively participate in the biogeochemical cycles of the micro- and microelements cycle. The soil properties of urban parks are determined by both zonal factors and anthropogenic impact. The introduction of peat into park soils as an organic fertilizer, the presence of various building materials, atmospheric aerosol precipitation contribute to changes in the physico-chemical characteristics of soils, such as the pH of the soil solution and the content of organic carbon and their heterogeneity. The arrival of particles containing heavy metals with atmospheric precipitation and dust leads to contamination of park soils with these toxicants, which is confirmed by a large number of literary sources. In the soils of parks with aerosol precipitation, heavy metals enter, accumulate, and then enter the plants through the root system. We conducted a study of the content of exchange forms of copper and lead in the soils of the forest park "Zatyumensky" of the Tyumen city, which revealed patterns of distribution of these elements in the upper horizon of soils in the park, as well as changes in the pH of the soil solution and the content of organic carbon under the influence of anthropogenic impact.*

*Keywords: lead, copper, mobile forms of compounds, soils, organic carbon content, urban parks.*

УДК:504.05

## СОДЕРЖАНИЕ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАДМИЯ В ПОЙМЕННЫХ ПОЧВАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

А.В. Букин

ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень,  
bukinav@gausz.ru

**Аннотация.** В пойменных почвах Северного Зауралья, как и в других районах Западной Сибири, наблюдается значительное варьирование содержания подвижного кадмия. Концентрация этого элемента в разных типах аллювиальных почв изменяется от 0,02 до 0,42 мг/кг или в 21 раз. Среднее содержание валового кадмия в метровом слое аллювиальной дерновой почвы составляет 1,2 мг/кг, аллювиальной луговой – 1,7 мг/кг и аллювиальной лугово-болотной почвы – 3 мг/кг. Коэффициент вариации кадмия для аллювиальной лугово-болотной почвы равен 33%, для аллювиальной луговой почвы – 35% и аллювиальной дерновой – 26%.

**Ключевые слова:** подвижный и валовый кадмий, пойменные почвы, ПДК, коэффициент вариации, аккумуляция, коэффициент техногенной концентрации, коэффициент подвижности, переменность, коэффициент химического загрязнения.

Аллювиальные почвы лесостепи Зауралья входят в состав биогеохимической лесостепной и степной зон, характеризуемых, как правило, достаточным, а иногда и избыточным содержанием отдельных элементов (кадмий, медь, кобальт, цинк, никель, марганец и др.) в почвах [1, 2].

В большинстве почв Западной Сибири отмечается значительное накопление кадмия в гумусовом горизонте, что обусловлено не только биогенной аккумуляцией элемента, но и его поступлением из глобального атмосферного пула. Различия между основными типами почв Западной Сибири по содержанию кадмия в гумусоаккумулятивном горизонте небольшие. Заметнее проявляются внутритиповые различия, когда максимальное содержание кадмия превышает минимальное в 5–10 раз и более [3, 4].

Содержание подвижной формы кадмия изменяется в зависимости от агрохимической и агрофизической характеристики почв и погодных условий [3]. В региональных условиях концентрация кадмия обладает большой переменностью, которая обусловлена изменением влажности и температуры почвы, т.е. биологической активности, окислительно-восстановительного потенциала и реакции среды [5].

Для изучаемых нами почв также характерно среднее, а иногда и высокое в сравнении с другими районами Сибири содержание большинства изучавшихся элементов [6]. Причины повышенного содержания микроэлементов до конца не выяснены.

Не обнаружено также четких корреляционных связей между содержанием элементов в нижележащих горизонтах и аккумулятивных – гумусовых горизонтах почв. Причина в том, что перемещение и биогенная аккумуляция элементов в процессе почвообразования внесли значительные изменения в сравнении с первоначальным их распределением. Эти изменения выражаются, главным образом, увеличением содержания микроэлементов в собственно почвенной толще и в гумусовом горизонте особенно.

Для рассматриваемых элементов (кадмий, свинец, цинк, медь, хром, никель, кобальт, марганец) характерна не только неравномерность распределения в профиле аллювиальных почв, но и большая пестрота содержания, как в целом, так и внутри каждого типа почв [7]. По-видимому, подобное варьирование в какой-то мере определяется пространственной неоднородностью гранулометрического состава, гумусированности почв, реакцией среды. Кроме этого, надо учитывать факт влияния поемности, за счет которой и привносится аллювий, имеющий различное содержание элементов на разных участках поймы.

Содержание кадмия во всех аллювиальных почвах превышает мировой фон (рис. 1), а в лугово-болотной почве в 1,5 раза выше значения ПДК. Среднее содержание кадмия в метровом слое аллювиальной дерновой почвы составляет 1,2 мг/кг, аллювиальной луговой – 1,7 мг/кг и аллювиальной лугово-болотной почвы – 3 мг/кг. Коэффициент вариации кадмия для аллювиальной лугово-болотной почвы равен 33%, для аллювиальной луговой почвы – 35% и аллювиальной дерновой – 26%.

Самые высокие концентрации кадмия среди объектов исследований отмечены в центральной и в прирусловой частях поймы р. Тобол (рис. 1). Основная аккумуляция его происходит в верхнем гумусовом горизонте А (слой 0–20 см) и превышает значения ПДК в 3,5 и 6,5 раз соответственно.

В аллювиальных почвах коэффициенты корреляции кадмия и химических показателей почвы относительно других изучаемых элементов далеко не однозначны (табл. 1). Это связано, как уже выше отмечалось, с подвижностью данного металла и, прежде всего, со слоистостью почв за счет приносимого паводковыми водами аллювия.

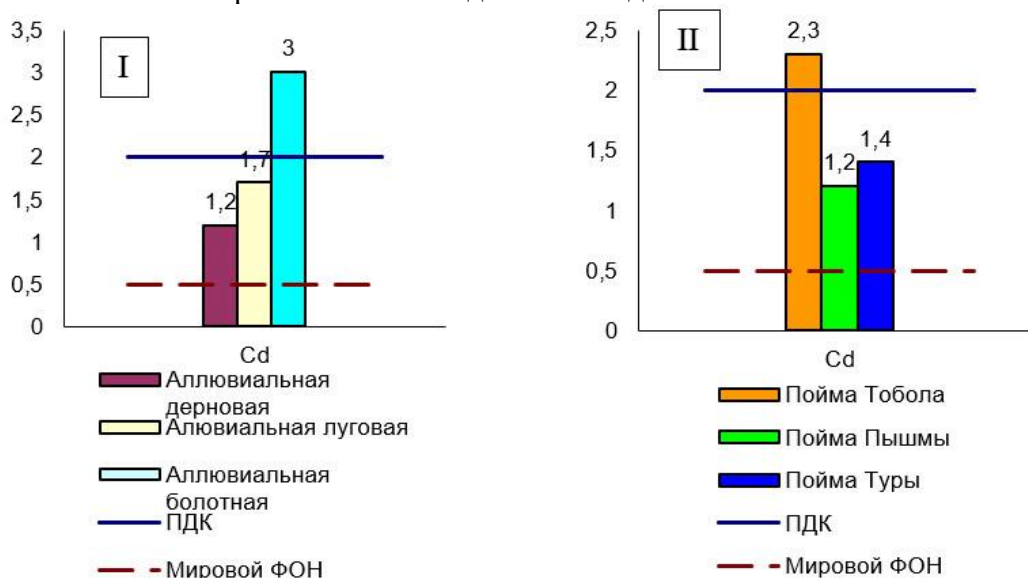


Рисунок 1. I – содержание валового кадмия в аллювиальных почвах, среднее значение по типам почв; II – содержание валового кадмия, среднее по поймам рек.

Таблица 1. Корреляция содержания валового кадмия с химическими свойствами почвы

Объект, часть поймы	Гумус	pH <sub>KCl</sub>	Hг	S <sub>общ</sub>	N	P	K	Физ. глина
Аллювиальная дерновая								
Пышма: притеррасная,	-0,62	-0,19	-0,11	0,47	-0,63	-0,95	-0,07	-0,41
прирусловая, (л.б.) <sup>*</sup> ,	0,83	0,38	0,86	0,58	0,49	0,86	0,44	-0,66
притеррасная (л.б.)	0,15	-0,08	-0,17	-0,01	0,63	-0,04	0,04	-0,55
Тура, прирусловая	0,82	-0,63	0,72	0,63	0,82	0,67	0,38	0,92
Тобол: прирусловая,	0,46	0,34	-0,21	-0,22	0,23	0,22	0,27	-0,74
притеррасная	0,87	-0,89	0,70	-0,18	0,85	0,90	0,79	0,73
Аллювиальная луговая								
Тобол, центральная	-0,10	-0,71	0,40	-0,16	-0,11	-0,57	-0,06	0,39
Пышма, центральная	0,83	-0,20	0,96	0,99	0,99	0,64	0,98	-0,36
Аллювиальная лугово-болотная								
Пышма, прирусловая	-0,91	0,76	-0,85	0,81	-0,93	0,66	0,89	0,43
Тура, притеррасная	0,36	0,73	0,48	0,15	0,42	-0,60	0,66	-0,68
Тобол, прирусловая	-0,38	-0,80	-0,11	-0,10	0,91	0,25	-0,99	0,06

Примечание. \* – (л.б.) – левый берег.

В пойменных почвах Северного Зауралья, как и в других районах Западной Сибири, наблюдается значительное варьирование содержания подвижного кадмия. Концентрация этого элемента в разных типах аллювиальных почв изменяется от 0,02 до 0,42 мг/кг или в 21 раз.

Среднее содержание подвижного кадмия в аллювиальных дерновых почвах поймы р. Пышмы – 0,2 мг/кг, р. Туры – 0,04 мг/кг и р. Тобол – 0,11 мг/кг. Различные типы аллювиальных почв несколько отличаются по концентрации кадмия в верхнем горизонте почв, меньше всего подвижного кадмия в дерновых слоистых почвах. Содержание кадмия в аллювиальных



дерновых почвах (слоистых, глеевых, карбонатных) в среднем по профилю колеблется от 0,04 до 0,20 мг/кг, в среднем составляя 0,14 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2. Содержание подвижного кадмия в аллювиальных почвах, мг/кг

Почва	Валовые	Подвижные	% от валового	Кс*	Ко**
р. Пышма					
Аллювиальная дерновая	1,4	0,20	14,3	1,5	<1
Аллювиальная дерновая	1,2	0,19	15,8	1,5	<1
Аллювиальная дерновая глеевая	1,2	0,20	17,2	1,5	<1
Аллювиальная луговая	1,1	0,15	13,6	1,2	<1
Аллювиальная лугово-болотная	1,1	0,10	8,8	<1	<1
р. Тура					
Аллювиальная дерновая слоистая	1,0	0,04	4,0	<1	<1
Аллювиальная лугово-болотная	1,8	0,05	2,9	<1	<1
р. Тобол					
Аллювиальная дерновая слоистая	1,3	0,08	6,3	<1	<1
Аллювиальная дерновая карбонатная	1,1	0,14	12,7	1,1	<1
Аллювиальная луговая	2,1	0,05	2,4	<1	<1
Аллювиальная лугово-болотная	4,0	0,19	4,8	1,5	<1

Примечание. \* Кс – коэффициент техногенной концентрации ( $K_c = C_i / C_{fi}$ ), где  $C_i$  – фактическое содержание элемента,  $C_{fi}$  – его фоновая концентрация. \*\* Ко – коэффициент химического загрязнения ( $K_o = C_i / ПДК$ ).

Концентрация подвижного кадмия в аллювиальных луговых почвах изменяется от минимума к максимуму в 3 раза. Среднее содержание кадмия в аллювиальной луговой почве поймы р. Пышмы – 0,15 мг/кг, р. Тобол – 0,05 мг/кг. Различия в содержании кадмия в пойменных почвах связаны с неодинаковой концентрацией элемента в почвообразующих породах. Среднее содержание подвижного кадмия в аллювиальных луговых почвах Северного Зауралья равно 0,10 мг/кг, что в 1,4 раза ниже, чем в дерновых.

Количество подвижного кадмия в аллювиальных лугово-болотных почвах пойм рек Пышмы, Туры и Тобола изменяется от 0,05 до 0,19 мг/кг или в 3,8 раза. Среднее содержание кадмия в лугово-болотной почве по всем объектам составило 0,11 мг/кг.

Среди объектов исследований наибольшая концентрация подвижного кадмия установлена в аллювиальных почвах поймы р. Пышмы. Здесь среднее содержание кадмия по всем типам аллювиальных почв составило 0,17 мг/кг. В почвах поймы р. Тобол концентрация кадмия (0,11 мг/кг) в 1,5 раза ниже и в 4,2 раза меньше, чем в почвах поймы р. Туры (0,04 мг/кг).

В пойменных почвах р. Пышмы количество подвижного кадмия от валового его содержания составляет 8,8–17,2%. Наиболее высокая подвижность кадмия отмечается в аллювиальной дерновой глеевой почве (17,2%). В дерновой слоистой и в лугово-болотной почвах поймы р. Туры доля подвижного кадмия от валового не превышала 2,9–4,0%. Аналогичная ситуация на пойме р. Тобол, где содержание подвижного кадмия от его валового количества составляет 2,4–6,3%. Исключение представляет аллювиальная дерновая карбонатная почва, здесь доля подвижного кадмия возрастает до 12,7%.

Коэффициент техногенной концентрации кадмия в пойменных почвах р. Пышмы изменяется от 1,2 до 1,5, т.е. превышает ФОН в 1,2–1,5 раза. У всех почв максимальное превышение ФОНа отмечается в верхнем гумусовом горизонте. Самое высокое превышение ФОНа (в 3,2 раза) установлено в горизонте А<sub>1</sub> луговой почвы. В профиле всех почв на рассматриваемом объекте превышения коэффициента химического загрязнения (> 1 ПДК) нами не отмечалось.

По классификации А.И. Обухова (1992), аллювиальные почвы поймы р. Пышмы характеризуются как почвы с высоким содержанием подвижного кадмия.

Содержание подвижного кадмия в аллювиальной дерновой слоистой и в лугово-болотной почвах поймы р. Туры составляет 0,04 мг/кг и 0,05 мг/кг соответственно. Коэффициент подвижности изменяется от 2,9 до 4,0. Данные почвы поймы р. Туры имеют минимальное процентное соотношение содержания подвижного кадмия к валовому – в среднем 3,5%, что в 2,6 раза ниже почв поймы р. Тобола и в 4 раза почв поймы р. Пышмы.

Коэффициенты техногенной концентрации и химического загрязнения в почвах поймы реки Туры не превышают установленных норм. По классификации А.И. Обухова (1992), содержание кадмия в почвах классифицируется как низкое.

Содержание подвижных форм кадмия в пойменных почвах р. Тобол классифицируется как высокое и изменяется от 0,05 до 0,19 мг/кг. Максимум подвижного кадмия приходится на аллювиальную лугово-болотную почву (0,19 мг/кг), минимум на луговую (0,05 мг/кг), промежуточные значения занимают дерновые почвы (от 0,08 до 0,14 мг/кг).

Коэффициент подвижности изменяется от 0,8 до 25,0%. Более высокий показатель отмечен в аллювиальной дерновой карбонатной почве в горизонте  $C_k$  и в горизонте  $B_1$  лугово-болотной почвы.

Концентрация подвижного кадмия, превышающая ФОН, установлена в дерновой карбонатной ( $K_c > 1,1$ ) и в лугово-болотной почвах ( $K_c > 1,5$ ). Превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) не прослеживалось. По классификации А.И. Обухова (1992), аллювиальная дерновая карбонатная и лугово-болотная почвы поймы р. Тобол характеризуются как почвы с высоким содержанием подвижного кадмия. Дерновая слоистая и луговая почвы имеют среднее содержание.

Почвы исследуемых пойм отличаются по содержанию и профилю распределения кадмия (рис. 2). Эти особенности обусловлены неодинаковой концентрацией элемента в почвообразующих породах и направленностью почвообразовательных процессов, а также разной емкостью почв. Общей закономерностью для аллювиальной дерновой и лугово-болотной почвы является биогенная аккумуляция кадмия в гумусовом горизонте. Для дерновой характерен регрессивно-аккумулятивный тип распределения, а для лугово-болотной – равномерно-аккумулятивный. В луговой почве содержание кадмия было выше в почвообразующей породе. Здесь проявлялся так называемый аккумулятивно-элювиально-иллювиальный тип распределения.

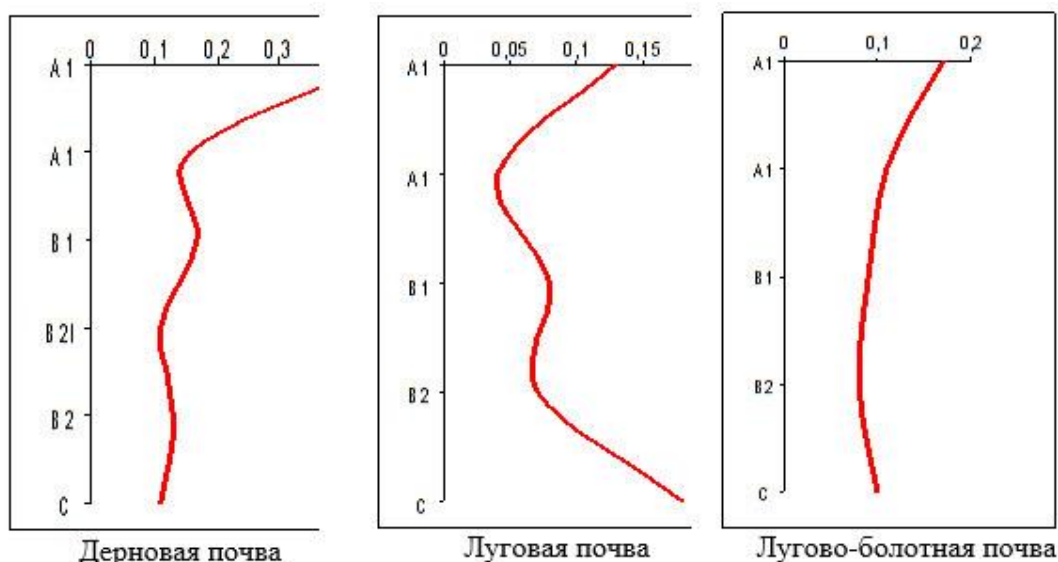


Рисунок 2. Среднее содержание и распределение подвижного кадмия в аллювиальных почвах, мг/кг.

Больше всего сильных связей подвижный кадмий образует с гидролитической кислотностью, меньше всего с физической глиной. С содержанием гумуса положительная сильная связь отмечается только в пойме р. Пышмы в аллювиальной дерновой и в лугово-болотной почвах ( $r=+0,69-0,96$ ). С реакцией почвенной среды в основном имеется средняя отрицательная связь.

Корреляционная зависимость подвижного кадмия относительно других микроэлементов во многом складывается из-за типа почвы и гранулометрического состава. Больше всего сильных положительных связей у кадмия с микроэлементами отмечалось в лугово-болотных почвах и почвах тяжелого гранулометрического состава, минимум таких связей в дерновых почвах легкого состава. Наибольшее число сильных связей кадмий образует с марганцем, хромом и медью.

Фоновое содержание кадмия в почвах Северного Зауралья равняется 0,13 мг/кг, при среднем значении в пойменных почвах – 0,12 мг/кг. Результаты исследований показывают, что аллювиальные почвы пойм р. Пышмы и р. Тобол имеют высокое содержание кадмия, р. Туры – низкое. На обследованной территории не выявлено загрязнения почв кадмием, его содержание не превышает предельно допустимую концентрацию.

#### Литература

1. Ковальский В.В. Геохимическая экология: Очерки. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 448 с.; Кн. 2. 468 с.
2. Макеев О.В. Микроэлементы в почвах Сибири и Дальнего Востока / О.В. Макеев. М.: Наука, 1974. 151 с.
3. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и не металлы в системе почва-растение. / В.Б. Ильин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
4. Букин, А.В. Тяжелые металлы в аллювиальных почвах р. Тура и их профильное распределение / А. В. Букин, А. В. Кузнецова // Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе: сборник трудов LVII Студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 30 ноября 2022 года. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022.
5. Обухов А.И. Детоксикация дерново-подзолистых почв, загрязнённых тяжелыми металлами. /А.И. Обухов, И.О. Плеханова // Агрохимия. 1995. №2. С. 108–115.
6. Букин, А. В. Микроэлементы в пойменных почвах реки Тобол / А. В. Букин // Достижения аграрной науки для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Сборник трудов II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Тюмень, 19 декабря 2022 года. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. С. 11–15.
7. Букин, А. В. Марганец, медь, цинк, никель в гумусовых горизонтах и материнских породах пойменных почв Тюменской области / А. В. Букин // Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России: сборник трудов национальной научно-практической конференции, Тюмень, 01–03 ноября 2022 года. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022.

#### CONTENT AND PROFILE DISTRIBUTION OF CADMIUM IN FLOODPLAIN SOILS OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE TRANS-URALS

A.V. Bukin

State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, [bukinav@gauz.ru](mailto:bukinav@gauz.ru)

*Summary. In the floodplain soils of the Northern Trans-Urals, as in other areas of Western Siberia, there is a significant variation in the content of mobile cadmium. The concentration of this element in different types of alluvial soils varies from 0.02 to 0.42 mg/kg or 21 times. The average content of gross cadmium in the meter layer of alluvial turf soil is 1.2 mg/kg, alluvial meadow soil – 1.7 mg/kg and alluvial meadow-swamp soil – 3 mg/kg. The coefficient of variation of cadmium for alluvial meadow-swamp soil is 33%, for alluvial meadow soil – 35% and alluvial turf – 26%.*

*Keywords: mobile and gross cadmium, floodplain soils, MPC, coefficient of variation, accumulation, coefficient of technogenic concentration, coefficient of mobility, variability.*

УДК 631.416

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ СВИНЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ЕГО СОЕДИНЕНИЙ

**М.В. Бурачевская, Т.М. Минкина, Е.С. Федоренко, Е.С. Лацынник, А.П. Щербаков**

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, [marina.0911@mail.ru](mailto:marina.0911@mail.ru)

**Аннотация.** В модельном опыте отражены изменения буферной способности чернозема южного посредством моделирования состава и свойств почв путем разбавления кварцевым песком при загрязнении почвы Pb. При использовании комбинированной схемы фракционирования по Т.М. Минкиной [1] показано участие основных почвенных компонентов. Показано увеличение содержания непрочно связанных соединений металла при разбавлении почвы песком, а следовательно, снижение устойчивости почвы к загрязнению Pb.

**Ключевые слова:** поллютант, чернозем, моделируемые условия, свойства почвы, почвенные компоненты, формы соединений.

Наиболее опасными загрязняющими веществами, поступающими в окружающую среду, являются тяжелые металлы (ТМ). Данные поллютанты, в отличие от большинства органических загрязняющих веществ, которые теряют свою токсичность в результате биодegradации, могут приводить к длительным токсическим эффектам [2, 3]. Острота проблемы состоит в том, что они не разлагаются и при попадании в почву могут мигрировать между отдельными компонентами экосистемы, что создает серьезные риски для здоровья человека и окружающей среды [4, 5]. Свинец и большинство его соединений токсичны [6, 7]. Особенно ядовиты водорастворимые соединения, например, ацетат Pb(II) и летучие металлоорганические, например, тетраэтилсвинец. Он включен в список приоритетных загрязняющих веществ Агентством по охране окружающей среды США и Европейским союзом из-за токсичности и потенциальной канцерогенности [8].

Почва является ключевым звеном биогеохимических циклов химических элементов. Именно почва становится одним из главных объектов функционирования биосферы [9]. Вследствие высокой сорбционной способности, почвы являются показателями антропогенного загрязнения наземных экосистем. В связи с этим, изучение и контроль содержания поллютантов в почвах является важным инструментом рационального природопользования [10, 11].

Возрастающее воздействие человека на окружающую среду влияет над ее устойчивость, что приводит к нарушению естественных биогеохимических циклов веществ, накоплению поллютантов, конечным звеном которых является человек. В связи с этим необходимо изучение подвижности и доступности ТМ для окружающей среды. Цель работы – изучить состав соединений Pb в почве модельного опыта при изменении физико-химических свойств почвы.

Для изучения влияния свойств почв на подвижность Pb в черноземе обыкновенном в почве при загрязнении была изучена почва заложенного модельного опыта. Для закладки модельного опыта отбирался верхний слой (0-20 см) чернозема южного среднемошного целинного участка, находящегося вдали от возможных источников загрязнения. Исследуемый образец почвы обладает следующими физико-химическими свойствами: pH – 7,5; 49,3% физической глины (частиц с диаметром <0,01 мм), 24,6% ила (частиц с диаметром <0,001 мм), содержание органического углерода 5,0%; карбонатов – 0,3%; ЕКО почвы – 36,5 сМ(+) $\cdot$ кг<sup>-1</sup>.

В сосуды с дренажем помещали по 1 кг почвы, просеянной через сито диаметром ячеек 2 мм. Доза внесения металла 5 ОДК (130 мг/кг) [12]. Инкубация проходила при температуре +20-22°C и естественном освещении. Опыт был заложен по следующей схеме: 1) контроль (почва без загрязнения); 2) Pb 5ОДК; 3) Pb 5ОДК+25% песка (почва с разбавлением кварцевым песком 25% от массы почвы); 4) Pb 5ОДК+50% песка; 5) Pb 5ОДК+75% песка. Доза внесения металла соответствует встречающемуся уровню загрязнения почв Ростовской области [4]. Почву инкубировали 6 месяцев при влажности 60 % полной полевой влагоемкости. Опыт проводился в 3-х повторностях.

Фракционно-групповой состав соединений ТМ был изучен методом комбинированного фракционирования, разработанного Т.М. Минкиной [1, 13], который основан на сочетании



данных, полученных путем применения параллельных и последовательных экстракций и расчетного метода (табл. 1). Содержание Pb в вытяжках определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Результаты статистически обработаны.

Таблица 1. Комбинированная схема фракционирования соединений металлов в почве [1]

Общее содержание обменных форм	1 н. $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ , pH 4,8
Легкообменные	1 М $\text{MgCl}_2$
Труднообменные	Разность между 1 н. $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ - 1 М $\text{MgCl}_2$
Общее содержание ТМ, связанных с карбонатами	Нет метода
Непрочносвязанные с карбонатами (специфически сорбированные)	1 М $\text{NaCH}_3\text{COO}$ , pH 5
Прочносвязанные с карбонатами (соосажденные, окклюзированные, хемосорбированные, осадки малорастворимых соединений ТМ)	Нет метода
Общее содержание металла, связанного с несиликатными соединениями Fe, Mn	0,04 М $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$
Непрочносвязанные с несиликатными соединениями Fe, Mn (специфически сорбированные)	Разность между (1 н. $\text{HCl}$ – 1 н. ААБ) - 1 М $\text{NaCH}_3\text{COO}$
Прочносвязанные с несиликатными соединениями Fe, Mn (окклюзированные)	Разность 0,04 М $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ - (1 н. $\text{HCl}$ – 1 н. ААБ - 1 М $\text{NaCH}_3\text{COO}$ )
Общее содержание металла, связанного с органическим веществом	30% $\text{H}_2\text{O}_2$
Непрочносвязанные с органическим веществом (комплексные)	Разность 1% ЭДТА в 1 н. ААБ – 1 н. ААБ
Прочносвязанные с органическим веществом (хелаты)	Разность 30% $\text{H}_2\text{O}_2$ – 1% ЭДТА в 1 н. ААБ
Содержание металла, прочно связанного с силикатами	Вытяжка $\text{HF} + \text{HClO}_4$ из остаточной фракции почвы (после всех экстракций)

Валовое содержание Pb в почве контроля модельного опыта составляет 28,3 мг/кг. Колебания в содержании Pb для черноземов обыкновенных – 8–78 мг/кг не превышают на большей территории 30 мг/кг [14] и не превышают ОДК элемента [12]. Средняя концентрация Pb в почвах равна 21 мг/кг, что превышает кларк (10 мг/кг) и фоновое значение металла (13,2 мг/кг) в черноземах бывшего СССР [15].

Полученные результаты позволяют оценить группы непрочно связанных и прочно связанных соединений ТМ в почвах. Основными агентами удерживания, как в прочно, так и в непрочно связанном состоянии Pb выступают первичные и вторичные минералы почвы, органическое вещество, несиликатные минералы Fe-Mn и карбонаты. Основная часть Pb (63–89% от суммы фракций) в исследуемых почвах модельного опыта находится в прочно связанном состоянии, на долю непрочно связанных форм приходится 11–37%, соответственно (рис. 1).

В незагрязненной почве (контроль) наблюдается следующее фракционное распределение соединений Pb: прочно связанные с силикатами > прочно связанные с органическим веществом > прочно связанные с (гидр)оксидами Fe и Mn > комплексные > специфически сорбированные на карбонатах > специфически сорбированные на (гидр)оксидах Fe и Mn > обменные (рис. 1).

При загрязнении меняется взаимодействие металла с почвенными компонентами, что находит отражение во фракционном составе. Во фракционном распределении варианта опыта Pb ОДК увеличивается доля непрочно связанных соединений и большее влияние приобретает органическое вещество почвы (до 24%): прочно связанные с силикатами > прочно связанные

с органическим веществом прочно > комплексные > прочно связанные с (гидр)оксидами Fe и Mn > специфически сорбированные на (гидр)оксидах Fe и Mn > обменные > специфически сорбированные на карбонатах (рис. 1).

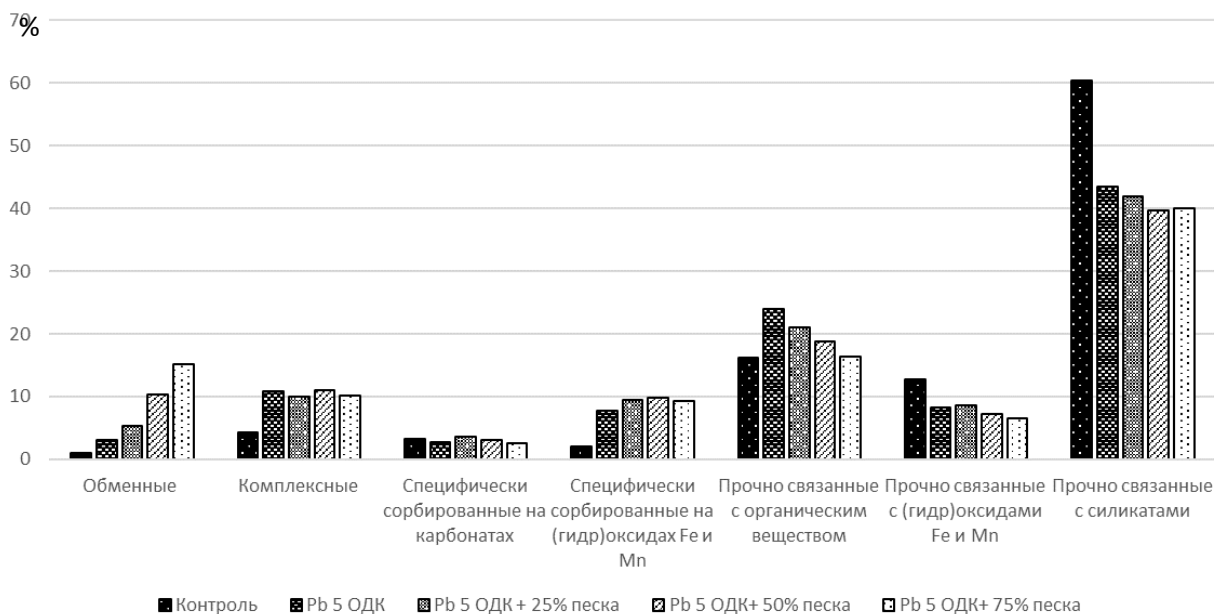


Рисунок 1. Фракционно-групповой состава Pb в почве при модельном загрязнении и разной степени разбавления песком.

При постепенном разбавлении загрязненной почвы песком наблюдаются изменения во фракционном распределении Pb. Большую роль начинают играть непрочно связанные соединения (24–37%) и главным образом обменные и комплексные соединения Pb (5–15%). И в случае наибольшего содержания песка в почве (75%) наблюдается следующее фракционное распределение: прочно связанные с силикатами > прочно связанные с органическим веществом > обменные > комплексные > специфически сорбированные на (гидр)оксидах Fe и Mn > прочно связанные с (гидр)оксидами Fe и Mn > специфически сорбированные на карбонатах.

Таким образом, на основе комбинированной схемы фракционирования выявлено, что в незагрязненных почвах преобладание прочно связанных соединений (89% от суммы фракций) обеспечивается удержанием Pb первичными и вторичными минералами (60%). Подвижность металлов в почвах невысока (до 11%) и представлена в основном комплексосвязанными формами.

Выявлено решающее влияние на экологическое состояние загрязненных металлами почв двух важнейших групп соединений ТМ в почвах: непрочно и прочно связанных с почвенными компонентами. При загрязнении почвы не только повышается содержание всех соединений Pb, но и происходят изменения в их соотношении в сторону увеличения доли непрочно связанных соединений (до 37%). Важное значение во фракционном распределении Pb как в прочном, так и непрочно удерживании, играет органическое вещество почвы. При разбавлении почвы песком наблюдаются изменения во фракционном составе соединений Pb, так большее значение приобретают наиболее подвижные соединения металла – обменные и комплексные. Также снижается содержание Pb в основных прочно удерживающих почвенных компонентах почвы, таких как органическое вещество, полуторные оксиды Fe-Mn и карбонаты, что связано с уменьшением их содержания в почве при физическом разбавлении и влечет уменьшение буферной способности и устойчивости почвы к загрязнению. Группа прочно связанных соединений ТМ определяет способность почв защищать от загрязнения сопредельные среды.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ, проект № 23-24-00646.

1. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г., Крыщенко В.С., Манджиева С.С. Комбинированный прием фракционирования соединений металлов в почвах // Почвоведение. 2008. №11. С. 1324–1333.
2. Acosta J., Gabarrón M., Faz A., Martínez-Martínez S., Zornoza R., Arocena J.M. Influence of population density on the concentration and speciation of metals in the soil and street dust from urban areas //Chemosphere. 2015. V 134. P. 328–337.
3. Tashakor M., Zuhairi Wan Yaacob W., Mohamad H., Abdul Ghani A., Saadati, N. Assessment of selected sequential extraction and the toxicity characteristic leaching test as indices of metal mobility in serpentinite soils //Chemical Speciation & Bioavailability. 2014. V 26 (3). P. 139–147.
4. Huang H., Yang Y., Yuan C.Y., Li Q., Ouyang K., Wang B., Wang Z.X. Pollution evaluation of heavy metals in soil near smelting area by index of geoaccumulation (Igeo) // IOP Conf. Series: Earth Environ Science. V. 52 (1). P. 012095.
5. Yaylali-Abanuz G. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze Industrial area, Turkey // Microchemistry Journal. 2011.V 99. P. 82–92.
6. Пантюхин Д. В. Влияние свинца на здоровье человека и его содержание в г. Орле //Теоретические и практические аспекты научных исследований. 2019. С. 25–30.
7. Gomes F.P., Barreto M.S.C., Amoozegar A., Alleoni, L.R F. Immobilization of lead by amendments in a mine-waste impacted soil: Assessing Pb retention with desorption kinetic, sequential extraction and XANES spectroscopy //Science of The Total Environment. 2022. V. 807. P. 150711.
8. Fan H., Zhao C., Yang Y. A comprehensive analysis of the spatio-temporal variation of urban air pollution in China during 2014–2018 //Atmospheric Environment. 2020. V. 220. P. 117066.
9. Ермаков В. В., Сарьян В. К. Развитие исследований по применению новых информационных технологий в экологическом мониторинге и биогеохимии // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. №. 3. С. 129–134.
10. Kabata-Pendias A., Szeke B. Trace elements in abiotic and biotic environments. Taylor & Francis, 2015. 468 с.
11. Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Pol'shina T.N., Fedorov Y.A., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Bauer T.V., Burachevskaya M.V. Heavy metals in the soil–plant system of the Don River estuarine region and the Taganrog Bay coast // Journal of Soils and Sediments. 2017. 17 (5), P. 1474–1491.
12. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. 10 с.
13. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Бурачевская М.В., Антоненко Е.М. Фракционно-групповой состав Mn, Cr, Ni и Cd в почвах техногенных ландшафтов (район Новочеркасской ГРЭС) // Почвоведение. 2013. № 4. С. 414–425.
14. Закруткин В.Е., Шкафенко Р.П. Некоторые аспекты распределения свинца в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области // Мат-лы Межд. симпозиума «Тяжелые металлы в окружающей среде». 1997. С. 110–117.
15. Свинец в окружающей среде / Под ред. В. В. Добровольского. М.: Наука, 1987. 181 с.

#### THE INFLUENCE OF SOIL PROPERTIES ON THE TRANSFORMATION OF LEAD USING THE FRACTIONAL GROUP COMPOSITION OF ITS COMPOUNDS

M.V. Burachevskaya, T.M. Minkina, E.S. Fedorenko, E.S. Latsynnik, A.P. Shcherbakov  
Southern Federal University, Rostov-on-Don, marina.0911@mail.ru

*Summary. The model experiment reflects changes in the buffering capacity of the southern chernozem by modeling the composition and properties of soils by dilution with quartz sand when soil is contaminated with Pb. When using the combined fractionation scheme according to T.M. Minkina [1], the participation of the main soil components is shown. An increase in the content of loosely bonded metal compounds is shown when the soil is diluted with sand, and consequently a decrease in soil resistance to Pb contamination.*

*Keywords: pollutant, chernozem, simulated conditions, soil properties, soil components, forms of compounds.*

УДК 631.42

## ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТАЛЛИЕМ

Н.А. Евстегнеева, С.И. Колесников

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, [evstegneeva@sfedu.ru](mailto:evstegneeva@sfedu.ru)

**Аннотация.** В работе представлены результаты модельного эксперимента по оценке изменения ферментативной активности чернозема обыкновенного в условиях загрязнения таллием в концентрациях 1,5, 3, 9, 30 и 90 фонов. В результате исследования зафиксировано снижение ферментативной активности в почве. Установлена прямая зависимость снижения ферментативной активности от дозы таллия.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, почва, токсичность, дегидрогеназы, каталаза.

Одним из важнейших направлений охраны окружающей среды считается решение проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами. Таллий – высокотоксичный редкий металлоид, включенный в список приоритетных загрязнителей в ряде стран (США, Россия, Австралия и Китай) [1]. Однако, поскольку таллий является следовым элементом с очень низким естественным содержанием в земной коре, экологические последствия загрязнения почв его соединениями изучены недостаточно, нормативы содержания таллия в почве не разработаны.

Соединения таллия обладают высокой растворимостью, в связи с чем очень подвижны в почве, являются биодоступными и имеют тенденцию к аккумуляции в живых организмах [2]. Основными источниками загрязнения почв таллием являются добыча и плавка П-содержащих сульфидных минералов, сжигание угля, производство цемента [3]. Интенсивное использование таллия в промышленности приводит к его накоплению в окружающей среде и постоянному негативному воздействию на почвенные экосистемы, а также живые организмы и растения [4].

Цель исследования – оценка изменения ферментативной активности чернозема обыкновенного в условиях загрязнения таллием.

Объектом исследования был выбран чернозем обыкновенный. Согласно классификации World Reference Base for Soil Resources (WRB) – *haplic Chernozem (Loamic)* [5]. Образцы почвы отбирались на территории Ботанического сада Южного федерального университета (ЮФУ).

Было проведено лабораторное моделирование загрязнения чернозема обыкновенного. Для исследования использовали верхний горизонт (0–10 см) почвы, так как в нем аккумулируется основная доля загрязняющих веществ. Содержание таллия в почве выражали в УДК – «условно допустимой концентрации» (так как ПДК – предельно допустимые концентрации таллия в почве не разработаны), равной трем фоновым концентрациям элемента в почве. В почву вносили оксид и нитрат таллия в концентрации 0,5, 1, 3, 10 и 30 УДК, то есть 1,5, 3, 9, 30 и 90 фонов. Загрязнение моделировали в лабораторных условиях в течение 30 суток.

Для оценки потенциальной биологической активности в почвах использовали активность каталазы и дегидрогеназы, так как эти ферменты более чувствительны к химическому загрязнению по сравнению с другими [6]. Активность каталазы определяли газометрическим методом по скорости разложения 5% перекиси водорода после контакта с почвой (температура 20–22°C). Дегидрогеназы определяли по скорости превращения хлорида трифенилтетразолия в трифенилформаза. Оптическую плотность окрашенных растворов определяли спектрофотометрически [7].

В результате исследования установлена прямая зависимость снижения ферментативной активности от дозы загрязняющего таллия. Оксид таллия при 0,5 УДК на 30-е сутки после загрязнения стимулировал активность каталазы на 7% относительно контрольного образца (рис. 1). В диапазоне доз от 3 до 30 УДК установлено ингибирование на 12–21%. Стимулирующее действие при минимальной дозе загрязнения (0,5 УДК) также установлено для нитрата таллия. Однако, остальные изученные дозы были токсичнее по сравнению с оксидом, нитрат таллия в дозе 3–30 УДК снизил активность каталазы на 25–69% относительно контроля.



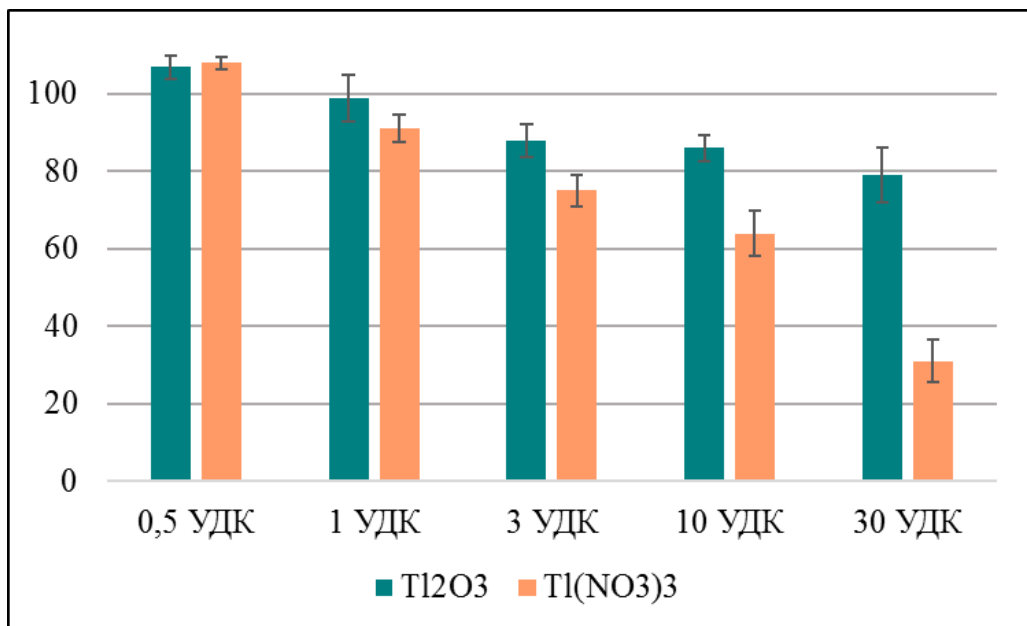


Рисунок 1. Изменение активности каталазы в черноземе обыкновенном после загрязнения оксидом и нитратом таллия, % от контроля

Активность дегидрогеназ снизилась относительно контроля во всех вариантах опыта (рис. 2). При внесении 1–30 УДК оксида таллия активность дегидрогеназ снизилась на 11–25% относительно незагрязненной почвы. Достоверного ингибирования активности фермента после внесения 0,5 УДК нитрата таллия не отмечено. При увеличении концентрации нитрата таллия от 3 до 30 УДК обнаружено угнетение активности на 34–72 % относительно контроля.

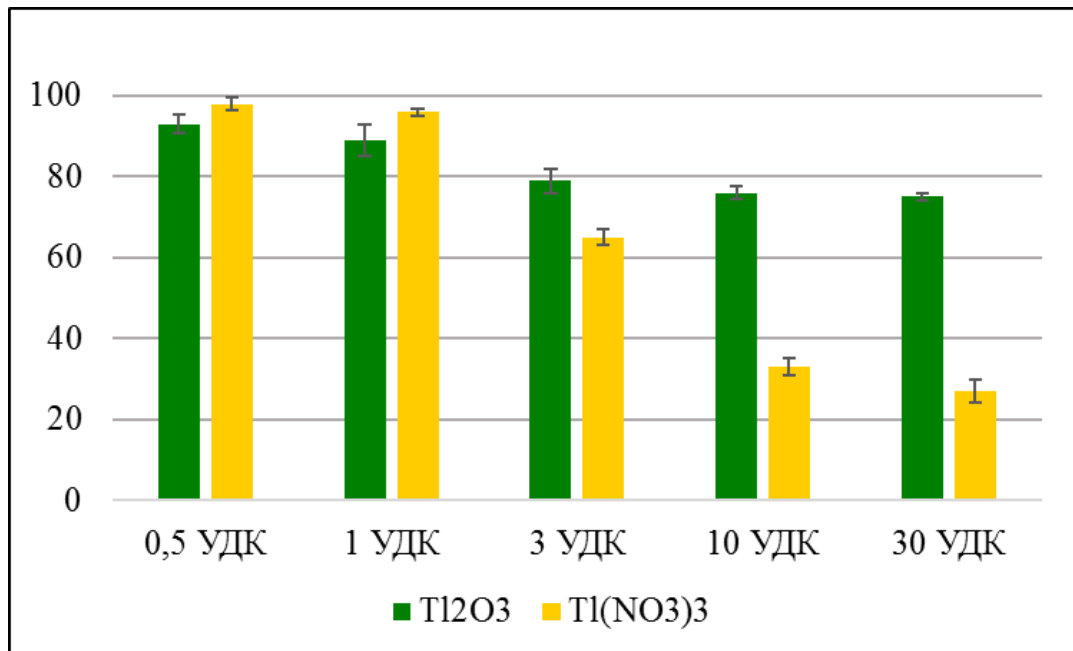


Рисунок 2. Изменение активности дегидрогеназ в черноземе обыкновенном после загрязнения оксидом и нитратом таллия, % от контроля.

Нитрат таллия по сравнению с оксидом сильнее проявляет токсичность для ферментативной активности чернозема обыкновенного. Схожие закономерности снижения других биологических показателей, таких как фитотоксические свойства и общая численность бактерий при загрязнении почв таллием представлены в предыдущем исследовании [7]. Результаты исследований будут использованы для разработки региональных ПДК таллия в черноземе обыкновенном.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–24–01041 в Южном федеральном университете.

#### Литература

1. Liu J. Luo, X., Wang, J., Xiao, T., Chen, D., Sheng, G., Chen, Y. Thallium contamination in arable soils and vegetables around a steel plant – A newly-found significant source of Tl pollution in South China // *Environmental pollution*. 2017. Т. 224. С. 445–453.
2. Karbowska B. Presence of thallium in the environment: sources of contaminations, distribution and monitoring methods // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2016. Т. 188. №. 11. С. 1–19.
3. Xu H., Luo, Y., Wang, P., Zhu, J., Yang, Z., Liu, Z. Removal of thallium in water/wastewater: A review // *Water research*. 2019. Т. 165. С. 114981.
4. Liu J., Yin M., Xiao T., Zhang C., Tsang D.C., Zhou Y., Wang J. Thallium isotopic fractionation in industrial process of pyrite smelting and environmental implications // *Journal of hazardous materials*. 2020. Т. 384. С. 121378.
5. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
6. Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // *Экология*. 2000. №. 3. С. 193–201.
7. Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Minkina T.M., Rajput V.D., Tsepina N.I, Kazeev K.S., Zhadobin A., Nevedomaya E.N., Ter-Misakyants T.A., Akimenko Y.V., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Ranjan A., Asylbaev I.G., Popova V., Tymoshenko A.N. Toxic Effects of Thallium on Biological Indicators of Haplic Chernozem Health: A Case Study // *Environments*. 2021. V. 8 (11).

#### CHANGES IN THE ENZYMATIC ACTIVITY OF COMMON CHERNOZEM UNDER CONDITIONS OF POLLUTION WITH THALLIUM

N.A. Evstegneeva, S.I. Kolesnikov

South Federal University, Rostov-on-Don, evstegneeva@sfedu.ru

*Summary.* The paper presents the results of a model experiment to assess the change in the enzymatic activity of ordinary chernozem under conditions of thallium contamination at concentrations of 1.5, 3, 9, 30, and 90 backgrounds. As a result of the study, a decrease in enzymatic activity in the soil was recorded. A direct relationship between the decrease in enzymatic activity and the dose of polluting thallium has been established.

*Keywords:* heavy metals, soil, toxicity, dehydrogenases, catalase.

УДК 57.044+504.5

#### ПОСТУПЛЕНИЕ МЕДИ И НИКЕЛЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОЧВ НОРИЛЬСКОЙ ДОЛИНЫ НА УЧАСТКЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПЫЛЕЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Ю.В. Ермолов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, ermolov.07@mail.ru

*Аннотация.* Представлена рекогносцировочная оценка поступления меди и никеля на поверхность почв в эпицентре выпадения пылеаэрозоля выбросов металлургических предприятий Норильска по снегогеохимическим данным.

*Ключевые слова:* аэрозольное загрязнение, Норильский промышленный район, медь, никель, снегогеохимические данные.

Металлургические заводы Норильска уже более семидесяти лет загрязняют выбросами воздух, почвы и водные объекты, что привело к сильной деградации биогеоценозов Таймырской лесотундры на значительной территории [1–3]. Приоритетные загрязняющие вещества промышленных выбросов – сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>) и пыль, обогащенная медью,

никелем и другими тяжелыми металлами. В отличие от двуокиси серы, распространяющейся в газообразном состоянии на сотни километров, пылеаэрозоль значительно загрязняет почвенный покров на расстоянии до 40 км от источников выбросов, особенно сильно – в пределах первого десятка километров [4], где рубеж безопасных для растений концентраций меди и никеля в почвах – 100 мг/кг в настоящее время сильно превышен [5–7]. Но и в этой зоне уровень загрязнения почв металлами сильно различается, в зависимости от преобладающих направлений переноса воздушных масс. В нашем сообщении на основе снегеохимических данных представлена рекогносцировочная оценка поступления меди и никеля на участке максимального пылеаэрозольного загрязнения в зимний период.

Отбор проб снега выполнялся в 2021 и 2022 годах в третьей декаде апреля по нерегулярной сети, количество пунктов опробования – 46. Площадки отбора проб выбирались преимущественно в отрицательных формах рельефа – ловушках снега (в ложбинах, впадинах, речных долинах, озерных котловинах и др.). Пробы снега массой не менее 3 кг отбирались кернами из всей толщи снежного покрова с помощью пластиковой трубы диаметром 110 мм. Нижние 5 см кернов отбрасывались во избежание контактного загрязнения снега почвенными частицами. Таяние проб происходило при комнатной температуре, затем они фильтровались через мембранные фильтры «Владипор» МФАС-Б4 (средний диаметр пор 0,22 мкм). Твердые примеси на фильтрах после высушивания и взвешивания помещались в кварцевые стаканы и озолялись в муфельной печи при температуре 450 °С, в течение 1,5 часов. Затем, после охлаждения, взвешивания и растирки, в них атомно-эмиссионным методом [8] определялись концентрации химических элементов (ХЭ). В фильтрах снеговой воды ХЭ исследовались атомно-абсорбционным методом. Для пересчета концентраций химических элементов в снеге на единицу площади были использованы сведения Норильской метеостанции о запасе влаги в снеге на момент отбора проб (233 мм в 2021 году и 195 мм в 2022 году), источник данных – ВНИИГМИ-МЦД (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>).

Результаты исследований показали, что в зимний период наиболее сильное пылеаэрозольное загрязнение поверхности выбросами металлургии происходит в левобережной части Норильской долины, в 5–10 км северо-западнее и западнее Центрального района г. Норильска. Ориентировочная площадь эпицентра этого воздействия – 20–30 км<sup>2</sup>. В пределах этого участка поступление металлов из атмосферы на земную поверхность достигает 1–1,5 г/м<sup>2</sup> в год меди и 0,2–0,3 г/м<sup>2</sup> в год никеля. Фоновый уровень их поступления превышен здесь в сотни раз. Вероятно, загрязнение на этом участке идет с такой интенсивностью уже около 44 лет, после открытия завода «Надежда». Суммарно за время металлургической деятельности на эту территорию поступило не менее 50 г/м<sup>2</sup> меди и 10 г/м<sup>2</sup> никеля, что свидетельствует о сильнейшем загрязнении почвенного покрова этими металлами. Это предварительная грубая осредненная оценка, она основана на результатах анализа проб снега всего с четырех площадок и не учитывает влияния факторов пространственной дифференциации поступления загрязняющих веществ, в том числе ветрового перераспределения загрязненного снега по поверхности и водной миграции накопленных в нем поллютантов при снеготаянии. Для более точной характеристики техногенного пылеаэрозольного поступления металлов необходимо детальное обследование описанного участка с сопряженным геостатистическим анализом загрязнения снежного и почвенного покровов.

В растворенной форме (в фильтрате снеговой воды), по нашим данным, находится 5–10% меди и около 20% никеля, остальное – в составе твердых примесей. При этом, загрязнение фильтрата снеговой воды никелем в его эпицентре – опасное, ПДК никеля – 0,02 мг/л (СанПиН 1.2.3685-21) – превышена на порядок, а медью – ПДК 1 мг/л – не превышена.

Преобладание нерастворимых форм металлов в пылеаэрозоле в сочетании с наличием биогенного геохимического барьера в поверхностном слое почвы в виде торфянистого и/или грубогумусного горизонтов, а также короткий период оттаивания почв на небольшую глубину неблагоприятны для миграции металлов-загрязнителей вглубь почвы. Вследствие этого в загрязненных почвах НПП наблюдается один ярко выраженный максимум накопления металлов в поверхностном слое [5, 9–11].

Латеральная дифференциация поступления металлов на поверхность ландшафта вследствие ветрового перераспределения снега и водно-эрозионной миграции при снеготаянии

еще не исследована. Ее учет, несомненно, важен при оценке загрязнения компонентов ландшафта (почв, растений и донных отложений) в Норильском промышленном районе.

#### Литература

1. Власова Т.М. Биоиндикация аэротехногенного загрязнения в условиях Енисейского севера // Автореф. дисс. к.б.н., М., 1990. 23 с.
2. Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Антропогенное влияние предприятий Норильского промышленного района на растительный покров тундры и лесотундры // Сибирский экологический журнал. 2014. № 6., С. 903–922.
3. Kirdyanov A.V., Krusic P., Shishov V., Vaganov E., Fertikov A., Myglan V., Barinov V., Browse, J., Esper J., Iljin V., Knorre A., Korets M. and al. Ecological and conceptual consequences of Arctic pollution. // Ecology Letters. 2020. V.23. P. 1827–1837.
4. Онучин А.А., Буренина Т.А., Зубарева О.Н., Трефилова О.В., Данилова И.В. Загрязнение снежного покрова в районе действия предприятий Норильского промышленного района. Сибирский экологический журнал. 2014. №6. С. 1025–1037.
5. Кудряшев С.В. Оценка и нормирование экологического состояния почв Норильского промышленного района // Автореферат дисс. к.б.н., МГУ, М., 2010, 24 с.
6. Яковлев А.С., Плеханова И.О., Кудряшев С.В., Аймалетдинов Р.А. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании «Норильский никель» // Почвоведение. 2008. №6. С. 737–750.
7. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Эколого-геохимическая оценка уровней загрязнения тяжелыми металлами и серой бугристых торфяников юга Таймыра // Сибирский экологический журнал. 2014. №6. С.965–974.
8. Черевко А.С., Морозова А.А. Многоэлементный атомно-эмиссионный анализ горных пород, почв и золы растений с использованием дугового аргонового двухструйного плазматрона и многоэлементного анализа эмиссионных спектров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2022. Т.88. №1. С. 49–58.
9. Ершов Ю.И. Эколого-геохимическая оценка мерзлотных почв Среднесибирского плоскогорья // Сибирский экологический журнал. 2014. №6. С. 975–986.
10. Ermolov, Y.V., Lebedeva, M.A., Bondar, M.G. et al. Accumulation of Chemical Elements in the Biochemical Food Chain of the Northern Norilsk Plateau. *Geochem. Int.* 58, 562–573 (2020). <https://doi.org/10.1134/S0016702920040035>
11. Syso A. I., Sokolov D. A., Siromlya T. I., Ermolov Yu. V., Makhatkov I. D. Anthropogenic Transformation of Soil Properties in Taimyr Landscapes // *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55. No. 5. pp. 541–555.

#### THE INTAKE OF COPPER AND NICKEL TO THE SOIL SURFACE OF THE NORILSK VALLEY IN THE EPICENTER OF AEROSOL POLLUTION BY METALLURGICAL EMISSIONS

Yu.V. Ermolov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, [ermolov.07@mail.ru](mailto:ermolov.07@mail.ru)

*Summary. A reconnaissance assessment of the intake of copper and nickel to the soil surface in the epicenter of atmospheric dust and aerosol emissions of the Norilsk Metallurgical Combine according to snow geochemistry is presented.*

*Keywords: aerosol pollution, Norilsk industrial district, copper, nickel, snow geochemical data.*



УДК 631.42:351.777

## ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ

Л.П. Капелькина

Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН, [kapelkina@mail.ru](mailto:kapelkina@mail.ru)

***Аннотация.** Нормирование загрязняющих веществ в почвах является сложной, окончательно не решенной проблемой. Подчеркивается несовершенство использования утвержденных в России нормативов. Предлагается подход к использованию нормативов содержания тяжелых металлов в почвах, основанный на учете целевого использования земель. Наиболее жесткие требования должны предъявляться к почвам сельскохозяйственных угодий.*

***Ключевые слова:** загрязняющие вещества, тяжелые металлы, почвы, нормирование, ПДК, ОДК, сельскохозяйственные земли, урбанозем.*

Нормирование загрязняющих веществ в почвах является сложной, окончательно не решенной проблемой. На сегодня в России утверждены более жесткие по сравнению с зарубежными странами нормативы, которые отличаются от зарубежных в десятки и сотни раз.

Для санитарно-гигиенической оценки почв в настоящее время используют предельно-допустимые и ориентировочно допустимые концентрации (ПДК и ОДК) загрязняющих веществ, которые опубликованы в сводном недавно вышедшем документе [СанПиН 1.2.3685-21]. ПДК разработаны для тяжелых металлов, пестицидов, бенз(а)пирена, мышьяка, органических загрязнителей. О степени загрязнения почв судят по кратности превышения нормативов, частоте встречаемости проб, превышающих утвержденные показатели, классу опасности веществ. Разработанные ПДК для почв территориально не дифференцированы, не учитываются типы почв, характер использования земель. В России значения ПДК одни и те же как для почв сельскохозяйственного назначения, так и для территорий промышленных предприятий.

Низкая эффективность использования общегосударственной системы ПДК загрязняющих веществ в почвах различных регионов, различающихся природно-климатическими условиями, естественным геохимическим фоном, устойчивостью ландшафта и почв, характером использования земель обуславливает необходимость разработки и совершенствования нормативной базы.

Согласно гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве («Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве», Минздрав, 1982), основанному на 4-х лимитирующих показателях вредности, допустимым уровнем содержания загрязняющих веществ в почвах является такой, при котором, в случае их миграции из почвы в воздух, грунтовые воды и сельскохозяйственные растения, показатели по содержанию загрязняющих веществ в вышеуказанных природных средах не превышали бы утвержденные ПДК для воздуха, воды, пищевых продуктов. При этом отсутствует негативное влияние на самоочищающую способность почвы и почвенный микробиоценоз (общесанитарный показатель).

В проблеме нормирования содержания загрязняющих веществ в почвах необходимо различать санитарно-гигиенические и экологические показатели. Использование санитарно-гигиенических показателей направлено прежде всего на охрану здоровья человека. Экологические нормативы преследуют цель обеспечения нормального функционирования экосистем: должна сохраняться устойчивость, видовое разнообразие, продуктивность, проективное покрытие. К настоящему времени для основных нефтедобывающих районов России разработаны нормативы по допустимому остаточному содержанию нефти и продуктов её трансформации в почвах (Ханты-Мансийский автономный округ, республика Коми, Ненецкий автономный округ и другие), в которых показатели допустимого содержания нефти установлены с учетом типов почв. В основе нормирования содержания загрязняющих веществ в природной среде: в почве, воздухе, воде и растениях должен учитываться основополагающий фактор – сохранения здоровья человека и обеспечение нормального функционирования экосистем.

Нами предлагается подход к нормированию, основанный на региональной основе и характере целевого использования земель.

ПДК в почве сельскохозяйственных угодий должны гарантировать качество выращенной растениеводческой продукции, её безопасность относительно содержания тяжелых металлов, пестицидов и других загрязняющих веществ (санитарно-гигиенический показатель). В то же время не корректно пользоваться санитарно-гигиеническими показателями, если рассматривается нормирование загрязняющих веществ в лесных землях, транспортных и промышленных зонах, отдаленных от населенных мест участках, не используемых в сельскохозяйственном производстве. В этом случае более приемлемыми будут экологические нормативы.

Повышенные концентрации загрязняющих веществ в почве, в частности тяжелых металлов (ТМ) могут быть связаны как с природными, так и с техногенными факторами. Первый обусловлен наличием геохимических аномалий, рудопроявлений, точек минерализации и других отклонений естественного характера. Следствием этого является наличие в почвах отдельных регионов вне зоны аэротехногенного загрязнения и за пределами рудных полей месторождений концентраций ТМ, превышающих или близких к установленным предельно допустимым концентрациям.

Антропогенное загрязнение почв происходит в результате оседания выбросов металлургических, химических комбинатов, ТЭЦ, котельных и других предприятий, использования в качестве удобрений осадков сточных вод и отходов промышленности, содержащих загрязняющие вещества в повышенных количествах, орошения сельскохозяйственных полей сточными водами, при неумеренном внесении пестицидов. Вблизи транспортных автомагистралей наблюдается загрязнение почв свинцом и бенз(а)пиреном.

Тяжелые металлы находятся в породах и почвах в разных формах, они могут переходить из одной фазы в другую, характеризоваться антагонистическим или синергетическим эффектом по отношению друг к другу. Их токсический эффект или относительная безопасность не всегда являются прямой зависимостью от количественного содержания элемента в почве. Требования к качеству почвы в зависимости от направления их использования могут существенно различаться. Наиболее жесткие требования должны предъявляться к почвам сельскохозяйственных угодий в связи с возможным попаданием тяжелых металлов в пищевую цепь. Следует также отметить, что установленные и действующие в настоящее время нормативы ПДК, основанные на валовом содержании того или иного элемента в почве, не являются надежным критерием, взаимосвязанным с показателями содержания (накопления) элемента в растениях. Как правило, за основу нормирования и сравнения принимаются показатели, основанные на общесанитарном показателе, хотя при оценке состояния почв сельскохозяйственных угодий правильнее использовать транслокационный показатель содержания химического элемента. При выборе направления хозяйственного использования земель и нормирования ТМ в почвах следует учитывать возможность их перехода в растениеводческую продукцию, меру потенциальной опасности их повышенных концентраций, оценивать риск для здоровья населения и окружающей среды.

Между валовым содержанием тяжелых металлов в почвах и уровнем накопления их в сельскохозяйственных растениях в различных регионах России нет четко выраженных закономерностей. Поэтому в почвах сельскохозяйственных угодий нормирование содержания тяжелых металлов, по нашему мнению, должно осуществляться во взаимосвязи и с учетом допустимых нормативов по содержанию ТМ в растениях, употребляемых в пищу. Содержание загрязняющих веществ в почвах должно гарантировать отсутствие превышения ПДК в растениеводческой продукции. Для сельскохозяйственных растений токсичность почв необходимо оценивать по снижению урожайности, а токсичность выращенной растениеводческой продукции для человека и животных – по превышению содержания ТМ над утвержденными Минздравом значениями ПДК для пищевых продуктов и кормов.

За предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий региона нами рекомендуется принимать те максимальные количества их содержания, при которых гарантируется получение качественной сельскохозяйственной продукции, сохраняется допустимый уровень содержания химических элементов в растениях, идущих в пищу и на корм скоту, всех видов выращиваемых на этих землях сельскохозяйственных культур. При этом содержание металлов в растениях не должно превышать ПДК, принятое

для пищевых продуктов или кормов. Рост урожайности сельскохозяйственных культур не должен быть единственным критерием оценки. Важным показателем является получение безопасной растениеводческой продукции.

Практическое использование земель с повышенным содержанием тяжелых металлов в почве должно основываться на проведении экспериментальных работ, которые должны проводиться на наиболее загрязненных участках с использованием всех видов выращиваемых на данных землях пищевых и кормовых растений в течение 3-4-х лет (с учетом влияния различных погодных условий на поглощение ТМ растениями). Сравнение показателей содержания ТМ в выращенных растениях с ПДК позволит в последующем выбрать ограниченный круг возделываемых на этих землях видов сельскохозяйственных культур и проводить контроль за определённым ограниченным количеством видов ТМ, а именно только теми, которые присутствуют в растениях в количествах, близким к ПДК. Важно учитывать и прогнозировать процессы выноса и накопления химических элементов в почвах и растениях, прежде чем сельскохозяйственные растения достигнут и превысят нормативные показатели, принятые для продукции растениеводства. При значительном загрязнении и невозможности получения сельскохозяйственной продукции надлежащего качества относительно уровня содержания ТМ, загрязненные участки должны использоваться под лесные насаждения, выращивание технических культур. Содержание тяжелых металлов в лесных почвах и древесно-кустарниковой растительности не нормируется.

В лесных экосистемах экологическими нормативами содержания ТМ в почвах должны быть максимально допустимые количества, которые не ограничивают возможность естественного возобновления лесной растительности и успешный рост лесных культур при искусственной посадке.

В последние годы значительно возросло количество публикаций, посвященных городским почвам – урбанозёмам. Высокий уровень их загрязнения и плотность населения в городских агломерациях обуславливают необходимость их изучения. Почвы города являются основным депоном атмосферных и других загрязнений и имеют большое значение для функционирования зеленых насаждений (деревьев, кустарников, газонных трав). Основным источником повышенных концентраций загрязняющих веществ, в частности бенз(а)пирена и тяжелых металлов в городских почвах, является оседание взвесей из загрязненной атмосферы и выбросы транспорта.

В реальной жизни встречаются ситуации, затрудняющие принятие конкретных решений, основываясь только на учете показателей ПДК или ОДК загрязняющих веществ в почвах. Так, например, проведенное нами обследование территории спортивно-стрелкового клуба «Олимпиец», расположенного в северной части Санкт-Петербурга, на котором осуществляется стрельба свинцовой дробью по летающим мишеням – тарелочкам, показало значительное загрязнение почв свинцом. На участке незначительной площади, где конкретно осуществляется стрельба, содержание валовой формы свинца в почве очень высокое и превышает значение допустимой концентрации в 300-500 раз. Дробинки видны невооруженным глазом. В то же время, содержание свинца в поверхностной (пруд) и грунтовой воде на территории стрельбища, практически соответствует природному фону или незначительно превышает его. Это мы связываем с образованием оксидной пленки на поверхности каждой отдельной дробинки и отсутствием или слабой миграцией этого элемента.

При полевом обследовании общей территории стрельбища и прилегающего к нему лесного массива установлено относительно слабое влияние свинцовой дроби на биоценозы. Токсикологические исследования проб воды и почвы, отобранных на территории стрельбища, проведенные методами элюатного и контактного биотестирования с использованием различных биотестов, не выявили наличия значительной токсичности проб.

Для стрельбищ отсутствуют требования и ограничения по их содержанию и эксплуатации, позволяющие оценивать состояние объектов. Нами предлагается определять состояние объектов, деятельность которых обуславливает загрязнение среды, на основе экосистемного подхода – оценивать состояние и функционирование экосистем, как на самом стрельбище, так и на прилегающих к нему территориях и далее судить о безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания. Приоритетными направлениями должны являться

контроль за состоянием компонентов природной среды, прогноз возникновения и развития возможных негативных экологических ситуаций, оценка риска для здоровья факторов среды и своевременное научно обоснованное принятие управленческих решений по их предотвращению.

При отсутствии нормативной базы: требований и ограничений к содержанию и эксплуатации объектов, деятельность которых связана с загрязнением природной среды, обеспечение нормального функционирования экосистем, экологической безопасности территорий и здоровья людей – основополагающее направление.

На основе исследований, проведенных нами в различных регионах страны, на разных типах почв, при различном хозяйственном использовании земель, сформулированы основные подходы к нормированию тяжелых металлов в почвах. Наиболее жесткие требования (в порядке убывания) должны предъявляться к почвам сельскохозяйственных угодий, детских садов, школ, лечебных учреждений, жилых кварталов, рекреационных территорий, пригородных лесов, промышленных и транспортных зон. При прочих равных условиях в пределах одной группы повышенные требования должны предъявляться к почвам объектов с высокой плотностью населения.

## FEATURES OF THE REGULATION OF POLLUTANTS IN SOILS

L.P. Kapelkina

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, kapelkina@mail.ru

*Summary. The regulation of pollutants in soils is a complex problem that has not been finally solved. The imperfection of the use of standards approved in Russia is emphasized. An approach to the use of standards for the content of heavy metals in soils, based on accounting for the intended use of land is proposed. The most strict requirements should apply to the soils of agricultural land.*

*Keywords: pollutants, heavy metals, soils, standards, threshold limit value (TLV), estimated allowable value (ELV), agricultural land, urbanozem.*

УДК 631.46

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.И. Колесников

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kolesnikov@sfedu.ru

*Аннотация. Проведена сравнительная оценка экотоксичности и ранжирование 30 тяжелых металлов, металлоидов и неметаллов (приоритетных поллютантов) по степени их влияния на эколого-биологические показатели состояния почвы. Предложено выделение трех классов опасности элементов по отношению к почв.*

*Ключевые слова: экотоксичность, тяжелые металлы, металлоиды, неметаллы, поллютанты, биотестирование, чернозем, ранжирование, классы опасности.*

Согласно [1, 2] химические элементы ранжированы на классы опасности по отношению к здоровью людей. Однако, как показали предыдущие исследования [3–5], по влиянию на состояние почвы многие элементы не соответствуют указанным классам (степени) опасности и по отношению к почве, а соответственно и к наземным экосистемам в целом, целесообразно разработать собственные классы опасности.

Цель работы – провести сравнительную оценку экотоксичности и ранжирование 30 тяжелых металлов, металлоидов и неметаллов (приоритетных поллютантов) по степени их влияния на эколого-биологические показатели состояния почвы.

В результате проведенного исследования были получены следующие ряды экотоксичности:  $Te > Se \geq Ag \geq Cr > Bi = Ge \geq Sn = Tl \geq Hg \geq Yb = W \geq Cd > As = Co = Sc = Sb \geq Cu \geq Ni \geq V = Nb = Pb \geq Ga > Sr = Y \geq Mo \geq Zn \geq V \geq Ba \geq Mn \geq F$  (если за единицу содержания элемента в почве принять мг/кг) и  $Te \geq Se > Ag > Bi \geq Tl \geq Cr \geq Hg \geq W > Cd \geq Ge = Yb \geq Cu = Pb = Sn \geq Ni > Sb \geq Co = Zn \geq Sc \geq V = Nb = Sr \geq As = Ga \geq Ba = Mo = V \geq Mn > F \geq Y$  (если за единицу содержания элемента в почве принять моль/кг).



Если содержание элемента в почве выражено в мг/кг, как делают наиболее часто, то наиболее опасным являются Te, Se и Ag, а наименее опасным – F.

Если содержание элемента в почве выразить в моль/кг, то есть в количестве атомов на единицу массы почвы, то наиболее токсичными элементами получаются также Te, Se и Ag, а наименее токсичным – Y.

Как видно из полученных рядов, экотоксичность таких элементов как Te, Se, Ag, Bi, Ge, Tl в настоящее время явно недооценена [6]. Это связано с тем, что загрязнение ими окружающей среды встречается значительно реже, чем, например, Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni [7].

Интересен факт, полученный в ходе этого исследования: при загрязнении почвы Te, Se, Ag, Bi, Ge, Tl не было зафиксировано статистически достоверного эффекта гормезиса (стимулирующего действия поллютанта) ни в одной дозе, ни по одному биологическому показателю, в отличие от подавляющего большинства тяжелых металлов и металлоидов, считающихся очень опасными, таких как Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn и др.

Также необходимо обратить внимание на то, что два самых экотоксичных элемента – Te и Se – являются химическими аналогами.

По влиянию на состояние почвы исследованные элементы не располагаются по классам опасности, разработанным применительно к здоровью людей, и различаются с ними либо очень существенно [1], либо не столь существенно [2]. Соответственно, по отношению к почвам и наземным экосистемам в целом (так как устойчивость наземной экосистемы к химическому загрязнению практически полностью зависит от устойчивости почвы) целесообразно использовать собственные классы опасности. Для этого можно использовать полученный в настоящем исследовании ряд элементов, где единицей содержания элемента в почве является мг/кг.

Таким образом, целесообразно выделить следующие три класса опасности элементов по отношению к почве: 1 класс – Te, Ag, Se, Cr, Bi, Ge, Sn, Tl, Hg, Yb, W, Cd; 2 класс – As, Co, Sc, Sb, Cu, Ni, B, Nb, Pb, Ga; 3 класс – Sr, Y, Mo, Zn, V, Ba, Mn, F.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-01041 в Южном федеральном университете.

#### Литература

1. ГОСТ 17.4.1.02–83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
2. Qing X., Yutong Z., Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, North-east China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. 120. 377–385.
3. Kolesnikov, S., Minnikova, T., Kazeev, K., Akimenko, Y., Evstegneeva, N. Assessment of the Ecotoxicity of Pollution by Potentially Toxic Elements by Biological Indicators of Haplic Chernozem of Southern Russia (Rostov region). *Water, Air, and Soil Pollution*, 2022, 233(1), 18.
4. Vodyanitskii Y. N. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils // *Eurasian soil science*. 2012. Т. 45. №. 3. С. 321–328.
5. Xiong T., Zhang T., Dumat C., Sobanska S., Dappe V., Shahid M., Xian Y., Li X., Li S. Airborne foliar transfer of particular metals in *Lactuca sativa* L.: trans-location, phytotoxicity, and bioaccessibility // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. С. 1–15.
6. Kolesnikov S.I. Impact of Contamination with Tellurium on Biological Properties of Ordinary Chernozem. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 2019, 28:8, 792–800.
7. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

#### COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE TOXICITY OF CHEMICAL ELEMENTS

S.I. Kolesnikov

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kolesnikov@sfnu.ru

*Summary. A comparative assessment of ecotoxicity and ranking of 30 heavy metals, metalloids and nonmetals (priority pollutants) according to the degree of their influence on ecological and biological indicators of soil condition was carried out. The allocation of three hazard classes of elements in relation to the soil was proposed*

*Keywords: ecotoxicity, heavy metals, metalloids, non-metals pollutants, biotesting, chernozem, ranking, hazard classes.*

УДК 631.445.42: 546.15

## **НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОДЕРЖАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БРОМА В ПОЧВАХ ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**Г.А. Конарбаева, Б.А. Смоленцев**

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [konarbaeva@issa-siberia.ru](mailto:konarbaeva@issa-siberia.ru)

***Аннотация.** Рассмотрены закономерности распределения брома в различных типах почв отдельных регионов Западной Сибири. Установлено, что содержание валового брома в однотипных почвах, независимо от их географического положения, может варьировать в одинаковых пределах, при условии схожести их физико-химических свойств, даже несмотря на значительную их удаленность. При заметном различии физико-химических свойств, несмотря на близость сравниваемых территорий, содержание валового брома в почвах заметно отличается.*

***Ключевые слова:** бром, почвы, Западная Сибирь.*

Постоянно возникающие на Земле различные экологические проблемы усиливают актуальность фундаментальных исследований природных и антропогенных факторов, определяющих содержание и распределение различных химических элементов в почвах, а также их доступность растениям и способность переходить в гидросферу и атмосферу. Все это относится и к галогенам, так что их изучение в природных объектах (почвах, водах и растительности) имеет важное значение не только для биогеохимии и геохимии ландшафтов, но и экологии, сельского хозяйства и медицины, формирующих целостное представление о функционировании биосферы.

Галогены фтор, хлор, бром и йод необходимы для нормальной жизнедеятельности человека и животных. Из подгруппы галогенов бром в настоящее время является наименее изученным во многих регионах нашей страны. Какие-либо нормативы и тем более ПДК на содержание валового брома и его подвижных форм в почве отсутствуют, не разработаны и критерии на оптимальное содержание элемента в сельскохозяйственной продукции. В тоже время, по Добровольскому [1], коэффициент биологического поглощения брома (КБП) брома (36,36) примерно в три раза превышает аналогичный коэффициент для йода (12,0), что может свидетельствовать в пользу его активного участия в различных биологических процессах, несмотря на слабую его изученность, причина которой заключается, по нашему мнению, в трудностях его определения. Кроме того, если ранее эссенциальность брома не была установлена, то в 2014 году американскими учеными экспериментально доказано, что бром является эссенциальным элементом для всех живых организмов [2], что требует его детального исследования.

Бром относится к элементам, который часто приводит к повышенному риску для здоровья человека [3], с ним связано, как минимум, 11 различных патологий [4].

Бром практически не изучен и с экологических позиций, другими словами, серьезного внимания требуют исследования по техногеохимии элемента, ввиду его широко использования в различных сферах деятельности человека: сельское хозяйство, химическая, фармацевтическая промышленности, медицина [5, 6].

Бром в свободном состоянии в природе не встречается, это типичный рассеянный элемент. Среднее содержание брома в почвах по Виноградову [7] – 5,0 мг/кг.

Среди различных компонентов почвы, которые участвуют в процессах аккумуляции и связывания брома, приоритетную роль играет гумус, далее реакция почвенной среды, гранулометрический состав и водный режим [7–9].

В щелочной среде бромат-анион более устойчив, в этой же среде возможно не только образование свободного брома, но допускается присутствие гипобромит- и бромат-анионов, а также пербромат-аниона, образование которого в щелочной среде возможно по реакции окисления броматов фтором. Другими словами, протекающие в щелочной среде реакции

анионов брома прямо или косвенно приводят к образованию наиболее его устойчивых анионов.

Давно установлено, что глины содержат брома больше, чем песчаники [8]. Благодаря процессам сорбции и окклюзии возможно концентрация брома и на естественном барьере, создаваемом карбонатами на пути миграции этих ионов.

В связи с высокой растворимостью большинства солей брома, условия увлажнения почв существенно влияют на интенсивность его миграции. Вследствие чего в почвах промывного или периодически промывного водного режима миграция и вынос элемента будут усиливаться. В почвах, в которых водный режим непромывного или выпотного типа, скорость данного процесса снижается, что благоприятствует накоплению брома.

Исходя из вышесказанного, рассмотрим закономерности распределения брома в различных типах почв разных регионов.

В дерново-подзолистых почвах Васюганской равнины максимальные концентрации брома варьируют на уровне 2,6–3,9, а минимальные 0,6–1,0. Низкое содержание брома обусловлено действием нескольких факторов: невысокое содержание гумуса, кислая реакция почвенной среды, ограничивающая присутствие полного набора анионов брома, и промывной тип водного режима.

В серых лесных почвах этой же равнины максимум брома – в пределах 3,0 мг/кг, минимум – 1,5 мг/кг. Основные причины этого – кислая реакция в верхних горизонтах, относительная обедненность органическим веществом и периодически промывной тип водного режима.

В различных подтипах черноземов Приобского плато, Барабинской равнины и Ишим-Иртышской равнины валовое содержание брома колебалось от 1,73 до 14,4 мг/кг с четко выраженной аккумуляцией галогена в гумусовом горизонте, чему способствует и групповой его состав, преобладание в котором гуминовых кислот усиливает фиксацию брома. Более полвека назад было установлено, что большая часть брома (до 75%) фиксируется гуминовыми кислотами и только 25% – фульвокислотами [9]. В черноземах была отмечена тенденция к снижению содержания галогена от гумусового горизонта к породе. При этом в характере кривых распределения брома и гумуса нами найдена значительная общность. Величины коэффициента корреляции  $r$  в выщелоченных черноземах – 0,96, в обыкновенных – 0,85–0,98 и южных 0,76–0,79.

Отсутствие в каштановых почвах Кулундинской равнины условий для аккумуляции брома (максимум гумуса всего 1,0–1,5 %, преобладание в его составе фульвокислот, легкий грансостав), обусловили его незначительное содержание (1,3–3,3 мг/кг).

Бром наряду с фтором и хлором – типичный элемент галогенеза, поэтому следует изучать почвы пониженных элементов рельефа, такие как солончаки, солонцы, солоды и т.д. В них содержания брома может быть весьма значительным, а потому возможны проявления их негативного внимания на здоровье человека и животных. Несмотря на то, что широкого сельскохозяйственного применения из-за низкого естественного плодородия эти почвы не имеют, они все же используются как пастбища и сенокосы, а солонцы и солоды иногда образуют сложные комплексы с зональными почвами и вовлекаются в сельскохозяйственный оборот.

Местонахождение типичных солончаков (Барабинская и Кулундинская равнины) в наиболее низких позициях рельефа, являющихся конечным пунктом транзита легкорастворимых солей, обусловило значительную аккумуляцию в них брома – от 37 до 60 мг/кг. В засолении солончаков важную роль играет галофитная растительность, которая при отмирании и последующим разложением служит дополнительным источником накопления солей на поверхности солончаков. Самые высокие концентрации брома приурочены к горизонтам максимального накопления легкорастворимых солей – поверхностному и приповерхностному. В нижних горизонтах, почти лишенных гумуса и не тяжелых по грансоставу, содержание галогена несколько ниже (12,6–13,1 мг/кг).

В солонцах (Барабинская и Кулундинская равнины) содержание брома выше, чем в зональных почвах, и заметно ниже, чем в солончаках: 4,0–30,0 мг/кг. Различие обусловлено формированием солонцов на более возвышенных участках. Пониженное содержание брома обнаружено в надсолонцовом горизонте и почвообразующей породе, повышенное – в солонцовых и нижележащих горизонтах. Солонцовые горизонты обогащены илистой

фракцией, благоприятствующими аккумуляции элемента. Связь брома с фракцией физической глины, реакцией среды и ила подтверждается значительными величинами  $\tau$  от 0,68 до 0,83.

У солодей Барабинской равнины содержание брома в дерновом горизонте составило 5,5 мг/кг, вниз по профилю его количество заметно снижается – до 0,8 мг/кг в почвообразующей породе. Для дернового горизонта этих почв характерно значительное количество гумуса – до 6%, который способствует накоплению галогена, и кислая реакция почвенной среды, препятствующая этому процессу. Так что на распределение элемента в профиле этих почв данные факторы оказывают суммарное влияние. Более высокое содержание брома в дерновом горизонте солодей по сравнению с таковым в дерново-подзолистых почвах и тем более серых лесных, имеющих менее промывной тип водного режима, связано с тем, что солоди формируются в замкнутых западинах в окружении черноземов. А содержание брома в черноземах, как было сказано выше, намного больше, чем в рассматриваемых почвах, и вероятнее всего, во влажный период времени происходит его перераспределение от черноземов в западины с солодами.

Особый интерес представляет для нас сравнительный анализ содержания валового брома в почве разных регионов. Мы сравнили содержание валового брома в каштановых почвах Улуг-Хемской котловины (республика Тыва) с данными, полученными в каштановых почвах Кулундинской равнины. Почвы котловины характеризуются низким содержанием С орг., которое в разрезе КХ3-21 изменяется от 1,39 до 0,28 %, а в разрезе ЧД2-21 от 1,85 до 0,40%, как и каштановые почвы Кулунды. Что касается реакции почвенной среды, то почвы как котловины, так и равнины обладают соответственно почти нейтральной и слабощелочной реакцией. В котловине величина рН (7,44–8,50 и 6,70–8,47), на равнине – 7,30–8,47 и 7,05–8,58. Грансостав в почвах котловины изменяется от супесчаного до легкосуглинистого в разрезе ЧД2-21, а в разрезе КХ3-21 от супесчаного до легко- и среднесуглинистого. Грансостав почв на территории Кулундинской равнины изменяется аналогично.

Таким образом, содержание валового брома в каштановых почвах Улуг-Хемской котловины (0,35–0,7 мг/кг) находится примерно на уровне аналогичных почв Кулундинской равнины (0,23–0,9 мг/кг), хотя расстояние между двумя территориями достаточно существенное, больше 1000 км.

При сравнении данных по валовому содержанию брома в почвах Томской области [10] с данными по его содержанию в Барабинской и Кулундинской равнинах были выявлены следующие закономерности. В черноземах Томского Приобья (Кожевниковский и Шегарский районы) содержание галогена варьирует соответственно от 0,5 до 35,8 мг/кг и от 13,0 до 15,6 мг/кг, в то время как в черноземах Новосибирского Приобья и Барабинской равнины соответственно от 4,0 до 14,0 и от 2,0 до 13,0 мг/кг. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах аллювиально-террасовых равнин (Парабельский, Колпашевский, Молчановский, Асиновский районы) содержание Br – от 5,0 до 30,1 мг/кг. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах подтаежной зоны его содержание колеблется от 1,0 до 4,0 мг/кг. Таким образом, содержание брома в почвах Томской области значительно выше, чем в почвах Новосибирской области. В частности, это можно объяснить более тяжелым грансоставом почв Томской области, который характеризуется как тяжелосуглинистый и легкоглинистый.

В почвах Бакчарского района, представленных в основном торфяными и болотными почвами, найдены самые значительные концентрации брома: от 15,2 до 64,9 мг/кг [10]. К сожалению, мы не анализировали торфяные почвы. Но в проанализированных нами лугово-болотных почвах обнаружено валового брома от 10,6 до 42,1 мг/кг. Такое высокое содержание брома в этих почвах может быть связано с тем, что территория Бакчарского района, возможно, загрязняется продуктами ракетного топлива [10], ведь факт использования пентафторида брома в качестве окислителя ракетного топлива широко известен [6]. Кроме того, не исключается и воздействие природных источников, на которые указывают некоторые авторы [11-12]. Они считают, что поступление брома на земную поверхность может происходить с рассолами из земных недр (включая мантию) по глубинным разломам.

Таким образом, можно высказать предположение, что содержание валового брома в однотипных почвах независимо от их географического положения может варьировать в одинаковых пределах, при условии схожести их физико-химических свойств, даже несмотря на значительную их удаленность. При заметном различии физико-химических свойств,



несмотря на близость сравниваемых территорий, содержание валового брома в почвах заметно отличается.

### Литература

1. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
2. Mc Call S., Cummings C., Bhave G., Vanacore R/ Bromine is an essential trace element for assembly of collagen IV scaffolds in tissue development and architecture // Cell. 2014. V. 157. Iss. 6. P. 1380–1392.
3. Valdes A., Zanobetti J., Halone J. Elemental concentrations of ambient particles and cause specific mortality in Santiago, Chile: a time series study // Environmental Health. 2012. Vol. 11. 82 p.
4. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 495 с.
5. Гринвуд Н.Н., Эршно А. Химия элементов: в 2 т. М.: Бином, 2008. Т.2. 670 с.
6. Yoffe D., Frim R., Ukeles S. at al. Bromine compounds // Ullmann s Encyclopedia of industrial Chemistry. 2013. 31 p.
7. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 234 с.
8. Розен Б.Я. Геохимия брома и йода. М.: Недра, 1970. 132 с.
9. Дарер Р.С., Мазурова А.Л., Мун А.И. Некоторые данные о формах нахождения брома, йода и бора в озерных осадках и почвах // Изв. АН Казах. ССР. Сер. хим. 1966. № 4. С. 8–12.
10. Перминова Т. Бром в компонентах природной среды Томской области и оценка его токсичности: дисс... канд. геолого-минерал. наук: 25.00.36. Томск- Труа- 2017. 181с.
11. Бакиев С.А. Закономерности формирования промышленных йодных вод Узбекистана и перспективы их использования: автореф дис... д-ра геол.-мин. наук: 04.00.06. Ташкент 2011. 46 с.
12. Белкин А.Д. Геологическое строение Новосибирской области. Полезные ископаемые, породы и минералы. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rgosib.ru/science/18.htm> (Дата обращения: 20.02. 2017).

### SOME REGULARITIES OF BROMINE CONTENT AND DISTRIBUTION IN THE SOILS OF CERTAIN REGIONS OF WESTERN SIBERIA.

G.A. Konarbaeva, B.A. Smolentsev

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, konarbaeva@issa-siberia.ru

*Summary. The regularities of bromine distribution in various types of soils in certain regions of Western Siberia are considered. It has been established that the content of gross bromine in the same type of soils, regardless of their geographical location, can vary within the same limits, provided that their physicochemical properties are similar, even despite their considerable remoteness. With a noticeable difference in physical and chemical properties, despite the proximity of the compared territories, the content of gross bromine in soils is markedly different.*

*Keywords: bromine, soils, Western Siberia.*

УДК 57.044; 631.46

## ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ОСТАТОЧНО-КАРБОНАТНОГО КРЫМА

А.А. Кузина, В.Г. Гайворонский, С.И. Колесников

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий им. Д.И.

Ивановского, Ростов-на-Дону, [nyuta\\_1990@mail.ru](mailto:nyuta_1990@mail.ru)

**Аннотация.** Углеводородные загрязнители являются одними из самых стойких органических загрязнителей. Цель работы – оценить влияние дизельного топлива (ДТ) на биологические свойства чернозема остаточно-карбонатного. В модельном эксперименте оценивали изменения биологических показателей (численности бактерий, активность ферментов, фитотоксичность почвы и др.). В результате было установлено, что загрязнение черноземов остаточно-карбонатных ДТ достоверно снижает биологические показатели.

**Ключевые слова:** загрязнение, устойчивость, биологические показатели, почва.

Углеводородные загрязнители являются одними из самых стойких органических загрязнителей. Они обладают высокой устойчивостью к биодеградации, способны накапливаться как в растениях, так и в организме человека и животных, и проявляют канцерогенные и нейротоксические свойства.

Степень устойчивости почв к химическому загрязнению лучше всего определять, применяя методы биодиагностики. Биологические показатели первыми реагируют на негативные внешние воздействия.

Цель работы – оценить влияние дизельного топлива на биологические свойства чернозема остаточно-карбонатного в Республике Крым.

Почва для исследования была отобрана в Республике Крым, п. Крымская роза. Для нее характерен тяжелосуглинистый гранулометрический состав, содержание гумуса 3,3 %, численность бактерий 4,6 млрд/г.

В настоящем исследовании изучали загрязнение чернозема остаточно-карбонатного дизельным топливом (ДТ) в концентрациях 1, 5, 10 % от массы почвы. Почву инкубировали в течение 30 суток в вегетационных сосудах в трехкратной повторности при температуре 20–22°C и весовой влажности почвы 25%. Биологические показатели оценивали через один месяц после загрязнения.

Для определения биологических свойств почвы использовали общепринятые методы [1]. Численность бактерий в почве определяли методом люминесцентной микроскопии, обилие бактерий рода *Azotobacter* – методом комочков обрастания на среде Эшби, активность каталазы по методике Галстяна по скорости разложения перекиси водорода, активность дегидрогеназ по методике Галстяна в модификации Хазиева по скорости превращения хлорида трифенилтетразолия в трифенилформазан, целлюлозолитическую активность по скорости разложения в почве хлопчатобумажного полотна, о фитотоксичности почв судили по длине корней редиса (сорт Корунд). Содержание гумуса определяли методом И.В. Тюрина со спектрофотометрическим окончанием, реакцию среды (pH) – потенциометрическим методом. На основе вышеперечисленных биологических показателей рассчитывали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [2]. Использованный набор показателей, включающий микробиологические, биохимические и фитотоксические показатели, дает интегральную характеристику экологического состояния почвы.

В результате проведенных модельных опытов установлено, что внесение в чернозем остаточно-карбонатный ДТ в большинстве случаев снижает активность биологических показателей (рис. 1). Лишь при 1% и 5% загрязнении ДТ не наблюдалось достоверного изменения активности дегидрогеназ.

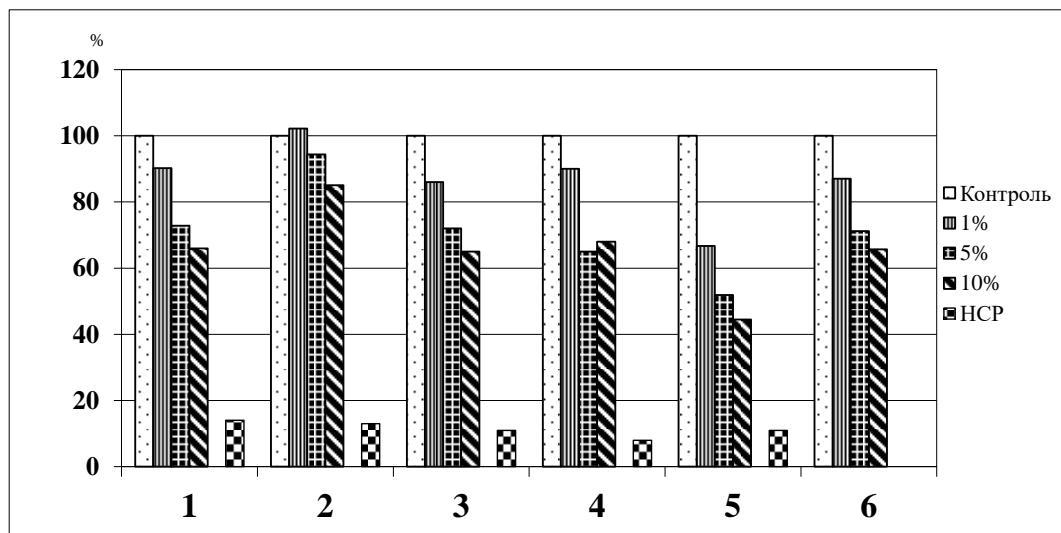


Рисунок 1. Влияние дизельного топлива на биологические свойства чернозема остаточно–карбонатного, % от контроля.

Условные обозначения: 1. Активность каталазы. 2. Активность дегидрогеназ. 3. Обилие бактерий рода *Azotobacter*. 4. Фитотоксичность. 5. Общая численность бактерий. 6. ИПБС.

При внесении 1% ДТ отмечалось достоверное снижение обилия бактерий *Azotobacter*, длины корней растений и общей численности бактерий на 14, 10 и 33% соответственно. Дальнейшее увеличение содержания ДТ (5%) в почве привело к снижению активности каталазы на 27%, численности бактерий *Azotobacter* на 28%, длины корней растений на 35% и общей численности бактерий на 48%. Внесение 10% ДТ привело к снижению активности каталазы на 34%, активности дегидрогеназ на 15%, численности бактерий *Azotobacter* на 35%, длины корней растений на 32% и общей численности бактерий на 56%.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов Президента РФ (МК-2688.2022.1.5 и НИШ-449.2022.5), Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008, программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

#### Литература

1. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем // Южный федеральный университет Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2016. 356 с. <https://doi.org/10.1007/bf02762817>
2. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Y.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters. *Environmental Monitoring and Assessment* (2019) 191: 544. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3>

#### THE INFLUENCE OF DIESEL FUEL ON THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF THE RESIDUAL CARBONATE CHERNOZEM OF CRIMEA

A.A. Kuzina, V.G. Gaivoronskiy, S.I. Kolesnikov

Southern Federal University, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Rostov-on-Don, [nyuta\\_1990@mail.ru](mailto:nyuta_1990@mail.ru)

*Summary.* Hydrocarbon pollutants are among the most persistent organic pollutants. The purpose of the work is to evaluate the effect of diesel fuel on the biological properties of residual carbonate chernozem. In a model experiment, changes in biological parameters (bacterial abundance, enzyme activity, soil phytotoxicity, etc.) were evaluated. As a result, it was found that contamination of chernozems with residual carbonate DT significantly reduces biological indicators.

*Keywords:* pollution, stability, biological indicators, soil.

УДК 550.4:546.49

## ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОВЕРХНОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЧВ ЮЖНОЙ СИБИРИ

Е.Е. Ляпина<sup>1</sup>, Е.В. Перегудина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, eeldv@mail.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, pere-elena@mail.ru

**Аннотация.** В статье приводятся оригинальные данные о валовой концентрации Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br и Hg в типичных почвах Южной Сибири. Выявлены особенности накопления элементов в зависимости от типа почв, региональных особенностей, определены геохимические и геоэкологические факторы содержания поллютантов. По данным статистических расчётов определена группа элементов: Fe-Co-Sb, а также Br-Hg. На основании геоэкологических расчетов выделили группу: Sb-Co-Fe.

**Ключевые слов:** Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br, Hg, почва, Томская область, Кемеровская область, Алтайский край.

**Введение.** Исследование почвенного покрова и особенно поверхностной его составляющей как важнейшего компонента биосферы, долговременной депонирующей среды, является актуальным и важным с позиции экологии, геоэкологии, экономики и сельского хозяйства [1, 2, 3, 4]. Выбор Cr, Fe, Co, Zn, As, Ag, Br, Sb, Hg для изучения содержания и распределения в торфяных залежах обусловлен их принадлежностью к I – Zn, As, Hg и II – Cr, Co, Sb классам опасности, согласно [5]. Fe – элемент, определяющий геохимическую специализацию Томской области [6]. Согласно [7], Co, Ag, Hg относятся к сильно ядовитым, а As, Br, Sb – умеренно ядовитым элементам для растений. В Пищевом кодексе международных стандартов ООН и ВОЗ приведен перечень наиболее важных при гигиеническом контроле элементов: Cd, Hg, As, Pb, Zn, Fe, Cu, Sn. Данный факт важен с точки зрения использования почв в качестве субстрата для сельскохозяйственных растений [8].

**Объекты и методы.** Объектом исследования являются поверхностная составляющая (0–10 см) типичных почв Томской области, Кемеровской области и Алтайского края. Пробы отбирались методом конверта [9], в общей сложности было отобрано 100 проб.

Почвы Томской области представлены светло-серыми и серыми лесными почвами, а также дерново-глеевыми почвами террас р. Томь и Обь, а также болотно-подзолистые, лугово-черноземные, серые лесные с глеевыми почвами [10, 11]. Почвы северо-запада Алтайского края относятся к южным черноземам и темно-каштановыми южным черноземам Кулундинской степи [12]. Почвы Кемеровской области представлены в основном тяжелыми суглинками, дерновыми и лесными светло-серыми почвами, бурыми горно-таежными, также встречаются серые лесные луговые и лугово-болотные почвы [13].

Изучение проб осуществляли в учебно-научной лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» НИ ТПУ. Определение концентраций Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br в почве проводилось инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) по аттестованной методике (НСАМ ВИМС № 410-ЯФ) в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в НИ ТПУ (аттестат аккредитации RA.RU.21АБ27 от 08.04.2015, аналитики: с.н.с А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Определение концентраций Hg выполнялось на анализаторе ртути РА-915+ методом атомной абсорбции с помощью приставки ПИРО-915 (метод пиролиза; предел обнаружения – 5 нг/г) [14].

**Результаты и обсуждение.** Концентрации токсичных элементов в почвах Южной Сибири изменяются в широких интервалах (табл. 1). При этом распределение элементов носит неравномерный характер, за исключением Fe, Co, Sb, As и Hg на территории Томской области (21–29%), а также Cr, Fe, Sb на территории Алтайского края (24–33%); что подтверждается данными расчета коэффициента вариации. При этом Br выделяется сильно и крайне неравномерным распределением в почвах данных субъектов. В почвах Кемеровской области все исследованные элементы распределены неравномерно (42–108%).



Таблица 1. Содержание токсичных элементов в почвах Южной Сибири (мг/кг; Fe, %; Hg, нг/г)

Элемент	Томская область	Кемеровская область	Алтайский край
Cr	20,6–125*	14,6–87,7	15,1–81,1
Fe	1,6–4,5	0,6–27,9	0,9–2,9
Co	6,5–30	12,6–97,4	1,4–14,2
Zn	1,5–93,4	19,2–412,2	1,3–89,8
Sb	0,3	0,8–5,8	0,3–0,9
As	2,6–10,2	2,5–28,5	2,4–8,7
Br	1,3–124	0,6–8,3	0,5–31,1
Hg	15–34	20–215,8	5–20,4

Примечание. \* – минимум-максимум.

Почвы Кемеровской области характеризуются максимальными средними концентрациями всех изученных элементов, за исключением Cr и Sb. Максимальные средние значения для данных элементов отмечены на территории Томской области. В почвах Алтайского края самые низкие средние концентрации токсичных элементов.

Среднее содержания токсичных элементов в почвах Южной Сибири не превышают ПДК, за исключением Sb на территории Томской области и Алтайского края, а также Fe и Zn на территории Кемеровской области. Полученные данные также превышают средние значения для почв Западной Сибири [15] (табл. 2), особенно на территории Кемеровской области. Кроме того, почвы данного региона обогащены исследованными элементами по данным расчета фактора обогащения. Подобная картина отмечается и для почв Томской области, за исключением As.

Таблица 2. Геохимические ряды элементов в почвах Южной Сибири

Территория исследования	Кк (относительно Кларка верхней континентальной коры) [16]	Fe (относительно Sc, собственные данные)	Кс (относительно среднего для почв Западной Сибири) [15, 17, 18]
Томская область	<b>Sb(9,3)-Co(1)-Fe(0,8)-Zn=Cr(0,7)-Br(0,5)-Hg(0,3)-As(0,1)</b>	<b>Sb(39,5)-Co(4,3)-Fe(3,4)-Cr(3)-Zn(2,9)-Br(2,3)-Hg(1,5)-As(0,4)</b>	<b>Sb(25)-Br(4,8)-Co(1,3)-Cr(0,8)-Zn=Hg(0,7)-Fe(0,1)-As(0,04)</b>
Кемеровская область	<b>Sb(3,1)-Fe(1,8)-Co=Zn(1,7)-Hg(0,9)-Br(0,8)-Cr(0,6)-As(0,3)</b>	<b>Sb(16,9)-Fe(9,6)-Zn(9,3)-Co(9,1)-Hg(5,1)-Br(4,4)-Cr(3,3)-As(1,6)</b>	<b>Sb(8,5)-Br(7,2)-Co(2,2)-Hg(2)-Zn(1,8)-Cr(0,7)-Fe(0,3)-As(0,1)</b>
Алтайский край	<b>Sb(8,3)-Cr=Fe(0,5)-Co=Zn=Br(0,4)-Hg(0,2)-As(0,1)</b>	<b>Sb(15,5)-Cr(1)-Fe=Co=Zn=Br(0,8)-Hg(0,3)-As(0,2)</b>	<b>Sb(22,4)-Br(3,6)-Cr=Co(0,6)-Zn(0,4)-Hg(0,3)-Fe(0,1)-As(0,04)</b>

На основании геохимических рядов ассоциаций химических элементов для почв Южной Сибири выделили группу Sb-Co-Fe по данным расчета Кларка концентрации. Данные расчёта фактора обогащения выделили группу Sb-Co-Fe-Cr. Группа Sb-Br-Co определена на основании превышения относительно среднего для почв Западной Сибири. Очевидно, что общим характером накопления почвами Южной Сибири характеризуются Sb-Co.

Для подтверждения данного факта был проведен ряд вычислений. По результатам расчета парных корреляций выявили графы ассоциаций элементов в почвах на территории Томской области: Fe-Co-As-Sb ( $r$  0,5;  $P$  0,05). Все ассоциации характеризуются положительным знаком. В почвах Кемеровской области наиболее сильные связи установлены между Fe-Co-Zn-Sb ( $r$  0,7;  $P$  0,05); положительный знак). Ассоциация Cr-Fe-As-Co выявлена для почв Алтайского края ( $r$  0,8;  $P$  0,05). Общими для всех типов почв Южной Сибири являются Fe, Co и Sb.

С помощью факторного анализа по методу главных компонент выявили силу факторов и их количество, оказывающих влияние на дисперсию содержания элементов-примесей в почвах Томской области. На распределение токсичных элементов влияние оказывает 4

фактора, суммарное воздействие которых составляет 84,6%. Наиболее значимым является «Фактор» 1 (33,4%), включающий действие любых процессов, которые способствуют увеличению концентрации Fe, Co, As. Остальные 3 фактора, суммарное воздействие которых составляет 51,2%, уменьшают содержание Zn, Br и Hg в почвах.

С помощью метода Варда была построена дендрограмма корреляционной матрицы в почвах Томской области по геохимическому спектру элементов, объединившая токсиканты в группу Fe-As, подтвердив результаты расчётов парных корреляций и факторного анализа.

По результатам факторного анализа выявили 2 фактора, оказывающих влияние на дисперсию содержания исследованных элементов в почвах Кемеровской области. Наиболее значимым является «Фактор» 1 (48%), характеризующий любые процессы, которые способствуют накоплению Fe, Co, Zn, Sb. «Фактор» 2 (22,2%) оказывает влияние на накопление Hg и снижает концентрацию Br.

Также дендрограмма корреляционной матрицы была построена для химических элементов в почвах Кемеровской области. Дендрограмма выделила группу токсичных элементов – Co-Zn-Fe, так же, как и расчёты парных корреляций и факторных нагрузок.

Результаты факторного расчета для почв Алтайского края выявили влияние также 2-х факторов. Доля «Фактора 1» 53,2%, он отрицательно воздействует на содержание Cr, Fe, Co, Sb, As. «Фактор» 2 (19,9%) способствует аккумуляции в почвах Br, Hg (положительный знак).

Дендрограмма корреляционной матрицы по геохимическому спектру элементов для химических элементов в почвах Алтайского края разделила элементы-примеси на 2 группы: Fe Sb, Co, As, Cr, а также Br, Hg. Полученные результаты подтверждают достоверность факторного анализа.

Для выявления общих закономерностей в накоплении элементов-примесей торфами исследованных территорий применили непараметрический критерий Краскела-Уоллиса. Не выявлено отличий в накоплении почвами Южной Сибири Fe, Co, Zn, Sb, As и Hg.

По результатам статистических и геоэкологических расчетов похожим характером аккумуляции почвами Южной Сибири выделяются 2 группы элементов: Fe-Co-Sb, а также Br-Hg. Похожие закономерности отмечаются и в торфах на территории Томской области и Алтайского края [19].

Несмотря на обогащение токсичными элементами почв Южной Сибири, по многим расчетным показателям суммарный показатель загрязнения свидетельствует о низком уровне загрязнения (неопасном), согласно существующей градации, на территории Кемеровской области и среднем (умеренно опасном) на территории Томской области и Алтайского края. При проведении расчёта суммарного показателя загрязнения с учетом уровня токсичности каждого из исследованных элементов результат не меняется. Однако если применить расчёт комплексного показателя суммарного загрязнения, учитывающего среднее геометрическое коэффициентов  $K_k$  и токсичность тяжелых элементов [20], то уровень суммарного загрязнения характеризуется как низкий (неопасный). Учитывая низкие показатели суммарного загрязнения, можно заключить, что несмотря на высокую антропогенную нагрузку на почвенные экосистемы Южной Сибири, загрязнения их токсичными элементами не наблюдается.

**Заключение.** В результате проведенного исследования получены оригинальные данные по содержанию и распределению токсичных элементов в почвах Южной Сибири. Средние концентрации исследованных элементов не превышают ПДК, за исключением Sb, Fe, Zn. Расчетные показатели свидетельствуют об обогащении почв по сравнению с фоном, Кларком земной коры, что подтверждается расчетами фактора обогащения. Ранжирование в геохимическом ряду элементов по среднему содержанию показало, что на первый план выходит Sb, Co, Fe. Самые сильные связи в парных корреляциях показали Fe, Zn, As и Co. Факторный и кластерный анализ подтверждают общие закономерности в накоплении почвами Южной Сибири Co, Fe, Sb, а также Br, Hg, которыми могут быть как геохимические особенности исследованных территорий, так и антропогенная деятельность, в том числе и трансграничный перенос.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской академии наук в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН. Исследование

проводится в рамках программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета.

### Литература

1. Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И. и др. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 1995. Т.3, № 1–2. С. 69–111.
2. Демешкин А.С. Геоэкологическая оценка состояния природной среды в районе расположения российского угледобывающего рудника Баренцбург на архипелаге Шпицберген / автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. географ. наук Российский государственный гидрометеорологический университет. Санкт-Петербург, 2015. 181 с.
3. Дорожукова С.Л., Янин Е.П., Волох А.А. Природные уровни ртути в некоторых типах почв нефтегазоносных районов Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Вып. 1. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2000. С. 157–161.
4. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник московского университета. Серия 5. География. 2015. №2. С. 7–17/
5. Черняев Е.В., Бернатонис В.К., Боярко, В.Ю. Твердые полезные ископаемые Томской области // Материалы Международной конференции «100 лет на службе науки и производства». Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. Томск: ТПУ, 2001. С. 361–368.
6. ГОСТ 70281-2022. Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических элементов для контроля загрязнения. М., Российский институт стандартизации, 2022, с. 8.
7. Черняев Е.В., Бернатонис В.К., Боярко, В.Ю. Твердые полезные ископаемые Томской области // Материалы Международной конференции «100 лет на службе науки и производства». Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. Томск: ТПУ, 2001. С. 361–368.
8. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2012. 576 с.
9. Недошитова А.В., Волкова М.В. Обсуждение зарубежного опыта определения токсичных элементов в пищевых продуктах // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах. Том 2, 2020 г. Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь). С. 175–179.
10. ГОСТ 17.4.02-84. "Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа" М., Гидрометеоиздат, 1983.
11. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Почвы Обь-Томского междуречья // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 16–37.
12. Важов В.М. Гречица на полях Алтая: монография / М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2013. 188 с.
13. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты., М.: «Недра», 1981.
14. Подурец О. И. Специфика почвообразования Кузнецко-Алатаусского и Горно-Шорского таежных районов // Ботанические исследования в Сибири / Красноярское отделение Русского ботанического общества РАН; Институт леса им. ВН Сукачева Сибирского отделения РАН. Красноярск: Поликом, 2015. Вып. 23. 92 с. С. 41.
15. Анализатор ртути [Электронный ресурс] // «РА-915М»: [сайт]. URL: [http://www.lumex.ru/files/17BRU08.02.01-1\\_web.pdf](http://www.lumex.ru/files/17BRU08.02.01-1_web.pdf) (дата обращения: 20.04.2023).
16. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах западной Сибири. Автореферат дисс. докт. биолог. наук, 2004, с. 34.
17. Рихванов Л.П., Нарзулаев С.Б., Язиков Е.Г. и др. Геохимия почв и здоровье детей Томска. Томск, 2006 г. 216 с.
18. Ляпина Е.Е. Распределение форм нахождения ртути в профиле типичных почв Южной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2021. Т. 2. № 2. С. 130–136.
19. Ляпина Е.Е. Геоэкологические и геохимические особенности торфяных залежей Сибири и Дальнего Востока. Диплом магистра, ТПУ 2023. с. 174.
20. Шайхутдинова А.Н. Оценка степени загрязнения агрогенных почв Кузбасса подвижными формами тяжелых металлов // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сборник материалов V Международной научной

конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ, 2017, С. 286–289.

## TOXIC ELEMENTS IN THE SURFACE COMPONENT OF THE SOILS OF SOUTHERN SIBERIA

E.E. Lyapina<sup>1</sup>, E.V. Peregudina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, eeldv@mail.ru

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, pere-elena@mail.ru

*Summary. The article presents original data on the total concentration of Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br and Hg in typical soils of Southern Siberia. The features of the accumulation of elements depending on the type of soil, regional features are revealed, geochemical and geoecological factors of the content of pollutants are determined. According to statistical calculations, a group of elements was determined: Fe-Co-Sb, as well as Br-Hg. Based on geoecological calculations, a group was identified: Sb-Co-Fe.*

*Keywords: Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br, Hg, soil, Tomsk region, Kemerovo region, Altai region.*



УДК 631.4

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СВОЙСТВА ПОЧВ ГОРНО-ДОЛИННЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ В АСПЕКТЕ ОЦЕНКИ ИХ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Н.А. Мартынова<sup>1</sup>, Н.А. Жученко<sup>2</sup>, Д.О. Мартынова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, natamart-irk@yandex.ru

<sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, zhna@lin.irk.ru

**Аннотация.** Исследовано влияние на биогеохимические и физико-химические свойства, элементный состав и генезис горно-долинных почв Тункинской долины Прибайкалья – литогенной основы разных почвообразующих пород Байкальской рифтовой зоны. Проведенный анализ элементного состава позволил не только оценить эколого-геохимическое состояние исследуемых типов почв, но и определить источники формирования рыхлых толщ и отложений, что важно для различных классификационных и генетических построений и для сохранения охраняемых экосистем Тункинского национального парка.

**Ключевые слова:** геохимические особенности почв, влияние почвообразующих пород, Прибайкалье, Байкальская рифтовая зона.

Почвенный покров является важным структурным элементом такой особо-охраняемой территории Прибайкалья, как Тункинский национальный парк, где изучение генезиса, свойств и провинциальных особенностей почв необходимо для целей устойчивого развития, особенно в связи с увеличением рекреационной нагрузки на ландшафты.

В рамках данной работы было исследовано влияние минерального состава почвообразующих пород на почвы Тункинской долины (ТД), расположенной в пределах юго-западной части Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) Южно-Сибирской физико-географической области. Было исследовано влияние пород на свойства, генезис и биогеохимическое состояние почв на примере 7 почвенных разрезов ТД (рис. 1).

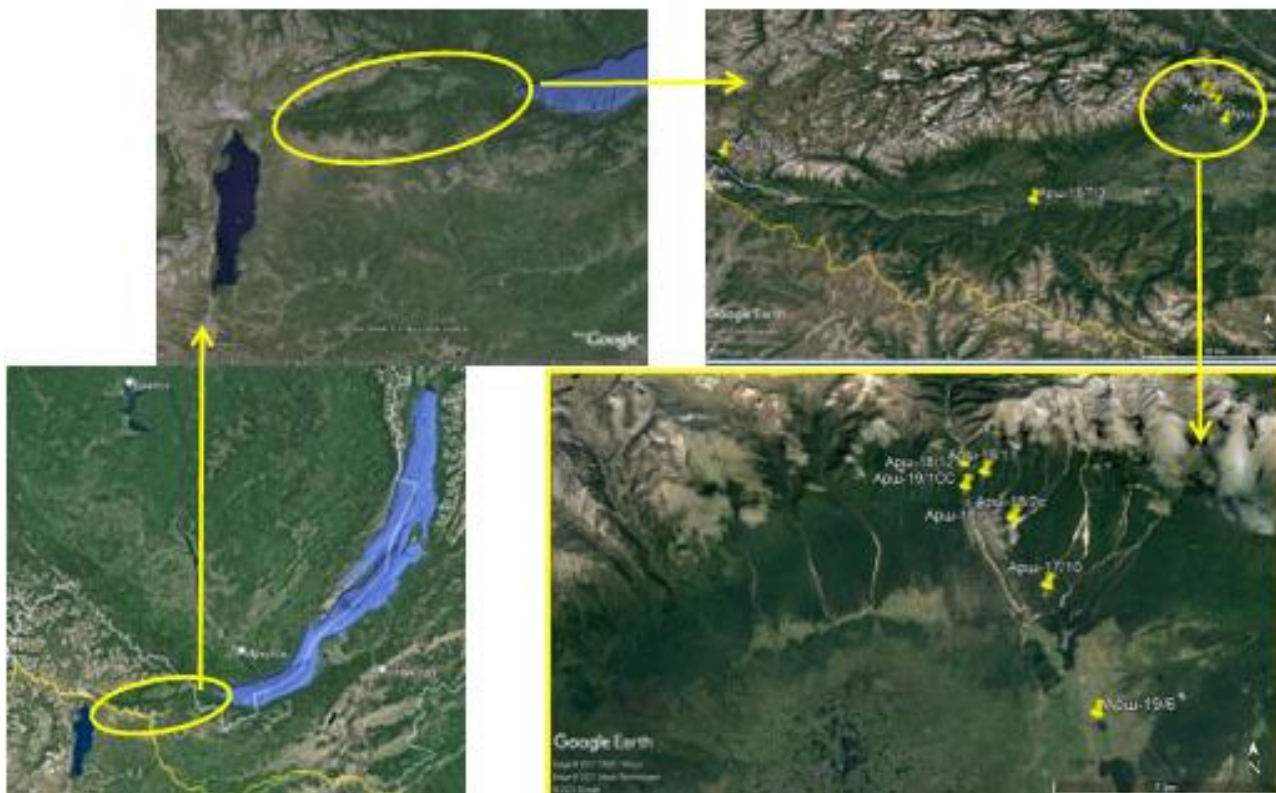


Рисунок 1. Расположение точек обследования в Тункинской долине БРЗ.

Район исследования характеризуется сложной геологической историей развития, большим разнообразием горных пород, влияющих по процессы почвообразования и выветривания. Это

сочетание способствует формированию большого разнообразия почв и ландшафтов, а почвенный покров исследуемой территории отличается сложностью и мозаичностью.

Были исследованы (рис. 2) следующие типы почв и пород: **А** – дерново-подбур перегнойный иллювиально-гумусово-железистый (O-AУ<sub>h</sub>-ВНF-BF<sub>h</sub>-RF<sub>(ca)</sub>) на *вулканических шлаках* (основных магматических пород) (Арш-19/6); **Б** – подбур перегнойный (O-AO-АН-ВН-BF) на метаморфизованных протерозойских *гранито-гнейсах* (Арш-18/12); **В** – карболитозем перегнойно-темногумусовый (H-АН-Cca) на делювии графитизированных *мраморов и мраморизованных известняков* (Арш18/11); **Г** – карбопетрозем остаточно-карбонатный иллювиально-железистый (O-AO-W-BC<sub>ca</sub>-BC<sub>f</sub>-CF<sub>ca</sub>-R1<sub>s,ca</sub>-R2<sub>s,ca</sub>) на *травертиновых карбонатных отложениях* (Арш-19/1сс); **Д** – бурозем грубогумусированный остаточно-карбонатный (AO-AУ<sub>(ca)</sub>-BM<sub>(ca)</sub>-BC<sub>ca</sub>-C1<sub>ca</sub>-C2<sub>ca</sub>) на *лессах* (Арш-18/7); **Е** – псаммозем натечно-(остаточно)-карбонатный (O-C1<sub>ca</sub>-C2<sub>ca</sub>-C3<sub>ca</sub>-C4<sub>ca</sub>-C5<sub>ca</sub>-C6<sub>ca</sub>) на *пролювиально-селевых отложениях* (Арш-17/10); серогумусовая глееватая (O-AУ1-AУ2(g)-CR) на делювии *вулканогенно-осадочных кремнистых известняков* (Арш-19/7).

Для определения свойств почв и почвообразующих пород, кроме классических методов анализа, был применен многоэлементный анализ масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой по стандартизованной методике измерений в лаборатории Лимнологического института СО РАН.

Специфику многообразия горного почвообразовательного процесса характеризуют два комплекса явлений: расположение горных почв на склоновых позициях и биоклиматические особенности горного почвообразования. Основными факторами локального формирования горно-долинных почв являются высотная поясность, экспозиция склонов, состав пород. В горно-долинных ландшафтах большую роль в формировании почвенного покрова играют процессы выветривания пород, миграции и аккумуляции веществ.

Для характеристики почвенно-геохимических процессов перераспределения вещества в системе почва-порода мы использовали элювиально-аккумулятивные коэффициенты А.А. Роде. Для оценки степени выветривания почвенной толщи мы использовали индексы (молекулярные отношения) Гарассовица, характеризующие в регионе активное выветривание и выщелачивание щелочных и щелочноземельных элементов.

По результатам элементного анализа был выполнен расчет геохимических коэффициентов с использованием почвообразующей породы в качестве матрицы для сравнения с почвенным материалом и для расчета коэффициентов трансформации почвенных профилей.

*Вулканические шлаки*, как породы, богатые железом, способствуют процессам ожелезнения и подкисления почвенного профиля развивающихся на них дерново-подбуров (рис. 2А). Высокое количество силикатных минералов, неустойчивых к выветриванию, способствует развитию процессов оглинивания профиля. Низкое остаточное содержание карбонатов и щелочности мы связываем с эоловым привносом пылеватого материала лессовидных суглинков, покрывающих окружающие вулканические конуса ТД территории.

Для дерново-подбура характерны средние величины коэффициента концентрации (КК), варьирующие в пределах 4–12 в случае накопления и от 0,2 до 0,6 в случае рассеяния элементов. Отмечается снижение концентрации большинства химических элементов (ХЭ), а также увеличение лития, хрома, цезия, таллия, циркония, тория вверх по почвенному профилю в сравнении с почвообразующими вулканическими шлаками, что свидетельствует об интенсивном процессе выветривания и трансформации шлаков, интенсивном выветривании и выщелачивании преимущественно Са и Mg. Элементный состав почвы корректно наследует состав породы, т.е. смены породного материала не было.

На метаморфизованных протерозойских гранито-гнейсах формируются слабокислые, достаточно насыщенные подбуры перегнойные (рис. 2, Б), с интенсивными процессами элювиирования. Для них смены элементного состава также не было выявлено: процесс выветривания породы интенсивно продолжается. Характерное накопление свинца (до 10 мг/кг) и сурьмы (до 0,50 мг/кг) может быть обусловлено процессом гумусообразования и фиксации этих элементов в виде хелатных комплексов с гумусовыми соединениями.



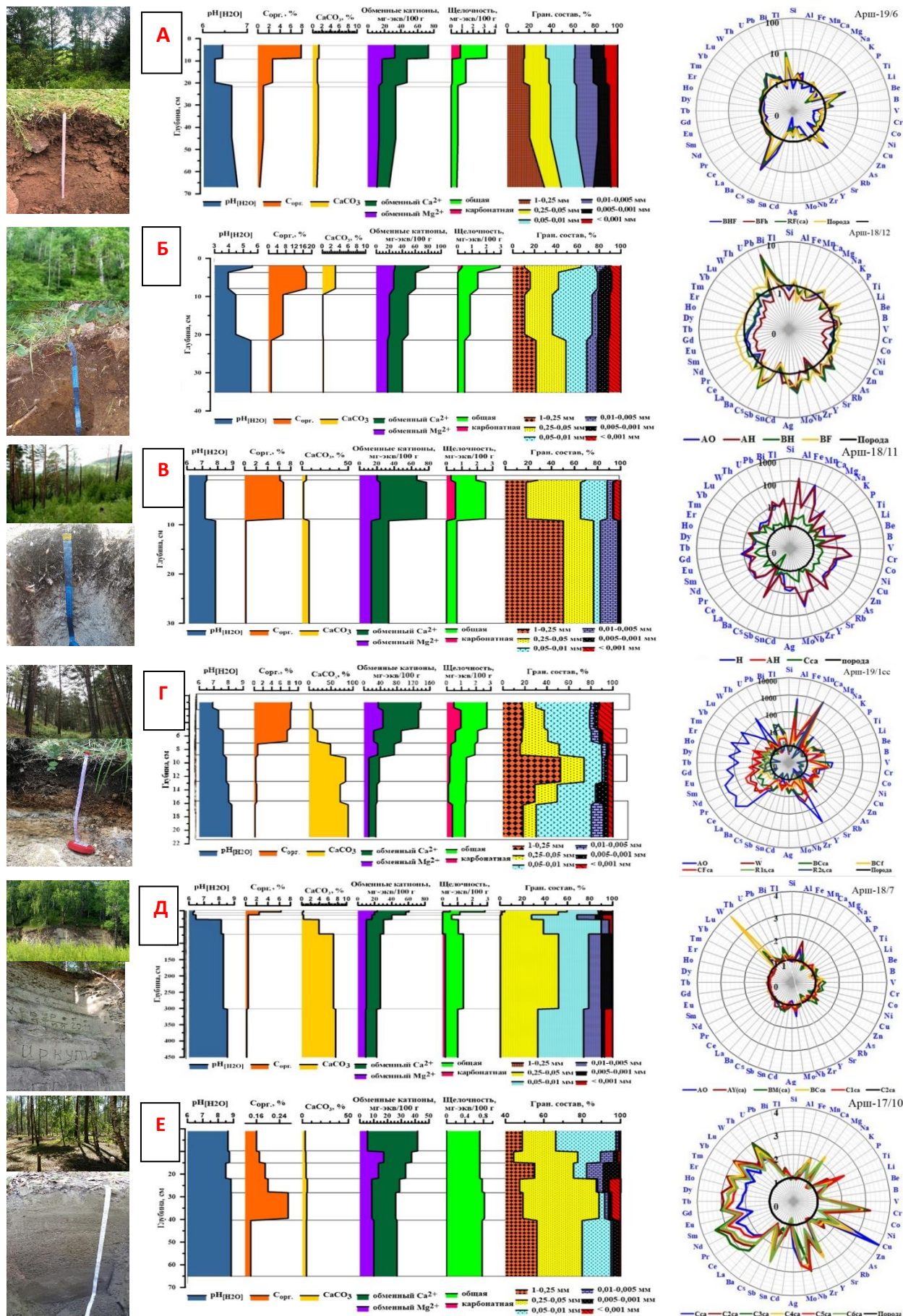


Рисунок 2. Физико-химические свойства почв и ряды кларков концентрации\* элементного состава по Роде (обозначения см. в тексте). \*Чёрной линией выделено равновесное состояние=1.

Для карболитозёмов и серогумусовых почв, формирующихся на известковых породах, характерны высокие величины КК (до 100–500). Для серогумусовых почв долины Иркуты

(Арш-197) по увеличению содержания алюминия в крупных обломках установлено, что вследствие распространённого здесь делювиально-пролювиального переноса, они не являются источником материала для почвообразующих пород. Для карболитозёмов, формирующихся на известняках и мраморах на склонах Тункинских Альп (рис. 2В), по элементному составу выявлено 2 толщи-стадии почвообразования (1–30 см и глубже 30 см), свидетельствующих о смене характера делювиального сноса и различии в генезисе материала для почвообразования.

На *травертинах* сформировался маломощный слабоструктурный дресвянисто-щербнистый сильнощелочной (в нижней части) профиль карбопетрозема остаточно-карбонатного с достаточно сформированной структурой горизонтов (рис. 2, Г), со слабо разложенным органогенным слоем с высокой ЕКО. Варьирование карбонатов по профилю связано с разными условиями накопления травертинового солевого материала и процессами выщелачивания. Травертины, как очень плотные карбонатные соленосные породы, медленнее выветриваются, чем другие карбонатные породы, но, имея достаточно высокое содержание доступных для растений элементов питания, способствуют развитию мощного дернового процесса после выщелачивания избытка солей.

По содержанию REE здесь диагностируются три этапа образования травертинов, на которых формируются отличные друг от друга почвенные слои: современный дневной почвенный горизонт (1–2 см), погребённые маломощные слои (2–5 см и 9–13 см). Современный дневной горизонт характеризуется повышенными содержаниями иттрия и ванадия, что может свидетельствовать о смене состава минеральных подземных вод, поступающих к дневной поверхности почвы в настоящее время. Здесь накапливаются многие элементы из группы редкоземельных. Кроме того, травертины разного возраста имеют практически равные содержания Са, Al и Mg.

В Туранской котловине в долине р. Зангисан нами был изучен профиль бурозема грубогумусированного остаточно-карбонатного, сформировавшегося на карбонатных *лессовых толщах*. Промывной режим способствует процессам выщелачивания и подкисления серогумусового горизонта. Пылеватость и высокая карбонатность хорошо сортированных лессовых отложений способствует формированию достаточно гумусированных почв с высокой емкостью катионного обмена. Почвы, сформированные на лессах, обладают достаточно высоким природным плодородием, о чем свидетельствует как высокий бонитет древесного яруса, так и большое биоразнообразие травянистого покрова.

Для бурозёмов характерны низкие величины КК, варьирующие в пределах 1,1–3,9 в случае накопления и в 0,6–0,9 в случае рассеяния. Отмечено накопление вольфрама в середине почвенного профиля. В меньшей степени здесь накапливается целый спектр элементов (Ti, Mo, V, Co, Pb, Cr, Zn, As и др.). Сравнительный анализ элементного состава лессов и других пород Тункинской долины позволяет сделать вывод о том, что источником лессового материала служили основные вулканические породы типа базальтов (риолитов), т.к. лессы наследуют их элементный состав по огромному количеству REE, тяжелых металлов и др.

Карбонатные почвообразующие породы Тункинской долины – селевые, лессовидные, травертиновые, известняковые – оказывают нейтрализующее воздействие образующимся при разложении растительного опада кислотным продуктам, способствуют закреплению гумусовых и накоплению илистых веществ, что затормаживает зональные процессы элювиирования и оподзоливания, повышает темп их эволюционного развития, их естественное плодородие и способствует формированию почв более южного высотно-зонального и климатического пояса.

*Селевые отложения* Тункинских Альп, характеризуясь несортированностью, песчаным составом и высокой карбонатностью, перекрывая современные толщи почв, способствуют созданию слоистых почвенных структур синлитогенно-постлитогенного генезиса. На селевых отложениях нами был исследован слаборазвитый бесструктурный профиль псаммозема натечно-(остаточно)-карбонатного (рис. 2, Е), относящегося к стволу первичного почвообразования, представленный несколькими слоями разновозрастных селевых генераций с сильной карбонатной пропиткой и очень низким содержанием гумуса, различающихся по составу супесчано-песчаных фракций, по количеству карбонатов и общей щелочности. О



первичном цикле почвообразования свидетельствует некоторое увеличение количества обменных катионов в верхней части профиля.

Для псаммозёма характерны низкие величины КК, варьирующие в пределах 1,1–3,9 в случае накопления и в 0,6–0,9 в случае рассеяния. Проведенные исследования элементного состава выявили в мелкоземле псаммозёма присутствие целого ряда редких элементов REE (Y, Cr, Sn, Th, U, Sc, Zr, Sr), тяжелых металлов (Co, Ni, Cu, Zn) и др. По содержанию элементного состава нами было установлено, что исходным материалом для селевого материала Тункинской котловины и почвообразующей породой для данных почв, в частности, являются граниты, предположительно, протерозойского возраста, распространенные в Тункинских Альпах.

По результатам проведенного кластерного анализа установлено, что травертиновые отложения и графитизированные мрамора формируют особый кластер, характеризующийся равными содержаниями Si и карбонатов, повышенными концентрациями Cl и Sr, пониженными концентрациями – Al, Mn, Ca, Na, P, Ti, Ba, Ni, Rb и Li. Пролувиально-селевые отложения, лессы, протерозойские гранито-гнейсы характеризуются содержанием элементного состава (60–75% SiO<sub>2</sub>, 7,5–11% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1–3,5% Na<sub>2</sub>O, 0,4–0,8% TiO<sub>2</sub>), соответствующего средним и кислым магматическим породам, имеющим наибольшее распространение в Тункинской долине. При этом для этих точек отбора характерна вариабельность содержания ряда элементов: Mg, Mn, Cl, Ba, Sr. Вулканические шлаки занимают промежуточное положение по содержанию Al, Li, Rb и Cl. Делювиально-пролювиальные отложения также занимают промежуточное положение по содержанию большинства элементов вследствие различного состава и генезиса горизонтов. K, B, Br и J формируют общий для Тункинской долины геохимический фон. Проведенный кластерный анализ позволяет отделить литогенную матрицу основных и осадочных пород и свидетельствует о сложном и разнообразном генезисе почв Тункинской долины.

Геологическое разнообразие пород способствует формированию большого почвенного и ландшафтного разнообразия Тункинской долины, что обуславливает необходимость их сохранения в границах Тункинского национального парка. Анализ элементного состава почв и пород позволяет не только определить экологическое состояние почв и ландшафтов, но и определить источник формирования рыхлых толщ и отложений, что важно для различных классификационных и генетических построений.

#### BIOGEOCHEMICAL FEATURES AND PROPERTIES OF SOILS OF MOUNTAIN-VALLEY LANDSCAPES OF THE BAIKAL BAIKAL RIFT ZONE IN THE ASPECT OF ASSESSING THEIR SOIL-ECOLOGICAL POTENTIAL

N.A. Martynova<sup>1</sup>, N.A. Zhuchenko<sup>2</sup>, D.O. Martynova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

<sup>2</sup>Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, zhna@lin.irk.ru

*Summary. The influence of the lithogenic basis of various soil-forming rocks of the Baikal rift zone on the biogeochemical and physico-chemical properties, elemental composition and genesis of mountain-valley soils of the Tunka Valley of the Baikal Region was investigated. The analysis of the elemental composition made it possible not only to assess the ecological and geochemical state of the studied soil types, but also to determine the sources of formation of loose strata and sediments, which is important for various classification and genetic constructions and for the preservation of protected ecosystems of the Tunka National Park.*

*Keywords: geochemical features of soils, influence of soil-forming rocks, Baikal region, Baikal rift zone.*

УДК 631.4

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПСАММОЗЕМОВ ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ Г. ПЕРМИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

П.Ш. Сайранова, О.З. Еремченко

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,  
s7p51996@yandex.ru

**Аннотация.** В качестве оценки устойчивости псаммозема гумусового использовали зависимость между дозой загрязнителя и биотическим откликом. Для тест-культуры критическим уровнем загрязнения стали дозы Cd и Cu в 500 мг/кг почвы. Значимое снижение активности каталазы наблюдали при загрязнении Cd 50 мг/кг, а Cu – 500 мг/кг почвы.

**Ключевые слова:** псаммоземы, тяжелые металлы, фитотоксичность, активность каталазы.

Устойчивость почв, как их способность противостоять химическому воздействию, является важнейшим свойством, определяющим уникальные экологические функции почв. Почва может поглотить некоторое количество загрязнителя без нарушения функции жизнеобеспечения [1]. В качестве показателя интенсивности химической нагрузки на почву рекомендуют зависимость между дозой загрязнителя и биотическим откликом [2].

Город Пермь характеризуется развитой промышленностью и высокой транспортной нагрузкой, в почвенном покрове города отмечают накопление многих тяжелых металлов [3]. Сосновые боры в природно-рекреационной зоне города расположены на почвах песчаного гранулометрического состава, в том числе на псаммоземах гумусовых. В Пермском крае псаммоземы впервые описаны в 2010 г. [4]. Постановлением Правительства Пермского края № 447-п с 27 мая 2022 года псаммоземы гумусовые вошли в перечень редких почв и находятся под особой охраной Министерства природы Пермского края [5].

В связи с особым статусом охраны псаммоземов гумусовых, целью наших исследований является определение реальной нагрузки и критического загрязнения тяжелыми металлами псаммоземов в природно-рекреационной зоне г. Перми.

На псаммоземах гумусовых ООПТ «Закамский бор» были заложены 4 разреза; отбор почвенных проб проводился через каждые 10 см до глубины 90–120 см. В почвенных пробах определяли физико-химические и химические свойства, гранулометрический состав – стандартными методами, условно валовое содержание тяжелых металлов – методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (вытяжка «царская водка»).

Для оценки критического уровня загрязненности в почвенные пробы из слоя 0–20 см внесли Cu и Cd из расчета от 2,5 до 1500 мг/кг почвы. На загрязненных почвенных пробах в течение 7 дней выращивали кресс-салат, затем определили длину и массу надземной части растений в 25-кратной повторности по авторской методике О.З. Еремченко и Н.В. Митраковой [6]. После выращивания растений в загрязненной почве определили активность металлов ионоселективным методом, активность каталазы – по Ф.Х. Хазиеву [7].

Генетические свойства псаммоземов гумусовых в значительной степени обусловлены литогенным фактором – песчаными почвообразующими породами. Профиль слабо дифференцирован, почвенные процессы представлены начальным гумусонакоплением, присутствуют слабые признаки ожелезнения. В морфологическом профиле выделен гумусово-слаборазвитый горизонт, залегающий непосредственно на песчаной почвообразующей породе. В гумусово-слаборазвитом горизонте содержится много полуразложившихся растительных остатков, накопление органического углерода составляет 3–5,5%. У почв легкий гранулометрический состав (гумусово-слаборазвитый горизонт – супесчаный, порода – мелкозернистый песок), низкая емкость поглощения минеральных горизонтов (2–7 ммоль/100 г), высокая ненасыщенность основаниями (8–27 ммоль/100 г) и сильноокислая реакция (pH<sub>KCl</sub> 3–4,5). В табл. 1 приведены средние значения физико-химических свойств псаммоземов гумусовых ООПТ «Закамский бор».

Таблица 1. Физико-химические свойства псаммозема гумусового

Гор.	Глубина, см	Сорг, %	pH <sub>KCl</sub>	Поглощенные катионы			Hg	ЕКО	Физ. глина <0,01 мм, %
				Ca	Mg	S			
				ммоль/100 г					
W	3–6	5,27	3,4	1,0	0,3	1,3	8,6	10,0	11,93
W-С	10–20	1,14	4,3	0,3	0,2	0,5	2,7	3,2	8,32
С <sup>••</sup>	50–60	0,41	4,4	0,5	0,3	0,8	1,6	2,4	5,89
С <sup>••</sup>	80–90	0,33	4,4	1,0	0,3	1,3	1,3	2,6	5,34



Условно валовой анализ показал, что среднее количество меди в верхних горизонтах почв составило 0,013 мг/кг. Верхний горизонт почвы содержал в 1,6 раза больше меди, по сравнению с песчаной породой; это накопление может быть связано как с биогенным накоплением, так и с техногенным загрязнением. Условно валовое содержание кадмия в почве не установлено из-за недостаточной чувствительности метода определения.

С усилением загрязненности почвы Cd от 2,5 до 250 мг/кг пропорционально уменьшалась длина и масса кресс-салата. На фоне загрязнения почвы медью значимое уменьшение длины надземной части растений отмечено с уровня загрязнения Cu 25 мг/кг, а уменьшение массы – с загрязнения Cu 100 мг/кг. В варианте Cu 500 мг/кг и Cd 500 мг/кг всходы кресс-салата не получены, следовательно, для растений этот уровень загрязнения псаммозема оказался критичным.

Внесение в псаммозем Cd в дозе от 2,5 до 25 мг/кг не оказало значимого влияния на его активность ( $-\lg[Cd]$ ), которая составляла около 7 единиц (рис. 1). Затем с увеличением дозы загрязнения активность Cd возрастала, а величина  $-\lg[Cd]$  соответственно уменьшалась; в варианте Cd 1500 мг/кг  $-\lg[Cd]$  был равен 3. В вариантах загрязнения Cu от 2,5 до 50 мг/кг активность меди варьировала от  $-\lg[Cu]=7,6$  до  $-\lg[Cu]=8,5$ . При уровне загрязнения Cu 100 мг/кг активность меди увеличилась почти на порядок, а при дозах 1000–1500 мг/кг составила  $-\lg[Cu]=3$ .

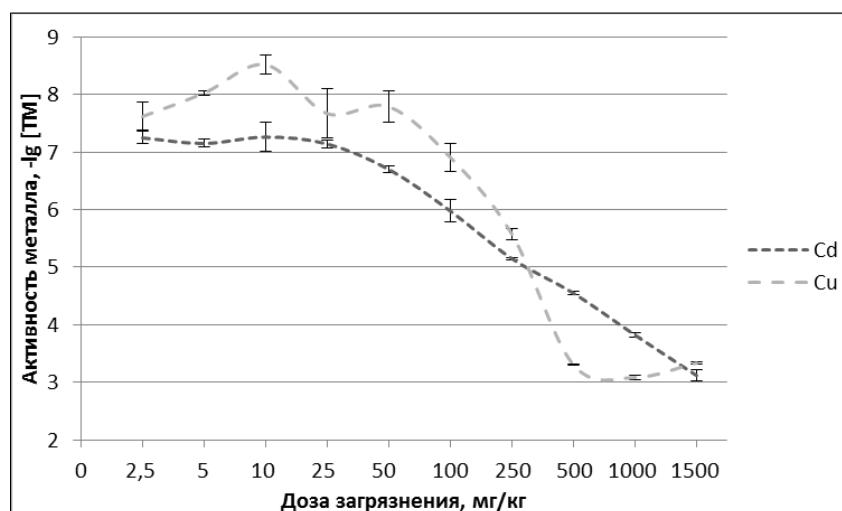


Рисунок 1. Активность Cd и Cu в зависимости от дозы загрязнения.

Активность каталазы в псаммоземе на фоне внесения малых доз кадмия увеличивалась, если в варианте Cd 2,5 мг/кг она составила 1,0 мл 0,1 М  $KMnO_4/10$  г почвы за 20 мин, то при

загрязнении Cd 25 мг/кг активность каталазы увеличилась в 10 раз (рис. 2). Псаммоземы бедны металлами, по-видимому, относительно небольшое загрязнение может стимулировать развитие микроорганизмов, продуцирующих ферменты. В варианте Cd 50 мг/кг активность каталазы снизилась до 1,3 мл 0,1 М  $\text{KMnO}_4/10$  г почвы, в варианте Cd 100 мг/кг – до 1,1 мл 0,1 М  $\text{KMnO}_4/10$  г почвы, затем при большем загрязнении практически не изменялась.

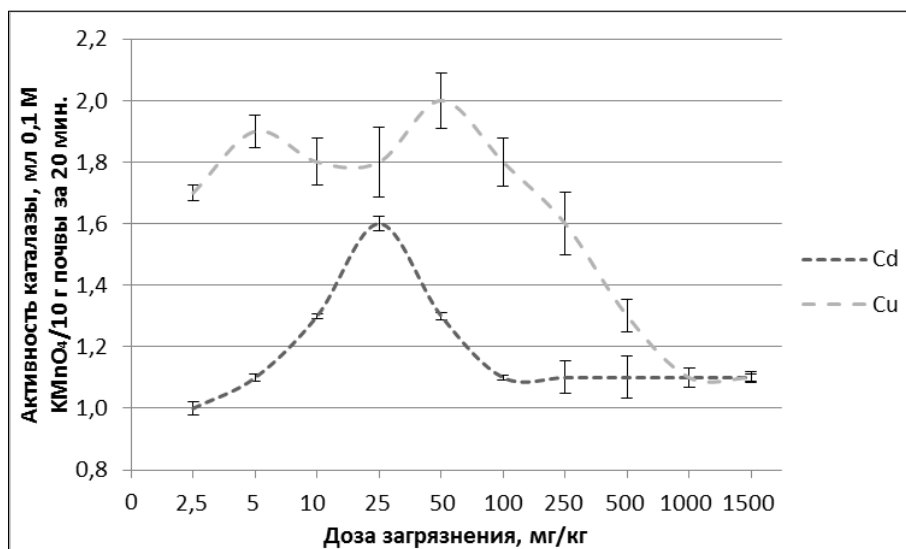


Рисунок 2. Активность каталазы в зависимости от дозы загрязнения.

Внесение меди в псаммозем в количестве 2,5–250 мг/кг почвы сопровождалось усилением активности каталазы, что особенно заметно на фоне загрязнения почвы кадмием. В вариантах Cu от 2,5 до 50 мг/кг не установлено значимых различий в активности каталазы. Снижение активности фермента отмечено при дозе загрязнения Cu 250 мг/кг, в вариантах Cu 1000 и 1500 мг/кг активность фермента почти в 2 раза ниже, чем при малых дозах загрязнения.

Таким образом, результаты фитотестирования показали, что угнетение тест-культуры прослежено с уровня загрязнения псаммозема кадмием в количестве 2,5 мг/кг, а медью – в количестве 25 мг/кг почвы. Критический уровень накопления в псаммоземе Cd и Cu, при котором в почве отсутствуют условия для роста и развития растений, составил около 500 мг/кг почвы. При этом уровне загрязнения почвы активность металлов повысилась на 2 порядка, -lg[Cd] и -lg[Cu] становились менее 5 единиц. Внесение в почву относительно малых доз тяжелых металлов, особенно меди, сопровождалось усилением активности каталазы. Значимое снижение активности каталазы наблюдали при загрязнении Cd 50 мг/кг, а Cu – 500 мг/кг почвы.

### Литература

1. Мотузова Г.В. Устойчивость почв к химическому воздействию. Москва: Изд-во МГУ, 2000. 57 с.
2. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
3. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь // Почвоведение. 2005. №7. С. 782–789.
4. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермские края. Пермь, 2010. 94 с.
5. Постановление Правительства Пермского края от 27.05.2022 № 447-п «Об утверждении Порядка и мер охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края, перечня редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края» [Электронный ресурс] // URL: <https://priroda.permkrai.ru/> (дата обращения: 20.10.2022).
6. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных грунтов: пат. Рос. Федерации № 2620555. 2017.
7. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 252 с.



## ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF PSAMMOZEMS IN THE NATURAL AND RECREATIONAL ZONE TO POLLUTION BY HEAVY METALS IN PERM

P.Sh. Sairanova, O.Z. Eremchenko

Perm State University, Perm, s7p51996@yandex.ru

*Summary.* The dependence between the pollutant dose and biotic response was used as an assessment of the stability of humus psammozem. For the test-culture, doses of Cd and Cu at 500 mg/kg of soil became the critical level of contamination. A significant decrease in catalase activity was observed at soil contamination with 50 mg/kg Cd and 500 mg/kg Cu.

*Keywords:* psammozems (arenosol – WRB), heavy metals, phytotoxicity, catalase activity.

УДК 645.01.631

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЗЕМНОГО ДЕТРИТА

О.В. Семенюк, В.М. Телеснина, Л.Г. Богатырев

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, olgatour@rambler.ru

*Аннотация.* В рамках развития системы городского мониторинга наземный детрит, представленный подстилками зеленых насаждений, является весьма информативным объектом для наблюдения и оценки биологического круговорота. Предложена система показателей, характеризующая структуру и функционирование подстилок. Среди последних выделены группы базовых показателей и показателей, позволяющих оценивать динамику функционирования детрита в различные временные сроки (в годичном, коротком и длительном циклах).

*Ключевые слова:* урбоэкосистемы, мониторинг, подстилки, показатели структуры и функционирования, биологический круговорот.

В условиях активного роста площади урбанизированных территорий возрастает интерес к проблеме устойчивого развития городов и разработке подходов к оптимизации экологического состояния урболандшафтов. Одним из важнейших условий поддержания здоровой среды городских территорий является организация и проведение экологического мониторинга. В рамках развития системы городского мониторинга перспективным направлением является расширение набора оценок за счет поиска и включения интегральных показателей состояния окружающей среды, например, таких как эмиссия газов и ряд биологических показателей почв [1, 2]. Данная тема приобретает особую актуальность в рамках проблемы глобального потепления климата, выявления источников прямого и косвенного антропогенного влияния на углеродный баланс, а также оценки вклада эмиссии углерода в атмосферу территориями городов. При комплексном анализе запасов углерода в насаждениях, подстилках и почве отмечается его слабое закрепление в городских аналогах по сравнению с естественными лесами [3]. С точки зрения оценки запасов углерода именно этим трем компонентам экосистем уделяется особое внимание [4]. При создании моделей циклов углерода подчеркивается важность оценки органического вещества, сосредоточенного в сопряженных горизонтах подстилки [5].

Подстилка является функцией растительности и других факторов окружающей среды и отражает ряд характеристик экосистемы. Представлена слоем органического материала на поверхности почвы, сформированного преимущественно из растительного опада и находящийся на разных стадиях разложения в зависимости от конкретных условий и времени его поступления на поверхность почвы, что и предопределяет его постепенную и последовательную гомогенизацию и расчлененность на генетические горизонты. Характеристика некоторых наиболее распространенных подгоризонтов представлена ниже.

Подгоризонт  $O_1$  (L) представляет собой опад текущего года или прошлых лет, который не утратил своих морфологических черт и указывает на видовую принадлежность растительных остатков. Это не исключает наличия в этом подгоризонте более мелких растительных остатков (детрита), которые трудно идентифицировать. Причина этого заключается в том, что эти

частицы могут быть перенесены из почвы или нижних подгоризонтов почвенной биотой или являются результатом текущей деструкции растительных остатков.

Подгоризонт O<sub>2</sub> (F) характеризуется более темной окраской вплоть до черных тонов растительных остатков, часть которых более чем на 50 % можно идентифицировать и установить их происхождение (хвоя, ветки, листья, семена и т.д.).

Подгоризонт O<sub>3</sub> (H) обычно представлен хорошо гумифицированными растительными остатками, легко продавливаемыми между пальцами, но сохраняющими в себе большое количество органических соединений растительной природы. При этом содержание минеральных примесей в этом подгоризонте должно быть минимальным, и в целом этот подгоризонт представляет собой органогенный объект [6].

Строение подстилок, как и другие их показатели, отражают соотношение процессов накопления и разложения органического вещества подстилок, содержат информацию по динамике циклов зольных элементов и органического вещества, и, в частности, углерода, что позволяет рассматривать наземный детрит как важнейший объект мониторинга.

Наземный детрит характеризуется структурно- функциональной организацией [7], которую можно описать соответствующими показателями и использовать для оценки и наблюдения (табл. 1).

Таблица 1. Показатели структуры и функционирования наземного детрита

Показатели структуры	Показатели функционирования			
	Базовые показатели	Показатели годового цикла функционирования	Показатели короткого цикла функционирования	Показатели длительного цикла функционирования
1.Количество подгоризонтов и классификационная принадлежность подстилок  2.Фракционный состав подгоризонта L (%)	1.Мощность (см)  2.Запасы (г/м <sup>2</sup> )	1. Ежегодно реализуемое органическое вещество подстилок – запас (г/м <sup>2</sup> /год) и его доля от общего запаса подстилки (%)	1. Активная фракция – запас (г/м <sup>2</sup> ) и его доля (%) от общего запаса подстилки  2. Легко разлагаемые компоненты – запас (г/м <sup>2</sup> ) и его доля (%) от запаса подгоризонта L  3.Фракция детрита-запас (г/м <sup>2</sup> ) и его доля (%) от запаса подгоризонта L  4. Отношение запаса легко разлагаемых компонентов к запасу фракции детрита	1.Отношение мощности нижележащих горизонтов к мощности подгоризонта L  2.Отношение запасов нижележащих горизонтов к запасам подгоризонта L

Показателями структуры являются наличие подгоризонтов, количество которых определяет строение и классификационную принадлежность подстилок, а также фракционный состав подгоризонта L, который может быть представлен ветками, хвоей, плодами, ветошью, детритом, листьями и т.д. Фракция листьев может быть разделена на листья дерева-эдификатора и листья других видов, что позволяет оценить вклад подроста и подлеска, а также роль латерального переноса в формировании подстилок.

Показатели функционирования представлены следующими группами: базовые показатели и показатели, позволяющие оценивать динамику функционирования детрита в различные временные сроки (показатели функционирования в годичном цикле, показатели функционирования короткого и длительного циклов).

К базовым показателям относятся общая мощность и запасы подстилок. Это наиболее простые для измерения показатели, характеризующиеся высокой информативностью. С увеличением мощности и запасов подстилок снижается скорость биологического круговорота органического вещества и увеличивается депонирование углерода.

Для оценки функционирования подстилок в годичном и коротком циклах функционирования используют показатели подгоризонта L, как наиболее динамичного по отношению к нижележащим подгоризонтам подстилки.

Показателем функционирования в годичном цикле преобразования растительного опада в условиях древесных насаждений является объем ежегодно реализуемого органического вещества (РОВ) [8]. Объем ежегодно реализуемого органического вещества в подстилке рассчитывался по разности запасов легкоразлагаемых компонентов, представленной суммой листьев и ветоши до и после листопада, а его доля – от запасов подгоризонта L после листопада. Оценка годичного цикла преобразования растительного опада в условиях древесных насаждений проводится на основе определения запасов подстилок дважды за сезон. Первое определение проводят в осенний период, который приурочен ко времени максимального поступления опада на почву (конец октября – начало ноября). Второе определение осуществляют в период максимальной степени разложения подстилок и, соответственно, минимальные их запасы в годовом цикле, но массовое поступление опада текущего года еще не началось. Разница запасов органического вещества подстилок (в г/м<sup>2</sup>), определенных в летний и осенний периоды, дает основание для оценки той части органического вещества, которая включается в круговорот в результате интегральных процессов разложения и гумификации растительных остатков. В рамках методики изучения круговорота для удобства оценки трансформации органического вещества в годовом цикле введено понятие «реализация подстилок». Период реализации подстилки – временной период, в нашем случае 1 год, в течение которого оценивается уменьшение запасов и изменение свойств подстилки. Таким образом, величина реализации измеряется путем вычисления разности запасов подстилок, определенных в летний и осенний периоды, и измеряется в г/м<sup>2</sup>/год.

Короткий цикл функционирования оценивается рядом показателей. Л.О. Карпачевский [9] выделял активную фракцию, включающую листья, ветошь и хвою, которая по сравнению с другими фракциями относительно быстро изменяется в условиях преобразования детрита. Используются так же характеристики таких фракций, как легко разлагаемые компоненты и детрит. Запас и доля легко разлагаемых компонентов, как наиболее доступной для разложения части подстилок, которая в первую очередь вовлекается в биологический круговорот. Фракция детрита представлена мелкими по размеру остатками, морфологическую принадлежность которых определить не представляется возможным. Наличие детрита свидетельствует о неполном разложении органического вещества подстилок и увеличение его запасов и доли, связано со снижением скорости биологического круговорота в экостеме.

Соотношение запасов ЛРК и детрита как трудно разлагаемой фракции так же весьма информативно, т.к. отражает активность и глубину разложения легко утилизированной части ежегодно поступающего опада.

Оценка длительного цикла функционирования основана на свойствах, которые характеризуют весь профиль подстилок. Мощность и запасы подгоризонта L, представленного преимущественно опадом текущего года и являющего собой «0» момент начала преобразования подстилок, относят к мощности и запасам нижележащих подгоризонтов [10].

Как показывают результаты многочисленных исследований, в случае многослойных подстилок мощности и запасы нижележащих горизонтов выше, чем соответствующие характеристики подгоризонта L, в связи с чем используют обратное соотношение – мощность и запасы нижележащих подгоризонтов к мощности и запасам подгоризонта L.

Изучение свойств подстилок позволяет оценить интенсивность биологического круговорота зеленых насаждений, в том числе и на урбанизированных территориях.

Подстилка, несмотря на небольшой вклад в общий запас органического вещества экосистемы, является наиболее мобильным горизонтом, связывающим растительность и минеральные горизонты почвы, а ее типология и свойства – важнейшие характеристики, которые могут быть использованы для проведения мониторинга городских экосистем. Подстилки являются весьма удобным объектом для мониторинга, поскольку быстро реагируют на изменение локальных условий, легко доступны для исследования [11]. Представленные показатели характеризуют структурную и функциональную организацию подстилок, позволяют получить комплексную оценку или решить более частные задачи по изучению наземного детрита и мониторинга городской среды. Изучение подстилок характеризуется простотой методов отбора образцов и измерения параметров, что можно использовать для экспресс-индикации состояния урбоэкосистем.

#### Литература

1. Васнев В.И., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Особенности экологического функционирования конструкторов в различных биоклиматических зонах Московской области // Почвоведение. 2012. № 2. С. 1–12.
2. Смагин А.В., Смагина М.В., Садовникова Н.Б. Биологическое потребление кислорода в почвах и подстилках // Почвоведение. 2018. № 3. С. 304–317.
3. Mandal S., Chatterjee P., Das N., Banerjee R., Batabual S., Gangopadhyay S., Mondal A. Modelling the role of urban forest in the regulation of carbon balance in an industrial area of India. *Acta Ecologica Sinica*. 2022. Vol. 42. Issue 5. Pp. 553–564. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.05.005>.
4. Богатырев Л.Г., Алябина И.О. Поведение органического углерода в почвах / Национальный атлас почв Российской Федерации. М: изд-во Астрель, 2011. С. 226–228
5. Чертов О. Г., Комаров А. С. Теоретические подходы к моделированию динамики содержания органического вещества почв // Почвоведение. 2013. №. 8. С. 937–937.
6. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990а. № 3. С. 118–12.
7. Богатырев Л.Г., Смагин А.В., Акишина М.М. и др. Географические аспекты функционирования лесных подстилок // Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение. Изд-во Моск. ун-та (М.), 2013. № 1. С. 30–36.
8. Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Использование особенностей структурно-функциональной организации подстилок для оценки интенсивности круговорота в городских насаждениях (на примере Москвы) // Почвоведение, издательство Наука (М.), 2021. № 5. С. 1–14.
9. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. Москва: Лесн. пром-ть, 1981, с. 264
10. Ведрова Э.Ф., Решетникова Т.В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в культурах основных лесобразующих пород Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.
11. Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Подстилки еловых насаждений в пределах мегаполиса как объект экологического мониторинга // Вестник Московского ун-та, серия 17, Почвоведение, 2023, № 1. С. 36–45.

#### BIOGEOCHEMICAL MONITORING OF URBAN ECOSYSTEMS WITH THE USE OF INDICATORS OF GROUND DETRITS

O.V. Semenyuk, V, M, Telesnina, L, G, Bogatyrev

Moscow State University M.V. Lomonosov, [olgatour@rambler.ru](mailto:olgatour@rambler.ru)

*Summary. As part of the development of the urban monitoring system, terrestrial detritus, represented by the litter of green spaces, is a convenient and very informative object for monitoring and evaluating the biological cycle. A system of indicators characterizing the structure and functioning of litters is proposed. Among the latter, there are groups of basic indicators and*



*indicators that allow assessing the dynamics of detritus functioning in different time periods (in a year, short and long cycles).*

**Keywords:** urban ecosystems, monitoring, litter, indicators of structure and functioning, biological cycle.

УДК 631.461.74

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ АЭРОБНЫХ Fe- И Mn-ОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ В Fe-Mn ОРТШТЕЙНАХ, СФОРМИРОВАННЫХ В ЗОНЕ С МИНИМАЛЬНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

**М.Л. Сидоренко<sup>1</sup>, Я.О. Тимофеева<sup>1</sup>, Е.С. Мартыненко<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии

ДВО РАН, Владивосток, sidorenko@biosoil.ru, timofeeva@biosoil.ru

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, martynenko98@inbox.ru

**Аннотация.** *Исследовано численное распределение культивируемых аэробных Fe- и Mn-окисляющих бактерий в Fe-Mn ортштейнах разного размера дерново-буро-подзолистых глееватых почв, сформированных на территории, неподверженной влиянию прямого техногенного воздействия. Основным объем аэробных бактерий, культивируемых из почвенных ЖМО (внешняя и внутренняя зоны), представлен MnОБ (наибольшее содержание обнаружено в размерной фракции 2-3 мм). Культивируемые аэробные FeОБ выделены только из внешней зоны мелких ЖМО, сформированных в верхней части почвенного профиля.*

**Ключевые слова:** *Fe-Mn ортштейны, аэробные Fe- и Mn-окисляющие бактерии, дерново-буро-подзолистые глееватые почвы, минимальная техногенная нагрузка.*

Железо-марганцевые ортштейны (ЖМО) представляют собой обособленные от вмещающей почвенной массы образования со специфичным строением и составом (минералогический, химический) и являются наиболее распространенной формой почвенных марганцево-железистых конкреционных новообразований [1]. Почвы юга Дальнего Востока характеризуются активным проявлением процесса ортштейнообразования. Содержание ЖМО в отдельных горизонтах почв может достигать 33% от веса почвенной массы [2]. Одним из факторов образования ЖМО в почвах является микробиологическая трансформация Fe и Mn [5]. Сведения о выделении микроорганизмов, окисляющих железо и марганец, из ЖМО почв юга Дальнего Востока весьма эпизодичны. Результаты немногочисленных исследований, направленных на изучение состава микроорганизмов в Fe-Mn новообразованиях, указывают на варьирование таксономических групп и бактериальных комплексов в новообразованиях различных типов почв [6-8]. Кроме того, основная часть результатов исследований микроорганизмов в ЖМО представлена данными, полученными с территорий, испытывающих воздействие различных техногенных факторов (почвы урбанизированных ландшафтов, агроэкосистем). Это не позволяет получить достоверную информацию об участии различных групп почвенных микроорганизмов в формировании и развитии ЖМО в почвах естественных, ненарушенных антропогенной деятельностью экосистем и оценить воздействие техногенеза на прохождение указанных процессов.

Целью исследования являлось изучение численности культивируемых аэробных Fe- и Mn-окисляющих бактерий в ортштейнах почвах, не испытывающих прямого техногенного воздействия.

Объектом исследований являлись образцы ЖМО дерново-буро-подзолистой глееватой почвы национального парка "Земля Леопарда", который расположен на юго-западе Приморского края. Территория национального парка не подвержена влиянию прямого техногенного воздействия и относится к условно незагрязненной.

Для микробиологических исследований отбирали почвенные монолиты, содержащие ЖМО. ЖМО тщательно отделяли от вмещающего почвенного мелкозема и разделяли по размерным фракциям. Марганец- (MnОБ) и Fe-окисляющие аэробные бактерии (FeОБ) культивировали из внешней и внутренней зон ЖМО. Для выделения микроорганизмов из внутренней зоны ЖМО промывали физиологическим раствором и стерилизовали 70%

раствором  $C_2H_5OH$  в течение 1 мин, далее трижды промывали стерильным физиологическим раствором с последующим измельчением. Очистка поверхности ЖМО от частиц почвенного мелкозема проводилась при помощи 20 мин. погружения в ультразвуковую ванну в спиртовой раствор (50%) согласно рекомендациям Ettler с соавт. [3]. Навески образцов ЖМО (10 г) помещали в колбы со 100 мл физиологического раствора и суспендировали на орбитальном шейкере. Аликвоту полученных суспензий вносили на поверхность плотных питательных сред в чашки Петри. Продолжительность культивирования составляла 14 суток при температуре 20–22°C. В работе использовали специальную плотную питательную среду [10].

Полученные результаты указывают на численное преобладание культивируемых аэробных MnOB над FeOB в ЖМО. MnOB идентифицированы в ЖМО, сформированных по всему профилю (до глубины 140 см), что указывает на наличие условий, подходящих для их роста и развития. Представленные результаты подтверждают способность ЖМО обеспечивать жизнеспособное состояние MnOB [4, 11]. Дополнительно это подтверждается наличием культивируемых аэробных форм MnOB не только во внешней, но и во внутренней зонах ортштейнов.

FeOB удалось культивировать только из внешней зоны ЖМО размера 1–2 мм, сформированных в двух верхних горизонтах исследованных почв (AY, Yeln). Полученные данные указывают на наличие жизнеспособных форм культивируемых аэробных копиотрофов только в зоне контакта ЖМО с мелкоземом почв.

В ЖМО размеров 2–3 и 3–5 мм аэробные MnOC выделены и из внешней, и из внутренней зон. Характерной особенностью ЖМО размера 2–3 мм является резкое увеличение количества MnOC во внешней зоне (от 2.1 до 500 раз). Также ЖМО данной размерной фракции отличаются наибольшим содержанием культивируемых MnOC среди всех изученных размерных фракций. Прежде всего это связано с фактом активизации накопления Mn по мере роста ЖМО, что подтверждено проведенными ранее исследованиями [9]. В целом, в ЖМО размера 2–3 мм максимальное количество MnOC установлено в новообразованиях, сформированных в средней и нижней частях почвенного профиля (горизонты BELnn,g, BCg).

Внешняя зона ЖМО размерной фракции 3–5 мм, сформированных в верхней части почвенного профиля, также характеризуется повышенным содержанием культивируемых MnOB по сравнению с внутренней зоной. С продвижением вглубь почвенного профиля содержание MnOB во внешней и внутренней зонах ЖМО выравнивается. Наибольшее количество MnOB выделено из ЖМО верхнего горизонта AY. В нижележащих горизонтах отмечено резкое снижение количества MnOB. В ЖМО горизонта BCg наблюдалось незначительное увеличение количества MnOB.

Следует отметить полное отсутствие исследуемых бактерий в ЖМО размерных фракций 2–3 и 3–5 мм, формирующихся в текстурном горизонте VTg. Вероятно, это связано как с различным проявлением интенсивности микробиологических процессов в отдельных горизонтах почвенного профиля, так и с отмеченной в литературных источниках способностью ЖМО текстурных горизонтов активизировать накопление ряда тяжелых металлов до концентраций, ингибирующих рост и развитие микроорганизмов [9, 12].

Таким образом, основной объем аэробных бактерий, культивируемых из почвенных ЖМО (внешняя и внутренняя зоны), представлен группой MnOB. Наибольшее содержание культивируемых MnOB обнаружено в ЖМО размерной фракции 2–3 мм. Полученные результаты позволяют предположить, что скопления MnOC могут являться первичным звеном образования ЖМО в исследованных почвах. Культивируемые аэробные FeOB выделены только из внешней зоны мелких ЖМО, сформированных в верхней части почвенного профиля, указывая на участие FeOB лишь на начальных этапах формирования ЖМО.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках гранта №. 23-24-00255, <https://rscf.ru/project/23-24-00255/>.

#### Литература

1. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2001. 216 с.
2. Росликова В.И. Марганцево–железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 291 с.

3. Ettlér V., Chren M., Mihaljevič M., Drahotá P., Kříbek B., Veselovský F., Sracek O., Vaněk A., Penížek V., Komárek M., Mapani B., Kamona F. Characterization of Fe-Mn concentric nodules from Luvisol irrigated by mine water in a semi-arid agricultural area // *Geoderma*. 2017. Vol. 299. PP. 32–42.
4. Костенков Н.М. Окислительно-восстановительные режимы в почвах периодического переувлажнения (Дальний Восток). М. : Наука, 1986.
5. Аристовская Т.В. Роль микроорганизмов в мобилизации и закреплении железа в почвах // *Почвоведение*. 1975. № 4. С. 290–295.
6. Лысак Л.В., Кадулин М.С., Конова И.А., Лапыгина Е.В., Иванов А.В., Звягинцев Д.Г. Численность, жизнеспособность и таксономический состав наноформ бактерий в железомарганцевых конкрециях // *Почвоведение*. 2013. № 6. С. 707–714.
7. Щапова Л.Н. Микрофлора почв юга Дальнего востока России. Владивосток: ДВО РАН, 1994. 186 с.
8. Hu M., Li F., Lei J., Fang Y., Tong H., Wu W., Liu C. Pyrosequencing revealed highly microbial phylogenetic diversity in ferromanganese nodules from farmland // *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2015. Vol. 17, № 1. PP. 213–224. doi: 10.1039/c4em00407h
9. Тимофеева Я.О. Накопление и фракционирование микроэлементов в почвенных железомарганцевых конкрециях различного размера // *Геохимия*. 2008. № 3. С. 293–301.
10. Захарова Ю.Р., Парфенова В.В. Метод культивирования микроорганизмов, окисляющих железо и марганец в донных отложениях озера Байкал // *Известия РАН. Сер. биологическая*. 2007. №3. С. 290–295.
11. Пуртова Л.Н., Тимофеева Я.О. Характеристика мелкозема и ортштейнов агрогенных почв южной части Приморского края: физико-химические, оптические свойства, каталазная и каталитическая активность // *Почвоведение*. 2021. № 12. С. 1481–1491.
12. Холопов Ю.А. Изучение реакции микроорганизмов почв лесных ценозов на внесение солей свинца и кадмия в условиях модельного опыта // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2013. Т. 15. № 3. С. 260–267.

#### DISTRIBUTION OF CULTIVATED AEROBIC Fe- AND Mn-OXIDIZING BACTERIA IN Fe-Mn NODULES FORMED IN A ZONE WITH MINIMUM TECHNOGENIC IMPACT

M.L. Sidorenko<sup>1</sup>, Ya.O. Timofeeva<sup>1</sup>, E.S. Martynenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia FEB RAS, Vladivostok, sidorenko@biosoil.ru, timofeeva@biosoil.ru

<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, martynenko98@inbox.ru

*Summary.* Quantitative distribution of cultured aerobic Fe- and Mn-oxidizing bacteria in Fe-Mn nodules different sizes of Gleyic Luvisols, which were formed in the territory not influenced of direct anthropogenic impact, have been analyzed. The main quantity of aerobic bacteria cultivated from nodules (external and internal zones) is represented by Mn-oxidizing bacteria (the highest quantity was found in the 2–3 mm size fraction). Cultivated aerobic Fe-oxidizing bacteria were isolated only from the external zone of small Fe-Mn nodules formed in the upper part of the soil profile.

*Keywords:* Fe-Mn nodules, aerobic Fe- and Mn-oxidizing bacteria, Gleyic Luvisols, minimal technogenic impact.

УДК 631.4

## ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНА В КОМПОНЕНТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.В. Синдирева, Н.Ф. Чистякова, Н.Е. Гурьев, Н.С. Ткаченко

Институт наук о Земле ТюмГУ, Тюмень, sindireva72@mail.ru, n.f.chistyakova@utmn.ru,  
nikitka.gurev.1996@mail.ru, stud0000102421@study.utmn.ru

**Аннотация.** В статье обобщены результаты содержания селена в аллювиальных отложениях 2-ой надпойменной террасы реки Тура в окрестностях микрорайона Метелева, его вертикальной и латеральной миграции по склону оврага р. Бабарынка г. Тюмени.

**Ключевые слова:** селен, аллювиальные отложения, рельеф, pH, органическое вещество.

**Введение.** В живом организме селен выступает в роли антиоксиданта, регулирует функции щитовидной и поджелудочной желез, положительно влияет на систему репродукции. Недостаток селена в организме человека является патогенным фактором развития ряда заболеваний (болезнь Кашина-Бека, Кешана), а у животных может спровоцировать беломышечную болезнь и задержку роста. Изучение содержания и распределения селена в почвообразующих породах, почвах, воде и донных отложениях, растениях необходимо, т.к. они являются основными источниками поступления селена в живые организмы [1, 2, 3, 4, 5].

Селен относится к группе рассеянных микроэлементов, кларк селена (по Виноградову А.П., 1957) в Земной коре составляет  $5 \cdot 10^{-6}$ . Выделено порядка 40 минералов селена, которые относятся к классам: сульфидов: (ашвалит (FeSe), клаусталит (PbSe), тиманит (HgSe), хастит (CoSe<sub>2</sub>) и т.д.); селенидов (науманнит (Ag<sub>2</sub>Se), агаиларит (Ag<sub>2</sub>(Se, S)), берцелианит (Cu<sub>2</sub>Se), клокоманнит (CuSe) и т.д.); селенатов (керстеинит (PbSeO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), халькоменит (CuSeO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O), альфельдит (NiSeO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O) и т.д.). Наличие минералов селена в почвообразующих породах будет определять содержание селена в почве, растениях, подземной и поверхностной воде ландшафта [1, 5, 6].

Геолого-геоморфологические условия являются одними из важных и не всегда учитываемых факторов, оказывающих влияние на миграцию макро- и микроэлементов. В связи с чем оценку селенового статуса территории необходимо проводить комплексно, изучая миграцию данного микроэлемента в отдельных компонентах ландшафта.

**Цель** – исследовать влияние геолого-геоморфологических факторов на распределение селена в компонентах окружающей среды.

### **Задачи:**

- изучить содержание и распределение селена в аллювиальных отложениях второй надпойменной террасы р. Тура в окрестностях микрорайона Метелева г. Тюмени;
- проанализировать современные геоморфологические особенности территории, которые оказывают влияние на содержание и распределение селена в почвах оврага р. Бабарынка г. Тюмени.

**Объекты и методы.** Согласно схеме физико-географического районирования юга Тюменской области, район исследования относится к Тавдинской провинции, Туринской подпровинции Тюменского района Лесной равнинной широтно-зональной области. С административной точки зрения объекты исследования расположены в Калининском АО г. Тюмени. Изучение аллювиальных отложений второй надпойменной террасы р. Тура проводилось в отработанном песчаном карьере окрестностях микрорайона Метелева г. Тюмени (N57°12'46,66" и E65°25'54,17"). Изучение современных геоморфологических особенностей территории, которые оказывают влияние на содержание и распределение селена в почвах проводилось на склоне оврага р. Бабарынка в окрестностях ул. Прибрежная г. Тюмени [7, 8, 9].

По данным А.Н. Гуссейнова, в основе геологического строения территории г. Тюмени и его окрестностей лежат аллювиальные, озерно-аллювиальные, аллювиально-делювиальные, субаэральные и озерно-болотные четвертичные отложения. По данным В.Д. Старкова, вторая надпойменная терраса р. Тура представлена аллювиальными отложениями среднего плейстоцена (alQ<sub>11</sub><sup>3</sup>). В границах плотной городской застройки территории наблюдаются преимущественно современные техногенные отложения. Гидрографическая сеть г. Тюмени представлена р. Тура и ее малыми притоками (Конюшенка, Тюменка, Бабарынка, Ключи



(Войновка, Казаровка), а также водоемами различного генезиса. Зонально район исследования согласно схеме почвенно-географического районирования юга Тюменской области, относится к лесостепной зоне, северо-лесостепной подзоне серых лесных почв и черноземов и располагается в Тура-Пышминском почвенном районе выщелоченных черноземов, серых лесных почв и борových песков. Почвы изучаемых территорий представлены выщелоченным черноземом и лугово-черноземными типами почв [7, 8, 9, 10, 11].

Изучение геолого-геоморфологических факторов, которые оказывают влияние на распределение селена в компонентах окружающей среды проходило в два этапа.

На первом этапе изучение содержания и распределения селена в аллювиальных отложениях второй надпойменной террасы р. Тура проводилось по методу ступенчатой зачистки склона отработанного карьера. Глубина ступеней составляла 1,5 м при ширине 1,7 м. Общая глубина разреза 10 м, описано 15 горизонтов. Изучалась: мощность, плотность, структура, механический состав, окрас (по Munsell Soil Color Book), реакция с соляной кислотой, биогенные и минеральные включения, форма границы и степень выраженности исследуемых горизонтов. Для изучения содержания и распределения селена в рассматриваемом горизонте было отобрано 13 проб. Пробы почв, аллювиальных, пойменных и озерно-аллювиальных отложений отбирались в изучаемом горизонте объединенным методом, общей массой 500 грамм. Интервал отбора составлял: 0–180 см, 260–390 см, 390–480 см, 480–560 см, 560–570 см, 570–630 см, 630–670 см, 670–688 см, 688–740 см, 740–776 см, 776–826 см, 826–930 см и 930–1040 см.

На втором этапе работ изучены современные геоморфологические особенности оврага р. Бабарынка. Выделены участки с преобладанием эрозионных процессов. На разных участках склона (от бровки до дна) оврага р. Бабарынка ориентировочной длиной 60 м были сделаны 4 почвенных разреза (1. N57°10'30,67" и E65°28'18,77"; 2. N57°10'31,7139" и E65°28'19,1524"; 3. N57°10'32,1072" и E65°28'20,0504"; 4. N57°10'32,4376" и E65°28'20,8229").

Отбор проб почвы для изучения вертикальной и латеральной миграции селена проводился послойно интервалом в 10 см. Общая масса отобранных проб почв составляла 500 грамм. Лабораторные исследования отобранных проб проводились в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Тюменской области на атомно-абсорбционном спектрофотометре ЭТА Agilent AA – 240 z с применением методики (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11 – 98). Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием компьютерного пакета программ STATISTICA, EXCEL.

**Обсуждение результатов.** Информация о содержании и распределении селена в осадочных отложениях крайне разрозненная и недостаточная. По данным отечественных ученых (А.И. Перельман, 1999; В.Н. Лебедев, 1973), селен в осадочных отложениях может находиться в широком диапазоне от 0,03 до 0,6 мг/кг и более. В аллювиальных, пролювиальных, озерно-аллювиальных, вулканических, болотных отложениях, как правило, наблюдается большее содержание селена, чем в коллювиальных, деллювиальных, дерупсионных, десерпционных, деляпсионных, эоловых и гляциальных [1, 2, 4, 6].

Участок работ представлен комплексом аллювиальных отложений. Для территории исследования характерно периодическое изменение условий формирования отложений в прошлом, которые связаны с изменениями меандры русла (формирование руслового аллювия, образование фаций прируслового вала и отмели, образование болотных отложений).

Содержание селена в отобранных пробах варьировалось в интервале от 0,002 (на глубине 570–630 см) до 0,053 мг/кг (на глубине 670–680). Содержание селена и описание изучаемого разреза представлено в таблице 1. Полученные результаты лабораторного исследования отобранных проб отложений сравнивались с ПДК почв, предложенной А. Клоке (1980), составляющей 10 мг/кг, и кларком селена в Земной коре, предложенным А.П. Виноградовым (1957) – 0,01 мг/кг [6, 12].

Таким образом, полученные результаты не превышают ПДК по А. Клоке и находятся в диапазоне кларка, предложенного А.П. Виноградовым. Низкое содержание изучаемого микроэлемента в типичных рыхлых осадочных отложениях юга Тюменской области объясняет низкое содержание данного микроэлемента в основных типах почв юга области, которое находится в интервале от 0,006–0,09 мг/кг [6, 12, 14].

Таблица 1. Содержание селена в разрезе второй надпойменной террасы р. Тура

Глубина, см	Содержание Se, мг/кг	Генетический тип по Е.В. Шанцеру, 1996 [15]	Описание:
0–180	0,023	(pd)	Почва. Выщелоченный чернозем.
180–260	0,036	-	Горизонт D. Подстилающая горная порода.
260–390	0,035	L	Лессовидный суглинок со следами ожелезнения. Новообразования Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в виде слоев мощностью до 15 см, конкреций, пятен и прожилок карбонатов мощность до 3 см.
390–480	0,015	L	Согласно залегающий горизонт аллювиальных отложений (Русловой аллювий).
470–480	0*	Pl	Торф низинный, вмещает мелкие суглинистые прослой. Степень разложения – 5; корни – 1; древесные остатки – 0; волокнистость – 3.
480–560	0,031	L	Слоистый аллювиальный горизонт, часто чередуется с суглинка на песок. Песчаные слои имеют ожелезнение. Обнаружено крупное включение образца серпентинита около 10 см.
560–570	0,033		Стрежневой аллювий с мутьдообразной слоистостью.
570–630	0,002	Pl	Уплотненные, пластичные хорошо выраженные блоки, разделенные песчаной линзой.
630–670	0,002		Крупный, пластичный, монотонный блок бурого окраса суглинистого механического состава.
670–688	0,053	L	Аллювиальные отложение с чередующимся прослоями суглинков и песка. Чередование фаций прирусловой отмели и прируслового вала.
688–740	0,043		
740–776	0,034		
776–826	0,022		
826–930	0,021		
930–1040	0,031		

Примечание. 0\* – результат исследования ниже диапазона измерения атомно-абсорбционного спектрофотометра ЭТА Agilent AA–240 z.

Причина низкого содержания изучаемого микроэлемента объясняется отсутствием минералов селена в составе изучаемых осадочных отложений. По результатам минералогического исследования, проведенного В.Д. Старковым [11], в составе изучаемых отложений присутствуют кварц, биотит, полевой шпат, ильменит, магнетит, плагиоклаз, окислы железа, детрит, в состав которых селен входит в качестве химической примеси.

Уровень pH варьировался от 7,5 до 8,4 (на глубинах 740–776 см и 480–560 см) и содержание органического вещества (Сорг) от 1 до 15% (на глубинах 688–740 см и 470–480 см) соответственно. По результатам исследования был изучен характер взаимодействия селена с уровнем pH и органическим веществом в отобранных пробах отложений.

По результатам регрессионного анализа была выявлена отрицательная корреляционная связь с уровнем pH ( $r=-0,5$ ) и слабая связь с содержанием органического вещества ( $r=0,1$ ). Как правило, в кислых условиях среды с преобладанием органического вещества в почвенном растворе присутствуют селениды и сульфиды селена, в связи с чем содержание селена в таких условиях находится на достаточно высоком уровне в отличие от нейтральной и

слабощелочной среды с низким содержанием органического вещества, где преобладают селениты и селенаты, которые обладают высокой растворимостью. На слабую связь с органическим веществом, а также отрицательную связь с уровнем рН в изучаемом разрезе оказывает влияние наличие карбонатов, окислов железа, а также большое количество органических остатков.

Аккумуляция селена в изучаемом разрезе обнаружена на глубинах 180–260 см; 260–390 см; 470–560 см; 560–570 см; 670–688 см. Максимальное содержание обнаружено на глубине 670–688 см и составляет 0,053 мг/кг. Рассеивание и аккумуляция селена связана с изменениями механического и гранулометрического состава изучаемых горизонтов, а также условий их формирования. Пики аккумуляции изучаемого микроэлемента наблюдаются в песчаных аллювиальных отложениях, которые перекрыты нижележащими суглинистыми биогенными отложениями (на данном этапе произошла смена палеогеографических условий и произошло формирование болотных отложений), которые являются барьерами. Так, в песчаных речных аллювиальных отложениях, которые расположены над плотными болотными отложениями, содержание селена находится в интервале от 0,035 до 0,053 мг/кг. В болотных отложениях содержание селена находится в интервале 0,002 до 0,026 мг/кг соответственно.

Таким образом, условия формирования четвертичных отложений, их минералогический и гранулометрический состав оказывают влияние на содержание и распределение селена на территории исследования. Исходное низкое содержание изучаемого элемента в типичных осадочных отложениях территории юга Тюменской области объясняет его низкое содержание в поверхностной и подземной воде, почвах и растениях.

Современные геоморфологические процессы, протекающие в ландшафте, наряду с геологическим строением территории, способны оказывать существенное влияние на распределение макро- и микроэлементов. На сегодняшний день работы, посвященные данной проблеме, являются актуальными направлениями в био- и геохимических исследованиях миграции макро- и микроэлементов. Материалов по изучению влияния современных экзогенных процессов на распределение селена в ландшафте крайне мало, зачастую информация крайне разрозненная, поэтому нельзя сделать однозначных выводов. На рисунке 1 представлены результаты исследования содержания и распределения селена в почвенных профилях, расположенных на разных участках склона р. Бабарынка.

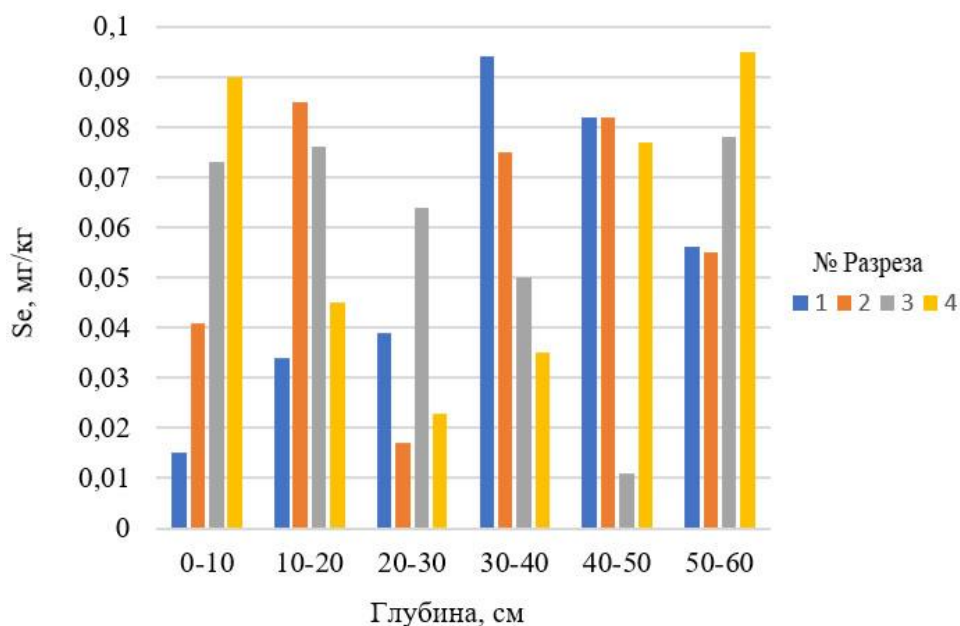


Рисунок 1. Вертикальное распределение селена в почвенных разрезах склона оврага р. Бабарынка.

По результатам исследования (рис. 1) можно сделать вывод о том, что содержание и распределение селена по почвенному профилю лугово-черноземных типов почв неоднородно и меняется в зависимости от глубины, а также расположения самого разреза на склоне оврага. Полученные результаты находятся в интервале от 0,011 до 0,095 мг/кг.

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что современные экзогенные процессы (плоскостной смыв, обусловленный деятельностью талых и дождевых вод в отсутствие древесных видов растений) оказывают влияние на содержание и распределение селена на определенных глубинах изучаемого типа почв.

На рисунке 1 наблюдается тенденция к увеличению содержания селена на глубине 0-10 см во всех почвенных разрезах, расположенных на разных участках склона оврага р. Бабарынка. Содержание селена на рассматриваемой глубине увеличивается с 0,015 мг/кг у бровки склона (разрез 1, рисунок 1) до 0,090 мг/кг у его подножья (разрез 4, рисунок 1). Увеличение содержания селена объясняется усиленным действием эрозионных процессов, в результате которых наблюдается активное разрушение и перенос верхней части горизонта почвенного профиля по естественному уклону местности и его аккумуляции у подножья оврага.

В пробах почв разрезов 1 и 2, расположенных на бровке и тыловом шве склона, тенденция к увеличению содержания селена на глубинах 10-20 см прослеживается аналогично глубинам 0-10 см и находится в интервале от 0,034 до 0,085 мг/кг. В разрезах 3 и 4 наблюдается уменьшение содержания данного микроэлемента с 0,076 до 0,045 мг/кг. В последующем четкой тенденции увеличения содержания селена с глубиной и расположением на участке склона оврага р. Бабарынка обнаружено не было.

Таким образом, влияние современных экзогенных процессов, оказывающих влияние на миграцию и распределение селена в логу р. Бабарынка, имеет ряд особенностей, которые выражаются в крутизне склона, интенсивности протекания геоморфологических процессов, предположительно типа почв, влияния макро- и микроэлементов, наличие и густоте растительности на участке исследования.

**Заключение.** По результатам исследования было установлено, что на содержание и распределение селена в четвертичных осадочных отложениях оказывает влияние множество факторов, среди которых можно выделить минералогический и гранулометрический состав отложений, а также условия их формирования в прошлом. Перечисленные выше факторы способствуют рассеиванию и аккумуляции изучаемого микроэлемента в рассматриваемых горизонтах.

Современные геоморфологические процессы, наряду с геологическим строением территории и палеогеографическими условиями формирования отложений, оказывают влияние на миграцию и аккумуляцию селена в ландшафте. На миграцию селена на разных участках ландшафта будет оказывать влияние интенсивность протекающих в нем геоморфологических процессов, от интенсивности и типа которых будут зависеть зоны аккумуляции и рассеивания изучаемого микроэлемента.

Таким образом, изучение геолого-геоморфологических и палеогеографических условий является важной и неотъемлемой составляющей при оценке селенового статуса территории, которые должны быть учтены наряду с остальными параметрами.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № №20-55-44028.

#### Литература

1. Барабанщикова Л.Н. Содержание и распределение селена в агроландшафтах северного зауралья // Барабанщикова Л.Н. // Диссертация канд... б.н. / Тюмень, 2013 С. 9–29.
2. Бусыгин А.С. Эффективность применения селеновых удобрений под яровую пшеницу на почвах Северо- Восточного Нечерноземья // Дисс...к.б.н. / Москва, 2020
3. Майманова Т. М. Селен в основных компонентах ландшафтов Горного Алтая: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т. М. Майманова. Новосибирск. 2003. 22 с.
4. Шеуджен А.Х., Лебедевский И.А., Бондарева Т.Н. Биогеохимия и агрохимия селена // Научный журнал КубГАУ. № 92. 2013
5. Назаренко И.И., А.Н. Ермаков. Аналитическая химия Селена и Теллура. М., 1971. С.7–18
6. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта // Учебник. М., 1999
7. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области. Екатеринбург, Средне-Уральское книжное издательство, 1996. 240 с.
8. Иваненко А.С. Окрестности Тюмень: учебник / Среднеуральское книжное издательство Свердловск, 1988. 207 с.



9. Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. Изд-во Московского университета, 1973. 245 с.
10. Гусейнов А.Н. Экология города Тюмени: состояние, проблемы. Тюмень: Издательство «Слово», 2001. 176 с.
11. Старков В.Д., Тюлькова Л.А. Геология, рельеф, полезные ископаемые Тюменской области. Изд-во Тюмень: Тюменский дом печати, 2010. 349 с.
12. Klok A. Richtwerte 80. Orientierungsdaten für tolerierbare einiger Elemente in Kulturboden / A. Klok // Mitteilungen des VDLUFA. 1980. Bd. 2. H. 1-3. S. 9.
13. Лебедев, В.Н. Содержание селена в почвах БССР / В.Н. Лебедев // Автореф. дис. ...канд.с.-х. наук. Жодино: Бел. НИИ земледелия, 1973. 20 с.
14. Синдирева А.В., С.Г. Котченко, Гурьев Н.Е. Геохимическая оценка содержания селена в основных типах почв Тюменской области // Проблемы региональной экологии. 2021. С. 32–38.
15. Астахов В.И. Четвертичная геология суши: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2020. 440 с.

#### INFLUENCE OF GEOLOGIC AND GEOMORPHOLOGIC FACTORS ON SELENIUM DISTRIBUTION IN ENVIRONMENTAL COMPONENTS

A.V. Sindireva<sup>1</sup>, N.F. Chistyakova<sup>1</sup>, N.E. Guriev<sup>1</sup>, N.S. Tkachenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, Tyumen State University, Tyumen, sindireva72@mail.ru, n.f.chistyakova@utmn.ru, nikitka.gurev.1996@mail.ru, stud0000102421@study.utmn.ru

*Summary.* The paper summarizes the results of selenium content in alluvial sediments of the 2nd supra-flood terrace of the Tura River in the vicinity of the Meteleva microdistrict, its vertical and lateral migration along the gully slope of the Babarynka River in Tyumen.

*Keywords.* Selenium, alluvial sediments, topography, pH, organic matter.

УДК 631.95

#### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ И ЦИНКА В ПОЧВАХ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Синдирева<sup>1</sup>, С.Г. Котченко<sup>2</sup>, О.И. Елизаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», Тюмень, a.v.sindireva@utmn.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение Государственная станция агрохимической службы «Тюменская», Тюмень, agrohim\_72\_1@mail.ru

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», Тюмень, elizarovloleg@yandex.ru

*Аннотация.* В статье представлены данные о содержании меди и цинка в пахотном горизонте основных типов почв Тюменской области, используемых в сельскохозяйственном производстве, и определены взаимосвязи распределения данных элементов с основными физико-химическими показателями почв (содержанием гумуса, pH, микроэлементами). Для анализа геохимических особенностей распределения микроэлементов в почвенном покрове использовали полевые, лабораторные и статистические методы исследования. При обобщении и анализе материала использовались собственные исследования и материалы отчетов ФГБУ ГСАС «Тюменская» по обследованию пахотных почв Тюменской области. Во всех изученных типах почв юга Тюменской области превышения допустимых концентраций меди и цинка не отмечается. Содержание подвижных форм меди в зависимости от типа и подтипа почв изменяется в диапазоне от 0,15 до 0,25 мг/кг, цинка от 0,61 до 1,39 мг/кг. Установлена тесная корреляционная связь между подвижными формами меди и свинцом, марганцем, цинком, железом, кадмием, а также кислотностью среды. Для подвижных форм цинка отмечается корреляционная связь с содержанием кадмия в почвах. Не установлена зависимость между подвижными формами цинка и железа, что не подтверждается литературными данными.

**Ключевые слова:** медь, цинк, почвы, микроэлементы, Тюменская область.

**Актуальность.** К микроэлементам, играющим важную роль в объектах окружающей среды, относят медь и цинк. С одной стороны, избыточное их накопление в пищевых цепях в связи с техногенным поступлением, вызывает негативные последствия для живых организмов. С другой стороны, отмечается недостаток в системе почва-растение в почвах юга Тюменской области [1]. Медь представляет собой один из наиболее подвижных тяжелых металлов в гипергенных процессах. Тем не менее, её катионы обладают разнообразными свойствами и в почвах и осадках характеризуются склонностью к химическому взаимодействию с минеральными и органическими компонентами. Ионы меди способны также без усилий осажаться такими анионами, как сульфид, карбонат и гидроксид. Таким образом, медь является относительно малоподвижным элементом в почвах, и ее суммарные содержания обнаруживают довольно слабые вариации в профилях почв [2]. Малая подвижность меди обуславливает проявления ее недостатка для сельскохозяйственных растений. Медь имеет большое значение для растений. Это объясняется тем, что она входит в состав многих ферментов, при недостатке которых нарушаются такие физиологические процессы как фотосинтез, дыхание, перераспределение углеводов и белков [2].

Цинк также играет важную биологическую роль в почвенных процессах, а также росте и развитии растительности. Данный микроэлемент накапливается в семенах растений, где концентрируется в зародыше. Недостаток цинка в растениях ведет к ухудшению процессов плодоношения и снижению репродуктивной функции. Поскольку Zn входит в состав разных ферментов, участвующих в метаболизме углеводов, белков и фосфатов, то дефицит данного микроэлемента приводит нарушению углеводного, фосфорного и белкового обмена. Избыток цинка связан, как правило, с антропогенными факторами, такими, как применение цинксодержащих удобрений и влияние промышленных предприятий.

Цель данной статьи – установить факторы, влияющие на содержание меди и цинка в почвах юга Тюменской области.

**Объекты и методы исследования.** Карта-схема участков отбора проб почвенных образцов в районах юга Тюменской области представлена на рисунке 1.

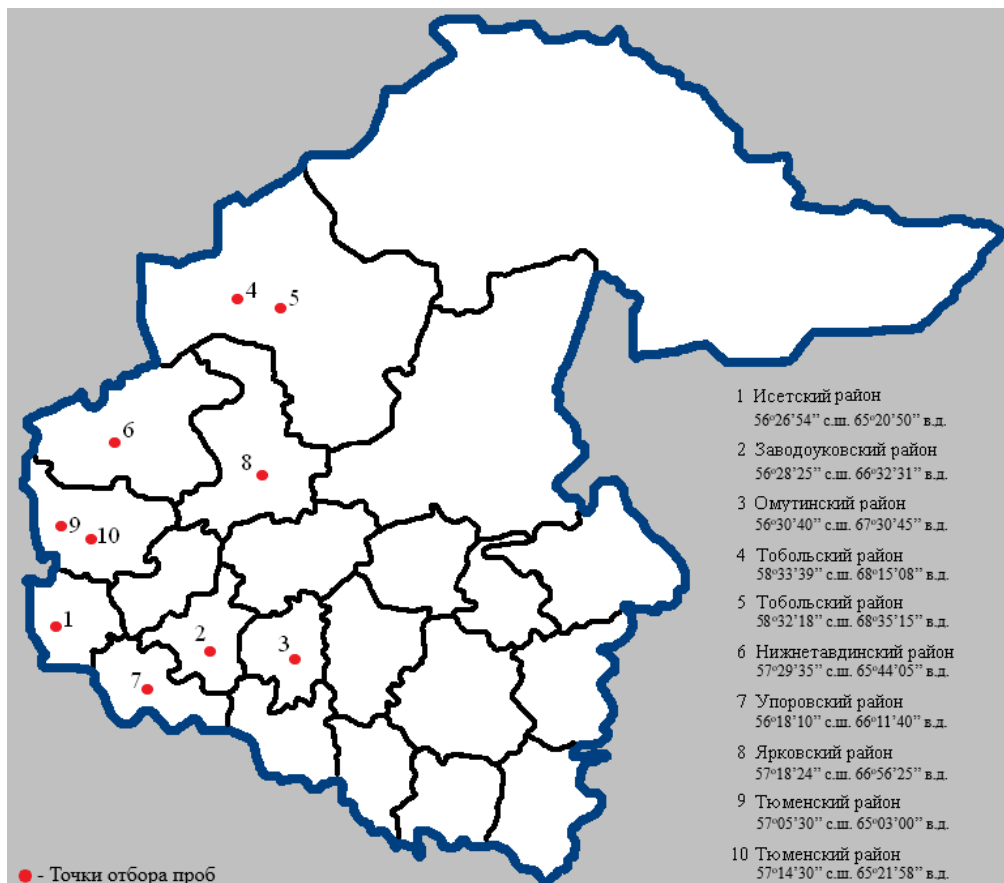


Рисунок 1. Карта-схема точек отбора проб почвенных образцов в районах юга Тюменской области [составлено авторами].

Объектом исследования являлся пахотный горизонт почв, характерных для юга Тюменской области (табл. 1). Основные исследуемые типы и подтипы почв: глинистые аллювиально-луговые (Исетский район), среднесуглинистые черноземы выщелоченные (Заводоуковский район), среднесуглинистые серые лесные и темно-серые лесные (Омутинский, Упоровский, Тюменский районы), среднесуглинистые лугово-глееватые (Тобольский район), среднесуглинистые серые лесные (Нижнетавдинский район), среднесуглинистые серые лесные и светло-серые лесные (Ярковский район), среднесуглинистые пойменно-аллювиальные типичные (Тюменский район), среднесуглинистые пойменно-дерновые (Тобольский район) почвы. Выбор места для отбора почвенных образцов производился с учетом рельефа местности, экспозиции, растительного покрова. Всего обследовано 10 реперных участков,  $n=75$ .

Образцы почв отбирали методом конверта в пределах микро- и мезорельефа. В зависимости от величины элементарного участка из отобранных равномерно почвенных проб со всей площади составлялась усредненная проба. Отбор почвенных образцов и пробоподготовка их для химического анализа осуществлялся в соответствии с требованиями агрохимических методов. Для анализа геохимических особенностей распределения меди и выявления факторов, влияющих на аккумуляцию элемента, использовали материалы отчетов ФГБУ ГСАС «Тюменская». При этом оценивали данные о содержании гумуса, кислотности, содержание микроэлементов в пахотном горизонте (0–20 см) в почвах реперных участков.

**Обсуждение результатов.** В рамках исследования проведена оценка взаимосвязи содержания в почве меди, цинка (подвижных форм и валового количества) с физико-химическими параметрами почвы (гумусом и pH), а также подвижными формами ряда макроэлементов.

В работе использовали методы дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализов [3, 4]. Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием компьютерного пакета программ EXCEL.

На содержание меди, в т.ч. и в условиях юга Тюменской области, влияют те же факторы, что и на другие химические элементы. Почвы в основном наследуют уровень содержания меди от почвообразующих пород. В то же время на аккумуляцию микроэлементов и на их подвижность влияет сочетание агрохимических показателей для определенного типа почв [5]. В работе рассмотрены подвижные формы элементов в почве, поскольку данные формы являются доступными для усвоения растениями и активно мигрируют в пищевой цепи (табл. 1).

Таблица 1. Содержание подвижных форм химических элементов в почвах юга Тюменской области (по данным ФГБУ ГСАС «Тюменская»)

Элемент	Среднее значение, мг/кг	Лимит, мг/кг
Cu	0,20	0,15–0,25
Zn	1,00	0,61–1,39
Co	0,16	0,12–0,19
Mn	26,82	9,52–44,12
Fe	113,50	2,00–225,00
Cd	0,06	0,02–0,04
Pb	1,58	0,68–2,47
Ni	1,67	0,52–1,15

Согласно данным таблицы 1, содержание подвижных форм ряда микроэлементов не превышает установленных ПДК. Содержание подвижных форм меди и цинка составляет в среднем соответственно  $0,2 \pm 0,03$  и  $1,0 \pm 0,2$  мг/кг, что можно охарактеризовать как невысокое.

Для анализа факторов, влияющих на распределение меди и цинка, более подробно рассмотрены корреляционные связи между элементами в серых лесных почвах, являющихся характерными для природных зон подтайги и лесостепи (табл. 2).

Таблица 2. Взаимосвязь содержания подвижных форм меди в серых лесных почвах юга Тюменской области с химическими показателями

Уравнение регрессии	Взаимоотношение
$Cu = -0,23Zn^2 + 0,42Zn + 0,039, \eta = 0,62$	Синергизм-Антагонизм
$Cu = 0,0017Mn + 0,18, r = 0,72$	Синергизм
$Cu = -0,0004Fe + 0,23, r = 0,8$	Антагонизм
$Cu = 1,61Cd + 0,17, r = 0,79$	Синергизм
$Cu = -0,029Pb^2 + 0,09Pb + 0,16, \eta = 0,56$	Синергизм-Антагонизм
$Cu = 0,02pH + 0,08, r = 0,99$	Синергизм
$Cu = -0,007C_{орг}^2 + 0,07C_{орг} + 0,03, \eta = 0,48$	Синергизм-Антагонизм

Согласно полученным уравнениям регрессии, для серых лесных почв характерны более высокие корреляционные связи со многими показателями. В частности, отмечаются связи с свинцом, марганцем, цинком, железом, кадмием. Коэффициент корреляции содержания меди и органического вещества в серых лесных почвах ниже по сравнению с остальными типами почв юга Тюменской области ( $\eta=0,48$ ). Также регрессионный анализ серых лесных почв подтверждает литературные данные о влиянии кислотности на подвижность ионов меди. Корреляционная связь здесь наиболее высокая ( $r = 0,99$ ). Таким образом, высокая степень связи в серых лесных почвах юга Тюменской области отмечена между подвижными формами меди и марганцем, железом, кадмием и кислотностью среды. Проявление синергизма-антагонизма (усиление взаимного влияния элементов при параллельном воздействии других факторов) отмечается для меди с цинком, свинцом и содержанием органического вещества.

Таблица 3. Взаимосвязь содержания подвижных форм цинка в серых лесных почвах юга Тюменской области с химическими показателями

Уравнение регрессии	Взаимоотношение
$Zn = -0,0019Mn^2 + 0,0866Mn - 0,1032, \eta = 0,55$	Синергизм-Антагонизм
$Zn = -12878Cd^2 + 639,19Cd - 6,8289, \eta = 0,77$	Антагонизм
$Zn = 0,0009Fe + 0,753, r = 0,075$	Взаимосвязь не установлена
$Zn = -0,2029Pb + 1,0511, r = 0,49$	Синергизм-Антагонизм
$Zn = -0,0859pH^2 + 0,9465pH - 1,8128, \eta = 0,06$	Взаимосвязь не установлена
$Zn = -0,1268C_{орг} + 1,3468, \eta = 0,48$	Синергизм-Антагонизм

Для цинка отмечается высокая степень взаимосвязи с кадмием, которая характеризуется антагонизмом (табл. 3). Как отмечают авторы [6], данные микроэлементы проявляют как признаки антагонизма, так и синергизма в процессах поглощения и переноса. Zn и Cd могут конкурировать за позиции в соединениях, что ведет к повышению растворимости Cd и переносу его из корней в надземную часть растений. С увеличением концентрации таких элементов, как марганец, свинец, а также органического вещества, содержание подвижного цинка также увеличивается, но при достижении определенного уровня, снижается. С железом и кислотностью среды взаимосвязь содержания цинка не установлена. Однако, согласно литературным данным [6], избыток цинка ведет к заметному понижению содержания железа в растениях.

#### Выводы.

- В результате исследования проанализировано содержание меди и цинка в пахотном горизонте основных типов почв Тюменской области. Определены взаимосвязи их распределения с основными микроэлементами.



- Содержание подвижных форм меди в зависимости от типа и подтипа почв изменяется в диапазоне от 0,15 до 0,25 мг/кг.
- Содержание подвижных форм цинка в зависимости от типа и подтипа почв изменяется в диапазоне от 0,61 до 1,39 мг/кг.
- Для микроэлемента меди отмечается корреляция со свинцом, марганцем, цинком, железом, кадмием. А для цинка наиболее достоверная степень связи отмечена только с кадмием.
- Отмеченные взаимосвязи между химическими элементами не всегда подтверждаются литературными данными, что может быть связано со спецификой местных геохимических условий почвенно-растительной среды, особенностями накопления и миграции элементов.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Тюменской области в рамках научного проекта № 20-45-720011.

#### Литература

1. Гаевая Е.В., Захарова Е.В., Скипин Л.Н. Биогеохимия элементов в системе почва-растение-животное в условиях юга Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2013. №11. С. 149-153.
2. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. 1991.
5. Гаевая Е.В., Захарова Е.В., Котченко С.Г., Ознобихина А.О., Скипин Л.Н. Особенности накопления тяжелых металлов в почвах северной лесостепи районов Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2018. №5. С. 252-257.
6. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. М.: Мир. 1989. 439 с.

#### FACTORS AFFECTING THE CONTENT OF COPPER AND ZINC IN SOILS OF THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION

A.V. Sindireva<sup>1</sup>, S.G. Kotchenko<sup>2</sup>, O.I. Elizarov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University", Tyumen, a.v.sindireva@utmn.ru

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institution State Station of the Agrochemical Service "Tyumenskaya", Tyumen, agrohim\_72\_1@mail.ru

<sup>3</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University", Tyumen, elizarovloleg@yandex.ru

*Summary. the article presents data on the content of copper and zinc in the plow horizon of the main types of soils in the Tyumen region used in agricultural production, and determines the relationship between the distribution of these elements with the main physical and chemical indicators of soils (humus, pH, macroelements). To analyze the geochemical features of the distribution of trace elements in the soil cover, field, laboratory, and statistical research methods were used. When summarizing and analyzing the material, we used our own research and materials from the reports of the FGBU GSAS "Tyumenskaya" on the survey of arable soils in the Tyumen region. In all studied types of soils in the south of the Tyumen region, excess of the permissible concentrations of copper and zinc is not observed. The content of mobile forms of copper, depending on the type and subtype of soils, varies in the range from 0.15 to 0.25 mg/kg, zinc from 0.61 to 1.39 mg/kg. A close correlation has been established between the mobile forms of copper and lead, manganese, zinc, iron, cadmium, as well as the acidity of the medium. For mobile forms of zinc, there is a correlation with the content of cadmium in soils. The relationship between the mobile forms of zinc and iron has not been established, which is not confirmed by the literature data.*

*Keywords: copper, zinc, soils, Tyumen region.*

УДК 631.416.8

## К ВОПРОСУ О БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТАХ

Т.И. Сиromля

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [siromlya@issa-siberia.ru](mailto:siromlya@issa-siberia.ru)

*Аннотация.* *Общепринятой методики расчета биогеохимических коэффициентов в настоящее время не разработано. Применение разных экстрагентов при анализе приводит к резким различиям в результатах и делает их несопоставимыми. Чем более «агрессивный» экстрагент используется, тем ниже расчетные значения коэффициентов.*

*Ключевые слова:* *биогеохимические коэффициенты, подвижные формы соединений, химические элементы.*

**Актуальность.** Для оценки интенсивности поглощения химических элементов (ХЭ) из почвы в основном используют различные биогеохимические коэффициенты. В литературе встречаются самые разнообразные термины – коэффициент биогеохимической подвижности ( $B_x$ ), коэффициент биологического накопления (КБН), коэффициент биологического поглощения (КБП или  $A_x$ ), коэффициент биоаккумуляции (bioaccumulation factor), коэффициент концентрации (concentration factor, CF), коэффициент обогащения (enrichment factor), коэффициент переноса (transfer factor) и др. [1].

В общем виде коэффициент рассчитывается как отношение концентрации ХЭ в надземной части растений к его концентрации в почве, но авторы используют содержание элементов как в золе, так и в сухом веществе, а также в сырой биомассе, и не только их общее количество в почве, но и различные подвижные формы их соединений, что значительно затрудняет сравнительный анализ литературных данных. В литературе уже давно отмечалось [2], что использование валового содержания ХЭ в почве или подвижных форм соединений ХЭ, извлекаемых различными экстрагентами, может приводить к совершенно разным результатам, но до настоящего времени общепринятой методики расчета данного показателя так и не разработано.

Цель данного исследования – показать, как изменяется коэффициент биогеохимической подвижности  $B_x$  в одинаковых условиях при использовании различных экстрагентов.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов исследования были использованы пробы, отобранные в системе почва-растение на опытных площадках, расположенных на антропогенно преобразованных почвах на территории Новосибирской агломерации в 2014–2022 гг. Образцы почв отбирали из слоя 0–20 см (основной зоны минерального питания растений) в соответствии с общепринятыми требованиями, надземную часть растений – в период цветения в соответствии с требованиями Государственной Фармакопеи. Для примера в работе представлены данные исследования тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) – ценного ресурсного вида, широко распространенного как в естественной, так и в рудеральной флоре, элементный химический состав которого достаточно хорошо изучен [3]. Валовое содержание ХЭ в почвах и золе растений (озоление при 500 °С) проводили атомно-эмиссионным методом с использованием соответствующих стандартных образцов, затем пересчитывали на воздушно-сухое вещество. Для извлечения подвижных форм соединений ХЭ из почв были использованы экстрагенты из методики Т.М. Минкиной [4]: 1 н  $\text{NH}_4\text{Ac}$  (рН 4,8), 1 %-ный раствор ЭДТА в  $\text{NH}_4\text{Ac}$ , 1 н  $\text{HCl}$ . Извлекаемые ХЭ характеризуют содержание обменных (вытяжка 1 н  $\text{NH}_4\text{Ac}$ ), комплексных (разность между количествами ХЭ, экстрагируемых 1 %-ным раствором ЭДТА в  $\text{NH}_4\text{Ac}$  и 1 н  $\text{NH}_4\text{Ac}$ ) и специфически сорбированных соединений (разность между количествами ХЭ, экстрагируемых вытяжками 1 н  $\text{HCl}$  и 1 н  $\text{NH}_4\text{Ac}$ ). Сумма трех данных фракций определяет общее количество непрочно связанных соединений в почве. Анализ экстрактов проводился атомно-абсорбционным методом.

**Обсуждение результатов.** Итак, например, в одной из точек содержание меди в растительной пробе составляет 8,7 мг/кг, содержание меди в обменной, комплексной и специфически сорбированной форме соединений – 0,6 мг/кг, 6,2 мг/кг и 9,0 мг/кг, т.о. в сумме 15,8 мг/кг непрочно связанных форм соединений. Рассчитывая коэффициент  $B_x$  для каждой из вышеназванных форм соединений, мы получим 13,7; 1,4; 1,0 и 0,6 соответственно. А при сравнении величин  $B_x$  между собой, в литературе зачастую приводится вывод о том, что более

высокое значение коэффициента указывает на большую интенсивность поглощения элемента. Получается, мы должны сделать вывод о том, что растения более интенсивно поглощают медь из обменной формы соединений. Но если еще раз обратить внимание на содержание форм соединений в почве, можно отметить, что концентрация обменной формы является минимальной по сравнению с остальными. Фактически мы наблюдаем, как при постоянном значении «делимого» увеличение «делителя» приводит к вполне логичному и ожидаемому уменьшению «частного». Т.е. для более «агрессивного» экстрагента, извлекающего из почвы большую концентрацию ХЭ, коэффициент  $V_x$  будет меньше.

В таблице 1 представлены обобщенные результаты для всех исследованных точек, минимальные и максимальные значения. Медь и цинк выбраны как пример элементов-биофилов, свинец и кадмий – токсикантов, хотя эти определения во многом условны.

Таблица 1. Содержание подвижных форм соединений ХЭ в почве (мг/кг) и коэффициенты биогеохимической подвижности  $V_x$

ХЭ	Фракция			
	обменная	комплексная	специфически сорбированная	непрочно связанная
Cu	0,2–0,8	2,7–8,4	2,2–12,4	5,2–20,2
Zn	1,6–22,0	1,5–18,2	3,1–33,5	6,6–72,3
Pb	1,3–13,5	0,9–18,3	3,1–25,0	5,4–58,5
Cd	0,03–0,15	0,01–0,06	0,01–0,10	0,05–0,25
Коэффициент биогеохимической подвижности $V_x$				
Cu	8,5–40,4	0,5–3,5	0,4–4,2	0,2–1,7
Zn	1,4–11,2	1,7–11,8	1,0–7,7	0,5–2,5
Pb	0,03–0,40	0,03–0,40	0,02–0,20	0,01–0,08
Cd	2,5–10,5	5,5–40,2	4,0–35,3	1,5–6,5

Можно отметить, что высокая вариабельность содержания подвижных форм соединений ХЭ сопровождается не менее высокой вариабельностью и коэффициента  $V_x$ . Ранее [1] мы отмечали статистическую значимость отличий коэффициента  $V_x$  у растений на загрязненных территориях, и, как и многие другие исследователи, рассматривали это как способность растений защищаться от избыточного количества ТМ в окружающей среде. Но учитывая вышеизложенное, можно предположить, что так проявляется результат увеличения «делителя», т.е. подвижных форм соединений элемента в почве.

В литературе [5] уже указывалось, что из-за высокого варьирования элементного химического состава почв и растений, расчет различных коэффициентов, основанных на содержании ХЭ, не может быть точным и позволяет сделать лишь общие выводы. Таким образом, стоит отметить, что и сопоставление коэффициентов, основанных на использовании разных экстрагентов, также не может быть точным и позволяет сделать какие-либо общие выводы лишь условно.

### Литература

1. Сиромля Т.И. Система форм соединений химических элементов в почвах и растениях юго-востока Западной Сибири: дисс. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2019. 294 с.
2. Reimann C., Koller F., Frengstad B. et al. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1 500 000-km<sup>2</sup> area in Northern Europe // *Science of the Total Environment*. 2001. V. 278. P. 87–112.
3. Сиромля, Т.И., Мяделец М.А. Содержание химических элементов в тысячелистнике обыкновенном (*Achillea millefolium* L.) [Электронный ресурс] // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22917> (дата обращения: 01.07.2023).
4. Минкина, Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на-Дону: «Эверест», 2009. 208 с.

5. Zeiner M., Cindric I.J., Pozgaj M. et al. Influence of soil composition on the major, minor and trace metal content of Velebit biomedical plants // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2015. V. 106. P. 153–158.

## ON THE QUESTION OF BIOGEOCHEMICAL COEFFICIENTS

T.I. Siromlya

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, siromlya@issa-siberia.ru

*Summary. A generally accepted method for calculating biogeochemical coefficients has not been developed at present. The use of different extractants in the analysis leads to sharp differences in the results and makes them incomparable. The more "aggressive" the extractant is used, the lower the calculated values of the coefficients.*

*Keywords: biogeochemical coefficients, mobile forms of compounds, chemical elements.*

УДК 574:539.1.04:613.1

## РАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

П.И. Собакин, А.П. Чевычелов, А.Н. Горохов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, radioecolog@yandex.ru

*Аннотация. В статье представлены результаты наземной пешеходной гамма- и гамма-спектрометрической съемок, проведенных в зонах воздействия отходов горного производства и аварийного подземного ядерного взрыва. Рассмотрены особенности пространственного распределения  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почвенном покрове в условиях техногенного загрязнения.*

*Ключевые слова: горное производство, подземный ядерный взрыв, радиометрия, съемка, радионуклиды, почва.*

В отличие от других химических элементов, изучение распределения главнейших естественных радиоактивных элементов – урана, тория и калия – в горных породах и почвах может проводиться как с помощью отбора проб с последующим определением концентрации изотопов в лабораторных условиях, так и с применением широкого комплекса методов полевой радиометрии, включающей различные модификации – гамма-съемка (измерение суммарной гамма-активности), бета-съемка, радоновая и тороновая эманационные съемки, гамма-спектрометрия (наземная и воздушная) и другие [1]. Наиболее быстрым и достаточно точным методом изучения радиоактивности горных пород и почв является полевая гамма-спектрометрия, позволяющая непосредственно в поле оценивать содержания основных радиоактивных элементов (урана, тория и калия). Применение радиометрического метода определения содержания радиоактивных элементов в горных породах и почвах позволяет в значительной степени сократить трудоемкие операции по опробованию и получать результаты непосредственно в поле, после проведения цикла измерений с переносной аппаратурой при естественном залегании пород и почв.

В настоящей работе представлены результаты радиометрических съемок, полученные в районах размещения отходов горного производства и проведения аварийного подземного ядерного взрыва.

**Объекты и методы исследования.** Один из участков радиометрической съемки находился в районе добычи монацита из аллювиальной россыпи Васильевка, расположенной в центральной части Алданского нагорья (Южная Якутия). Здесь площадная радиометрическая съемка местности была выполнена по прямоугольной сети в двух масштабах 250x100 и 20x18 м. При этом общая площадь съемки составила 3 км<sup>2</sup>. В пределы данной территории входили: полигон открытой отработки россыпи, отвалы вскрышных пород, законсервированные шахты с отвалами намывных пород и полуразрушенная обогатительная фабрика с отвалом обогащенных монацитом песков. Основу почвенного покрова данной территории составляли подбуры типичные, оподзоленные и сухоторфянистые, формирующиеся на элюво-делювии магматических и метаморфических пород (граниты, сланцы и гнейсы). На водораздельном



склоне, на буграх мерзлотного пучения развивались торфяники, а на заболоченных участках – торфянисто-болотные почвы. На законсервированном геологоразведочном участке уранового месторождения Эльконское плато, расположенном в северной части Алданского нагорья, съемкой было охвачено место складирования в отвалы пустых пород, кондиционные и забалансовые руды площадью примерно 0,10 км<sup>2</sup> (25x25 м). На данном участке на водоразделе развиваются подбуры, при переходе к пойме ручья они сменяются аллювиальными и лугово-болотными почвами. На участке золото-уранового месторождения Лунное, где в настоящее время ведется добыча золота методом кучного выщелачивания, съемкой было покрыто место расположения отработанных отвалов радиоактивных руд площадью около 0,25 км<sup>2</sup> (50x25 м). Здесь на водоразделе формируются подзолистые почвы и подбуры.

В районе проведения аварийного подземного ядерного взрыва (АПЯВ) под кодовым названием «Кратон-3» радиометрическая съемка была проведена на промплощадке (50x25 м) и радиоактивном следе (250x100 м) на водоразделе р. Марха (Вилуйское плато, Западная Якутия) площадью 3,7 км<sup>2</sup>. Почвенный покров на данной территории составляли остаточно-карбонатные почвы, формирующиеся на элюво-делювии осадочных пород (доломиты и известняки). Радиометрические измерения были выполнены с помощью радиометра СРП-68-01 и переносного гамма-спектрометра МКС-АТ-6102 по методике, принятой в геологии и радиоэкологии [2, 3]. Согласно методике выполнения измерений, данными приборами величину мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения (МЭД), концентрации естественных радионуклидов (<sup>40</sup>K, <sup>238</sup>U (по <sup>226</sup>Ra), <sup>232</sup>Th) и плотности загрязнения искусственного радионуклида <sup>137</sup>Cs измеряли на уровне поверхности земли. Разбивку сети наблюдений осуществляли с помощью спутникового навигационного устройства GPS. По результатам съемок на обследованных территориях были составлены карты  $\gamma$ -поля по МЭД, концентраций естественных радионуклидов (ЕРН) и плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs с помощью компьютерной программы Surfer 7.

**Результаты и обсуждение.** Радиогеохимические особенности изученной территории монацитовая россыпь Васильевка четко отражаются на картах  $\gamma$ -поля и содержаниях ЕРН. Площади распространения метаморфических пород (кристаллические сланцы, гнейсы) на картах концентраций <sup>238</sup>U и <sup>232</sup>Th отмечаются относительно невысокими их значениями и соответственно пониженными величинами МЭД (менее 10–20 мкР/ч) [4]. На карте  $\gamma$ -поля аномальные участки, разобщенные изолиниями 20–60 мкР/ч и приуроченные к руслу р. Васильевка и руч. Озерный, представляют слабо задернованную наиболее обнаженную часть монацитовая россыпи. На этих участках форма изолиний  $\gamma$ -поля хорошо совпадает с формой изолиний содержания <sup>232</sup>Th, что указывает на ториевую природу аномалий. В районе исследования гранитоиды были охвачены радиометрической съемкой только на юго-западной части площади обследования. Данные породы на карте гамма-поля выделяются изолиниями более 20–40 мкР/ч. При этом на картах в местах распространения гранитоидов конфигурация изолиний  $\gamma$ -поля очень сопоставима с таковой, характерной для концентрации <sup>232</sup>Th. Техногенная радиоактивная аномалия, обнаруженная в районе расположения обогатительной фабрики, по площади немного расширена из-за прямоугольной сети наблюдения. Это подтверждается детальной съемкой, проведенной на промплощадке фабрики. В структуре  $\gamma$ -поля исследованной площади локальные радиоактивные аномалии не находят отображения, а на карте нанесены в виде отдельных точек. На исследованной территории монацитовая россыпь Васильевка среднее содержание <sup>40</sup>K в почвах составляет 1,9, <sup>238</sup>U – 1,6, а <sup>232</sup>Th – 28,0 мг/кг. Как известно, в мерзлотных почвах Якутии нормальные природные концентрации <sup>40</sup>K в среднем составляют 1,8, <sup>238</sup>U – 1,7 и <sup>232</sup>Th – 7,0 мг/кг [5]. Из этих данных следует, что в почвах на обследованном участке россыпи среднее содержание калия и урана вполне сопоставимо с их фоновыми содержаниями в почвах Якутии. В то же время средняя концентрация тория в почвах в 4 раза превышает его средний нормальный фоновый уровень, что однозначно подтверждает ториевую почвенно-геохимическую специализацию исследуемой территории. Показано, что в условиях техногенного загрязнения в силу физических особенностей полевых гамма- и гамма-спектрометрических методов реальный контур поверхностного радиоактивного загрязнения вокруг отвала не может быть четко зафиксирован.

На участках месторождений Эльконское плато и Лунное с исходно сложными радиогеохимическими обстановками территорий на радиометрических картах источники

загрязнения (отвалы) достаточно хорошо выделяются по общей радиоактивности и содержанию ЕРН. При этом на месторождении Эльконское плато за пределами источника загрязнения (отвалы) в зоне водного рассеяния точность определения урана (по радию) в почве резко ухудшается из-за отсутствия радиоактивного равновесия между материнскими и дочерними продуктами распада.

В районе проведения АПЯВ в радиоактивном следе по направлению распространения радиоактивного облака на общем повышенном радиационном фоне выявляются три крупных по площади пятна загрязнения, отделяемые друг от друга изолиниями по величине МЭД выше 30 мкР/ч. Образование этих пятен связано, вероятно, с изменением интенсивности выпадений радиоактивных частиц из облака при его спуске за счет охлаждения в верхних слоях атмосферы и подъема вновь с теплыми воздушными массами вблизи поверхности земли по направлению движения. По данным полевых гамма-спектральных измерений в радиоактивном следе плотность загрязнения почвенного покрова  $^{137}\text{Cs}$  изменяется от 1,2 до 1610 кБк/м<sup>2</sup>. Общая площадь загрязнения, оконтуренная с помощью гамма-спектрометра по активности  $^{137}\text{Cs}$  выше 1,2 кБк/м<sup>2</sup>, составляет 3,5 км<sup>2</sup>. В пределах этой площади территория “мертвого” леса занимает 1,4 км<sup>2</sup>. На обследованной территории загрязнения участки с уровнем от 1,2 до 40 кБк/м<sup>2</sup> составляют 59,9 % (2,1 км<sup>2</sup>) от общей площади. На долю самого высокого уровня загрязнения от 640 до 1610 кБк/м<sup>2</sup> приходится всего 0,2% от общей площади, т.е. около 0,0061 км<sup>2</sup> (6100 м<sup>2</sup>). В целом, форма изолиний мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения на карте  $\gamma$ -поля близка к форме изолиний плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$ . При этом на максимальное значение мощности экспозиционной дозы (270 мкР/ч) приходится самый высокий уровень плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  (1610 кБк/м<sup>2</sup>).

**Заключение.** В целом радиометрические методы создают вполне адекватные представления о площадном распределении общей радиоактивности, содержании ЕРН и плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в почвенном покрове. Однако при аэротехногенном выпадении на почвенный покров ЕРН, данные методы в силу их физических особенностей не в полной мере могут отражать площадь загрязнения вокруг источников (радиоактивные отвалы).

#### Литература

1. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. Ленинград: Недра, 1989. 407 с.
2. Инструкция по работе со сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках. Отв. ред. А.Г. Ветров. Ленинград: Рудгеофизика, 1986. 44 с.
3. Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов и поверхностной активности цезия-137 с применением спектрометра МКС-АТ6101Д. Санкт-Петербург, 2007. 13 с.
4. Собакин П.И., Герасимов Я.Р., Перк А.А. Радиоэкологическая обстановка в районе монацитового россыпи в Южной Якутии // Геохимия. 2019. Т. 64. № 4. С. 440–448.
5. Собакин П.И., Перк А.А. Радиоактивные элементы в почвах Якутии // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2013. № 5. С. 77–86.
6. Собакин П.И. Миграция  $^{137}\text{Cs}$  в мерзлотных почвах Якутии // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50. № 5. С. 590–598.

#### RADIOMETRIC MAPPING OF SOIL COVER IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

P.I. Sobakin, A.P. Chevychelov, A.N. Gorokhov

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, radioecolog@yandex.ru

*Summary.* The article presents the results of ground-based pedestrian gamma- and gamma-spectrometric surveys conducted in areas affected by mining waste and an emergency underground nuclear explosion. The features of the spatial distribution of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the soil cover under conditions of technogenic pollution are considered.

*Keywords:* mining, underground nuclear explosion, radiometry, surveying, radionuclides, soil.

УДК 631.41:504.5

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПОЙМ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

М.В. Степанова<sup>1</sup>, А.И. Сысо<sup>1</sup>, Д.А. Соколов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, maria44421@gmail.com

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики филиал ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Норильск, sokolovdenis@mail.ru

**Аннотация.** Представлены результаты исследований почв периодически затопляемых ландшафтов Норильского промышленного района. Получены данные о валовом содержании и концентрации подвижных форм микроэлементов. Превышение ОДК и ПДК по содержанию валовых и подвижных форм фиксируется для элементов Cu, Ni и Co. Концентрация подвижных форм элементов Pb, Cd, Zn не превышает значения ПДК, в том числе и на загрязнённых участках. Выявлено превышение ОДК валового содержания Pb, Cd, Zn. Отмеченные особенности количества тяжелых металлов в почвах района являются следствием их высокого естественного геохимического уровня в почвообразующих породах. Исследования подтверждают необходимость разработки и принятия региональных нормативов по содержанию в почвах тяжелых металлов, загрязняющих окружающую среду Норильского промышленного района.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, поймы, аллювиальные почвы, техногенное загрязнение, подвижность химических элементов.

**Актуальность.** Один из наиболее актуальных и важных вопросов, связанных с нарушением устойчивого функционирования экосистем, является поступление тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду. Исследования в области геохимии и почвоведения показывают, что элементный состав почвы обладает системной организацией и региональными изменениями в зависимости от химического состава горных пород и растений [1–3]. В процессе функционирования почв происходит перераспределение и миграция содержащихся субстрате химических элементов, при этом особенности элементного состава почвообразующих пород наследуются почвами.

При изучении процессов перемещения и аккумуляции микроэлементов в экосистемах необходимо учитывать источники их поступления, которые классифицируются на природные и техногенные.

Особый интерес в промышленных районах вызывают техногенные источники, такие как атмосферные выбросы; промышленные сточные воды (гидрогенное загрязнение); осадки сточных вод; отвалы золы, шлака, руд, шламов и др.; органические и минеральные удобрения, средства защиты растений.

В результате деятельности предприятий нефте- и газодобычи, переработки руд в разных районах Арктики сформировались участки с разрушенными и/или загрязненными почвами [4, 5]. Наиболее заметно это проявляется для территории Норильского промышленного района (НПР). Исследования, проводимые в последние годы [6, 7], показывают, что приоритетными техногенными загрязнителями окружающей среды в Норильском промышленном районе являются элементы Cu, Ni и Co. Данный факт связан с загрязнением почв промышленными отходами, содержащих серную кислоту, кислотным выщелачиваем тяжелых металлов с образованием их подвижных форм, что негативно сказывается на почвенно-экологическом состоянии объектов окружающей среды в целом [8]. Особенно это актуально для пойменных почв, в которых происходят аккумуляция и перераспределение химических элементов, мигрирующих под действием водотоков.

В связи с этим целью исследования является экологическая оценка содержания тяжёлых металлов в периодически затопляемых ландшафтах Норильского промышленного района.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследований служили представленные в таблице 1 пойменные почвы участков, прилегающих к промышленным объектам г. Норильска – Н1 и Н2, почвы берегов рек, в которые впадают водотоки, берущие начало на промышленных площадках – Д3, Д4, А2-А4, почвы пойм выше впадения этих водотоков – Д1, Д2 и А1, а также почвы южного берега озера Пясины – А5 и А6.

Лабораторные исследования проб почв выполнялись в соответствии с общепринятыми в почвоведении методами, включенными в «Федеральный перечень методик...» [9]. Общее содержание химических элементов Pb, Cd, Zn, Co, Cu, Ni в почвах определяли по «Методике количественного атомно-эмиссионного определения массовых долей микроэлементов в почвах и почвообразующих (осадочных) породах» [10, 11]. Содержание в почвах подвижных форм перечисленных выше элементов, определялось атомно-абсорбционным методом в вытяжке ацетатно-аммонийного буферного раствора с рН 4,8 (ААБ рН 4,8) [12]. Концентрацию микроэлементов в почвах оценивали по гигиеническим нормативным значениям [13].

**Обсуждение результатов.** Результаты проведенных исследований (см. табл. 1) показывают, что оцениваемое с учетом содержания частиц менее 0,01 мм и рН<sub>KCl</sub> почв общее содержание в них меди выше значений ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) в 4,6–206,4 раз. Минимальное превышение ОДК фиксируется в аллювиальных почвах участка А1, принятого за фон. В почвах других участков превышение ОДК составляет более чем в 15 раз. Максимальное валовое содержание меди отмечается в почвах участка Н2 – 6439,4 мг/кг. Подвижная медь также демонстрирует многократное превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) – от 2,5 до 123,5 раз.

Таблица 1. Состав почвенных частиц, кислотность и содержание химических элементов в почвах пойм НПП

Точка	Почва	Содержание частиц <0,01 мм, %	рН <sub>KCl</sub>	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Co
Н1	Аллювиально-глеевая	16,1	2,5	<u>46,2</u> 0,8	<u>1,2</u> 0,06	<u>117,6</u> 1,4	<u>1591,6</u> 38,4	<u>669,9</u> 20,1	<u>100,5</u> 1,5
Н2	Аллювиальная	16,9	6,0	<u>233,5</u> 0,5	<u>3,7</u> 0,2	<u>168,1</u> 13,9	<u>6439,4</u> 370,6	<u>1657,2</u> 692,8	<u>180,5</u> 44,5
Д1	Аллювиальная	15,9	3,0	<u>1,6</u> 0,04	<u>1,6</u> 0,04	<u>125,6</u> 0,4	<u>1883,8</u> 86,2	<u>724,6</u> 69,4	<u>96,8</u> 2,2
Д2	Аллювиальная	12,4	6,2	<u>0,8</u> 0,08	<u>0,8</u> 0,08	<u>146,2</u> 0,8	<u>1973,7</u> 66,3	<u>853,1</u> 50,9	<u>111,6</u> 0,4
Д3	Аллювиально-глеевая	5,6	2,4	<u>2,2</u> 0,08	<u>2,2</u> 0,08	<u>116,1</u> 1,9	<u>2654,6</u> 85,4	<u>816,9</u> 573,1	<u>100,2</u> 23,8
Д4	Аллювиальная	11,0	6,0	<u>2,02</u> 0,7	<u>2,02</u> 0,7	<u>163,8</u> 6,2	<u>3406,3</u> 73,7	<u>1742,1</u> 187,9	<u>331,6</u> 9,4
А1	Аллювиальная	14,8	6,8	<u>0,4</u> 0,04	<u>0,4</u> 0,04	<u>146,9</u> 1,1	<u>144,5</u> 7,5	<u>209,2</u> 5,8	<u>45,7</u> 0,3
А2	Аллювиальная	4,2	5,5	<u>1,1</u> 0,4	<u>1,1</u> 0,4	<u>120,3</u> 2,7	<u>1659,0</u> 91,0	<u>1211,9</u> 108,1	<u>170,2</u> 5,8
А3	Дерново-аллювиальная глубокоглеевая	15,8	5,8	<u>2,4</u> 0,6	<u>2,4</u> 0,6	<u>159,6</u> 2,4	<u>2077,2</u> 132,8	<u>1019,1</u> 160,9	<u>138,7</u> 6,3
А4	Дерново-аллювиальная	23,1	5,7	<u>2,7</u> 0,8	<u>2,7</u> 0,8	<u>196,8</u> 3,2	<u>3871,5</u> 288,5	<u>927,3</u> 122,1	<u>130,4</u> 2,6
А5	Дерново-аллювиальная	22,2	5,5	<u>2,9</u> 0,7	<u>2,9</u> 0,7	<u>192,9</u> 2,1	<u>3668,9</u> 101,1	<u>987,3</u> 182,7	<u>115,5</u> 6,5
А6	Аллювиально-глеевая	18,3	5,9	<u>1,1</u> 0,5	<u>1,1</u> 0,5	<u>143,0</u> 3,0	<u>1841,0</u> 59,0	<u>884,3</u> 145,7	<u>113,9</u> 6,04

Примечание. Над чертой – валовое содержание, под чертой – содержание подвижной формы элемента

Аналогично меди в исследуемых аллювиальных почвах дифференцируются значения общего содержания и подвижной формы никеля. Содержание общего никеля в почвах варьирует в широких пределах от 209 до 1742 мг/кг и превышает ОДК в 11–83 раза.



Минимальные и максимальные концентрации никеля отмечаются, соответственно, в почвах участков А1 и Н2. Содержание подвижной формы составляет от 5,8 до 692,8 мг/кг, превышая тем самым, значения ПДК от 1,5 до 173,2 раз. Общее содержание цинка превышает ОДК в почвах, сформированных на каменистых и песчаных породах. В суглинистых почвах низовий р. Амбарная превышение ОДК зафиксировано только в почвах со слабокислой средой почвенного раствора. В почвах с рН близкой к нейтральной концентрация валового цинка ниже значений ОДК в 1,1–1,5 раз (табл. 1).

Общее содержание цинка превышает ОДК в почвах, сформированных на каменистых и песчаных породах. В суглинистых почвах низовий р. Амбарная превышение ОДК зафиксировано только в почвах со слабокислой средой почвенного раствора (А5). В почвах с рН близкой к нейтральной (А3, А4, А6) концентрация валового цинка ниже значений ОДК в 0,7–0,9 раз. Анализируя дифференциацию в исследуемых почвах содержания подвижного цинка, можно отметить максимальную его концентрацию в почвах пострадавшего от разлива пульпы участка Н1. Ниже по течению (в поймах р. Далдыкан и р. Амбарная) концентрация подвижного цинка в разы ниже, однако она превышает фоновые значения (за фон принимается А1) в 1,7–5,6 раз. Фиксируемая тенденция, таким образом, свидетельствует о техногенном влиянии. При этом концентрация подвижного цинка остается в разы меньше, чем ПДК (23 мг/кг).

Валовое содержание кобальта в почвах в отечественных гигиенических нормативах не принято. ПДК установлено только для подвижной формы и составляет 5 мг/кг. Полученные результаты (см. табл. 1) показывают максимальное превышение значений ПДК (в 8,9 раз) в почвах загрязнённого участка Надеждинского ручья (Н1) и ниже по течению в пойме участков Д3 и Д4. В почвах нижней части поймы р. Амбарная после впадения в нее р. Далдыкан превышение подвижного кобальта ниже и составляет 1,2–1,3 ПДК.

Общее содержание свинца в почвах находится на достаточно высоком уровне. В почвах, сформированных на супесчаных субстратах Надеждинского ручья и р. Далдыкан, содержание валового свинца в 1,4–1,9 раз превышает ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) для супесчаных почв. Учитывая то, что максимальное превышение фиксируется в почвах фонового участка А1, становится очевидным их не антропогенная природа. Фиксируемое высокое содержание валового свинца в аллювиальных почвах, по всей видимости, является следствием высокого регионального геохимического фона. Подтверждению этому служат низкие (не превышающие ПДК=6 мг/кг) концентрации подвижной формы свинца. Следует также отметить содержание валового свинца в суглинистых почвах низовьев р. Амбарная, которое в 1,6–4,5 раз ниже ОДК. Тем не менее, в исследуемом ряду выделяются почвы участка Надеждинского ручья Н2, где содержание валового свинца более чем в 3 раза выше ОДК, что явно обусловлено последствиями порывов пульпопроводов.

Дифференциацию в пойменных почвах водотоков кадмия нельзя назвать аналогичной дифференциации свинца. Несмотря на то, что максимальные и минимальные концентрации этих элементов приходятся, соответственно, на участки Н2 и А1. Высокие значения содержания валового и подвижного кадмия фиксируются в аллювиальных почвах низовий р. Амбарная. По всей видимости, это связано с его активной миграцией в условиях восстановительной окислительно-восстановительной обстановки, свидетельством чему являются максимальные концентрации подвижного кадмия в почвах, затапливаемых длительное время.

Интенсивная аккумуляция в почвах ТМ оказывает негативное воздействие. Так, распространяясь по трофическим цепям, ТМ имеют ряд опасных последствий, как для окружающей среды, так и для здоровья человека [14].

Содержание микроэлементов в исследуемых аллювиальных почвах характеризуется полиэлементной нагрузкой. Преобладание загрязнителей можно представить в виде ряда  $Ni > Cu > Zn > Co > Pb > Cd$ .

**Заключение.** Проведенные в Норильском промышленном районе исследования по оценке общего содержания и концентраций подвижных форм приоритетных элементов Pb, Cd, Zn, Co, Cu, Ni позволили выявить особенности, характеризующие специфику пойменных почв. Во-первых, отмечено превышение ОДК валового содержания Pb, Cd и Zn. Особенно для пойменных почв, сформированных на песчаных и каменистых отложениях, и почв с

выраженными признаками загрязнения. При этом концентрации подвижного свинца и цинка в разы ниже ПДК, тем самым свидетельствуя о том, что элементы Pb, Cd и Zn не оказывают влияния на экологическое состояние почв пойм. Во-вторых, валовое содержание Cu, Co, Ni в исследуемых почвах превышает ОДК в 4,6–206,4 раза, что обусловлено не столько техногенным загрязнением окружающей среды, сколько несовершенством российских гигиенических нормативов. Концентрация подвижных форм ТМ, превышающих ПДК фиксируется для Co – от 1,2 до 8,9 раз, Cu – от 2,5 до 123,5 раз, Ni – от 1,5 до 173,2 раз. Превышение в почвах валового содержания и концентраций подвижной формы ТМ на фоновых и незагрязненных участках объясняется геохимической аномалией данного региона.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН (проект № 121031700-316-9) и Научно-исследовательского института сельского хозяйства и экологии Арктики, филиала ФИЦ КНЦ СО РАН (проект № 122022600041-8).

#### Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 259 с.
2. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука, 1991. 294 с.
3. Мотузова Г.В., Карпова Е.А., Малинина М.С. и др. Почвенно-химический мониторинг фоновых территорий. М.: МГУ, 1989. 88 с.
4. Московченко Д. В. Биогеохимические особенности почв бассейна реки Мессояха (Тазовский район Ямало-Ненецкого автономного округа) // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Том 2. № 2. С. 8–21. DOI: [10.21684/2411-7927-2016-2-2-8-21](https://doi.org/10.21684/2411-7927-2016-2-2-8-21)
5. Яковлев А.С., Плеханова И.О., Кудряшов С.В., Аймалетдинов Р.А. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании "Норильский Никель" // Почвоведение. 2008. № 6. С. 737–750.
6. Ермолов Ю.В., Махатков И.Д., Черевко А.С. Вклад выбросов металлургии в пылеаэрозольное загрязнение Норильского промышленного района по снегогеохимическим данным // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36, № 2(409). С. 93–99.
7. Syso A.I., Sokolov D.A., Siromlya T.I., Ermolov Y.V., Makhatkov I.D. Anthropogenic Transformation of Soil Properties in Taimyr Landscapes / A. I. Syso, D. A. Sokolov, T. I. Siromlya [et al.] // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 5. P. 541–555. DOI: [10.31857/S0032180X22050082](https://doi.org/10.31857/S0032180X22050082)
8. Syso A.I., Ermolov Y.V., Cherevko A.S., Siromlya T.I., Kolpashchikov L.A. Elemental chemical composition of soils and plants in Western Taimyr / A. I. Syso, Y. V. Ermolov, A. S. Cherevko [et al.] // Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7. No. 6. P. 636–642. DOI: [10.1134/S1995425514060146](https://doi.org/10.1134/S1995425514060146).
9. РД 52.18.595-96 Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды.
10. ГОСТ ISO 22036-2014 Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС). – М.: Стандартинформ., 2015. 12 с
11. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами. М., 2011. 45 с.
12. РД 52.18.289-90 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, цинка, свинца, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным методом.
13. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы от 28.01.2021. Москва: 2021. 628 с.

14. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг: учебник. М.: Академический проспект; Гаудеамус, 2007. 237 с.

#### ECOLOGICAL AND BIOGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF FLOODPLAIN SOILS OF THE NORILSK INDUSTRIAL REGION

M.V. Stepanova<sup>1</sup>, A.I. Syso<sup>1</sup>, D.A. Sokolov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, maria44421@gmail.com;

<sup>2</sup>Scientific-Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic – Division of Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS”, Norilsk, sokolovdenis@mail.ru

*Summary.* This article presents the results of soil studies of periodically flooded landscapes of the Norilsk industrial region. Data on the gross content and concentration of mobile forms of trace elements were obtained. The excess of the UEC and MPC in terms of the content of gross and mobile forms is fixed for elements Cu, Co, Ni. The concentration of mobile forms of elements of the Pb, Cd, Zn does not exceed the MPC values, including in contaminated areas. The excess of the UEC gross content of Pb, Cd, Zn was revealed. The noted features of the amount of heavy metals in the soils of the district are a consequence of their high natural geochemical level in the soil-forming rocks. The research confirms the need to develop and adopt regional standards for the content of heavy metals in soils that pollute the environment of the Norilsk Industrial region.

*Keywords:* heavy metals, floodplains, Fluvisols, technogenic contamination, mobility of chemical elements.

УДК 631.416.8

#### ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ЛИТОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ ОРТШТЕЙНАХ ПОЧВ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Я.О. Тимофеева

Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, timofeeva@biosoil.ru

*Аннотация.* В исследованных почвах железо-марганцевые ортштейны являлись накопителями тяжелых металлов и литофильных элементов, за исключением Zn. Содержание водорастворимых форм элементов в ортштейнах снижалось по сравнению с вмещающими ортштейны почвенным мелкоземом.

*Ключевые слова:* Fe-Mn ортштейны, тяжелые металлы, литофильные элементы.

В отличие от органических загрязнителей, в почвах большинство соединений содержащих тяжелые металлы (ТМ) и литофильные элементы (ЛЭ) не подвергаются микробному или химическому разложению. Устойчивость почвы к возрастающему уровню поступления ТМ и ЛЭ элементов является важной научной и практической проблемой и определяет необходимость проведения исследовательской работы в соответствии с мировыми тенденциями, направленными на изучение емкости геохимических почвенных микробарьеров и изменения активности ТМ и ЛЭ в почве.

Одним из результатов проявления геохимических микробарьеров в почве является образование железо-марганцевых ортштейнов (ЖМО). ЖМО образуются в почвах различного генезиса многих биоклиматических зон [1–5]. Почвы юга Дальнего Востока характеризуются активным проявлением процесса ортштейнообразования. Содержание ЖМО в отдельных горизонтах почв может достигать 33% от веса почвенной массы [6]. Основным условием образования ЖМО является наличие контрастной смены окислительно-восстановительных периодов в почвах. Единой теории образования ЖМО до настоящего времени не существует.

Специфика строения, состава и свойств ЖМО способствуют формированию высокой накопительной способности ЖМО в отношении элементов с переменной валентностью, что позволяет рассматривать ЖМО как своеобразные фильтры почвенной системы [7–10]. Представленные в научной литературе результаты экспериментальных исследований указывают на формирование специфической взаимосвязи между ТМ и основными ортштейнообразующими элементами (Fe, Mn) [5, 7, 11–15]. Сведения о содержании, уровне

накопления и особенностях аккумуляции ЛЭ в ЖМО весьма ограничены. Среди ЛЭ особое значение имеют V и Sr, относящиеся к потенциально опасным для объектов окружающей среды элементам. По токсикологическим классификациям элементов разных стран и организаций класс опасности V и Sr варьирует от слабо опасного (Россия) до наиболее опасного (ООН) [16, 17]. Результаты работ ряда авторов указывают на тесную взаимосвязь V в почвах с оксидами Fe, где V замещает трехвалентное Fe и в составе комплексных соединений при преобладании окислительной обстановки накапливается в почвенном профиле [18]. Общих закономерностей по содержанию и распределению в почвах Sr в настоящее время, к сожалению, не представлено. Данные отдельных исследований указывают на существование тесной корреляционной связи между концентрацией Sr с содержанием органического вещества и Fe-Mn-содержащими соединениями в почвах [19].

Несмотря на активное освещение вопросов накопления ТМ в ЖМО, основная часть результатов исследований представлена данными, полученными с почвенного покрова территорий подверженных воздействию различных техногенных факторов (почвы урбанизированных ландшафтов, агроэкосистем). Это не позволяет получить достоверную информацию об уровнях содержания и накопления ТМ ортштейнами в почвах естественных, не нарушенных антропогенной деятельностью экосистем и оценить воздействие техногенеза на протекание указанных процессов в дальнейшем.

Целью настоящих исследований являлись изучение уровней содержания и накопления тяжелых металлов и литофильных элементов в Fe-Mn ортштейнах, формирующихся в почвах, не испытывающих прямого техногенного воздействия, идентификация взаимосвязи тяжелых металлов и литофильных элементов с ортштенообразующими элементами.

Объектами исследований являлись образцы ЖМО и вмещающего почвенного мелкозема дерново-буро-подзолистый глееватых почв. Для проведения исследований было заложено пять полнопрофильных почвенных разрезов на территории национального парка "Земля Леопарда", который расположен на юго-западе Приморского края. Исследованные почвы имели следующее строение профиля: горизонт АУ (мощность от 9 до 16 см) содержит плотные и мягкие бурые ЖМО бурого и темно-бурого цветов; горизонты Yelnn (мощность от 7 до 13 см) и BELnn,g (мощность от 30 до 48 см) встречаются многочисленные мелкие примазки охристого и темно-бурого цветов, содержат плотные и мягкие бурые ЖМО; горизонт BTg (мощность от 35 до 59 см) встречаются многочисленные примазки охристого цвета, содержит плотные и мягкие темно-бурые ЖМО; горизонт BCg (мощность до 27 см) встречаются единичные мелкие примазки темно-бурого цвета, в верхней части горизонта присутствуют единичные мягкие ЖМО.

Результаты получены с использованием комбинации аналитических методов (энергодисперсионная рентгенфлуоресцентная спектроскопия (анализатор EDX 800HS-P, Shimadzu), атомно-абсорбционная спектрометрия (спектрометр AA-6800, Shimadzu)) и не инвазивных методик (электронно-зондовый микроанализ (анализатор Electron Probe Microanalyzer JXA-8100, Jeol), рентгеновская микротомография (томограф micro-CT system SkyScan 1272, Bruker). Коэффициент накопления ( $EF$ ) элементов в ЖМО рассчитывали согласно методике рекомендованной D. Gasparatos [8].

Элементный анализ в отдельном опытном образце осуществляли в трехкратной аналитической повторности. Математическую обработку полученных данных (расчет средних арифметических значений, среднеквадратического отклонения, парный корреляционный анализ) проводили с применением программ Statistica и Microsoft Excel 2007.

Исследуемые почвы содержат округлые и эллипсовидные гладкие ЖМО разного размера (0,5 до 9 мм). Анализ вертикального внутрипрофильного распределения ЖМО показывает, что условия формирующиеся в средней части почвенного профиля (горизонты Yelnn и BELnn,g) являются наиболее оптимальными для образования и развития ЖМО. С продвижением вглубь почвенного профиля содержание ЖМО конкреций резко уменьшалось, что обосновано усилением роли гидроморфизма и, следовательно, преобладанием восстановительных условий и на фоне редкого проявления окислительных.

Строение и элементная дифференциация ЖМО, указывают на наличие внешней и внутренней зон, которые различаются по плотности, цвету и химическому составу (рис. 1).



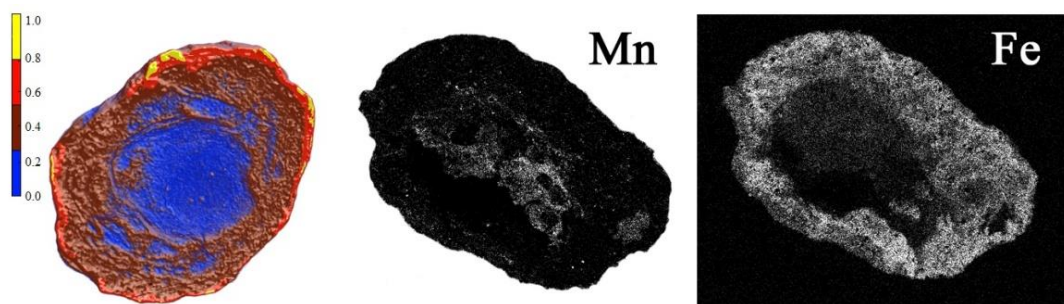


Рисунок 1. Плотность ортштейнов, распределение Fe и Mn внутри ортштейнов.

Внешняя зона ЖМО характеризовалась более плотным сложением, коричневой и красновато-коричневой окраской, преобладанием Fe-содержащих соединений в составе. Внутренняя зона ЖМО имела более рыхлую структуру, смешанную темно-коричневую и черную окраску и содержала больше Mn-обогащенных соединений.

Содержание основных макроэлементов (Si, Al, Mg, K, Ca и Ti) в ЖМО было ниже по сравнению с вмещающим ЖМО почвенным мелкоземом. Исключением являются Fe, Mn и P, содержание которых превышает уровень их концентрации в почвенном мелкоземе. Наибольшее содержание Fe, Mn и P отмечено в ЖМО сформированных в верхней и средней части профиля ( $Fe_2O_3$  15,11–19,57%; MnO 3,12–5,37%;  $P_2O_5$  0,10–0,12%). Вертикальное распределение Fe, Mn и P в ЖМО тесно связано со значениями *EF* (Fe *EF* 1,86–3,36; Mn *EF* 13,56–54,44; P *EF* 3,10–6,75) элементов. Несмотря на более высокий уровень содержания Fe в ЖМО, *EF* в ЖМО Mn на порядок превышал величину *EF* Fe.

По сравнению с вмещающим почвенным мелкоземом в ЖМО резко возросло содержание всех исследованных ТМ и ЛЭ, за исключением Zn, уровень концентрации которого в ЖМО был ниже или идентичен таковому в почвах (табл. 1).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и литофильных элементов в ортштейнах (мг/кг), среднее арифметическое значение ± значение среднеквадратического отклонения

Элемент	Форма элемента	Горизонт			
		AУ	Yeln	BELnn,g	BTg
Cu	валовая	98,31±6,90 ( <i>EF</i> 2,22)*	71,36±3,79 ( <i>EF</i> 1,89)	61,10±4,83 ( <i>EF</i> 1,59)	44,03±2,71 ( <i>EF</i> 1,28)
	водораств.	2,85±0,13	2,16±0,10	1,59±0,07	1,16±0,05
Ni	валовая	48,52±2,99 ( <i>EF</i> 2,43)	163,84±11,65 ( <i>EF</i> 3,78)	201,67±14,74 ( <i>EF</i> 4,19)	50,56±3,71 ( <i>EF</i> 1,72)
	водораств.	1,31±0,04	3,42±0,22	4,46±0,36	1,14±0,05
Pb	валовая	95,72±4,39 ( <i>EF</i> 3,72)	121,38±9,22 ( <i>EF</i> 3,22)	115,31±9,47 ( <i>EF</i> 4,55)	55,30±3,16 ( <i>EF</i> 2,83)
	водораств.	2,95±0,14	3,48±0,27	3,64±0,28	1,48±0,07
Cr	валовая	275,79±17,82 ( <i>EF</i> 2,82)	296,33±19,37 ( <i>EF</i> 2,57)	178,39±9,19 ( <i>EF</i> 1,98)	140,32±8,91 ( <i>EF</i> 1,32)
	водораств.	4,99±0,35	5,39±0,44	3,07±0,25	2,82±0,11
Zn	валовая	27,30±1,60 ( <i>EF</i> 0,65)	30,51±2,04 ( <i>EF</i> 0,43)	52,86±3,72 ( <i>EF</i> 0,91)	57,32±3,55 ( <i>EF</i> 0,91)
	водораств.	1,32±0,06	1,24±0,05	2,64±0,13	2,23±0,11
V	валовая	179,51±11,89 ( <i>EF</i> 1,59)	198,21±13,15 ( <i>EF</i> 2,26)	177,36±11,67 ( <i>EF</i> 1,99)	108,78±8,33 ( <i>EF</i> 1,19)
	водораств.	3,70±0,19	3,94±0,25	3,87±0,28	2,28±0,11
Sr	валовая	189,33±12,88 ( <i>EF</i> 1,14)	199,84±13,41 ( <i>EF</i> 1,48)	194,22±13,47 ( <i>EF</i> 1,51)	163,34±8,75 ( <i>EF</i> 1,23)
	водораств.	5,51±0,28	6,29±0,42	5,98±0,33	4,88±0,30

Примечание. \*Коэффициент накопления элементов в ортштейнах.

Сравнение величины  $EF$  элементов в ЖМО, образующихся в почвах со сходными типом основного почвообразующего и процесса, указывает на повышенные уровни  $EF$  Ni и Pb в ЖМО исследуемых почв [5]. Величина  $EF$  исследуемых элементов в ЖМО характеризовалась наличием вертикальной дифференциации. Медь и Cr, в основном, накапливались в ЖМО, сформированных в гумусово-аккумулятивном горизонте. Максимальный уровень  $EF$  Pb отмечен в BELnn,g. Накопление Ni, V и Sr увеличилось в ЖМО, сформированных в средней части профиля (горизонты Yelnn и BELnn,g). Для Ni, Cu и Cr установлен значимый уровень парной корреляционной зависимости между концентрацией и накоплением элементов в ЖМО и их содержанием в почвенном мелкоземе ( $r = 0,81$ ). Это указывает на присутствие Ni, Cu и Cr в почвенном мелкоземе в составе соединений легко образующих комплексы с основными ортштейнообразующими элементами. Уровни  $EF$  Pb, V и Sr в ЖМО характеризовались обратной пропорциональной зависимостью с содержанием элементов во вмещающем почвенном мелкоземе ( $r = -0,72$ ).

Процентное содержание водорастворимых форм ТМ и ЛЭ в ортштейнах было ниже по сравнению с вмещающим почвенным мелкоземом. Наибольшее снижение процентного содержания водорастворимых форм в ЖМО отмечено для Ni (2,38 % от валового содержания Ni), Cu (2,74 % от валового содержания Cu), Pb (2,95 % от валового содержания содержание Pb) и Sr (3,03 % от валового содержания Sr). Это указывает на образование более устойчивых комплексов элементов с Fe- и Mn-содержащими соединениями ортштейнов, и, вероятно, обусловлено присутствием в ЖМО обогащенных Fe и Mn минералов, содержащих ТМ и ЛЭ в более устойчивых формах [5, 7, 12].

В ЖМО исследованных почв содержание Ni ( $r_{Mn-Ni} = 0,99$ ), Pb ( $r_{Mn-Pb} = 0,91$ ) и Sr ( $r_{Mn-Sr} = 0,72$ ) контролировалось, преимущественно Mn-содержащими соединениями (рис. 2).

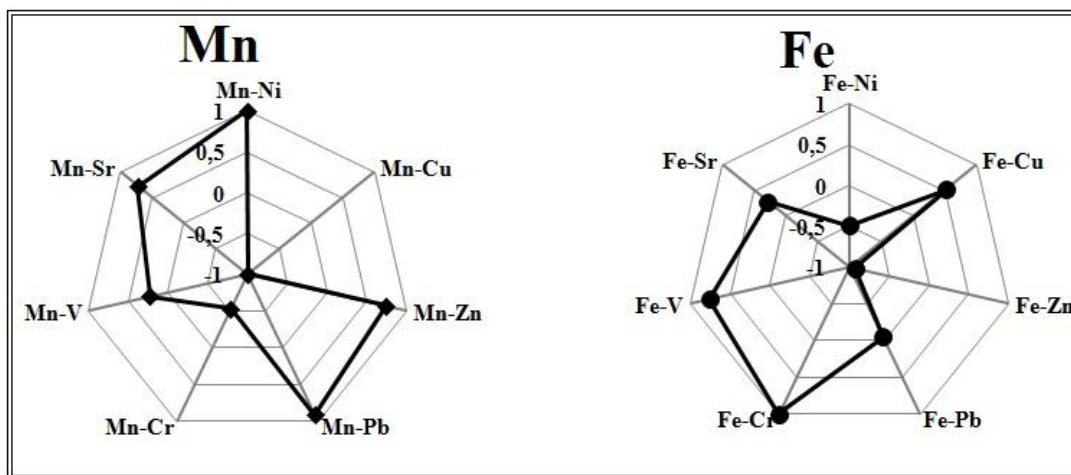


Рисунок 2. Коэффициент парной корреляции между содержанием основных ортштейнообразующих элементов и содержанием тяжелых металлов и литофильных элементов в ортштейнах.

Накопление Cr и V в ЖМО определялось концентрацией Fe-содержащих соединений ( $r_{Fe-Cr} = 0,99$ ;  $r_{Fe-V} = 0,76$ ). Полученные результаты указывают на наличие отдельных фаз-носителей ТМ и ЛЭ элементов в ЖМО. Ортштейнообразующие соединения являлись второстепенным фактором в накоплении Cu, что согласуется с полученными нами ранее результатами, указывающими на накопление Cu в обогащенных углеродом зонах внутри ЖМО [5]. Ассоциация Ni, Pb, Sr, Cr и V с Fe- и Mn-содержащими соединениями в ЖМО, вероятно, обоснована образованием специфических Fe- и Mn-обогащенных минералов с разнорядной поверхностью [2].

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках гранта №. 23-24-00255, <https://rscf.ru/project/23-24-00255/>.

#### Литература

1. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 216 с.

2. Ettler V., Chren M., Mihaljevic M., Drahota P., Kribek B., Veselovsky F., Sracek O., Vanek A., Penizek V., Komarek M., Mapani B., Kamona F. Characterization of Fe-Mn concentric nodules from Luvisol irrigated by mine water in a semi-arid agricultural area // *Geoderma*. 2017. Vol. 299. P. 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.022>
3. Segvic B., Girardclos S., Zanoni G., Gonzalez C., Steimer-Herbet T., Besse M. Origin and paleoenvironmental significance of Fe-Mn nodules in the Holocene perialpine sediments of Geneva Basin, western Switzerland // *Appl Clay Sci*. 2018. Vol. 160. P. 22-39. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.01.027>
4. Sipos P., Nemeth T., May Z., Szalai Z. Accumulation of trace elements in Fe-rich nodules in neutral-slightly alkaline floodplain soil // *Carp J Earth Environ Sci*. 2011. Vol. 6(1). P. 13-22.
5. Timofeeva Ya.O., Karabtsov A.A., Semal V.A., Burdukovskii M.L., Bondarchuk N.V. Iron-Manganese nodules in Udepts: the dependence of the accumulation of trace elements on nodule size // *Soil Sci Soc Am J*. 2014. Vol. 78. P. 767-778. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.10.0444>
6. Пуртова Л.Н., Тимофеева Я.О. Характеристика мелкозема и ортштейнов агрогенных почв южной части Приморского края: физико-химические, оптические свойства, каталазная и каталитическая активность // *Почвоведение*. 2021. № 12. С. 1481–1491.
7. Cornu S., Cattle J.A., Samouelian A., Laveuf C., Guilherme L.R.G., Alberic P. Impact of redox cyclers on manganese, iron, cobalt, and lead in nodules // *Soil Sci Soc Am J*. 2009. Vol. 73. P. 1231-1241. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0024>
8. Gasparatos D. Sequestration of heavy metals from soil with Fe-Mn concretions and nodules // *Environ Chem Letter*. 2013. Vol. 11. P. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10311-012-0386-y>
9. Hickey P.J., McDaniel P.A., Strawn D.G. Characterization of iron- and manganese-cemented redoximorphic aggregates in wetland soils contaminated with mine wastes // *J. Environ. Qual*. 2008. Vol. 37. P. 2375-2385.
10. Latrille C., Elass F., van Oort F., Denaix L. Physical speciation of trace metals in Fe–Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France) // *Geoderma*. 2001. Vol. 100. P. 127-146.
11. Liu Ch., Massey M.S., Latta D.E., Xia Y., Li F., Gao T., Hua J. Fe(II)-induced trans of iron minerals in soil ferromanganese nodules // *Chemical Geology*. 2021. Vol. 559. P. 119901. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119901>
12. Manceau A., Tamura N., Celestre R., Macdowell A., Geoffery N., Sposito G., Padmore H.A. Molecular-scale speciation of Zn and Ni in soil ferromanganese nodules from loess soils of the Mississippi Basin // *Environ Sci Technol*. 2003. Vol. 37. P. 75-80. <https://doi.org/10.1021/es025748r>
13. Negra C., Ross D.S., Lanzirrotti A. Soil manganese oxides and trace metals: Competitive sorption and microfocused synchrotron X-ray fluorescence mapping // *Soil Sci Soc Am J*. 2005. Vol. 69. P. 353-361. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0353>
14. Palumbo B., Bellanca A., Neri R., Roe M.J. Trace metal partitioning in Fe–Mn nodules from Sicilian soils, Italy // *Chem Geol*. 2001. Vol. 173. P. 257-269. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00284-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00284-9)
15. Timofeeva Y., Karabtsov A., Ushkova M., Burdukovskii M., Semal V. Variation of trace elements accumulation by iron-manganese nodules from Dystric Cambisols with and without contamination // *Journal of Soils and Sediments*. 2021. Vol. 21(2). P. 1064-078. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02814-w>
16. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. ПОЧВЫ. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М. : Стандартинформ, 2008.
17. Водяницкий Ю.Н., Савичев А.Т., Васильев А.А., Лобанова Е.С., Чашин А.Н., Прокопович Е.В. Содержание тяжелых щелочноземельных (Sr, Ba) и редкоземельных (Y, La, Ce) металлов в техногенно-загрязненных почвах // *Почвоведение*. 2010. № 7. С. 879-890.
18. Reijonen I., Metzler M., Hartikainen H. Impact of soil pH and organic matter on the chemical bioavailability of vanadium species: the underlying basis for risk assessment // *Environ Pollut*. 2016. Vol. 210. P. 371-379.
19. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4rd edn. NY : CRC Press, 2011. 534 p.

## TRACE ELEMENTS AND LITHOPHILE ELEMENTS IN IRON-MANGANESE NODULES OF SOIL FROM RUSSIAN FAR EAST SOUTH

Ya.O. Timofeeva

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, timofeeva@biosoil.ru

*Summary. Iron-manganese nodules were accumulators of trace elements and lithophile elements, with the exception of Zn, in the studied soils. The content of elements water-soluble forms in nodules decreased in comparison with the contents in host soil fine earth.*

*Ключевые слова: Fe-Mn nodules, trace elements, lithophile elements.*

УДК 504+57.04+574.4

## СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ МОЛИБДЕНОМ И ВОЛЬФРАМОМ

С.Ф. Тютиков, В.В. Ермаков, В.Н. Данилова

ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, tyutikov-sergey@rambler.ru

*Аннотация. Интерес представляет выявление техногенного загрязнения почвогрунтов, в частности, молибденом и вольфрамом. Недостатком известных методов является отсутствие возможности установления причины повышения уровней металлов в среде. Предлагаемый метод основан на соотношении активностей пероксидазы и дегидрогеназы. Его применение позволяет обнаруживать техногенную составляющую загрязнения, то есть устанавливать источник повышенного уровня металлов – природный фон или техногенное воздействие.*

*Ключевые слова: молибден, вольфрам, техногенное загрязнение, пероксидаза, дегидрогеназа.*

**Актуальность.** Вопросы аккумуляции металлов растениями и активность почвенных ферментов в условиях металлогенических районов горных степей Северного Кавказа подробно освещены нами ранее [1]. В настоящей же работе целесообразно рассмотрение проблем разработки способов диагностики загрязнения почвогрунтов химическими элементами, в частности – молибденом и вольфрамом. Вопрос этот интересен, поскольку позволяет вплотную подойти к методологии предупреждения и прогнозирования опасных и экстремальных явлений природного и техногенного характера.

В настоящий момент нами подана заявка на выдачу патента РФ на способ диагностики загрязнения почвогрунтов Mo и W в условиях горной степи Кабардино-Балкарской республики. Получено положительное решение. Изобретение относится к области экологии и биогеохимии и может быть использовано для экологического картирования, выявления неблагоприятных участков исследуемых регионов и дифференцированной оценки наличия природного либо техногенного присутствия Mo-W загрязнения. Способ также может быть использован для экспресс-оценки при постановке экспедиционных работ в новых районах, где проведение детальных биогеохимических исследований затруднительно по времени и трудозатратам.

В предлагаемом техническом решении рассматриваются два химических элемента: Mo и W. Первый является жизненно важным микроэлементом, но проявляет токсические свойства при наличии высоких концентраций. Особенно в случае техногенного загрязнения территории. Для второго биологическая роль на настоящий момент времени выяснена недостаточно. Нашими прежними исследованиями установлено включение W в фермент ксантиноксидаза, наблюдающееся в случае наличия высоких концентраций элемента в среде техногенного происхождения [2]. В экстремальных геохимических условиях существует даже необходимость оценки дисбаланса микроэлементов в организме животных и среде их обитания [3]. Способ позволяет быстро и надёжно диагностировать микроэлементоз дисбаланса Cu, Mo и W у сельскохозяйственных копытных животных. В данном способе применён сходный с предлагаемым нами подход к оценке экологического воздействия не



отдельно взятых химических элементов, а их пар. Недостатком его применения является невозможность выявлять техногенную составляющую Mo-W загрязнения почвогрунтов в пределах оцениваемой территории. Кроме того, для его реализации необходимо наличие молочного скота, который присутствует далеко не повсеместно.

**Объекты и методы исследования.** В современной практике экомониторинга известен способ определения загрязнённости почвенного покрова техногенными компонентами [4]. Изобретение относится к мониторингу окружающей среды для выделения участков загрязнения почвенного покрова, установления источников загрязнения и зон влияния промышленных предприятий. Согласно способу, отбирают пробы почв, их высушивают, просеивают до фракции менее 1 мм, просеянную часть каждой пробы анализируют при помощи бинокулярного стереоскопического микроскопа, затем устанавливают процентное соотношение техногенных компонентов, по которым проводят построение изолиний и по трехкратному превышению значений относительно фона выделяют загрязненные предприятиями участки почвенного покрова. Авторами заявлен технический результат: экспрессное определение загрязнённости почвенного покрова. Недостатком предложенного метода является отсутствие возможности дифференциации территории по степени загрязнённости (она признаётся либо загрязнённой, либо нет). Вторым существенным недостатком способа является полное отсутствие «геоэкологической составляющей». То есть решение о признании территории загрязнённой принимается исключительно на основании данных бинокулярной стереоскопической микроскопии, без учёта экологического влияния загрязнения на почвенный микробиоценоз.

Известен также способ определения техногенного загрязнения почв и донных осадков металлами [5]. Данный способ относится к экологической геофизике. Предлагается измерять магнитную восприимчивость почв и донных осадков на фоновом и исследуемом участках и судить о степени загрязнения по их сравнению, исходя из соотношения: 1,2–1,3 – умеренное загрязнение; 1,8–2,0 – сильное загрязнение, где  $K_{изм}$  – магнитная восприимчивость на исследуемом участке,  $K_{фон}$  – магнитная восприимчивость на фоновом участке. По мнению разработчиков, способ повышает экономичность и эффективность экологических исследований. Основное внимание авторов способа сосредоточено на почвах и донных отложениях, загрязнённых (по их мнению) металлами. В данном случае следует отметить, что применение геофизического метода не позволяет не только дифференцировать наличие техногенного загрязнения (разделить естественный фон и антропогенное влияние), но равно не даёт возможности определить геоэкологическое воздействие присутствующих металлов на биогеоценоз. Дело в том, что данный метод позволяет лишь определить валовые уровни металлов. Возможность конкретизации по отдельным химическим элементам полностью отсутствует.

**Обсуждение результатов.** Наиболее близким техническим решением к предлагаемому нами является способ диагностики хронического и аварийного загрязнения почв тяжёлыми металлами посредством анализа активности фермента дегидрогеназы, включающий выделение типичного участка без явного источника эмиссии тяжёлых металлов (№1), и другого типичного участка с явным источником эмиссии приоритетных металлов (№2), отбор проб почвогрунтов равномерно по площади обследуемой территории, определение общепринятым способом активности фермента дегидрогеназы. По полученным значениям последней судят о наличии хронического или аварийного загрязнения территории [6].

Недостатками данного способа являются:

1. Невозможность установить причину повышенного уровня тяжёлых металлов: естественный природный уровень или человеческая деятельность.

2. Отсутствие селективности метода по Mo и W, поскольку он адаптирован под тяжёлые металлы, а молибден и вольфрам таковыми не являются. Молибден – жизненно необходимый микроэлемент, а вольфрам – инертный химический элемент с невыясненной до конца биологической ролью.

3. Сам подход с выбором заведомо «чистого» и «грязного» участков также вызывает ряд вопросов. Во-первых, если мы и так знаем, где есть загрязнение, то что же мы можем выяснить? Только ли дифференцировать «хронику» от «аварии» или ещё что-то? Во-вторых, возникает определённый вопрос – как метод будет работать, если в пределах «грязного»

участка на хроническое загрязнение наложится мощный аварийный выброс? Ведь, судя по описанию, в данном случае произойдет нивелировка активности фермента.

Задача, на решение которой направлен предлагаемый нами способ, заключается в обнаружении техногенной составляющей Mo-W загрязнения почвогрунтов, то есть на установление причины повышенного уровня металлов – природный уровень или результат человеческой деятельности. Вторым эффектом применения метода является возможность дифференциации степени присутствия техногенного загрязнения (в случае его наличия). Заключение основывается исключительно на геоэкологическом эффекте, наблюдаемом в почвогрунтах, подвергавшихся в течение длительного времени техногенному загрязнению. Данный геоэкологический эффект проявляется в изменении относительной активности пары почвенных ферментов: пероксидазы и дегидрогеназы. В отличие от рассмотренных выше, предлагаемый метод специально разработан под Mo и W. Он не требует предварительных знаний «чистоты» или «загрязненности» участков. Напротив, позволяет определять наличие или отсутствие техногенной составляющей загрязнения непосредственно на заданном участке территории.

Поставленная задача решается тем, что в предлагаемом нами способе диагностики загрязнения почвогрунтов Mo и W, производится отбор проб почвогрунтов равномерно по площади обследуемой территории, определение общепринятым способом активности почвенных ферментов дегидрогеназы и пероксидазы [1]. По полученным значениям выносится суждение о наличии и степени выраженности техногенной составляющей загрязнения территории.

Целесообразно при отборе проб распределять точки отбора равномерно по площади обследуемой территории. Нами принято при площади менее 1 гектара отбирать 3 образца, от 1 до 3 гектаров – 5 образцов, более 3 гектаров – по 2 образца на каждый полный или неполный гектар, а их транспортировку осуществлять в замороженном состоянии до  $-18 \pm 3$  °С. Выбор указанных выше критических диапазонов отношений активностей ферментов и количества образцов на единицу обследуемой площади обусловлен результатами многолетних исследований, проводимых в лаборатории биогеохимии окружающей среды Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН [7]. Установлено, что в естественных (фоновых) условиях на территориях, где отсутствует техногенная составляющая Mo-W загрязнения почвогрунтов, даже при высоких валовых концентрациях W и Mo уровень активности пероксидазы не превышает таковой у дегидрогеназы. В условиях техногенного W-Mo загрязнения наблюдается ситуация, когда уровень активности почвенной пероксидазы в 2 и более раза превышает таковой у почвенной дегидрогеназы. Соответственно, при значениях отношения активностей внеклеточных почвенных ферментов  $A_{\text{пероксидаза}}/A_{\text{дегидрогеназа}}$ , находящегося в интервале от 1 до 2, почвогрунт имеет слабое техногенное загрязнение.

**Заключение.** Таким образом, использование предлагаемого способа приводит к повышению репрезентативности результатов мониторинга, обеспечению возможности регулярной мониторинговой оценки практически не ограниченного по площади региона при одновременном снижении трудозатрат. Характерным преимуществом предлагаемого способа, относительно аналогов и прототипа, является возможность оценки таких сложных объектов среды, какими являются речные поймы, имеющие значительную протяженность и сравнительно небольшую ширину, а также межгорные степные котловины.

#### Литература

1. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Degtyarev A.P., Gulyaeva U.A. and Danilova V.N. Characteristics of the Accumulation of Metals by Plants and the Activity of Soil Enzymes in Metallogenic Territories of the Northern Caucasus // *Geochemistry International*. 2022. Vol. 67. No 7. P. 772–778. DOI: [10.1134/S0016702922070023](https://doi.org/10.1134/S0016702922070023).
2. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А., Данилова В.Н., Хушвахтова С.Д. Сравнительное аккумулятивное поведение металлов ксантинооксидазой молока в различных геохимических условиях // *Питание и обмен веществ*. ISBN: 978-985-08-2016-7. - Минск: Беларуская навука. 2016. Выпуск 4. С. 48–56.
3. Патент РФ на изобретение № 2542236, G01N 33/04; G01N 33/55 «Способ биохимической диагностики микроэлементного дисбаланса у сельскохозяйственных копытных животных» // Авторы: Тютиков С.Ф., Ермаков В.В. Дата публикации: 20.02.2015 г.

4. Патент РФ на изобретение № 2229738, G01V 9/00 «Способ определения загрязнённости почвенного покрова техногенными компонентами» // Авторы: Языков Е.Г., Шатилов А.Ю., Багазий Т.В. Дата публикации: 27.05.2004 г.
5. Патент РФ на изобретение № 2110068, G01N 33/24 «Способ определения техногенного загрязнения почв и донных осадков металлами» // Авторы: Молостовский Э.А., Ерёмин В.Н. Дата публикации: 27.04.1998 г.
6. Патент РФ № 2617533, G01N 33/24 «Способ диагностики хронического и аварийного загрязнения почв тяжёлыми металлами посредством анализа активности фермента дегидрогеназы» // Авторы: Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н. и др. Дата публикации: 25.04.2017
7. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2019620037 «Геоэкологическая оценка территории по биогеохимическому экстремуму-БД-1998-2018» // Авторы: Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Дегтярёв А.П., Проскурякова Л.В., Кречетова Е.В. Дата публикации: 10.01.2019 г.

#### WAY OF IDENTIFICATION OF THE TECHNOGENIC COMPONENT OF SOIL POLLUTION BY MOLYBDENUM AND TUNGSTEN

S.F. Tyutikov, V. V. Ermakov, V. N. Danilova

FSBEUS V. I. Vernadsky Institute of geochemistry and analytical chemistry of the Russian  
Academy of Sciences, Moscow, tyutikov-sergey@rambler.ru

*Summary.* Identification of technogenic pollution of soils, in particular, molybdenum and tungsten is of interest. Lack of the known methods is lack of possibility of establishment of the reason of increase of levels of metals in the environment. The offered method is based on ratio of activities of peroxidase and dehydrogenase. Its application allows to find technogenic component of pollution, that is to establish source of the increased level of metals – natural background or technogenic influence.

*Keywords:* molybdenum, tungsten, technogenic pollution, peroxidase, dehydrogenase.

УДК 631.4

#### БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д.М. Хомяков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, khom@bk.ru

*Аннотация.* Анализ прошедшего 32-летнего периода развития земледелия страны показал, что присутствует отрицательный баланс элементов минерального питания растений на российской пашне. Формирования биомассы и урожаев происходило за счет запасов ранее накопленного, и пока не восполняемого, плодородия пахотных почв. Дальнейший рост урожаев, повышение качества получаемой товарной продукции, может быть достигнуто только в рамках биогеохимической технологической парадигмы, что должно отражаться в данных мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения.

*Ключевые слова:* мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, почва, плодородие, агрохимические средства, баланс элементов минерального питания растений.

**Введение.** Президентом РФ утвержден «Перечень поручений по итогам совещания о развитии агропромышленного, рыбохозяйственного комплексов и смежных отраслей промышленности» (от 26.04.2022 № Пр-738).

Среди них внесение в Стратегию развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 года изменений, предусматривающих: а) установление, начиная с 2023 года среднегодовых темпов роста объемов производства продукции агропромышленного комплекса на уровне не менее 3%; б) возможность развития сельскохозяйственного производства как экстенсивными (за счет вовлечения земель сельскохозяйственного назначения в сельскохозяйственный оборот), так и интенсивными

способами (путем внесения дополнительных объемов минеральных удобрений, более широкого применения средств механизации и внедрения современных информационных технологий). Предписано также принять меры, направленные на осуществление мониторинга обеспечения сельскохозяйственных товаропроизводителей минеральными удобрениями.

Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 года была утверждена Распоряжением Правительства РФ от 08.09.2022 № 2567-р.

**Результаты и обсуждение.** Почвы – основа получения первичной продукции АПК и функционирования продовольственных систем. С 1990 года площадь земель сельскохозяйственного назначения уменьшилась с 638 млн га до 383 млн га, а площадь пашни – со 132 млн га до 116 млн га. За 30 лет переведены в лесной фонд 231 млн га земель сельскохозяйственного назначения. Площадь посевов в 1990 году – 118 млн га, а паров 14 млн га, суммарно 132 млн га (100% площади пашни). Сейчас 93 млн га (82 и 11 млн га соответственно). Это составляет только 80% площади статистической пашни. Следовательно, об использовании 20% или 24 млн га пахотных почв нет достоверной информации.

На 01.01.2022 площадь сельскохозяйственных угодий РФ во всех категориях земель составила порядка 222 млн га, или 13% всего земельного фонда страны. Почвы на 65% площади пашни, 28% сенокосов и 50% пастбищ подвержены разрушающему, часто комплексному, воздействию водной эрозии, дефляции, периодических засух, суховеев и пыльных бурь, а также иных деградиционных процессов [1].

С 1992 года новые социально-экономические и погодно-климатические условия в совокупности с проведенной земельной реформой, легализовавшей рынок и частную собственность на земельные участки, позволили определить наиболее приемлемые территории для ведения эффективного и рентабельного земледелия с учетом свойств и характеристик пахотных почв. В первые пять лет 2000-х годов появились признаки стабилизации ситуации. Из оборота постепенно выводились изначально мало плодородные почвы, расположенные в Нечерноземной зоне страны с низким биоклиматическим потенциалом (табл. 1). Они имеют повышенную кислотность, нуждаются в проведении весьма капиталоемких мероприятий – коренном улучшении и комплексной мелиорации.

Мы провели биогеохимическую оценку использования почвенных ресурсов в земледелии за последний 52-летний период. Часть приходных статей баланса основных элементов минерального питания растений азота, фосфора и калия в д.в. (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) представлена в таблице 1.

С 1991 года отмечается снижение применение всех минеральных удобрений, мелиорантов и иных агрохимических средств (табл. 1). Следовательно, в конечном итоге урожаи формируются за счет накопленных ресурсов плодородия пахотных почв. Отрицательный баланс основных трех элементов минерального питания по 2022 год за 32 года в совокупности превысил 150 млн т в д.в. Количество получается при расчете их содержания в собранных урожаях плюс соответствующее количество побочной продукции, необходимое для формирования товарной части (например, зерно и солома; клубни и ботва, т.д.). Это так называемый «хозяйственный баланс».

Более точные расчеты должны включать особенности поведения минеральных удобрений в почве, коэффициенты усвоения растениями питательных веществ, их миграцию по профилю, потери (включая газообразные для азота) и иные расходные и приходные статьи баланса элементов в агроценозах (внесение органических удобрений и т.д.). Площадь пашни нужно рассчитывать, суммируя посевную и парующую. Потери элементов идут и на парующих участках. Помимо агрохимических средств, выделяют также и иные приходные статьи баланса (семена, фоновые выпадения, возделывание бобовых культур, обогащающих почву доступным азотом и т.д.). Часть побочной продукции также не увозится с полей.

Проведенное нами исследование показало, что в земледелии России объемы применяемых удобрений и мелиорантов недостаточны для воспроизводства плодородия почв. Баланс элементов минерального питания растений стабильно отрицательный. В соотношении вносимых N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O (д.в.) превалирует азот – 1,0:0,4:0,27, что далеко от оптимального и научно обоснованного, учитывая агрохимические параметры пахотных почв страны: 1,0:0,6:0,4.



Таблица 1. Площади посевов, паров, их сумма, применение минеральных удобрений в пересчете на 100% питательных веществ (д.в.), внесение известковых материалов и органических удобрений в России с 1971 по 2021 год (расчёты автора по данным государственной и ведомственной статистики)

Период, годы	Средняя площадь, млн га в год			Применение минеральных удобрений в среднем в год		Внесение, млн т физической массы в среднем в год	
	чистых паров	посевов	в сумме	млн т д.в.	кг д.в./га посевов	известковых материалов	органических удобрений
1971–1975	9,7	122,5	132,2	6,0	49,0	14,0	250,0
1976–1980	8,4	124,2	132,6	8,7	70,0	20,8	340,0
1981–1985	12,0	119,5	131,5	10,9	91,2	27,4	390,0
1986–1990	14,2	118,0	132,2	13,0	110,2	31,0	420,0
1991–1995	15,1	109,9	125,0	5,3	48,2	16,0	232,6
1996–2000	18,0	92,2	110,2	1,4	15,2	2,0	80,2
2001–2005	16,2	79,7	95,9	1,4	17,6	2,5	56,6
2006–2010	14,0	76,0	90,0	1,8	23,7	2,1	50,8
2011–2015	13,0	77,5	90,5	1,9	24,5	2,1	57,7
2016–2020	11,8	79,7	91,5	2,6	32,2	2,3	68,4
2021	11,6	80,4	92,0	3,3	41,0	2,4	70,2
2022	11,0	81,6	92,6	3,4	41,7	2,1	70,1

Примечание. Значения расчетных показателей в таблице округлены до десятых. На Мартовском (1965 года) Пленуме ЦК КПСС модернизацию аграрного производства планировалось осуществлять с помощью химизации, мелиорации и комплексной механизации. До этого времени под посевы вносили менее 10 кг д.в./га минеральных удобрений. До 2000 года объем поставок минеральных удобрений для сельского хозяйства страны соответствовал (в среднем) объему их применения; с 2001 года приведены данные Росстата по объему их ежегодному внесению под посевы в сельскохозяйственных организациях. Дозы применения удобрений на гектар получены делением объема внесения по стране на площадь посевов по годам.

Органическое вещество (гумус) почвы является системообразующим фактором ее функционирования, определяет свойства, режимы и плодородие. Для предотвращения декарбонизации пахотных почв на имеющуюся площадь посевов и паров – 92 млн га, необходимо вносить в среднем по 6 т/га органических удобрений в год, или боле 550 млн т. Текущий уровень – 70 млн т. Торф в качестве удобрения сейчас не используется.

Пока накопленные ресурсы плодородия почв, в том числе запасы элементов минерального питания растений (основных, а также кальция, магния, серы, микроэлементов и даже подвижного кремния и т.д.), необходимых для формирования урожаев, определяют возможность АПК получать продукцию растениеводства. Они же определяют и предел этих возможностей.

Федеральный закон от 30.12.2021 № 475-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 475-ФЗ разработан во исполнение указания Президента РФ от 14.05.2020 № Пр-817 в целях установления правовых основ осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Информация подлежит внесению в государственный реестр (далее – Реестр), ведение которого осуществляется Минсельхозом РФ посредством Системы государственного информационного обеспечения в сфере сельского хозяйства, созданной и функционирующей в соответствии со ст. 17 Федерального закона от 29.12.2006 № 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства».

Реестр является источником информации для проведения мероприятий по земельному надзору, а также государственным информационным ресурсом, содержащим подтвержденные сведения о фактическом использовании земельного участка из земель сельскохозяйственного

назначения (Постановление Правительства РФ от 02.02.2023 № 154 «О порядке ведения государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения» (вместе с «Правилами ведения государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения»)).

Государственный мониторинг земель в отношении земель сельскохозяйственного назначения является подсистемой единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), где осуществляются поиск, получение (сбор), хранение, обработка (обобщение, систематизация) и анализ информации о состоянии земель сельскохозяйственного назначения.

В Федеральный закон от 16.07.1998 № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» были внесены следующие изменения:

1. К полномочиям органов государственной власти РФ в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения относятся разработка, утверждение и реализация государственных программ, содержащих мероприятия в области обеспечения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, контроль за выполнением таких программ, а также осуществление государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и ведение государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения.

2. К полномочиям органов государственной власти субъектов РФ в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения относятся разработка и принятие их законов и иных нормативных правовых актов, контроль за их соблюдением, а также сбор, обобщение и предоставление сведений в указанный Реестр.

3. Собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы имеют право (ст. 7, абз. 4) представлять в федеральное государственное бюджетное учреждение, указанное в ст. 15 настоящего Федерального закона, сведения об использовании и состоянии земель сельскохозяйственного назначения, в том числе о результатах почвенных, геоботанических и других обследований, проведенных в соответствии с абз. 3 настоящей статьи, и получать в установленном порядке из Реестра сведения об их земельных участках.

4. Обеспечение плодородия земель сельскохозяйственного назначения осуществляется по следующим основным направлениям, включая осуществление государственного мониторинга, в том числе государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

5. Государственный учет показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения проводится в целях формирования полной и достоверной информации о нем, динамике его изменения, а также включения в Реестр этих сведений.

6. Реестр представляет собой государственный информационный ресурс, содержащий свод достоверных систематизированных сведений о состоянии земель сельскохозяйственного назначения, об их использовании и набор иных сведений. Основой является информация, полученная в ходе мониторинга земель, при государственном учете показателей состояния плодородия, а также иные сведения о землях, полученные, в том числе, посредством единой системы межведомственного электронного взаимодействия.

Картографической основой Реестра является единая электронная картографическая основа, создаваемая и обновляемая в соответствии с законодательством о геодезии и картографии, на которой воспроизводятся границы сельскохозяйственных угодий и иных земель сельскохозяйственного назначения.

Постановлением Правительства от 11.05.2022 № 848а к полномочиям Минсельхоза отнесены 5.2.211. – утверждение форма паспорта земельного участка из состава земель сельскохозяйственного назначения, форматы предоставления сведений из государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения и форма направления запроса о предоставлении сведений из указанного реестра и 5.6.13. – ведение государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения.

Приказ Минсельхоза России от 13.03.2023 № 164 «Об утверждении формы паспорта земельного участка из состава земель сельскохозяйственного назначения, форматов предоставления сведений из государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения и формы направления запроса о предоставлении сведений из указанного реестра» начал действовать с 11.04.2023. Им утверждены: форма паспорта земельного участка из

состава земель сельскохозяйственного назначения; форматы предоставления сведений из государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения; форма направления запроса о предоставлении сведений из государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения.

**Заключение.** Государственный мониторинг земель сельскохозяйственного назначения представляет собой систему наблюдений, оценки и прогнозирования, направленных на получение достоверной информации о состоянии и об их использовании. Он осуществляется федеральным органом исполнительной власти с участием органов государственной власти субъектов РФ. Основные направления агрохимического обслуживания включают осуществление государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, в том числе государственного учета показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения.

В статье 7 Федерального закона от 29.12.2006 № 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» указано, что государственная поддержка развития сельского хозяйства, устойчивого развития сельских территорий, осуществляется, в том числе (п. 8), обеспечением мероприятий по повышению плодородия почв. Очевидно, что пока данное положение не реализуется в отечественном АПК в полном объеме.

Деграция, дегумификация (декарбонизация) и потеря накопленных ресурсов плодородия пахотных почв, в том числе запасов доступных растениям форм элементов минерального питания, является биогеохимической угрозой национальной, экологической и продовольственной безопасности России.

#### Литература

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с.

#### BIOGEOCHEMICAL ASPECTS OF SOIL MONITORING OF AGRICULTURAL LANDS

D.M. Khomiakov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, khom@bk.ru

*Summary.* Analysis of the past 32-year period of development of agriculture in the country has shown that there is a negative balance of elements of mineral nutrition of plants on Russian arable land. The formation of biomass and harvests occurred due to reserves previously accumulated, and not yet replenished, fertility of arable soils. Further growth of yields, improvement of the quality of commercial products obtained, can be achieved only within the framework of the biogeochemical technological paradigm, which should be reflected in the monitoring of soils of agricultural lands.

*Keywords:* monitoring of agricultural lands, soil, fertility, agrochemicals, balance of elements of mineral nutrition of plants.

УДК 57.044; 631.46

#### ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ПО АКТИВНОСТИ ДЕГИДРОГЕНАЗ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

Н.И. Цепина<sup>1</sup>, С.И. Колесников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, serinanatalia@yandex.ru

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kolesnikov@sfedu.ru

**Аннотация.** В настоящем исследовании дана оценка экотоксичности наночастиц серебра размером 10 и 100 нм и микрочастиц серебра размером 1000 нм в концентрациях (1, 10 и 100 мг/кг) по активности дегидрогеназ чернозема обыкновенного. В ходе исследования было обнаружено, что степень экотоксического влияния на активность дегидрогеназ зависела от дозы и размера частиц серебра. На основании усредненного по дозам значения был составлен ряд экотоксичности частиц серебра разного размера по активности дегидрогеназ (% от контроля): 10 нм (82) > 100 нм (96) > 1000 нм (103).

**Ключевые слова:** загрязнение, наночастицы, микрочастицы, биотестирование, ферментативная активность.

Растущее поступление в почву серебра в виде частиц разных размеров привело к опасениям по поводу их потенциального неблагоприятного воздействия на биоту. Существуют исследования, которые демонстрируют экотоксические эффекты наночастиц серебра, проявляющиеся в ингибировании активности почвенных ферментов [1], численности бактерий [2] и снижении всхожести и длины корней растений [3]. Поскольку активность почвенных ферментов относится к важным биоиндикаторам для определения токсичности химических веществ в почвенной среде, то целесообразно использовать их и при загрязнении наночастицами и микрочастицами серебра.

Цель исследования – дать оценку экотоксичности разных размеров частиц серебра по активности дегидрогеназ чернозема обыкновенного.

В качестве объекта исследования выбран чернозем обыкновенный. Чернозем обладает высоким уровнем плодородия, благодаря чему интенсивно используется в сельском хозяйстве. В лабораторных условиях было смоделировано загрязнение чернозема обыкновенного наночастицами серебра размером 10 и 100 нм и микрочастицами серебра размером 1000 нм в концентрациях 1, 10 и 100 мг/кг почвы. Для оценки влияния наночастиц серебра размером 10 и 100 нм и микрочастиц серебра размером 1000 нм на активность дегидрогеназ чернозема обыкновенного исследовали верхний слой почвы (0–20 см). Дозы были рассчитаны исходя из фоновых концентраций серебра. Поскольку предельно допустимая концентрация (ПДК) серебра не установлена, его содержание можно выразить в виде условно допустимой концентрации (УДК), что для большинства тяжелых металлов составляет около трех-четырех фоновых концентраций в почве. Фоновое содержание серебра в черноземе обыкновенном составляет 0,303 мг/кг. Содержание серебра в почвах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Соответственно, УДК приняли равной 1 мг/кг. Наночастицы и микрочастицы серебра вносили в почву в количестве 3, 30 и 300 фоновых концентраций (1, 10 и 100 мг/кг соответственно).

Экотоксичность наночастиц и микрочастиц серебра оценивали с использованием биологических методов анализа почв [4].

Для проверки полученных данных на достоверность был проведен дисперсионный анализ с последующим определением наименее значимой разницы (НРС).

Результаты влияния наночастиц серебра размером 10 и 100 нм и микрочастиц серебра размером 1000 нм представлены на рис. 1.

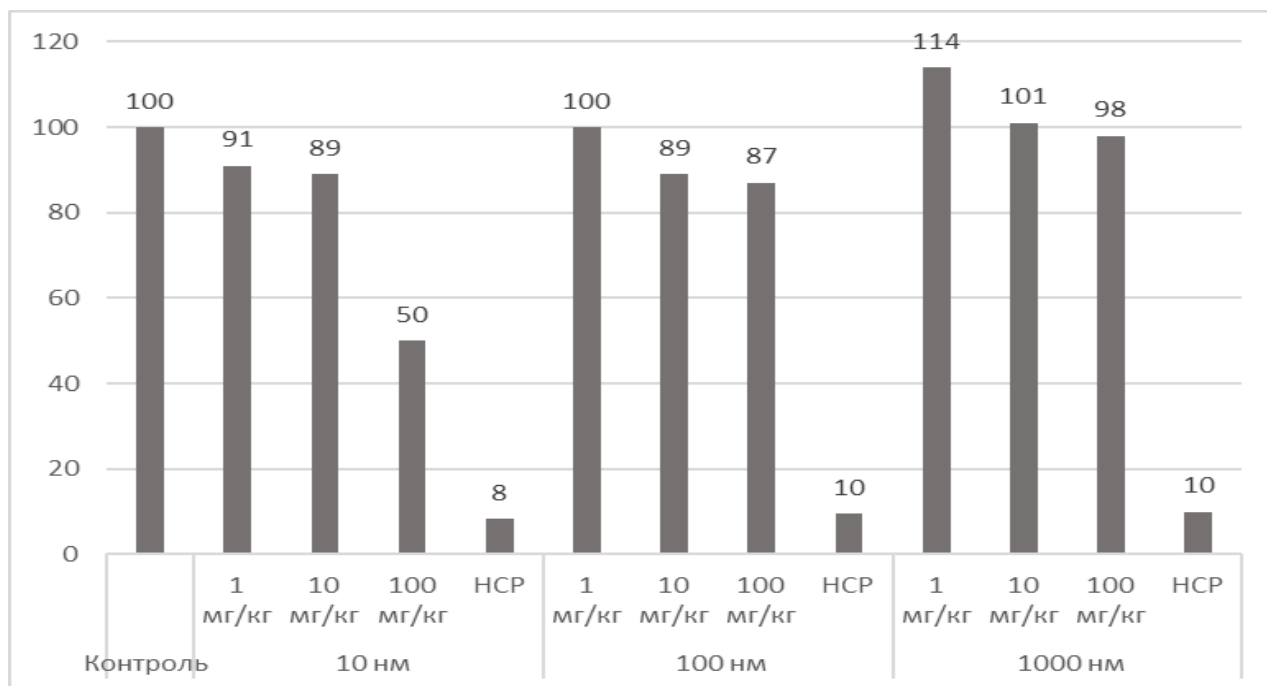


Рисунок 1. Влияние нано- 10 и 100 нм и микрочастиц 1000 нм серебра на активность дегидрогеназ чернозема обыкновенного.



Как видно из рис. 1, доза 1 мг/кг микрочастиц серебра 1000 нм оказала стимулирующий эффект на активность дегидрогеназ чернозема обыкновенного относительно контроля на 14%. Доза 10 мг/кг наночастиц 100 нм и микрочастиц серебра 1000 нм вызвала одинаковое ингибирование активности дегидрогеназ относительно контроля на 11%. При внесении в почву 100 мг/кг наночастиц 10 нм и наночастиц серебра 100 нм активность дегидрогеназ снижалась относительно контроля на 50 и 13% соответственно.

На основании усредненного по дозам значения был составлен ряд экотоксичности частиц серебра разного размера по активности дегидрогеназ (% от контроля): 10 нм (82) > 100 нм (96) > 1000 нм (103).

Установлено, что наночастицы серебра размером 10 нм оказывали более сильное экотоксическое влияние на активность дегидрогеназ чернозема обыкновенного, а наночастицы серебра 100 нм и микрочастицы 1000 нм менее выраженное токсическое воздействие.

По результатам исследований проведенных ранее показано, что наночастицы серебра ингибировали активность дегидрогеназ при 10 и 100 мг/кг относительно контроля на 17 и 41% соответственно [3]. Ранее в исследованиях при обработке почвы дозой 100 мг/кг была отмечена самая низкая активность почвенной дегидрогеназы через 7 дней инкубации [5]. Отмечена высокая чувствительность активности дегидрогеназ к наночастицам серебра, при 100 мг/кг снижение показателя на 92% от контроля через сутки после загрязнения [6]. При этом активность дегидрогеназ была более чувствительна к загрязнению наночастицами серебра, чем активность каталазы [3].

**Финансирование.** Исследование выполнено при государственной поддержке гранта Российского научного фонда № 22-74-00054 (2022-2024 гг.).

#### Литература

1. Eivazi F., Afrasiabi Z., Jose E. Effects of Silver Nanoparticles on the Activities of Soil Enzymes Involved in Carbon and Nutrient Cycling // *Pedosphere*. 2018. V. 28. P. 209–214.
2. Grün A., Straskraba S., Schulz S., Schloter M., Emmerling C. Long-term effects of environmentally relevant concentrations of silver nanoparticles on microbial biomass, enzyme activity, and functional genes involved in the nitrogen cycle of loamysoil // *Journal of Environmental Science*. 2018. V. 69. P. 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.04.013>
3. Kolesnikov S.I., Tsepina N.I., Minnikova T.V., Kazeev K.SH., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Minkina T.M., Mazarji M., Singh R.K., Rajput V.D. Influence of Silver Nanoparticles on the Biological Indicators of Haplic Chernozem // *Plants*. 2021. V.10. P.1022. <https://doi.org/10.3390/plants10051022>
4. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. – 356 с.
5. Yan C., Huang J., Cao C., Li R., Ma Y., Wang Y. Effects of PVP-coated silver nanoparticles on enzyme activity, bacterial and archaeal community structure and function in a yellow-brown loam soil // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. V. 27. P. 8058–8070. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07347-5>
6. Balandeh S., Lakzian A., Javadmanesh A. Effects of Silver Nanoparticles on Soil Microbial Activity and Bacterial Populations in a Calcareous Soil Using qPCR // *Journal of Water and Soil*. 2022. V. 35 (6). P. 859–843. <https://doi.org/10.22067/JSW.2021.67908.1004>

#### ASSESSMENT OF THE ECOTOXICITY OF SILVER NANOPARTICLES BY THE ACTIVITY OF ORDINARY CHERNOZEM DEHYDROGENASES

N.I. Tsepina<sup>1</sup>, S. I. Kolesnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, cepinanatalia@yandex.ru

<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, kolesnikov@sfedu.ru

*Summary.* In this study, the ecotoxicity of silver nanoparticles of 10 and 100 nm in size and silver microparticles of 1000 nm in concentrations (1, 10, and 100 mg/kg) was assessed by the activity of ordinary chernozem dehydrogenases. During the study, it was found that the degree of ecotoxic effect on the activity of dehydrogenases depended on the dose and size of silver particles. Based on the

*dose-averaged value, a number of ecotoxicity of silver particles of different sizes in terms of dehydrogenase activity (% of control) was compiled: 10 nm (82) > 100 nm (96) > 1000 nm (103).*

*Keywords: pollution, nanoparticles, microparticles, biotesting, enzymatic activity.*

УДК 632.15

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ВБЛИЗИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Н.П. Черникова<sup>1</sup>, В.А. Чаплыгин<sup>1</sup>, С.С. Манджиева<sup>1</sup>, А.В. Барахов<sup>1</sup>, Е.С. Лацынник<sup>1</sup>,  
Т.М. Минкина<sup>1</sup>, Д.В. Брень<sup>1</sup>, Т.И. Сиromля<sup>2</sup>, Ю.А. Литвинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, nat.tchernikova2013@yandex

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск

**Аннотация.** Проведены исследования по содержанию тяжелых металлов (ТМ) в почвах вокруг электростанции (1-5 км). Общее содержание ТМ вокруг НЧГРЭС снижается в ряду:  $Mn > Zn \geq Cr > Cu \geq Ni > Pb > Cd$ . При этом содержание подвижных форм ТМ составило по  $Cu - 4$  ПДК,  $Pb - 3$  ПДК,  $Zn$  и  $Cr - 2$  ПДК и  $Ni - 1$  ПДК.

**Ключевые слова:** загрязнение, подвижность, непрочно связанные соединения, Новочеркасская ГРЭС.

Предприятия топливно-энергетического комплекса являются источниками выбросов тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду. Новочеркасская электростанция (НЧГРЭС), крупнейший поставщик электроэнергии на юге России, выбрасывает до 1% от общего объема загрязняющих веществ в атмосферный воздух Российской Федерации и до 90% аэрозольных выбросов в Ростовской области [1].

Для выявления влияния выбросов электростанции на концентрацию тяжелых металлов в почвах вблизи НЧГРЭС и фоновой территории ООПТ «Персиановская заповедная степь» были отобраны поверхностные пробы почвы (0–20 см) в разных направлениях на расстоянии 1–5 км от предприятия. Почвенные образцы отбирались с глубины 0–20 см (ГОСТ Р 58595-2019). Для исследования общего (валового) содержания в почве  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Cd$ ,  $Ni$ ,  $Pb$  образцы анализировали методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре «Спектроскан МАКС-GV» (Спектрон, Россия) в соответствии с аттестованной методикой (ПНД Ф 16.1.42-04, 2010). Поскольку валовое содержание является неинформативным для оценки биодоступности металлов, изучены их непрочно связанные соединения (НС). Методом параллельного экстрагирования определяли группу НС, характеризующую комплексное состояние подвижных соединений ТМ в почве и включающую обменные, комплексные и специфически сорбированные соединения [2]. В качестве экстрагентов используют растворы 1н.  $NH_4Ac$  (рН 4.8), 1%-ный ЭДТА в  $NH_4Ac$ , 1н.  $HCl$ . Извлекаемые металлы характеризуют содержание обменных соединений (вытяжка 1н.  $NH_4Ac$ ), комплексных (разность между количествами металлов, экстрагируемых второй и первой вытяжками), специфически сорбированных соединений (разность между количествами металлов, экстрагируемых вытяжками 1н.  $HCl$  и 1 н.  $NH_4Ac$ ). Содержание металлов в экстрактах определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (ААС) (атомно-абсорбционный спектрометр «Квант-2Z», ООО «Кортек», Москва).

Валовое содержание исследуемых металлов –  $Zn$ ,  $Mn$ ,  $Cu$ ,  $Pb$ ,  $Ni$ ,  $Cd$  и  $Cr$  в черноземе обыкновенном карбонатном фоновой территории не превышает значений ОДК (СанПИН-1.2.3685-21) (рис. 1). В зависимости от расстояния и расположения мониторинговых площадок от НЧГРЭС выявлены различия в накоплении ТМ в почвах по сравнению с их фоновым уровнем. В среднем общее содержание вблизи НЧГРЭС по  $Pb$  и  $Cd$  в 4 раза выше, чем на фоновой территории, по  $Zn$  и  $Cu$  – в 3 раза, по  $Ni$  и  $Cr$  – в 2 раза, а по  $Mn$  – в 1 раз. Общее содержание ТМ вокруг НЧГРЭС снижается в ряду:  $Mn > Zn \geq Cr > Cu \geq Ni > Pb > Cd$ . В зависимости от расположения исследуемых участков вокруг НЧГРЭС, наибольшее количество металлов накапливается в почве по северо-западному направлению, соответствующему генеральному направлению ветра.

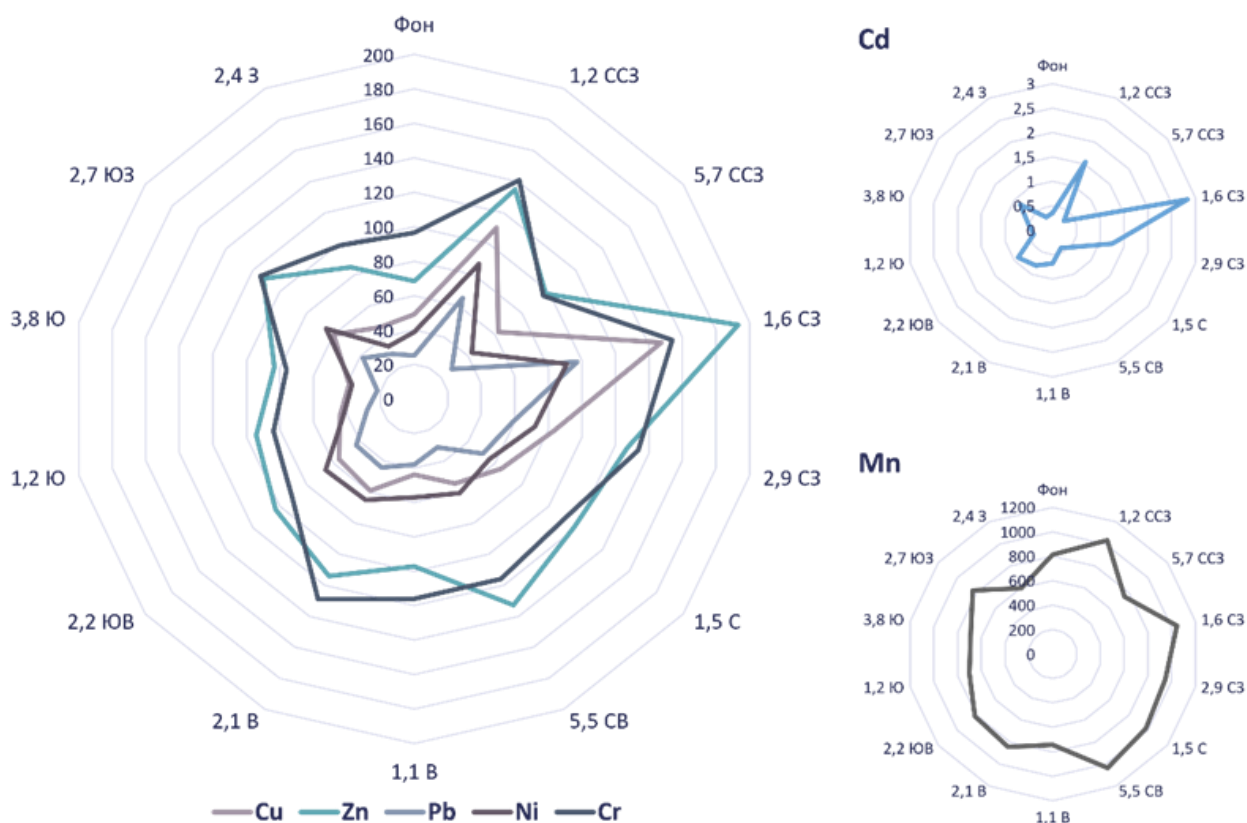


Рисунок. 1. Валовое содержание тяжелых металлов в фоновой почве и почвах территорий, прилегающих к НЧГРЭС, мг/кг.

В почве ООПТ «Персиановская степь» содержание НС ТМ составляет 10–18%, в среднем – 12% от общего содержания металла. При наибольшем валовом содержании металлов в пределах 2 км на ССЗ-СЗ от НЧГРЭС содержание НС увеличивается по Pb до 58%, Zn – 61%, Ni и Mn – 45%, Cu – 48%, Cd – 66% и Cr – 41%. При этом превышение ПДК подвижных форм ТМ (СанПИН-1.2.3685-21) по Cu составляет 4 раза, Pb – 3 раза, Zn и Cr – 2 раза, а Ni – 1 раз. На площадках, расположенных в пределах 5 км от ГРЭС, но в направлениях, отличных от генерального, валовое содержание и подвижность ТМ ниже. Медианное содержание обменных форм ТМ превышает фоновые значения в 42 раза, комплексных форм – в 12 раз и специфически сорбированных форм – 17 раз. Металлы существенно различаются между собой по соотношению форм в групповом составе соединений: для Zn, Mn, Cr, Ni и Cd характерна высокая доля специфически сорбированных и обменных форм в группе НС соединений, а для Cu и Pb характерна большая доля специфически сорбированных и комплексных форм (рис. 2).

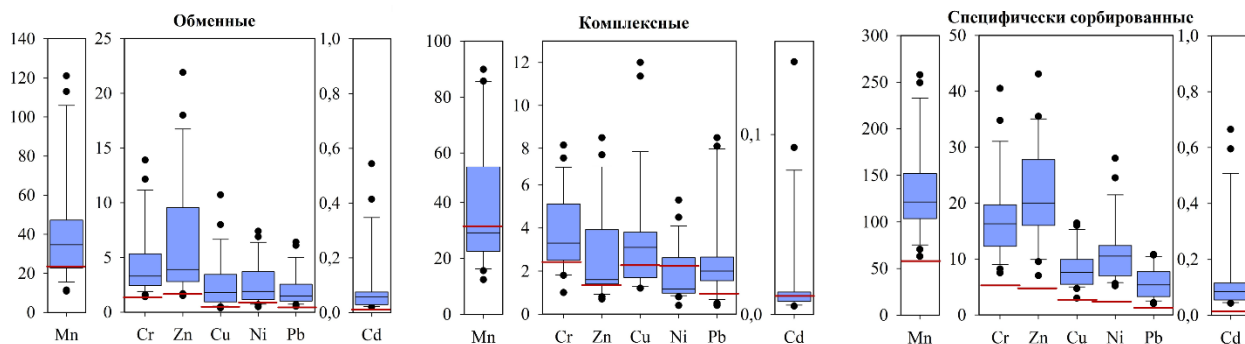


Рисунок. 2. Диаграммы размаха содержания непрочно связанных соединений тяжелых металлов в фоновой почве и почвах территорий, прилегающих к ГРЭС, мг/кг. Примечание: красным отмечен фон.

Таким образом, установлено загрязнение почвы Zn, Cu, Pb, Ni, Cd и Cr и их подвижными соединениями на близлежащей территории вокруг Новочеркасской электростанции. Несмотря на высокое содержание Mn в почве по сравнению с другими ТМ, количество его подвижных форм соответствует ПДК.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10097) в Южном федеральном университете.

#### Литература

1. Chaplygin V., Dudnikova T., Chernikova N., Fedorenko A., Mandzhieva S., Fedorenko G., Rajput V. D. *Phragmites australis* cav. As a bioindicator of hydromorphic soils pollution with heavy metals and polyaromatic hydrocarbons //Chemosphere. 2022. № 308. 11 с.
2. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г., Крыщенко В.С., Манджиева С.С. Комбинированный прием фракционирования соединений металлов в почвах //Почвоведение. 2008. № 11. С. 1324–1333.

#### HEAVY METAL CONTENT IN SOILS NEAR THE POWER STATION

N.P. Chernikova<sup>1</sup>, V.A. Chaplygin<sup>1</sup>, S.S. Mandzhieva<sup>1</sup>, A.V. Barahov<sup>1</sup>, E.S. Latsinnik<sup>1</sup>, T.M. Minkina<sup>1</sup>, D.V. Bren<sup>1</sup>, T.I. Siromlya<sup>2</sup>, Yu.A. Litvinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, nat.tchernikova2013@yandex

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk

*Summary. Studies on the content of heavy metals (TM) in the soils around the power station (1-5 km) have been carried out. The total content of TM around Novochoerkassk state district power station decreases in the series: Mn > Zn ≥ Cr > Cu ≥ Ni > Pb > Cd. At the same time, the content of mobile forms of TM was Cu – 4MPC, Pb – 3 MPC, Zn and Cr – 2 MPC and Ni – 1 MPC.*

*Keywords: pollution, mobility, loosely bound compounds, Novochoerkassk state district power station.*



## СЕКЦИЯ 6. ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

УДК: 631.4

### КОРЕЛЛЯТИВНЫЕ СВЯЗИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ ТУВЫ С УСЛОВИЯМИ КЛИМАТА

Н.Л. Бажина, М.И. Дергачева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,  
natasha-bazhina@mail.ru, mid555@yandex.ru

***Аннотация.** Дан анализ количественных характеристик спектров флуоресценции испускания гуминовых кислот горно-тундровых почв Тувы, которые различаются экологическими условиями формирования, и показана статистически достоверная связь их со среднегодовыми параметрами климата: температурой воздуха, осадками и суммой активных температур  $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

***Ключевые слова:** горная тундра, гуминовые кислоты, параметры флуоресценции, локальные участки, экологические условия, мезо- и микроклимат.*

В настоящее время проблема оценки экологической обусловленности состава, структурных особенностей и свойств гуминовых кислот (ГК) на количественном уровне привлекает внимание исследователей, решающих широкий круг прикладных задач, где требуются знания о состоянии природной среды локальных территорий. Это обусловлено тем, что гуминовые кислоты как один из компонентов почвы, представляет собой природную открытую систему, способную отражать, кодировать и сохранять информацию об экологических условиях своего формирования, то есть выступать в качестве индикатора оценки состояния природной среды разных периодов истории ее развития [1–4]. В сложных природных системах, таких как почвы, на формирование и функционирование которых оказывает влияние разнообразные факторы природной среды, важным оказывается выявление влияния какого-то одного фактора или условия. Для этого необходим монофакторный анализ, то есть рассмотрение набора сходных объектов, отличающихся только по одному фактору или его характеристике. Увеличение числа подобных исследований будут приближать возможность всесторонних количественных описаний закономерностей функционирования экосистем.

Нами проведено изучение таких рядов почв, условия формирования которых различается по одному из факторов: мезоклимату, экспозиции склона или положению в катене. В качестве индикатора состояния почв в настоящем исследовании используются флуоресцентные свойства гуминовых кислот тундровых почв Тувы.

Тува, в силу своего природного разнообразия по сочетанию природных условий и ландшафтной неоднородности, выступает удобным объектом для решения таких задач. В пределах ее территории широко развито горное почвообразование, специфичность которого на разных локальных участках обуславливается сложным сочетанием экологических условий, в том числе положения в геоморфологическом профиле и климатических характеристик.

Для оценки состояния гуминовых кислот был применен метод флуоресцентной спектроскопии. Он отличается быстротой выполнения, высокой точностью, а также возможностью получать информацию на основе микроколичеств вещества. Кроме того, количественные данные о флуоресценции гуминовых кислот не противоречат другим их характеристикам, используемым в качестве индикаторов при оценке состояния природной среды, которые обсуждались в работах [4–7]. Установленная ранее тесная связь между ними предопределяет возможность использования флуоресцентных свойств ГК наравне с другими в качестве индикатора при оценке изменчивости гуминовых кислот, содержащих их почв и условий формирования.

Объектами исследования послужили горно-тундровые почвы, занимающие верхние границы высокогорных областей Шапшальского хребта и Алашского нагорья Западного Саяна, а также хребта Западного Танну-Ола. Согласно их местоположению, были выделены ключевые участки с широко распространенными здесь типичными тундровыми почвами.

Ключевой участок Монгун-Тайга, находящийся в юго-западной части Тувы, приурочен к Монгун-Тайгинскому высокогорному району [8]. Наиболее распространенным типом почв являются горно-тундровые примитивные, которые в зависимости от экспозиции склона, находятся на участках с лишайниково-кобрезиево-дриадовыми и травянисто-мохово-кустарничковыми сообществами. Как правило, они отличаются малой мощностью профиля, грубой скелетностью и имеют один–два горизонта. Ключевые участки Сут-Холь-I и Бора-Тайга расположены в юго-восточной части Тувы, относящейся к Алашскому горному району [8]. Они входят в высокогорную тундрово-луговую зону. Для ключевого участка Сут-Холь-I характерно высокое увлажнение и небольшая испаряемость влаги в условиях пониженной температуры. Этот ключевой участок представляет нижнюю часть тундровой зоны, контактирующий с лесной. В напочвенном покрове здесь преобладают лишайниково-кустарничковые сообщества. Преобладающими почвами на этом участке являются горно-тундровые дерновые, которые характеризуются небольшим почвенным профилем, густо задернованным гумусовым горизонтом, меньшей щебнистостью почвенной толщи. В отличие от предыдущего, ключевой участок Бора-Тайга относится к средней подзоне горных тундр, контактирующих со степными участками. Он характеризуется резкими колебаниями температур, небольшим количеством осадков, сильным прерывистым ветром и высокой испаряемостью влаги. На этом участке преобладают горные тундрово-степные почвы, сформированные под злаково-лишайниково-кустарничковой растительностью. Ключевой участок Арысканныг, входящий в Таннуольский горный округ [8], находится на северных склонах хребта Танну-Ола. Высокогорная часть этого участка представлена ерниковой каменистой тундрой с широко развитыми примитивными горно-тундровыми почвами.

Исходя из имеющихся сведений о высоте расположения каждой конкретной почвы и уравнений регрессии по связям климатических показателей с высотой местности н.у.м., выведенных для территории Тувы [4, 9–11], были рассчитаны индивидуальные показатели среднегодовых климатических характеристик (температуры воздуха, количества осадков, суммы температур больше +10 °С) для всех изученных разрезов (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика климатических условий формирования индивидуальных разрезов горно-тундровых почв Тувы (по: [4] с добавлениями)

Ключевой участок	№ разреза	h н.у.м.	Среднегодовые		
			<i>W</i> , мм	<i>T</i> , °С	$\sum t \geq 10^\circ\text{C}$
Монгун-Тайга*	1	2815	665	-7,7	771
	2	2749	652	-7,6	784
	4	2675	637	-7,5	800
	5	2468	595	-7,3	844
	6	2455	592	-7,2	843
	7	2470	595	-7,1	845
	8	2464	594	-7,1	847
	9	2352	571	-6,9	868
	Сут-Холь-I*	207	1862	471	-5,9
209		1840	467	-5,9	976
210		1815	462	-5,8	982
Бора-Тайга	211	2039	362	-6,3	934
	212	2039	362	-6,3	934
	213	2048	364	-6,3	933
	214	2055	365	-6,3	931
	215	2059	365	-6,3	930
Арысканныг	133	2293	559	-7,2	827

Примечание. \*Ключевые участки, разрезы которых расположены по катене.

Таким образом, выбранные для исследования горно-тундровые почвы Тувы, гуминовые кислоты которых обсуждаются в настоящей работе, различаются индивидуальными

микrokлиматическими показателями для каждого разреза, а также показателями мезоклимата, обусловленными положением ключевых участков по отношению к сопредельным локальным территориям, относящимся к другим высотным зонам.

При изучении гуминовых кислот уделялось особое внимание соблюдению идентичности методик отбора почвенных образцов, условий выделения ГК и их анализа. Почвенные образцы отбирались подробно сплошной колонкой каждые 5–10 см и(или) менее в пределах видимых границ генетических горизонтов. Препараты гуминовых кислот выделялись общепринятым методом [12]. Особенностью комплекса процедур было отсутствие жесткой их очистки от минеральных компонентов, согласно [13]. Спектры флуоресценции испускания снимались в диапазоне 300–700 нм при длине волны возбуждения 330 нм на сканирующем спектрофлуориметре Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer. При их интерпретации в качестве количественных параметров использовались: длина волны максимального проявления флуоресценции испускания ГК ( $\lambda_{\max}$ , nm), величина первого момента  $M_1$  [14] и коэффициент  $\alpha$  [15].

Анализ спектров флуоресценции гуминовых кислот горно-тундровых почв, показал, что максимум флуоресценции ГК, приурочен к коротковолновой части спектра, т.е. к синей области. Как показывают данные, приведенные в табл. 2, величина максимума флуоресценции ГК в исследуемых почвах неоднозначна и находится в пределах 420–437 нм.

Таблица 2. Количественные характеристики спектров флуоресценции гуминовых кислот горизонта А горно-тундровых почв Тувы

Экспозиция склона	Положение в геоморфологическом профиле	n	$\lambda_{\max}$ , nm	$M_1$	$\alpha$
<i>Ключевой участок Монгун-Тайга</i>					
Северо-восточная	Эль	3	420±0,5	443±0,8	0,58±0,05
	Транс 1	3	420±0,9	444±0,5	0,60±0,02
	Транс 2	3	420±0,7	444±1,2	0,59±0,05
	Ак	3	420±0,8	445±0,8	0,67±0,04
Северо-западная	Эль	3	420±0,5	443±0,9	0,65±0,03
	Транс 1	3	420±0,9	444±0,8	0,70±0,10
	Транс 2	3	420±0,5	444±0,8	0,72±0,05
	Ак	3	420±0,5	445±1,4	0,75±0,04
В целом для всего участка		24	420±0,8	444±1,2	0,66±0,09
<i>Ключевой участок Арысканьыг</i>					
Северная	Вершина склона	3	420±0,7	440±2,7	0,65±0,2
<i>Ключевой участок Сут-Холь-1</i>					
Юго-западная	Эль	3	424±0,9	458±1,7	0,62±0,03
	Транс	3	424±0,8	458±2,8	0,64±0,03
	Ак	3	424±1,1	459±1,4	0,66±0,01
В целом для всего участка		9	424±1,8	458±3,4	0,64±0,03
<i>Ключевой участок Бора-Тайга</i>					
Южная	Вершина перевала	3	434±1,6	468±1,9	0,78±0,05
		3	434±2,9	469±0,9	0,80±0,02
		3	435±2,4	469±1,3	0,80±0,05
		3	435±3,1	468±1,2	0,80±0,02
		3	434±2,3	468±1,1	0,78±0,05
В целом для всего участка		15	435±3,8	468±3,1	0,79±0,04

Гуминовые кислоты почв, сформированных в условиях тундр с наиболее холодными и влажными условиями климата, отличаются приуроченностью  $\lambda_{\max}$  к наиболее низким абсолютным величинам длин волн, которые не выходят за пределы диапазона 420±0,8 нм. В то же время в почвах, контактирующих со степными участками, положение максимума

флуоресценции сдвинуто в сторону более длинных волн почти на 15 нм, что свидетельствует об усложнении структурных особенностей ГК в условиях, испытывающих влияние более высоких среднегодовых температур воздуха на фоне наименьшего количества среднегодовых осадков (см. табл. 1). Гуминовые кислоты горно-тундровых дерновых почв, формирующиеся в иных, чем остальные, условиях мезоклимата, по расположению максимума флуоресценции испускания ближе к типичным тундровым почвам, чем к тундро-степным (отличие этой величины составляет 4–5 нм и более 10 нм, соответственно).

Другой количественный параметр спектров флуоресценции ГК – первый момент ( $M_1$ ), который позволяет судить о ее полидисперсности и относительной степени насыщенности высокосопреженными ароматическими структурами [16], как и предыдущий показатель, изменяется закономерно. Самые низкие значения  $M_1$  характерны для ГК горно-тундровых примитивных почв, расположенных на ключевых участках Монгун-Тайга и Арысканныг. Этот показатель закономерно увеличивается в зависимости от расположения участков на границе с лесом или горной степью, где он измеряется величинами, лежащими соответственно в диапазонах 455–463 и 465–471.

Аналогичная закономерность также проявляется в изменении еще одной количественной характеристики спектров флуоресценции – величины коэффициента  $\alpha$ , который отражает уровень сложности строения макромолекул ГК, соотношения в них так называемой «ядерной» (ароматической) и периферической (алифатической) частей.

Используя рассчитанные микроклиматические показатели для каждого индивидуального разреза горно-тундровых почв Тувы (см. табл. 1), и особенности параметров флуоресценции испускания, нами выявлены зависимости между ними (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между основными показателями флуоресцентных свойств гуминовых кислот и климатическими параметрами

Климатический показатель	Коэффициент корреляции		
	$\lambda_{\max}$ , nm	$M_1$	$\alpha$
Среднегодовая температура воздуха, °C	0,95	0,98	0,76
Среднегодовое количество осадков, мм	0,89	0,91	0,78
$\sum t > 10^\circ\text{C}$	0,83	0,85	0,75

Для всех количественных показателей спектров флуоресценции ГК обнаружена статистически достоверная связь со среднегодовыми параметрами климата: температурой воздуха, осадками и суммой активных температур  $>10^\circ\text{C}$ . Коэффициенты корреляции колеблются в пределах 0,75–0,98: наиболее тесная связь выявлена для первого момента –  $M_1$ , наиболее низкие их величины (0,75–0,78) характерны для коэффициента  $\alpha$ .

Таким образом, анализ полученного массива данных о флуоресцентных характеристиках ГК высокогорных почв Тувы разных экологических условий формирования, позволил получить информацию о их различии, которая проявляется в положении максимума флуоресценции –  $\lambda_{\max}$ , величинах  $M_1$  и  $\alpha$ , то есть в относительном изменении свойств и структурных особенностей. Тесная корреляция количественных параметров флуоресценции испускания ГК с климатическими показателями на уровне индивидуальных разрезов позволяет использовать эти легко и быстро получаемые характеристики для оценки состояния природной среды в течение периодов разной продолжительности.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

#### Литература

1. Dergacheva M.I. Ecological functions of Soil Humus // Eurasian Soil Science. 2001. V. 34(51). P. 100–105.
2. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
3. Дергачева М.И. Информация о природной среде, сохраняющаяся во времени в составе и структуре гуминовых кислот // Гуминовые вещества в биосфере: тр. V Всерос. конф. с



- международ. участием, Санкт-Петербург, 1–4 марта 2010. СПб.: ИД СПбГУ, 2010. Ч. 1. С. 26–32.
4. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 292 с.
  5. Дергачева М.И. Гуминовые кислоты как индикатор состояния природной среды // Проблемы взаимодействия природы и человека: методы, задачи, перспективы. 1997. С. 50–53.
  6. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // Сибирский экологический журнал. 2012. № 5. С. 667–676.
  7. Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот почв разных условий формирования // Почвы и окружающая среда. 2021. Т. 4. № 4. Е167. DOI: [10.31251/pos.v4i4.167](https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167)
  8. Носин В.А. Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 342 с.
  9. Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Ондар Е.Э., Очур К.О., Рябова Н.Н. Экологическая обусловленность состава и свойств гуминовых кислот почв западной части Тувы // Вестник ОГУ. Оренбург. 2015. № 10. С. 162–165.
  10. Дергачева М.И., Рябова Н.Н. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 15. С. 68–71.
  11. Ондар Е.Э. Гумус почв Тувы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2008. 29 с.
  12. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.
  13. Тихова В.Д., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Шакиров М.М. Исследование кислотного гидролиза для анализа состава гуминовых кислот разного генезиса // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. № 1. С. 1841–1846
  14. Паркер С. Введение в фотолюминесценцию растворов. М.: Иностран. лит., 1968. 156 с.
  15. Лаврик Н.Л. Изучение полидисперсных свойств молекул гуминовых кислот с помощью люминесцентной спектроскопии // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11. № 5. С. 751–755.
  16. Shirshova L.T., Kholodov A.L., Zolotareva B.N. et al. Fluorescence spectroscopy studies of humic substance fractions isolated from permanently frozen sediments of Yakutian coastal lowlands. *Geoderma*. 2009. V. 149, Is. 1–2. P. 116–123. DOI: [0.1016/j.geoderma.2008.11.026](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.026)

CORRELATIVE RELATIONSHIPS OF THE MAIN PARAMETERS OF THE  
FLUORESCENT PROPERTIES OF HUMIC ACIDS TUNDRA SOILS OF TUVA  
WITH CLIMATIC CONDITIONS

N.L. Bazhina, M.I. Dergacheva

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Novosibirsk,  
[natasha-bazhina@mail.ru](mailto:natasha-bazhina@mail.ru), [mid555@yandex.com](mailto:mid555@yandex.com)

*Summary. An analysis of the quantitative characteristics of the fluorescence emission spectra of humic acids in the Tuva mountain-tundra soils which differ in ecological conditions of formation, is given, and a statistically significant relationship between them and the average annual climate parameters is shown: air temperature, precipitation and sum of active temperatures >10 °C.*

*Keywords. mountain tundra, humic acids, fluorescence parameters, local areas, ecological conditions, meso- and microclimate.*

УДК 631.4

## ГУМУСОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПОЧВ В МЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

М.И. Дергачева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mid555@yandex.ru

***Аннотация.** Рассматриваются вопросы поведения системы гумусовых веществ почв в меняющемся климате в разных масштабах времени и географического пространства. Анализ монофакторных рядов, в которых единственной переменной являются климатические параметры, показал, что наиболее четко на всех уровнях изучения, состояние климата отражается на соотношении основных структурообразующих элементов – водорода и углерода, а также тесно коррелирующих с этим показателем спектрофотометрических количественных параметров гуминовых кислот.*

***Ключевые слова:** система гумусовых веществ, индикаторы, изменение климата, реконструкции палеоклиматов, прогноз.*

Проблема поведения почв в меняющемся климате является многоаспектной. Один из них подразумевает изменение климата во времени от глобальных до ежегодных уровней, и даже ежедневных погодных условий, другой – в пространстве со сложной изменчивостью климата в зональном, вертикальном и локальном аспекте. Есть круг проблем, связанных с необходимостью установления закономерностей влияния на устойчивость – изменчивость почв отдельных параметров климата как одного из важнейших факторов формирования и функционирования почв, например, для территорий с гумидным и аридным климатами, на территориях с разным влиянием многолетней мерзлоты, почв нарушенных и ненарушенных антропогенным воздействием и т.п.

В последнее время появилось много работ, рассматривающих изменчивость отдельных характеристик почв на фоне детальных изменений климатических параметров в течение ближайших двух-трех десятилетий, и словосочетание «меняющийся климат» подразумевает именно этот аспект. Такие оценки изменений в состоянии почв за короткие промежутки времени на уровне локальных участков со временем станут основой для установления направленности изменения процесса почвообразования при глобальном потеплении климата. Но пока сделать выводы о том, какие резульативные изменения в этих условиях претерпит со временем направленность и количественные параметры педогенеза на разных территориях с неодинаковыми климатическими режимами, используя подобные исследования, затруднительно.

Существенную помощь при решении этой проблемы могут оказать ретроспективные реконструкции изменчивости климата в длительные отрезки времени плейстоцен-голоценового периода палеогеографической истории Земли, которые позволяют проследить изменения педогенных признаков в отложениях при резком (или постепенном) потеплении условий формирования почв. В XXI веке исследования такого направления существенно расширились, а число публикаций значительно возросло, но количество нерешенных проблем и более частных вопросов скорее возросло, чем уменьшилось.

При решении любых вопросов, связанных с изменчивостью почв в меняющейся климатической обстановке, требуются надежные индикаторы для оценки и мониторинга их состояния. Ряд относительно легко получаемых индикаторов, основанных на составе и свойствах гуминовых кислот и их соотношении с другими компонентами гумусовых веществ [1], могут использоваться при решении разных вопросов, касающихся состояния и изменчивости почв и формирующей их природной среды. Именно характеристике этих индикаторов и примерам их применимости при решении проблемы поведения почв в меняющемся климате будет посвящен доклад, краткие тезисы которого изложены ниже.

1. Выявленная ранее высокая информативность соотношения основных структурообразующих элементов гуминовых кислот – водорода и углерода, а также тесно коррелирующего с ним ряда параметров оптических, флуоресцентных и других свойств этого компонента системы гумусовых веществ в качестве маркеров состояния и изменения климата, фиксирующих и сохраняющих во времени отклик системы гумусовых веществ (СГВ) на его изменение, позволяет использовать их при диагностике состояния почв и уточнении прогнозных оценок их поведения в меняющемся климате.

2. Тесные связи количественных показателей свойств-индикаторов гуминовых кислот с основными параметрами микроклиматических условий формирования и функционирования каждого индивидуального почвенного разреза, вычисленных на основе выведенных уравнений регрессии, характеризующих закономерности изменения климата на территориях регионального масштаба с учетом географической приуроченности, связанной с природным районированием, геоморфологического положения почвенного профиля, экспозиции и положения относительно розы ветров, позволили установить закономерности этих связей для разных природных зон территории Западно-Сибирской равнины, вертикальной поясности для гор Юга Сибири, кольцевой зональности более мелких масштабов, распространенных в пределах озерных котловин, а также влияния отдельных климатогенных факторов, например, многолетней мерзлоты или увлажненности климата.

3. Гуминовые кислоты, образующиеся в одинаковых микроклиматических условиях в разных регионах, имеют одинаковые значения Н:С, которые тесно коррелируют с основным количественным показателем свойств флуоресценции – первым моментом ( $M_1$ ), а также с коэффициентом экстинкции –  $E^{тк}$ .

4. Сохранность основных показателей-индикаторов состава и свойств гуминовых кислот во времени, изменчивость количественных параметров которых не превышает средних значений, характерных для разных типов почв, учитывая установленные их тесные количественные связи с основными климатическими параметрами, а также периодом биологической активности, позволили использовать параметры гуминовых кислот для реконструкции палеоклиматов на примере датированной хронологической последовательности палеопочв голоцена и позднего плейстоцена Тувы и Горного Алтая.

5. Чем длиннее по протяженности будет ретроспективный ряд палеопочв, из которых выделялись гуминовые кислоты, чем дальше вглубь тысячелетий будут воспроизводиться количественные данные палеоклиматов, реконструироваться изменения климатических условий их формирования на разных уровнях масштабности (глобальном, региональном, локальном), тем большую точность будут иметь интерпретации влияния изменений климата за короткие промежутки времени, измерению которых в настоящее время посвящено очень много опубликованных работ.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

#### **Литература**

Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 292 с.

### HUMUS COMPONENTS OF SOILS IN A CHANGING CLIMATE

M.I. Dergacheva

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, mid555@yandex.ru

*Summary. The paper considers the behavior of humus substances system in soils in a changing climate on different scales of time and geographical space. The analysis of monofactorial series, in which the only variable is climatic parameters, showed that the state of the climate is reflected most clearly at all levels of study in the ratio of the main structure-forming elements - hydrogen and carbon, as well as in the spectrophotometric quantitative parameters of humic acids, closely correlated with this indicator.*

*Keywords: humus substances system, climate change, indicators, paleoclimate reconstruction, forecast.*

УДК 631.4 (571.55)

## ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИОЗЕРНЫХ ПОЧВ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ В АРИДНЫЕ И ГУМИДНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАЗЫ

А.Д. Жамбалова<sup>1</sup>, Л.Л. Убугунов<sup>1</sup>, В.И. Убугунова<sup>1</sup>, Т.А. Аюшина<sup>1</sup>, Т.Е. Ткачук<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ,  
zhambalova\_ann@mail.ru

<sup>2</sup>ГОУ ВПО Забайкальский государственный университет, Чита, tetkachuk@yandex.ru

<sup>3</sup>ФГБУ Государственный природный биосферный заповедник «Даурский», Нижний Цасучей, tetkachuk@yandex.ru

**Аннотация.** Приозерные почвы высокоминерализованных хлоридных озер юго-восточного Забайкалья формируются при чередовании кратковременных (30-ти летних) гумидных и аридных фаз. Цикличность климата обуславливает высыхание или наполнение озерных котловин. По морфологии, динамическим (активность ионов, состав легкорастворимых солей, обменных катионов, рН, СО<sub>2</sub>карб.) и статическим свойствам (гранулометрический, элементный состав) установлено влияние озерных вод на формирование различных типов приозерных почв.

**Ключевые слова:** Восточное Забайкалье, засоленные почвы, морфология, свойства, химизм засоления.

**Актуальность.** На территории Восточного Забайкалья в бассейнах рек Ингоды, Онона и внутреннего стока расположены более сотни озер [1]. Характерной чертой климата исследуемой территории является периодическое чередование влажных (гумидных) и сухих (аридных) периодов, приводящих либо к накоплению, либо к высыханию озер и изменению их гидрохимического состава [2]. Изменение уровня воды оказывает влияние на трансформацию, миграцию и аккумуляцию вещества, энергии и отражается в облике прибрежных экосистем. До настоящего времени очень мало информации о приозерных почвах этой территории. Учитывая, что почвы обладают уникальной способностью хранить информацию как длительного влияния факторов почвообразования, так и кратковременного (динамического), была поставлена следующая цель – изучить влияния цикличности климатических условий на формирование динамических и статических свойств приозерных почв хлоридного засоления.

**Объекты исследования** – приозерные почвы оз. Бабье (50°29,6291' с.ш., 116°37,9090' в.д.). По морфоструктурному районированию территория исследования относится к области внутригорного Агинского бассейна, расположена между разновозрастными и разнородными Борзинским, Уртуйским и Ононским террейнами [3]. Климат района исследования резко континентальный. Основной чертой пространственной структуры растительности является гетерогенность сообществ и типичная концентрическая поясность вокруг озер.

Озеро относится к Онон-Керуленской группе озер Восточного Забайкалья, не имеет связи с речной сетью и представляет собой самостоятельные образования [1]. Воды озера в аридную и гумидную фазы климатического увлажнения имеют разный химический состав. Для гумидной фазы характерно преобладание сульфатов и карбонатов, среди катионов, кроме натрия, на химизм вод оказывают влияние магний и кальций. В аридную фазу возрастает доля хлора среди анионов, с максимальной его концентрацией в наиболее регрессивную аридную фазу (2022 г.), среди катионов доминирует натрий (рис. 1). По классификации воды озера отнесены к хлоридному типу [4].

Почвенные исследования проводились на аккумулятивной и транзитно-аккумулятивной позициях ландшафта (табл. 1).

Во всех пробах определены физико-химические показатели: активность ионов Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>; ЕКО по Пфейфферу, гумус, СО<sub>2</sub>, водная вытяжка, гранулометрический состав и др. [6]. Валовое содержание элементов анализировали масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно-связанной плазмой (ICP). Содержание химических элементов в почвах сравнивали с кларками литосферы путем расчета  $КК = C_b / CC$  и  $КР = CC / C_b$ , где КК – кларк концентрации элемента; КР – кларк рассеивания, C<sub>b</sub> – содержание элемента в изученных почвах; СС – кларки литосферы. Классификация и диагностика почв проводилась по [7, 8].



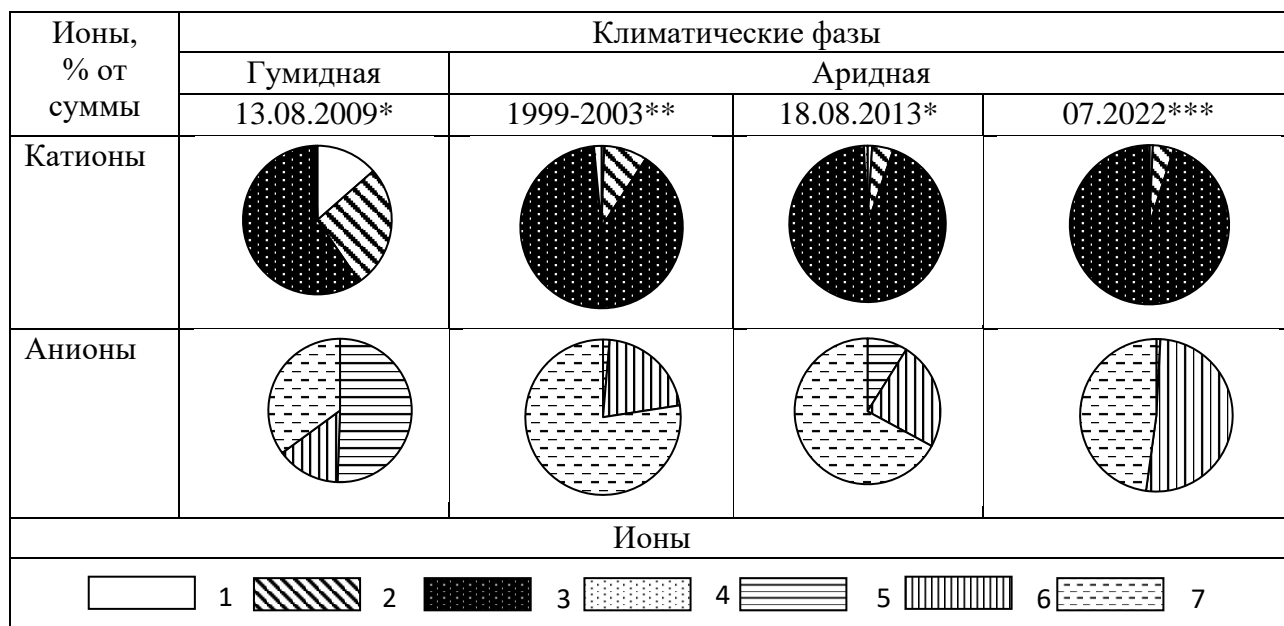


Рисунок. 1. Химический состав вод. оз. Бабье в гумидную и аридную фазы; состав анионов и катионов, в % от их суммы. Условные обозначения: 1 –  $\text{Ca}^{2+}$ ; 2 –  $\text{Mg}^{2+}$ ; 3 –  $\text{Na}^+$ ; 4 –  $\text{K}^+$ ; 5 –  $\text{HCO}_3^-$  (общ); 6 –  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 7 –  $\text{Cl}^-$   
Примечание: [4], \* [5]\*\*, данные авторов\*\*\*

Таблица 1. Географическое положение опорных разрезов

№ разреза и географическая привязка	Координаты	Растительное сообщество	Тип профиля и глубина, см	Тип почвы
Б-1 в приозерном понижении, в 50 м от береговой линии оз. Бабье	N 50.29955, E 116.38027	Шведово-соссюрейное ППП 20%	Sq,ca <sup>~</sup> (0–5) Cca,s <sup>~</sup> (5–20/22) CQca,s <sup>~</sup> (20/22–80)	Солончак квазиглеевый
Б-2 в 153 м от береговой линии оз.	N 50.30025, E 116.37903	Бескильницево-полынно-ячменевое ППП 40%	AJs (0–15/18) Cs (15/18–34/39) CQca,s (34/39–65)	Гумусово-квазиглеевая засоленная
Б-3 на пологом склоне трансэлювиального участка (400 м от береговой линии оз. Бабье)	N 50.30074, E 116.37787	Ковыльная степь ППП 60%	AJ (0–33/39) ACs (33/39–44/47) Cs,ca (44/47–60)	Светлогумусовая засоленная

**Результаты исследований.** Для прибрежной зоны характерен мозаичный растительный покров с чередованием оголенных участков и шведово-соссюрейных сообществ. На этом участке формируются солончаки, для морфологического строения которых характерна резкая контрастная дифференциация профиля: сизоватый сильнозасоленный тяжелосуглинистый слой (0–5 см), окисленная (5–20(22) см) и оглеенная (20(22)–80 см) толщи. Эти морфологические различия связаны с близким уровнем залегания грунтовых вод (80 см), которое оказывает большое влияние на окислительно-восстановительный режим верхней и нижней частей профиля. Почвы имеют различный гранулометрический состав, что связано с условиями седиментации. Весь профиль солончаков окарбоначен (табл. 2). Значения pH соответствуют щелочным и сильнощелочным значениям. Содержание гумуса очень низкое (табл. 2). Высокая активность ионов натрия указывает на преобладающую испарительную концентрацию (табл. 2).

Солончак квазиглеевый имеет четко выраженную поверхностную аккумуляцию солей, а хлоридный состав воды озера Бабье оказывает непосредственное влияние на доминирование ионов хлора в почвах. Среди катионов преобладает  $\text{Na}^+$ . Содержание кальция низкое, отмечается небольшая щелочность, обусловленная карбонатами.

Таблица 2. Физико-химические свойства почв прибрежной зоны озера Бабье

№	Горизонт	pH	CO <sub>2</sub>	Гумус	Сухой остаток	Токсичные соли	Содержание фракций <0,001	Активность ионов	
								aNa <sup>+</sup>	aCl <sup>-</sup>
								ммоль/л	
Б-1	Sq,ca	8,4	8,4	4,8	2,68	2,62	54	204,2	234,4
	Cca,s	8,8	2,3	0,5	0,76	0,73	14	107,2	117,5
	CQca,s	8,5	7,8	0,6	0,64	0,61	37	102,3	141,3
		8,2	9,4	0,5	0,50	0,46	41	95,5	123,0
Б-2	AUs	8,6	1,9	1,2	0,10	0,08	14	0,65	3,6
	Cs	9,7	1,6	0,3	0,34	0,29	15	18,6	21,9
	CQca,s	9,6	6,0	0,4	0,21	0,19	31	22,9	30,2
Б-3	AJ	7,5	0,5	1,3	0,06	0,04	13	0,06	7,9
	ACs	9,4	0,7	0,9	0,30	0,25	20	38,0	21,4
	Cs,ca	9,2	1,3	0,7	0,42	0,37	31	60,3	38,0

На трансаккумулятивных полугидроморфных позициях приозерного понижения (разрез Б-2) распространены гумусово-квизиглеевые почвы. Предшествующая череда сухих лет, доминирующего мелководья и усыхания озер способствовала снижению уровня грунтовых вод, которые на момент исследования в профиле почв отсутствовали, поэтому окислительно-восстановительные условия были достаточно стабильные.

Гранулометрический состав гумусово-квизиглеевой засоленной почвы неоднороден: верхние горизонты супесчаные, с глубины 34(39) см – средне- и тяжелосуглинистые (табл. 2). Утяжеление нижнего горизонта связано с увеличением илистой фракции. Разделение профиля по данным гранулометрического состава на две толщи может быть связано с различными условиями седиментогенеза. Верхняя часть профиля более легкая и косвенно свидетельствует о длительном отсутствии затопления данного участка озерными водами. Нижняя толща связана с озерным седиментогенезом. Значения pH соответствуют сильнощелочным по всему профилю (табл. 2). Минимальные показатели pH (8,6), CO<sub>2</sub>, содержания токсичных солей, активностей натрия и хлора отмечены в верхнем светлогумусовом горизонте, а максимальные – на глубине 34(39)–65 см. Изученные почвы малогумусные (табл. 2)

Распределение легкорастворимых солей в изученной почве неравномерно (табл. 2). В профиле гумусовой квизиглеевой почвы на ряду с хлором значительное влияние на засоление оказывают карбонат-ионы, здесь появляется содовое засоление. Почвы имеют слабую (AJ) и среднюю (Cs, CQca,s) степень засоления с содово-хлоридным и хлоридно-содовым химизмом соответственно.

На палеогидроморфном участке озерной депрессии под ковыльной степью заложен разрез Б-3 (в 400 м от береговой линии). В почве четко диагностируется светлогумусовый горизонт, ниже расположены неоднородно окрашенный переходный к почвообразующей породе горизонт со слабо выраженными затеками гумуса и белесыми пятнами карбонатов и почвообразующая порода. Каких-либо признаков оглеения морфологически не выражено.

Гранулометрический состав светлогумусовой засоленной почвы неоднородный. Верхний светлогумусовый горизонт имеет супесчаный состав. На глубине 44(47)–60 см гранулометрический состав аналогичен озерным суглинистым осадочным отложениям (табл. 2). Горизонт AJ характеризуется слабощелочной реакцией среды (pH 7,5), малым содержанием карбонатов (0,5%), токсичных солей (0,04%), слабой активностью ионов натрия и хлора (табл. 2). Глубже по профилю отмечается резкое возрастание pH до сильнощелочных значений, незначительное увеличение карбонатов, токсичных солей, активности ионов (табл. 2).

Светлогумусовая засоленная почва обладает четко выраженным грунтово-аккумулятивным солевым профилем. Верхний гумусовый горизонт не засолен (табл. 2), тогда как в горизонтах ACs и Cs содержание солей увеличивается соответственно в 5 и 7 раз по сравнению с AJ и характеризуется средней (ACs) и сильной (Cs) степенями засоления. Среди анионов доминируют карбонаты, содержание которых возрастает в озерных отложениях. Такая высокая концентрация карбонатных и гидрокарбонатных ионов обуславливает хлоридно-содовый химизм засоления. Содержание сульфат-ионов в светлогумусовой засоленной почве

низкое, с глубиной отмечается постепенное увеличение этого показателя. Среди катионов преобладает натрий. Химизм засоления светлогумусовой почвы по анионам хлоридно-содовый; по катионам – натриевый.

Геохимическая особенность всех изученных почв выражена в высоком содержании мышьяка (рис. 2). В солончаке квазиглеевом и светлогумусовой квазиглеевой почве накапливаются Sr, Ca, Li, Ba. Хорошая растворимость стронция обуславливает его высокое содержание в грунтовых водах. С ростом минерализации увеличивается содержание Sr, а также кальция, сульфатов и хлора. Близкое залегание грунтовых вод в солончаке квазиглеевом и гумусовой квазиглеевой почве способствовали накоплению этих элементов.

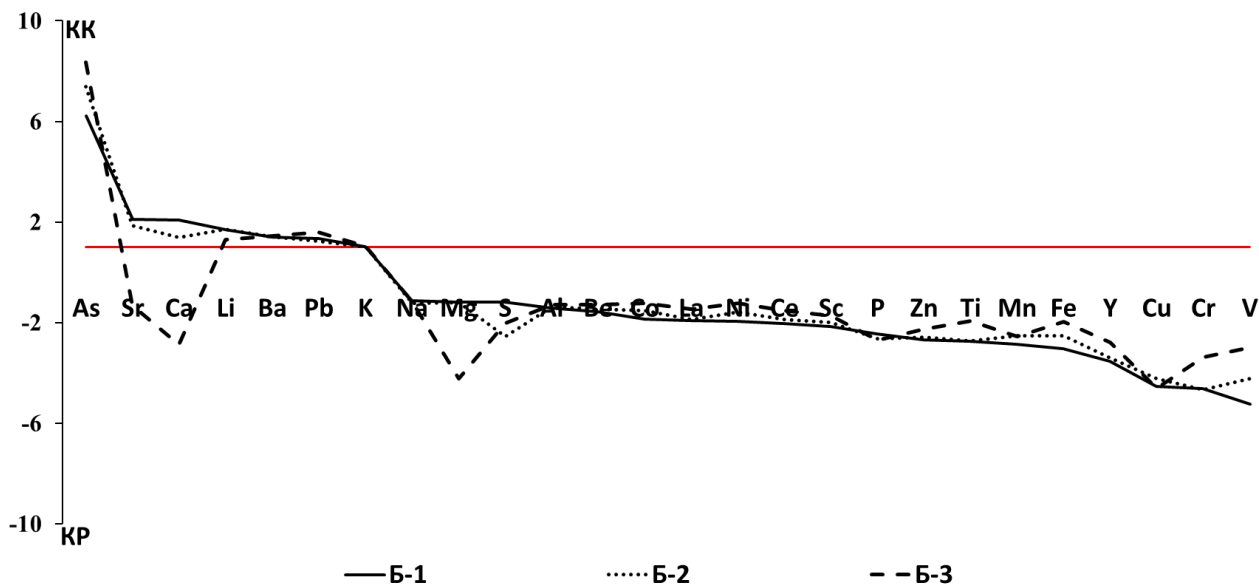


Рисунок 2. Геохимические спектры химических элементов приозерных почв оз. Бабые по отношению к кларку литосферы: КК- кларки концентрации; КР-кларки рассеивания.

Проведенный кластерный анализ показал, что светлогумусовая квазиглеевая засоленная почва (Б-2) по динамическим параметрам однотипна со светлогумусовой почвой (Б-3), а по статическим свойствам (гранулометрический состав, элементный состав) отмечается сходство с солончаками квазиглеевыми. Это может быть связано с тем, что светлогумусовая квазиглеевая почва подвержена периодическому затапливанию и функционирует в полугидроморфном или гидроморфном режимах при смене аридной и гумидной фаз. Высокий уровень грунтовых вод способствует обогащению почв элементами, типичными для озерных вод и влияет на гранулометрический состав, утяжеляя его.

**Заключение.** Исследования почв приозерного понижения были проведены в регрессивную фазу аридизации. Изученные засоленные почвы образуют генетически связанный ряд. На супераквально-субаквальной позиции формируются солончаки квазиглеевые (Б-1), на формирование свойств которых оказывают влияние высокоминерализованные озерные воды. Почвы супераквальной позиции представлены светлогумусовыми засоленными почвами (Б-2). На элювиально-супераквальной позиции получают развитие светлогумусовые засоленные почвы, в настоящее время не испытывающие влияние озерных вод. Установлено, что гумусово-квазиглеевая почва (Б-2) имеет наиболее сложный генезис, так как испытывает периодическое влияние озерных вод и только в гумидный климатический цикл. Морфология, гранулометрический и элементный состав указывают на схожесть протекающих процессов в солончаке квазиглеевом и светлогумусовой квазиглеевой почве, связанных с подпиткой почв подземными минерализованными водами. Рассмотренные динамические параметры (активность ионов, состав легкорастворимых солей, обменных катионов, рН,  $\text{CO}_2$ карб.) показали, что в гумусово-квазиглеевых и светлогумусовых почвах происходит засоление нижних горизонтов, имеющих хлоридно-содовый или содово-хлоридный тип засоления.

Рассмотренный авторами полигон может быть рекомендован для мониторинга циклических климатическими фаз Восточного Забайкалья.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках бюджетного проекта № АААА–А17–117011810038–7.

### Литература

1. Иванов А.В., Трофимова Л.Н. Гидрохимия озер Центрального Забайкалья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. 140 с.
2. Замана Л.В. Соленые озера Забайкалья как индикаторы климатических изменений в северо-восточном секторе Центральной Азии // Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии. Материалы научно-практической конференции. Чита: Экспресс-издательство. 2010. С. 22–26.
3. Парфенов Л. М., Попеко Л. И., Томуртоого О. Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18, № 5. С. 24–43.
4. Борзенко С.В. Причины гидрохимического разнообразия соленых озер Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. Геолого-минералогические науки. № 9. 2022. С. 51–60
5. Абидуева Е.Ю. Сыренжапова А.С., Намсараев Б.Б. Функционирование микробных сообществ в содово-соленых озерах Онон-Керуленской группы (Забайкалье и Северо-Восточная Монголия) // Сибирский экологический журнал. 2006. № 6. С. 707–716.
6. Воробьева Л.А. Теория и методы химического анализа почв. М: ГЕОС. 2006. 400 с.
7. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
8. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

### DYNAMIC AND STABLE PARAMETERS OF LACUSTRINE SOILS OF CHLORIDE SALINITY IN ARID AND HUMID CLIMATIC PHASES

A.D. Zhambalova<sup>1</sup>, L.L. Ubugunov<sup>1</sup>, V.I. Ubugunova<sup>1</sup>, T.A. Ayushina<sup>1</sup>, T.E. Tkachuk<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, zhambalova\_ann@mail.ru

<sup>2</sup>Zabaikalsky State University, Chita, tetkachuk@yandex.ru

<sup>3</sup>Daursky State Nature Biosphere Reserve, Nizhny Tsasuchey, tetkachuk@yandex.ru

*Summary.* Lacustrine soils of highly mineralized chloride lakes in southeastern Transbaikal Region are formed under the changing of short-term (30-year) humid and arid phases. Cyclical climate determines the lake basins drying up or filling. According to soil morphology, dynamic properties (ion activity, composition of readily soluble salts, exchangeable cations, pH, CO<sub>2</sub>carb.) and static ones (texture, elemental composition), the influence of lake waters on the development of various types of lakeside soils was established.

*Keywords:* Eastern Transbaikal Region, saline soils, morphology, properties, salinity chemistry.

УДК 631.445

### РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ ПРОЕКТИРУЕМОГО КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «ЛАДОГА» (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Т.И. Низамутдинов<sup>1\*</sup>, В.И. Поляков<sup>1</sup>, Е.В. Шевченко<sup>2</sup>, М.В. Макарова<sup>3</sup>, Е.В. Абакумов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра прикладной экологии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, \* – timur\_nizam@mail.ru

<sup>2</sup>Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Кафедра физики атмосферы, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

*Аннотация.* В работе представлена краткая характеристика строения почвенного покрова карбонового полигона «Ладога». Первичные обследования почвы полигона показали, что на его территории присутствуют не только «природные» почвы, но также и антропогенно/агрогенно нарушенные альфегумусовые почвы. Полученные сведения будут использованы для построения детальных крупномасштабных почвенных карт полигона и расчета пулов почвенного углерода.

*Ключевые слова:* карбоновый полигон, углеродные пулы, климатическая политика.



Необходимость совершенствования климатической политики России для достижения целей по сокращению объема выбросов парниковых газов выявила необходимость в совершенствовании национальной системы мониторинга парниковых газов в экосистемах. Карбоновый полигон – это мониторинговая площадка, с репрезентативной для данного региона экосистемой, на которой проводятся эксперименты по учету объемов эмиссии парниковых газов, гармонизация методов измерения, тестирование оборудования и др. [1]. На сегодняшний день в России функционирует 17 полигонов общей площадью более 39 тыс. га., однако в Ленинградской области официально полигон пока не запущен хотя исследования репрезентативных экосистем Северо-Запада уже активно ведутся [2, 3].

Стационарную часть полигона планируется разместить на территории ГГО им. А.И. Воейкова (~150,6 га, Ленинградская область, Воейково). Рельеф планируемого полигона озокамовый приурочен к Колтушской возвышенности, сложен тонкими супесями с примесью окатанной гальки. Часть территории находится в камовом понижении и заболочена (рис. 1). Перепад высот от 32,5 до 77,5 метров над уровнем моря.

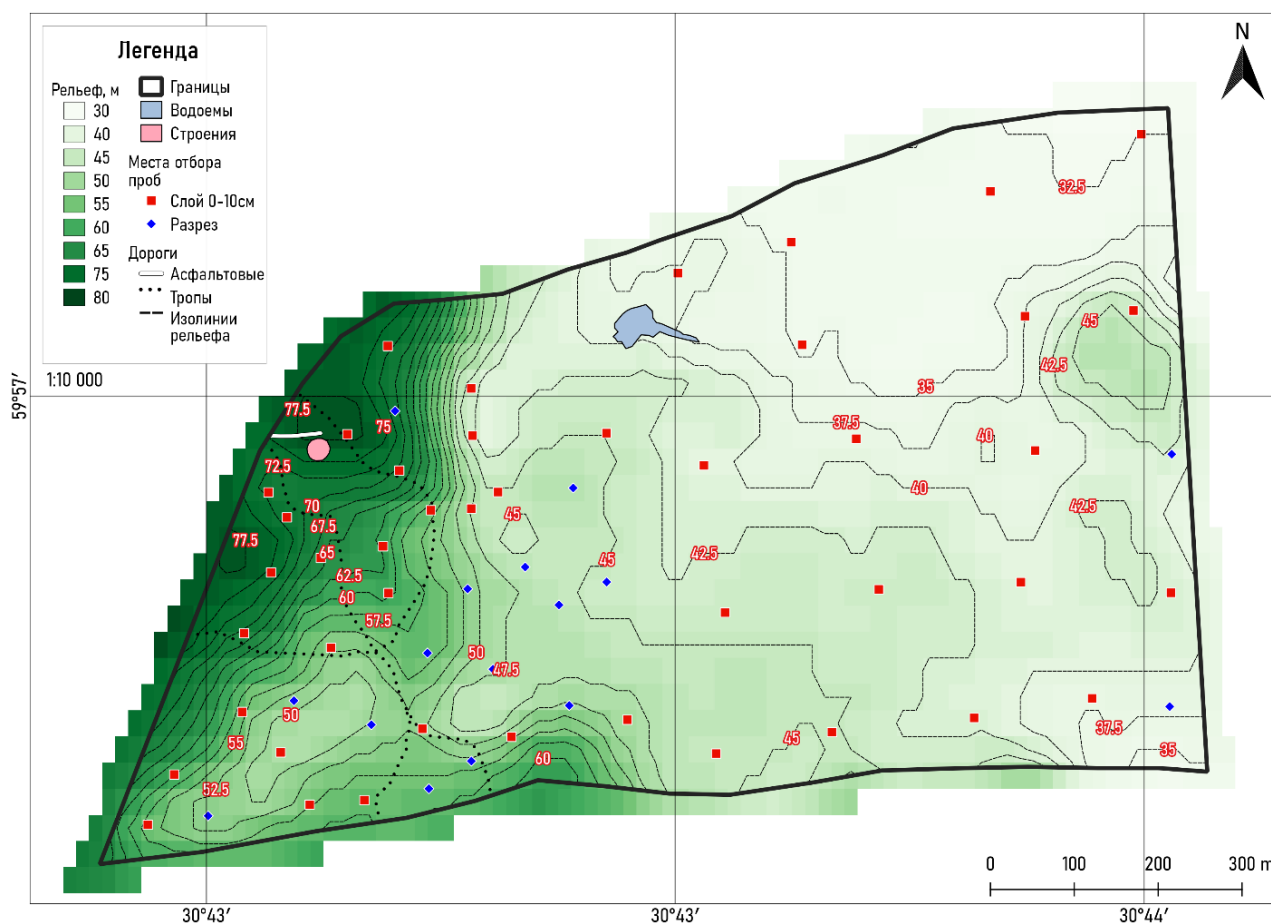


Рисунок 1. Карта рельефа местности карбонового полигона «Ладога»

Особое внимание в исследованиях, проводимых на полигоне «Ладога» планируется уделять почвам, как крупнейшему наземному резервуару углерода. Ранее были опубликованы первые данные о почвах на территории полигона «Ладога», где отмечалось, что большая часть почвенного покрова сложена альфегумусовыми и торфяными почвами [2]. Однако при проведении детальных рекогносцировочных исследований почв территории нами были обнаружены следующие почвенные разности (рис. 2). Ненарушенные антропогенным/агрогенным воздействием почвы на пологих склонах и вершинах камовых гряд под смешанным сосново-березовым древостоем дерново-подбур оподзоленные на мелкозернистых супесях (рис. 2, А) с формулой подтипа: O – AYe – BF – BC – C. На плоских, хорошо дренированных межкамовых понижениях и пологих склонах, обнаружены постагрогенные почвы под луговым разнотравьем и молодым кленово-ольховым древостоем-дерново-подбур иллювиально-железистый псевдофибровый постагрогенный с формулой

подтипа: O – AYpa – BF – BCff – Cff (рис. 2, Б), а также дерново-подбур иллювиально-железистый постагрогенный (рис. 2, В) с формулой подтипа: O – AYpa – BF – BC – C. На полугидроморфных плоских понижениях рельефа доминируют торфяные эутрофные почвы с близким залеганием грунтовых вод (рис. 2, Г). Формула этого подтипа: O – TE1 – TE2 – TT. Вблизи старых мелиоративных канав также найдены торфяные эутрофные почвы с глубиной залегания грунтовых вод более 80 см (рис. 2, Д) с формулой подтипа: O – TE1 – TE2 – TE3 – TT. На открытых площадках были обнаружены небольшие участки постантропогенных почв (рис. 2, Е), в профиле которых замечено большое количество углей (8–15 мм), в том числе, дерново-подбур постпирогенный урбистратифицированный с формулой подтипа этой почвы: O – AYrug – URrug – C.

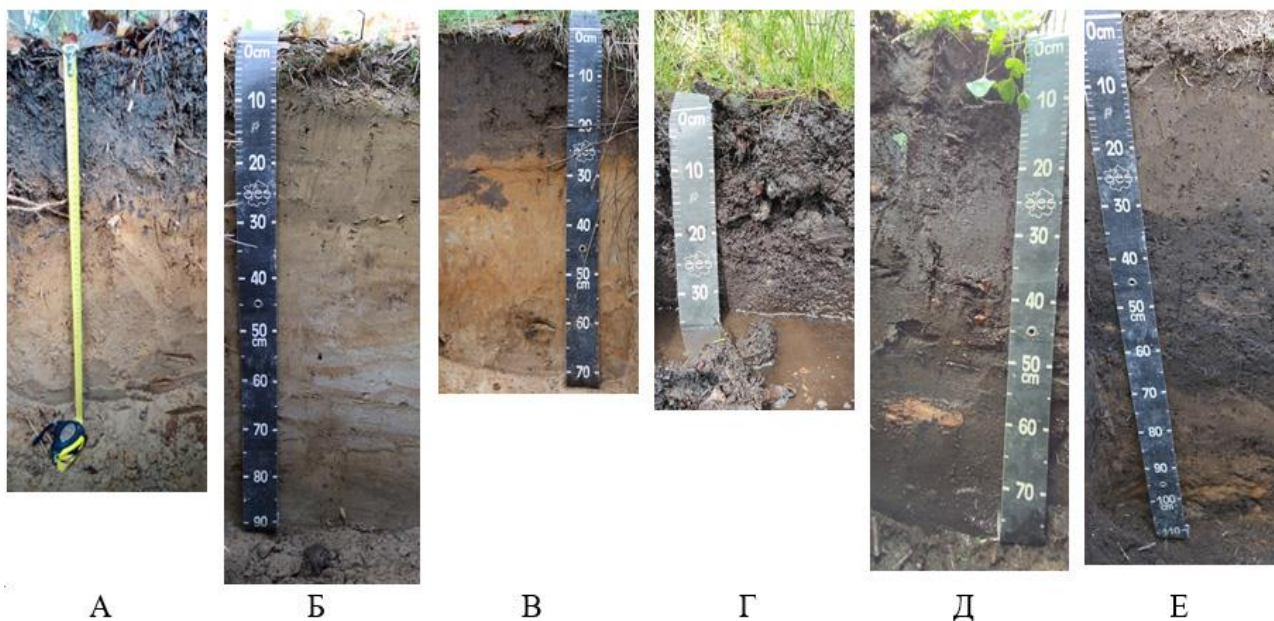


Рисунок 2. Морфологическое строение почв карбонового полигона «Ладога»  
А – дерново-подбур оподзоленный; Б, В – дерново-подбуры постагрогенные;  
Г, Д – торфяные почвы; Е – постпирогенные (антропогенные) почвы

Таким образом, почвенный покров карбонового полигона «Ладога» представлен преимущественно торфяными эутрофными почвами различной степени обводненности, приуроченными к понижениям рельефа. Почвы на камовых грядах, пологих склонах и межкамовых понижениях относятся к альфегумусовым с различной степенью атропогенной нарушенности: от «природных» почв до постагрогенных и постпирогенных. Сведения о пестроте почвенного покрова полигона будут учтены при построении крупномасштабных почвенных карт и при расчетах запаса почвенного органического углерода карбонового полигона.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ No GZ\_MDF\_2023-1, ID 101662710.

#### Литература

1. Карбоновые полигоны России: настоящее и будущее. Фонд «Центр стратегических разработок» (ЦСР), 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.csr.ru/ru/research/karbonovye-poligony-rossii-nastoyashchee-i-budushchee/>
2. Polyakov V. et al. Estimation of Carbon Stocks and Stabilization Rates of Organic Matter in Soils of the «Ladoga» Carbon Monitoring Site // *Agronomy*. 2023. Т. 13. №. 3. С. 807.
3. Макарова М. В. и др. From carbon polygon to carbon farm: The potential and ways of developing the sequestration carbon industry in the Leningrad Region and St Petersburg // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2023. Т. 68. №. 1.

## SOIL DIVERSITY OF THE PROJECT CARBON POLYGON "LADOGA" (LENINGRAD REGION)

T.I. Nizamutdinov<sup>1\*</sup>, V.I. Polyakov<sup>1</sup>, E.V. Shevchenko<sup>2</sup>, M.V. Makarova<sup>3</sup>, E.V. Abakumov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Ecology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, \* – timur\_nizam@mail.ru

<sup>2</sup> Center for Diagnostics of Functional Materials for Medicine, Pharmacology, and Nanoelectronics, St. Petersburg State University, St. Petersburg

<sup>3</sup>Department of Atmospheric Physics, St. Petersburg State University, St. Petersburg

*Summary.* The paper presents a brief characterization of the soil cover structure of the Ladoga carbon polygon. Initial soil surveys of the polygon have shown that not only "mature" soils, but also anthropogenically/agrogenically disturbed soils are present on the territory of the polygon. The data obtained will be used to construct detailed large-scale soil maps of the polygon and to calculate soil carbon pools.

*Keywords:* carbon polygon, carbon pools, climate policy.

УДК 631.48

## ОЦЕНКА СТАБИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА КРИОГЕННЫХ ПОЧВ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ С ПОМОЩЬЮ <sup>13</sup>C ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

В.И. Поляков<sup>1,2</sup>, Е.В. Абакумов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра Прикладной экологии Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, v.polyakov@spbu.ru

<sup>2</sup>ФГБУ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

*Аннотация.* В работе рассматриваются результаты изменения молекулярного состава гуминовых веществ, выделенных из криогенных почв дельты реки Лены в зависимости от пространственного распределения почвенного покрова. Показано, что в составе гуминовых веществ преобладают алифатические структурные фрагменты, однако длительное формирование («созревание») гуминовых веществ может приводить к увеличению содержания ароматических структурных фрагментов в надмерзлотном горизонте и указывать на относительную стабилизацию данного органического материала.

*Ключевые слова:* почвенное органическое вещество, <sup>13</sup>C ЯМР-спектроскопия, гуминовые кислоты, дельта реки Лены, криоземы, локальные климатические условия.

Почвенное органическое вещество (ПОВ) является ключевым элементом, определяющим почвенное плодородие, накопление ПОВ происходит в результате трансформации органических остатков растительного происхождения [1]. До 17% суши Земли подвержено влиянию мерзлоты, в таких условиях происходит активное накопление органического вещества в составе почвы и многолетнемерзлых пород (ММП) [2]. На сегодняшний день, в почвах Арктики запасено до 1500 Пг органического углерода и около 500 Пг углерода в составе отложений едомы и дельтовых комплексах северных рек [3], что составляет около 60% всего почвенного углерода на планете [4–5]. Существенная часть углерода в составе почв и ММП представлена лабильными формами (растворенным и легко окисляемым органическим веществом), слабо разложившимися растительными остатками, а также детритом, поэтому исследование качества ПОВ является актуальной задачей современного почвоведения [6]. Наиболее актуальными способами оценки состояния ПОВ являются методы химического фракционирования, а также различные виды молекулярного анализа (ядерно-магнитный резонанс, газовая и гель-хроматография, спектроскопия в инфракрасном диапазоне) [7]. Однако, учитывая роль ПОВ в условиях изменения климата, исследования органического вещества в Арктике имеет довольно фрагментарный характер. Это связано с суровыми климатическими условиями, а также сложной логистической ситуацией в Арктике. Изучение молекулярного состава гуминовых кислот (ГК) необходимо для определения их роли в процессах гумификации и консервации ПОВ в почвах, подверженных влиянию криогенных



процессов. Таким образом, целью данного исследования являлось исследование молекулярного состава ГК, выделенных из криогенных почв дельты реки Лены.

Объектом исследования являются гуминовые кислоты, изолированные из почвы дельты реки Лены. Дельта реки Лены является крупнейшим дельтовым комплексом, расположенным в высоких широтах, и занимает до 30000 км<sup>2</sup>. Почвенный покров дельты характеризуется наличием слоя ММП на глубине от 20 см до 1 м. Изученные почвы представлены зональными вариантами криоземов на второй и третьей террасах дельты реки Лены (острова Курунгнах и Джипириес), а также одним образцом с коренного берега хребта Чекановского. Молекулярный состав гуминовых веществ, извлеченных из криогенных почв, был получен методом <sup>13</sup>C ЯМР-спектроскопии.

В результате исследования было выявлено, что в молекулярном составе ГК наблюдается преобладание алифатических структурных фрагментов, их содержание достигает 79%. Внутривершинное распределение структурных фрагментов показало накопление ароматических фрагментов на контакте с ММП, что может указывать на их относительно высокую степень стабилизации и устойчивость к биодegradации. Длительное формирование ("созревание") ГК может приводить к увеличению содержания ароматических фрагментов в надмерзлотном органическом веществе. Стоит отметить, что накопление ароматических фрагментов ГК на контакте с ММП происходит на о. Курунгнах, где образцы почвы отбирались из дренированного озера (молодого аласа), где растительный покров представлен злаковой растительностью. Таким образом, это может указывать на существенную роль предшественников гумификации в формировании молекулярного состава ГК. В условиях трансформации ПОВ и внутривершинной миграции органических соединений под действием криогенеза происходит эволюционный термодинамический отбор конденсированных молекул, что приводит к стабилизации ПОВ, накапливающегося на границе ММП. На острове Джипириес, где отмечаются наиболее активные процессы почвенного криогенеза, формирование ароматических фрагментов в составе ГК происходит в верхнем гумусоаккумулятивном горизонте, на границе с ММП их содержание сокращается с 28 до 21%, это может быть вызвано более активными процессами криогенного массообмена и накоплением ароматических фрагментов ГК в нижележащих мерзлотных горизонтах. Также было отмечено, что ГК, извлеченная из криогенной почвы ветрового убежища с хребта Чекановского отличается существенным содержанием ароматических фрагментов (отношение ароматических к алифатическим фрагментам составляет 0,52), так локальные климатические особенности ветрового убежища создают условия для формирования устойчивых к биодegradации ароматических соединений в составе ГК. Таким образом, основными факторами, влияющими на формирование наиболее устойчивых в окружающей среде ароматических фрагментов ГК, в криогенных почвах дельты реки Лены, являются предшественники гумификации (под злаковой растительностью в молекулярном составе отмечается относительно высокое содержание ароматических структурных фрагментов), а также, локальные климатические особенности (в ПОВ из ветрового убежища в молекулярном составе ГК отмечается существенное количество ароматических структурных фрагментов). Однако в почвах, подверженных активному проявлению почвенного криогенеза, происходит формирование алифатических структурных фрагментов, которые менее стабильны в окружающей среде и более подвержены процессам биодegradации.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ No GZ\_MDF\_2023-1, ID 101662710.

#### Литература

1. Jackson R.B., Lajtha K., Crow S.E., Hugelius G., Kramer M.G., Piñeiro G. The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls. // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2017, Vol. 48, No. 1, pp. 419-45
2. Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzi J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.A. Permafrost is warming at a global scale. // *Nature Communications*, 2019, Vol. 10. No. 1, ID 264.
3. Schiedung M., Bellè S.-L., Malhotra A., Abiven S. Organic carbon stocks, quality and prediction in permafrost-affected forest soils in North Canada // *CATENA*, 2022, Vol. 213, ID 106194



4. Turetsky M.R., Abbott B.W., Jones M.C., Anthony K.W., Olefeldt D., Schuur E.A.G. Carbon release through abrupt permafrost thaw // *Nature Geoscience*, 2020, Vol. 13, No. 2, pp. 138-143.
5. Köchy M., Hiederer R., Freibauer A. Global distribution of soil organic carbon – Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world // *SOIL*, 2015, Vol. 1, No. 1, pp. 351-65.
6. Zhang H., Zhou Z. Recalcitrant carbon controls the magnitude of soil organic matter mineralization in temperate forests of northern China // *Forest Ecosystems*, 2018, Vol. 5, No. 1, ID 17.
7. Pengerud A., Dignac M-F., Certini G., Strand L.T., Forte C., Rasse D.P. Soil organic matter molecular composition and state of decomposition in three locations of the European Arctic // *Biogeochemistry*, 2017, Vol. 135, No. 3, pp. 277-292.

#### ASSESSMENT OF ORGANIC MATTER STABILIZATION IN CRYOGENIC SOILS OF THE LENA RIVER DELTA USING $^{13}\text{C}$ NMR-SPECTROSCOPY

V.I. Polyakov, E.V. Abakumov

<sup>1</sup>Department of Applied Ecology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, v.polyakov@spbu.ru.

<sup>2</sup>FGBU Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia.

*Summary. The paper deals with the results of changes in the molecular composition of humic substances isolated from cryogenic soils of the Lena River delta depending on the spatial distribution and intra-profile organization of soils. It is shown that the composition of humic substances is dominated by aliphatic structural fragments; however, long-term formation "maturation" of humic substances can lead to an increase in the content of aromatic structural fragments in the layer at the boundary of permafrost rocks and indicate relative stabilization of buried organic material.*

*Keywords: soil organic matter,  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy, humic acids, Lena River delta, Cryosols, local climatic conditions.*

УДК 631.4

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

О.В. Решоткин<sup>1</sup>, И.О. Алябина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, [reshotkin@rambler.ru](mailto:reshotkin@rambler.ru)

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, [alyabina@yandex.ru](mailto:alyabina@yandex.ru)

**Аннотация.** Проведено исследование температурного режима почв юга Западной Сибири. Выявлены тенденции изменения температуры воздуха и почвы за период 1931–2020 гг. Показано, что современное потепление ведёт к изменению температурного режима почв и, как следствие, смещению почвенно-климатических зон в северном направлении.

**Ключевые слова:** изменение климата, температура почвы, Западная Сибирь.

**Актуальность.** Температурным режимом почвы называют распределение температуры в почвенном профиле и непрерывные изменения этого распределения во времени [1]. Изучение температуры почвы приобретает особую актуальность в связи с современным изменением климата, которое ведёт к изменению почвенных свойств и процессов, смене растительных сообществ и изменению ландшафтного облика территории. Почвы обладают значительной инерционностью и медленнее других компонентов реагируют на изменения окружающей среды. Такие свойства и режимы почв как влажность и температурный режим обладают наибольшей скоростью изменения под влиянием климата [2]. Анализ изменений температурного режима почв разных природных зон и влияния данных изменений на возможную эволюцию почв представляет значительный интерес [3].

**Объекты и методы исследования.** Для изучения температурного режима почв юга Западной Сибири нами использованы данные наблюдений за температурой воздуха и почвы на метеостанции Омск за период 1931–2020 гг. Координаты станции: 55°01' с.ш., 73°23' в.д., высота – 121 м. Метеостанция расположена в лесостепной зоне. С момента своего открытия в 1930 году станция находится на одном месте, на ней имеются длительные и однородные ряды наблюдений за температурой воздуха и почвы. Исследуемая почва – чернозём выщелоченный легкосуглинистый. Период 1961–1990 гг. взят в качестве климатической нормы (КН), относительно которой проанализировано изменение температуры воздуха и почвы.

**Обсуждение результатов.** Период 2011–2020 гг. стал самым тёплым за всю историю инструментальных наблюдений на территории Западной Сибири. На созданных нами картографических моделях среднегодовой температуры воздуха хорошо заметно смещение изотерм в северном направлении в 2011–2020 гг. относительно климатической нормы 1961–1990 гг. (рис. 1). В южной части Западной Сибири хорошо заметно смещение на север изотермы +2°C. Площадь со средней годовой температурой выше +2°C, составлявшая в пределах рассматриваемой территории в 1961–1990 гг. 114 тыс. км<sup>2</sup>, увеличилась на 453 тыс. км<sup>2</sup>. Потепление на юге Западной Сибири, который является важным сельскохозяйственным регионом России, имеет как благоприятные, так и неблагоприятные последствия. С одной стороны, наблюдается увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и увеличение продолжительности вегетационного периода, что имеет положительное значение для сельского хозяйства. С другой стороны, при недостатке влаги возможно образование атмосферных и почвенных засух и других отрицательных явлений.

Средняя годовая температура воздуха в Омске составляет 1,4°C. Наблюдается рост средних значений среднегодовых температур воздуха, рассчитанных за каждый десятилетний период от 0,2°C в 1941–1950 гг. до 2,5°C в 2011–2020 гг. В 2011–2020 гг. увеличение температуры воздуха наблюдается во все сезоны года, но особенно оно выражено в весенний и зимний сезоны, в которые температура воздуха превысила климатическую норму на 2,2 и 1,1°C соответственно. В летний и осенний сезоны температура воздуха превысила КН на 0,6 и 0,8 °C соответственно.

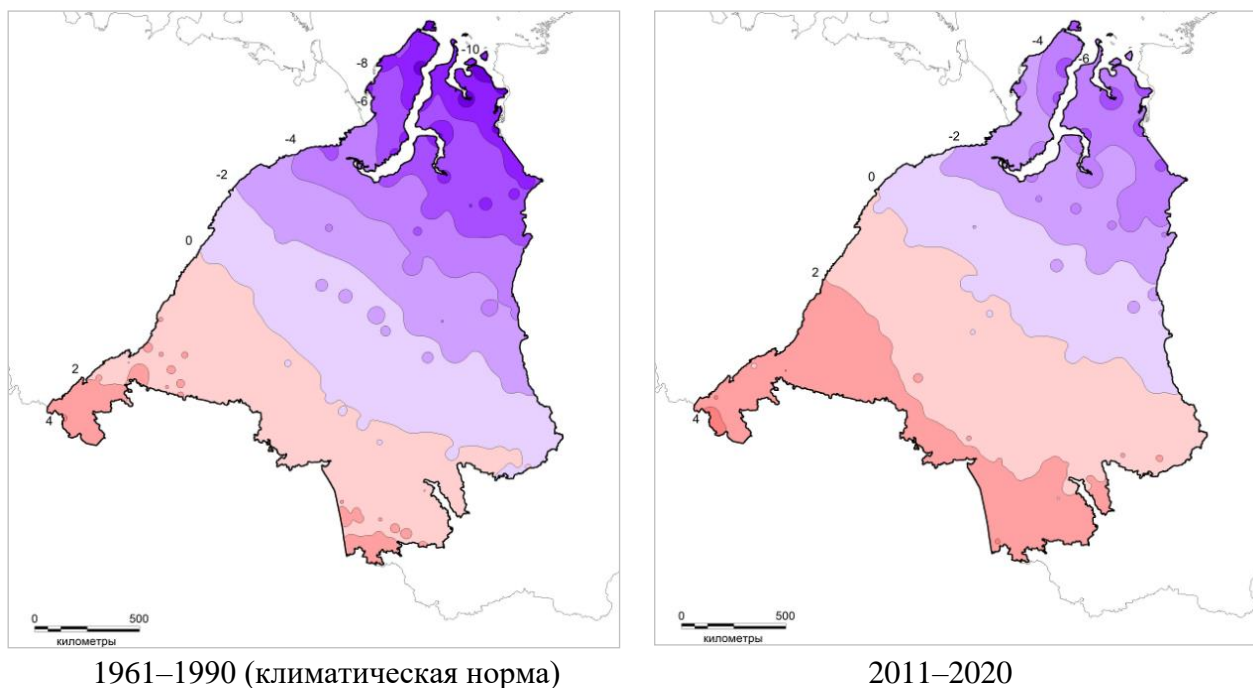


Рисунок 1. Средняя годовая температура воздуха на территории Западной Сибири, °С.

Характер изменения среднегодовой и среднемесячной температуры почвы в Омске в целом соответствует изменению температуры воздуха, но осложняется такими факторами, как высота и продолжительность залегания снежного покрова, осадки, глубина сезонного промерзания почвы и др. Средняя годовая температура почвы в 2011–2020 гг. превысила климатическую норму на 1,2–1,8°С (табл. 1). В годовом цикле потепление более выражено в верхней части почвенного профиля.

Таблица 1. Изменение среднемесячной и среднегодовой температуры почвы за период 2011–2020 гг. относительно климатической нормы 1961–1990 гг. (КН), °С

Глубина, см	Период	Месяцы												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
20	КН	-5,3	-5,6	-3,4	1,7	9,1	15,3	18,8	16,3	11,2	4,2	-0,9	-4,3	4,7
	2011-2020	-1,0	-1,2	-0,6	2,9	9,7	15,3	18,0	17,0	12,1	5,8	1,1	-0,4	6,6
	Изменение	4,3	4,4	2,9	1,2	0,6	0,0	-0,8	0,8	0,9	1,6	2,0	3,9	1,8
40	КН	-3,6	-4,2	-2,7	1,0	7,4	13,1	16,8	15,5	11,5	5,5	0,8	-2,2	4,9
	2011-2020	-0,5	-0,8	-0,4	2,2	8,6	13,9	16,7	16,2	12,1	6,7	2,1	0,3	6,4
	Изменение	3,2	3,4	2,4	1,2	1,2	0,8	-0,1	0,8	0,6	1,2	1,2	2,5	1,5
80	КН	-1,1	-1,8	-1,5	0,2	4,8	10,2	13,8	13,9	11,5	7,1	3,1	0,5	5,1
	2011-2020	0,9	0,4	0,4	1,3	6,5	11,2	14,2	14,7	12,1	8,0	4,0	1,9	6,3
	Изменение	2,0	2,2	1,9	1,1	1,7	1,0	0,4	0,8	0,6	0,9	0,8	1,4	1,2
160	КН	1,5	0,7	0,3	0,4	2,3	6,6	10,0	11,4	10,6	8,3	5,4	3,1	5,1
	2011-2020	3,0	2,3	1,8	1,7	4,3	7,8	10,7	12,1	11,5	9,3	6,5	4,3	6,3
	Изменение	1,5	1,5	1,5	1,3	2,0	1,2	0,7	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2
320	КН	4,3	3,4	2,8	2,4	2,4	3,6	5,6	7,2	8,1	7,9	6,9	5,6	5,0
	2011-2020	5,7	5,0	4,2	3,7	3,9	5,2	6,9	8,4	9,2	9,1	8,1	6,9	6,4
	Изменение	1,4	1,6	1,4	1,4	1,5	1,6	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3

В сезонном и месячном циклах также наблюдается потепление почвы. Понижение температуры отмечается только в июле на глубинах 20 и 40 см. Сезонные различия в интенсивности потепления наиболее заметны в верхней части почвенного профиля, особенно на глубине 20 см, на которой в зимний сезон температура почвы увеличилась на 4,2°С, в весенний и осенний сезоны – на 1,5 и 1,6°С соответственно, а в летний сезон она не

изменилась. С глубиной сезонные различия сглаживаются и на глубине 320 см отмечается относительно равномерное потепление почвы на 1,2–1,4°C во все сезоны года. В целом в тёплый период года (апрель–октябрь) более интенсивное потепление почвы наблюдается с увеличением глубины от 0,6°C на 20 см до 1,3°C на 320 см. В холодный период года (ноябрь–март) отмечается противоположная тенденция. С увеличением глубины интенсивность потепления уменьшается от 3,5°C на 20 см до 1,4°C на 320 см.

На рис. 2 показаны тренды среднегодовой и средней за зимний и летний сезоны года температур почвы на глубине 80 см за период 1931–2020 гг. За 90-летний период среднегодовая температура почвы увеличилась на 2,6°C. При этом зимняя температура почвы за аналогичный период увеличилась на 3,5°C, а летняя на 2,2°C, что свидетельствует о более существенном потеплении в холодный период года.

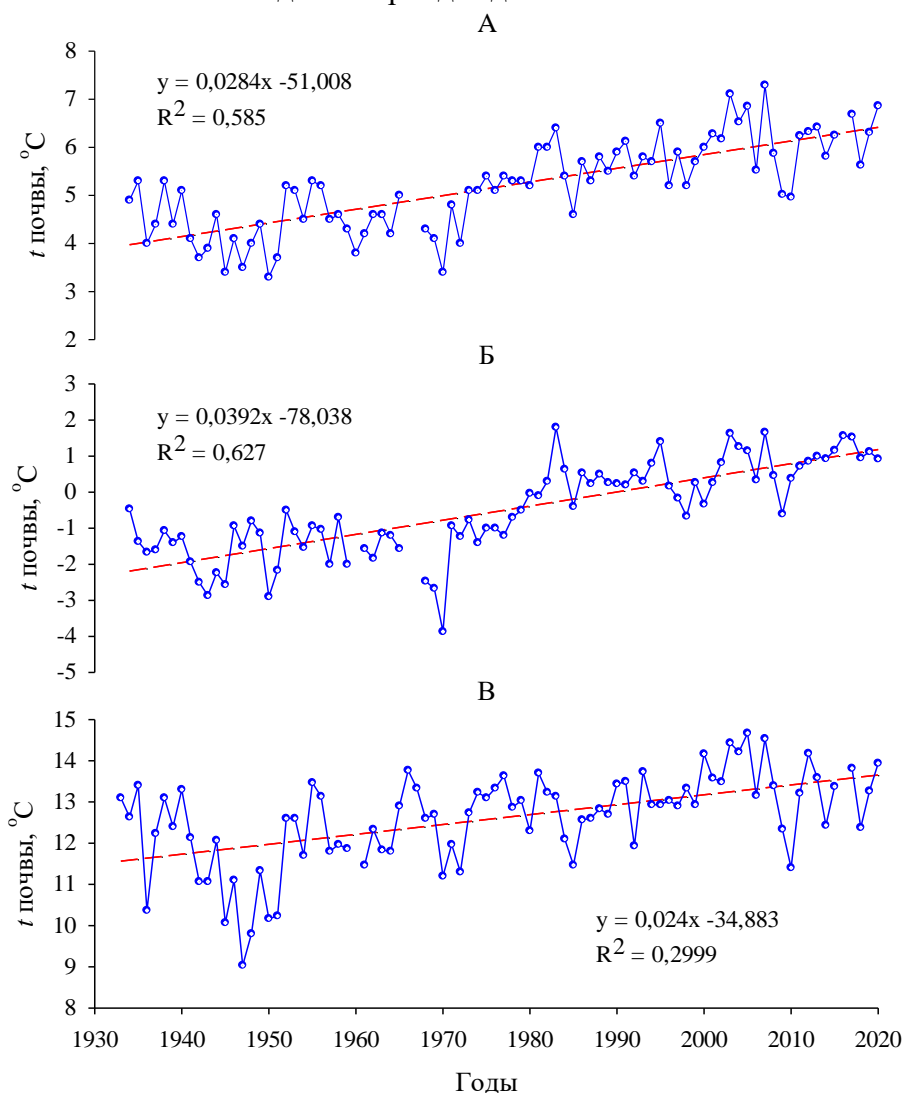


Рисунок 2. Динамика температуры почвы на глубине 80 см: А – среднегодовая, Б – средняя за зиму (декабрь, январь, февраль), В – средняя за лето (июнь, июль, август). Почва – чернозём выщелоченный легкосуглинистый (Омск). Пунктирной линией показана линейная регрессия.

**Заключение.** В современный период на территории Западной Сибири наблюдается изменение климата в сторону потепления, которое наблюдается во все сезоны года и отличается выраженной зональностью. На юге Западной Сибири потепление менее интенсивно, чем в её северной части. Потепление ведёт к изменению температурного режима почвы, увеличению продолжительности тёплого периода в почве, уменьшению глубины промерзания и длительности нахождения почвы в мёрзлом состоянии. В верхних горизонтах потепление почвы более выражено в холодный период года. Выявленные изменения атмосферного климата и температурного режима почв необходимо учитывать при оценке



климатических рисков и разработке агротехнических мероприятий по выращиванию сельскохозяйственных культур.

**Финансирование.** Работа выполнена по теме государственного задания № 122040500036–9 «Влияние климатических флуктуаций и антропогенной деятельности на эволюцию и современное состояние почв юга России» и теме № 1736–р Аграрного центра МГУ имени М.В. Ломоносова.

#### Литература

1. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. Методическое руководство / Под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 200 с.
2. Кудяров В.Н., Демкин В.А., Гиличинский Д.А., Горячкин С.В., Рожков В.А. Глобальное изменение климата и почвенный покров // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1027–1042.
3. Худяков О.И., Решоткин О.В. Эволюция почв в связи с современным потеплением климата // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 38–43.

#### TEMPERATURE REGIME OF SOILS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA UNDER A CHANGING CLIMATE

O.V. Reshotkin<sup>1</sup>, I.O. Alyabina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of RAS, Pushchino, reshotkin@rambler.ru

<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, alyabina@yandex.ru

*Summary. The temperature regime of soils in the south of Western Siberia has been studied. Tendencies of air and soil temperature changes for the period 1931–2020 have been revealed. It is shown that modern warming leads to changes in the temperature regime of soils and, as a consequence, to the shift of soil-climatic zones in the northern direction.*

*Keywords: climate change, soil temperature, Western Siberia.*

УДК 631.487+551.89

## ОТРАЖЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИТМОВ ГОЛОЦЕНА В ПОЧВАХ ОЗЁРНЫХ КОТЛОВИН СТЕПНОГО БИОМА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.Н. Смоленцева, О.И. Сапрыкин

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [esmolenceva@issa-siberia.ru](mailto:esmolenceva@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** В четырех озерных котловинах степного биота Западной Сибири изучены почвенно-седиментационные последовательности (ПСП), приуроченные к озерным валам палеобереговых линий озёр. Все ПСП отражают пространственно-временные особенности климатозависимых флуктуаций размеров озёр в голоцене. Они фиксируют основные этапы эволюции озёр и соответствующие ритмические изменения в прилегающих ландшафтах: затопление и подтопление субэвральных участков в гумидные климатические фазы и обсыхание субаквальных – в аридные.

**Ключевые слова:** палеопочвы, почвенно-седиментационные последовательности, почвенные архивы, палеоклимат, береговой вал.

Почвы являются природными архивами и записывают информацию об условиях среды синхронных их педогенезу, поэтому они широко используются как источник данных для палеоэкологических реконструкций, в том числе и климатических [1]. Для изучения климатических флуктуаций голоцена в степном биоме Западной Сибири (ЗС) нами был выбран слабо изученный в этом аспекте класс объектов – почвы озёрных котловин. На территории биота широко распространены бессточные озера различного размера, уровень воды в которых зависит от климатического увлажнения. По данным многих исследований в них на протяжении голоцена происходили климатически обусловленные колебания уровня воды [2, 3]. В докладе представлены четыре бессточные озерные котловины, где озера находятся в стадии регрессии, и в обсохшей части которых, расположены разновозрастные береговые валы, маркирующие палеобереговые линии озер. К береговым валам приурочены почвенно-седиментационные последовательности (ПСП), которые включают дневные почвы, погребённые палеопочвы и седименты различного генезиса. Почвы в составе ПСП маркируют этапы почвообразования в эволюции котловины и соответствуют этапам регрессии озера. Периоды активизации осадконакопления отражаются в формировании седиментационных слоёв ПСП. Общее строение ПСП зависит от количества и длительности фаз педогенеза и осадконакопления. Таким образом, ПСП в озёрных котловинах записывают природные ритмы, в том числе и климатические, и являются природными архивами [4]. Так как смена этапов педогенеза и седиментации зачастую обусловлена климатическими причинами, целью исследования было выявить влияние динамики климата на строение и свойства ПСП озерных котловин в степном биоме Западной Сибири.

**Объекты и методы.** Объектами исследования были ПСП озерных котловин степного биота Западной Сибири: оз. Саргуль (3 разреза), оз. Яркоковский плес (1 разрез), оз. Большой Баган (4 разреза) и оз. Кулундинское (2 разреза). Озера различаются по площади водного зеркала, площади водосбора, составу воды. В настоящее время эти озёра находятся на регрессивной стадии и в их котловинах имеются разновозрастные озёрные валы, маркирующие палеобереговые линии. Для изучения ПСП, приуроченных к этим валам, использовались педолитологический и событийный методологические подходы [5], а также комплекс общепринятых в почвоведении методов. Для хроностратиграфической реконструкции проведено определение  $^{14}\text{C}$  гуминовых кислот почв. Радиоуглеродное датирование выполнено методом ускорительной масс-спектрометрии на базе ЦКП «Геохронология кайнозоя» (г. Новосибирск). Калибровка радиоуглеродных дат проведена по калибровочной кривой IntCal20 с использованием Vchron пакета R-статистика. В тексте и на рисунке указан калиброванный возраст.

**Результаты и обсуждение.** Были выявлены особенности морфологии и литостратиграфии ПСП. Все изученные разрезы содержат два основных литокомплекса: неоплейстоценовые суглинки и голоценовые озёрные отложения различных фаций, чаще всего пляжевые пески береговых валов (рис. 1). Граница между литокомплексами имеет резкий текстурный переход [6], что обусловлено резкой сменой условий осадконакопления и палеообстановки в целом. В

котловинах озёр Ярковский плес и Большой Баган озёрные валы с поверхности перекрыты золовыми песками.

Для почв в составе ПСП выявлены основные закономерности педогенеза, которые зависят от генезиса и свойств субстрата, уровня грунтовых вод и климата, а также от продолжительности этапа педогенеза. В основании всех изученных разрезов обнаружены гидроморфные и полугидроморфные почвы (рис. 1), что свидетельствует о развитии синхронного локального ландшафта при высоком уровне грунтовых вод, которые оказали влияние на педогенез. В то же время это говорит об отсутствии субаквальных условий, т.е. о более низком уровне озёрных вод. В некоторых погребённых почвах установлена педогенная аккумуляция легкорастворимых солей и обменного натрия, что обусловлено высокой эвапотранспирацией и указывает на жаркий засушливый климат летнего сезона.

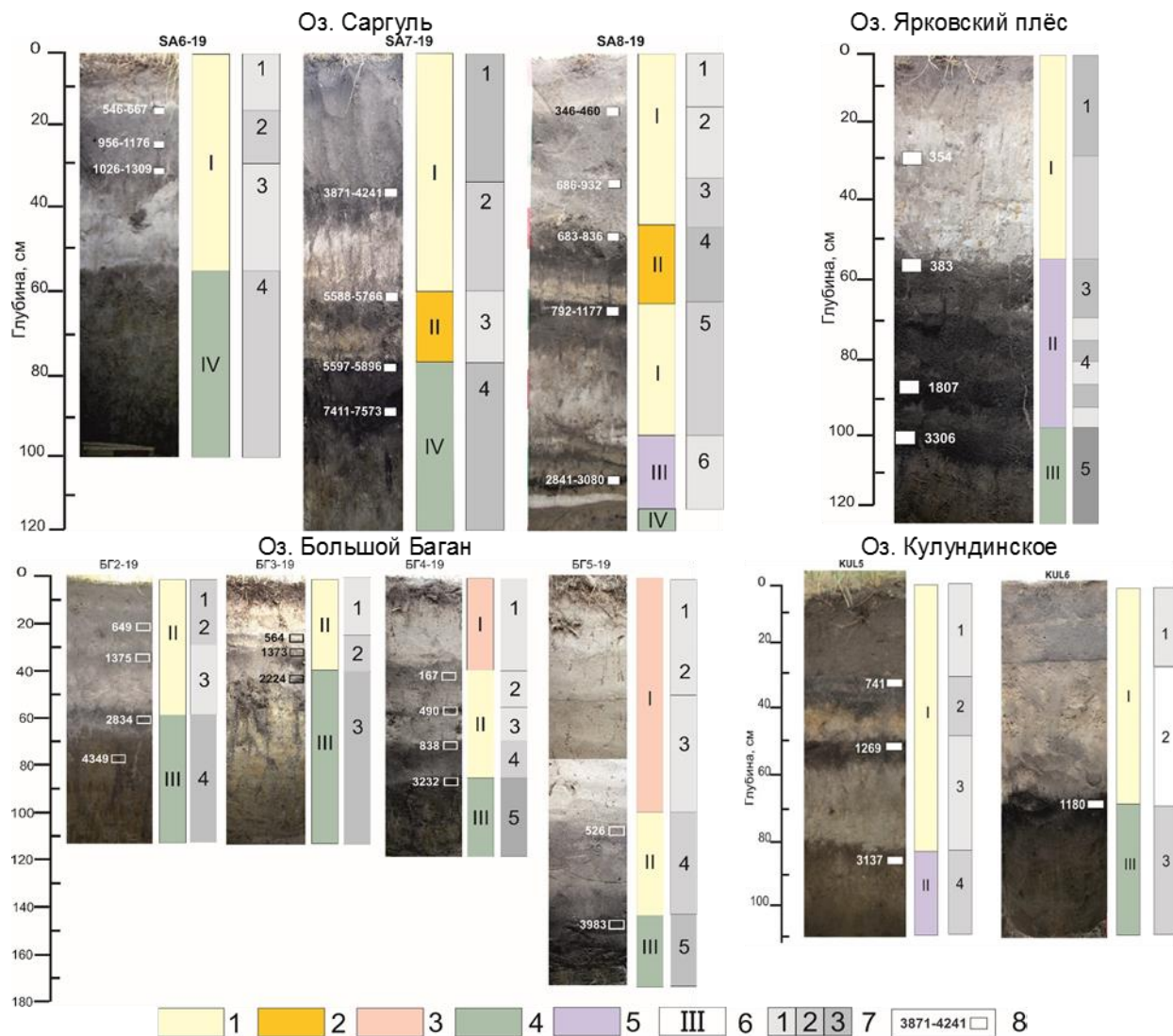


Рисунок 1. Педолитостратиграфия почвенно-седиментационных последовательностей (ПСП) в изученных озёрных котловинах. Условные обозначения: 1 – озёрные пески береговых валов, 2 – педоседименты, 3 – золовые пески, 4 – плейстоценовые суглинки (базовый субстрат), 5 – лимний озёрных террас, 6 – номер слоя в ПСП, 7 – порядковый номер почвы в ПСП, 8 – калиброванный возраст почвы по  $^{14}\text{C}$  и место взятия пробы.

Для озера Саргуль реконструированы события для среднего и позднего голоцена, начиная с 7,8 тыс. л. назад. Разрез SA7-19 вскрывает одну из древних береговых линий, которая существовала в интервале 7,8–5,6 тыс. л. н. ПСП состоит из трех седиментационных слоёв, одной поверхностной и трёх погребённых почв (рис. 1). Базовым седиментом, как и для остальных ПСП, является неоплейстоценовый лёссовидный карбонатный суглинок (слой 75–150 см). Голоценовые отложения (0–60 см) указывают на продолжительный этап

осадконакопления 5,3–3,0 тыс. л. н, который прерывался этапом педогенеза 3,8–4,2 тыс. л. н. и, соответственно, регрессией озера, о чём свидетельствует погребённая почва (35–60 см), частично разрушенная в начале следующего этапа осадконакопления, вызванного трансгрессией озера.

Строение ПСП оз. Саргуль и свойства почв в их составе свидетельствует, что в первой половине голоцена для котловины характерны стабильные условия, продолжительный педогенез и короткие этапы осадконакопления. Локальный ландшафт в окружении озера развивался при высоком уровне грунтовых вод, которые оказывали влияние на почвы, в результате чего в них обнаруживаются признаки гидроморфизма. Так почва в основании ПСП SA7-19 сформировалась до 7,6 лет назад как полугидроморфная почва. В середине голоцена (5,0–5,5 тыс. л. н) установлено кратковременное потепление климата, что отразилось на химических свойствах синхронной палеопочвы. В ней происходила гидрогенная аккумуляция (из грунтовых вод) водорастворимых солей. Затем после 5,0 тыс. л. н. наступает гумидная фаза, в результате чего уровень озера повышается, происходит абразия берегов и погребение почвы на базовом субстрате. Для позднего голоцена (3,0 – 0 тыс. л. н.) характерны частые смены периодов осадконакопления и короткие периоды почвообразования, что свидетельствует о нестабильности уровня озера. В целом для этого времени характерно снижение уровня воды в озере, формирование молодых береговых валов.

ПСП в котловине оз. Ярковский охватывает период позднего голоцена (3,5 – 0 тыс. л. н.). Озеро появилось около 8,7 тыс. л. н. и до середины голоцена было мелководным [7], а в этой части котловины находился приозёрный болотный пояс. После 3,5 тыс. л. н. начинается период циклических колебаний уровня воды в озере. К концу этого периода условия становятся более тёплыми, о чём свидетельствует биогенная аккумуляция карбонатов в виде раковин моллюсков. Около 400 лет назад происходит усиление эоловой активности, в результате чего поверх озерных отложения откладывается эоловый песок, что характерно при аридизации климата. Последний этап почвообразования начался около 350 лет назад, когда поверхность эоловых песков стабилизировалась, и на них сформировалась дневная почва – псаммозём гумусовый.

В котловине оз. Большой Баган были обнаружены 4 ПСП, также приуроченных к береговым валам. По их лито-хроно-стратиграфии установлены этапы быстрой седиментации и короткие периоды педогенеза, так как в погребённых почвах ПСП сформировались только гумусовые горизонты, часто слабо развитые, разделённые более мощными седиментационными слоями [8]. В строении всех ПСП принимают участие два основных типа седиментов: озерные пески береговых фаций и оглеенные субаэральные-делювиальные суглинки. Для всех ПСП характерен резкий текстурный переход между ними. Кроме этих двух типов седиментов в верхней части БГ4-19 и БГ5-19 присутствуют эоловые слои. Мощность песчаных слоёв увеличивается в направлении к озеру: 60 см в профиле БГ2-19, 89 см профиле БГ4-19, 146 см в профиле БГ5-19 (рис.1). ПСП БГ2-19 включает 4 почвы, в том числе и поверхностную, БГ3-19 – 3 почвы, БГ4-19 – 5 почв и БГ5-19 – 5 почв. Самая нижняя почва во всех ПСП – это солонец тёмный квазиглееватый, который сформирован на суглинистых отложениях базового субстрата и имеет реликтовые признаки гидроморфного почвообразования. Дневные и погребённые почвы песчаных отложений во всех ПСП имеют профиль А–С или W–С. Трансгрессия озера имеет поздне-голоценовый возраст и началась около 3,9 тыс. л. н. Как и для других озёр, выявлено усиление эоловой активности в последние 300–400 лет.

ПСП в котловине озера Кулундинское имеют простое лито-стратиграфическое строение (рис.1). Разрез KUL5 приуроченный к более молодому валу, состоит из двух седиментационных слоёв: верхние 80 см образованы озерными песками берегового вала, в верхней части – гравийно-крупно-песчаными, в нижней – мелкопесчаными. Подстилаются они слоистым лимнием озерной террасы. Разрез KUL6, расположенный на более древней береговой линии, также образован двумя седиментами: слой 0–73 см – это озерные крупно-зернистые пески залегающие на опесчаненных суглинках, которыми сложена прилегающая равнина. Разрез KUL5 состоит из поверхностной и трёх погребённых почв. Поверхностная почва – это тёмногумусовая (отдел органо-аккумулятивные) с простым профилем типа А–С. Погребённые почвы представляют собой перегнойно-тёмногумусовые глееватые почвы, также относящиеся



к отделу органо-аккумулятивные без срединного горизонта и с признаками гидрогенной трансформации (оржавление и оглеение) в почвообразующей породе. ПСП оз. Кулундинское фиксируют озёрные ритмы, произошедшие в позднем голоцене. Около 3,1 тыс. л. н. началась трансгрессия озера, проходившая в два этапа. Максимальная трансгрессия относится к периоду 1,3–1,2 тыс. л. н., в результате которой сформировался дальний от современной береговой линии вал. Поздняя трансгрессия, когда в ПСП KUL5-20 отложился верхний слой пляжевых песков берегового вала, датируется возрастом 741 л. н.

**Заключение.** Почвенно-седиментационные последовательности (ПСП) в озерных котловинах степного биома Западной Сибири являются почвенными архивами. Проведённые исследования показали их информативность для реконструкции климатических флуктуаций голоцена. Одним из индикаторов климатических ритмов является педостратиграфическое строение ПСП. В их составе седиментационные слои фиксируют этапы озёрного осадконакопления и трансгрессии озера, что соответствует гумидным климатическим фазам. Почвы маркируют этапы педогенеза, регрессивные этапы озёрного ритма и, соответственно, аридные климатические фазы. Для почв в составе ПСП нами выявлены основные закономерности педогенеза, которые зависят от генезиса и свойств субстрата, уровня грунтовых вод и климата, а также от продолжительности этапа педогенеза. В некоторых погребённых почвах обнаружена педогенная аккумуляция легкорастворимых солей и обменного натрия, что обусловлено высокой эвапотранспирацией и указывает на жаркий засушливый климат летнего сезона.

По результатам изучения ПСП в озёрных котловинах установлено, что начало последней трансгрессии озёр, имеющей региональный масштаб, и соответственно, гумидной климатической фазы, датируется поздним голоценом после 3,9 тыс. л. н. После 1,5–1,8 тыс. л. н. наступает стадия регрессии озёр, что зафиксировано в ПСП всех изученных озёр. Для этого времени характерны частые смены условий седиментации и короткие периоды педогенеза. В это время формируются слаборазвитые почвы, с простым строением профиля (типа А–С), с маломощными (5–20 см) гумусовыми горизонтами, разделённые более мощными (30–60 см) седиментационными слоями. В ряде котловин (Ярковский плес, Большой Баган) озёрные валы с поверхности перекрыты эоловыми песками. Период эолового осадконакопления молодой и имеет возраст 150–500 лет. Регрессия озёр после 1,8 тыс. л. н. свидетельствует об аридизации климата в это время.

**Финансирование.** Работа выполнена по Государственному заданию ИПА СО РАН.

#### Литература

1. Tabor N.J., Myers T.S. Paleosols as Indicators of Paleoenvironment and Paleoclimate // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2015. Vol. 43. P. 333–361.
2. Шнитников А.В. Внутривековые колебания уровня степных озёр Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата: Труды лаборатории озероведения АН СССР. 1950. Т. 1. 185 с.
3. Zolnikov I.D., Glushkova N.V., Smolentseva E.N., Chupina D.A., Pchel'nikov D.V., Lyamina V.A. GIS and Remote Sensing Data-Based Methods for Monitoring Water and Soil Objects in the Steppe Biome of Western Siberia // *Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia*. Springer Nature. 2015. P. 253–268.
4. Gavrilov D.A., Smolentseva E.N., Saprykin O. I. Soils of lake depressions in the steppe biome of West Siberia as indicators of Holocene climate rhythms // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. P. 862.
5. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2010. 205 с.
6. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.
7. Жданова А.Н., Солотчина Э.П., Солотчин П.А., Кривоногов С.К., Даниленко И.В. Отражение изменений климата голоцена в минералогии донных осадков Ярковского плеса озера Чаны (юг Западной Сибири) // *Геология и геофизика*. 2017. т. 58. № 6. с. 856–868.

8. Smolentseva E.N., Gavrilov D.A. Soil-sedimentary sequences of lake depressions in the steppe zone of West Siberia (Russia) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. P. 82067.

## REFLECTION OF HOLOCENE CLIMATIC RHYTHMS IN THE SOILS OF LAKE BASINS IN THE STEPPE BIOME OF WESTERN SIBERIA

E.N. Smolentseva, O.I. Saprikin

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia, esmolenceva@issa-siberia.ru

*Summary. In four lake basins of the steppe biome of Western Siberia soil-sedimentary sequences (SSS) associated with paleoshore lines of lakes have been studied. All SSS reflect the spatio-temporal features of climate-dependent fluctuations in the size of lakes in the Holocene. They record the main stages of the evolution of lakes and the corresponding rhythmic changes in the adjacent landscapes: flooding and flooding of subaerial areas in humid climatic phases and drying of subaquatic – in arid.*

*Keywords: paleosols, soil-sedimentary sequences, soil archives, paleoclimate, beach ridge.*

УДК 551.89/631.487

## ЭВОЛЮЦИЯ РЫШКОВСКИХ ПАЛЕОПОЧВ В МИКУЛИНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ (127–117 ТЫС. ЛЕТ НАЗАД) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ ПАЛЕОКАТЕН В АЛЕКСАНДРОВСКОМ КАРЬЕРЕ-2011, КУРСКАЯ ОБЛАСТЬ

С.А. Сычева, П.Р. Пушкина

Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия, sychevasa@mail.ru

*Аннотация. В статье рассматриваются результаты изучения палеокатен по склонам микулинской ложбины и приводораздельного склона. Установлена неоднократная смена педогенных и мофролитогенных стадий, приведшая к образованию рышковского педолитокомплекса, отражающего нестабильность климата в последнее завершённое межледниковье.*

*Ключевые слова: стадийность почвообразования и эрозии почв, педоциклит, климат.*

Изучение палеокатен последнего (микулинского, эмского) межледниковья имеет большое значение для познания пространственно-временных закономерностей изменения палеоландшафтов и климата в полном ледниково-межледниковом цикле. Плакорные лёссово-почвенные разрезы не фиксируют мелкие климатические флуктуации и не отражают разнообразие палеоэкологических условий. Изучение палеопочв в разрезах, расположенных на разных элементах рельефа, образующих палеокатены, позволяет дополнить недостающие звенья геологической летописи и детализировать палеогеографические события [1].

ОСЛ-датирование морских и ледовых отложений позволило определить продолжительность последнего межледниковья (МИС 5е), как 12–15 тыс. лет. Это подтверждено и результатами нашего исследования, проведенного в разрезе Александровский карьер. Возрастные рамки формирования рышковской палеопочвы укладываются в интервал 127 (гор. ВС в основании профиля) – 117 тыс. лет назад (дата 115 тыс. лет назад получена также для перекрывающего почву педоседимента) [2].

Результаты изучения детальных геологических архивов (озерных, болотных, океанических, ледовых) показали, что климат последнего межледниковья не был стабильным. На фоне мелкоритмичных изменений внутри межледниковья выделяются два – три крупных похолодания.

В отличие от плакоров в палеодепрессиях создаются условия для дискретного и повышенного осадконакопления, что способствует образованию и сохранению палеопочвенных комплексов, отражающих климатические изменения в более полном виде. Примером таких почв являются рышковский педолитокомплекс, состоящий из двух-трех, а иногда четырех профилей, наложенных или совмещенных друг с другом. Перерывы в почвообразовании и захоронение почв отдельных стадий в результате ускоренного осадконакопления связано с усилением эрозионных процессов после сильных лесных пожаров

в условиях продолжительных засух, последующих ливней и эндотермальных похолоданий [3]. В результате формируются внутримежледниковые педоциклиты, состоящих из менее развитых почв, разделенных педоседиментами.

Объектами нашего исследования являются погребенные рышковские палеокатены микулинского возраста в Александровском карьере в Курской области в 2011 г. Изучен поперечный геолого-геоморфологический профиль погребенной ложбины (верховье московско-микулинской палеобалки), противоположные склоны которой образуют две катены. Один длинный и пологий склон обращен на север (катена 1), другой – короткий на юг (катена 2). Катена 1 осложнена дополнительным береговым оврагом. Вне заполнения палеобалки межледниковая палеопочва не сохранилась.

Изменение рышковской палеопочвы в катенах не отличается резкой контрастностью. Варибельность укладывается в рамки одного генетического типа. Наиболее близкий аналог – дерново-подзолистая текстурно-дифференцированная почва смешанных лесов. Основные отличия почв, развитых в палеокатенах, связаны со степенью детальности записи эволюционного развития, обусловленной различными сочетаниями процессов почвообразования с денудационно-седиментационными процессами. Палеокатена 2 по склону, обращенному на юг, отличается меньшей мощностью и простотой почвенных профилей: Ah-E-Bt. Палеокатена 1 по противоположному склону более разнообразна по полноте строения палеопочвенных профилей. Она осложнена микрокатеной по погребенному береговому оврагу. В днище и на склоне ложбины, примыкающей к приводораздельному склону в теле межледникового рышковского педолитокомплекса обнаружен хорошо выраженный погребенный гумусовый горизонт, свидетельствующий о развитии луговых почв в первую половину межледниковья.

На основании изучения рышковских палеокатен реконструируются следующие стадии развития почв в микулинское межледниковье:

1) формирование нижней луговой почвы (первая почвенная стадия) читается по всей палеокатене 1 в днище ложбины и на склоне северной экспозиции с профилем 3Ah-Bt;

2) первая морфолитогенная стадия – заложение оврагов, последующее заполнение их материалом гумусового горизонта 3Ah, снесенного со склонов в внутримежледниковое похолодание; центр ложбины сместился в более глубокий правый овраг, тогда как левый овраг быстро заполнился;

3) вторая почвенная стадия – формирование профиля дерново-подзолистой почвы: 2Ah-E-3Aht (превращение третьего гумусового горизонта в иллювиальный) проявилось по всей катене склона северной экспозиции;

4) последующая эрозия и аккумуляция гумусового материала в днище правого оврага и (вторая морфолитогенная стадия);

5) третья почвенная стадия (дерново-подзолистая почва) проявилась по всей катене;

6) стрессовая перестройка палеоэкологической обстановки перед погребением: следы сильного пожара, послепожарная ливневая эрозия в конце межледниковья (третья морфолитогенная стадия).

Таким образом, в палеокатене 1 по склону северной экспозиции, и особенно в днищах берегового оврага и балки, отражена детальная смена этапов развития локальных ландшафтов: три почвообразовательные стадии, разделенные двумя эрозионными стадиями, и завершающая, наиболее интенсивная, третья эрозионная стадия.

Выявленная цикличность связана с изменчивостью климата в микулинское межледниковье, которая также была реконструирована по другим биостратиграфическим индикаторам: изменению спорово-пыльцевых спектров [4] и фитоцитов [5] по профилю рышковского педолитокомплекса.

### Литература

1. Сычева С.А. Эволюция позднеплейстоценовых катен Среднерусской возвышенности в полном климатическом ритме «оледенение-межледниковье» // Почвоведение. 1994. №10. С. 30–40.
2. Sycheva S.A., Khokhlova O. S., Pushkina P.R. Structure of the Late Pleistocene Climate Rhythm Inferred from the Detailed Soil-Sedimentation Archive of the Extraglacial Region of the East

European Plain (Aleksandrovka Quarry) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2021. V. 29. № 3. p. 368–387.

3. Сычева С.А., Дайнеко Е.К., Сулержицкий Л.Д., Узянов А.А., Чичагова О.А. Этапы эрозии на Среднерусской возвышенности в голоцене // Геоморфология. 1998. №3. 12–20.
4. Сычева С.А., Гунова В.С. Результаты изучения позднеплейстоценового лессово-почвенного комплекса в погребенной балочной системе Среднерусской возвышенности // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2004. № 65. С. 86–101.
5. Golyeva A.A., Sycheva S.A. Soils, plants and climate of the Eemian interglacial local landscapes of the Russian plain on base of biogenic silica analysis // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. № 13. pp. 1569–1573.

#### THE EVOLUTION OF THE RYSHKOVO PALEOSOLS IN THE MIKULINO INTERGLACIAL (127-117 THOUSANDS YEARS) BASED ON THE RESULTS OF THE STUDY OF PALEOCATENAS IN THE ALEXANDER QUARRY - 2011, KURSK REGION

S.A. Sycheva, P.R. Pushkina

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia sychevasa@mail.ru

*Summary.* The article discusses the results of the study of paleocatenas on the slopes of the Mikulino depression and the watershed of the slope. The repeated change of pedogenic and mofrolitogenic stages has been established, which led to the formation of the Ryshkovo pedolithocomplex, reflecting the instability of the climate in the last completed interglacial.

*Keywords:* stages of soil formation and soil erosion, pedocyclites, climate.

УДК 631.4:528.913

#### ГРУППИРОВКА ПОЧВ ГОМЕЛЬСКОГО РАЙОНА ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХАМ И ЗАСУШЛИВЫМ ЯВЛЕНИЯМ

А.М. Устинова, В.Б. Цырибко, Л.А. Логачев, А.А. Митькова

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, erosion@brissa.by

*Аннотация.* Почвенный покров Гомельского района подвержен высоким потенциальным рискам проявления засушливых явлений в связи с преобладанием почв легкого гранулометрического состава (65,6% от общей площади) автоморфной степени увлажнения (40,0%). Установлено, что такие почвы распространены в юго-восточной части района. Удельный вес наименее устойчивых и слабоустойчивых почв составляет 55,9% от общей площади района и 13,5% от сельскохозяйственных земель, причем наиболее уязвимые относятся к несельскохозяйственным землям.

*Ключевые слова:* засуха, засушливые явления, риски, степень увлажнения почв, гранулометрический состав почв, почвенный покров.

**Введение.** Последствия изменения климата за последние несколько десятков лет (теплые зимы, увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, увеличение повторяемости засух, высоких температур воздуха и др.) оказывают существенное влияние на земледельческую отрасль сельского хозяйства республики. Наибольший ущерб аграрному производству наносит засуха. В засушливые и сухие годы урожайность зерновых и зернобобовых культур может снижаться на 20% и более.

Территория Беларуси расположена в зоне достаточного увлажнения, однако за последние десятилетия вероятность возникновения засух и их продолжительность увеличились как за счет глобального изменения (потепления) климата, так и за счет антропогенного воздействия на природную среду (мелиорация земель, нарушение естественного растительного покрова, водоотведение, урбанизация и др.) [1].

По данным Белгидромета за период с 1968 г. по 2016 г. около 90%, отмеченных хотя бы в одной области и занявших более 30% ее площади, наблюдалось в мае-июле. В половине лет из 20 (1989–2010 гг.) в республике отмечались засушливые условия на протяжении 2-х и более месяцев в период активной вегетации растений [2].



Актуальность предлагаемых исследований обусловлена тем, что стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменениям климата предусматривает разработку системы мер, направленных на минимизацию негативного воздействия засух и засушливых явлений в первую очередь в растениеводческой отрасли аграрного производства. В связи с этим требуется углубленное изучение влияния климатических изменений на протекание почвенных процессов, водный режим и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в период их вегетации [3].

Цель исследований заключалась в группировке почв Гомельского района по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям и составлении цифровой карты пространственного распределения почв.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований является почвенный покров Гомельского района [4]. В ходе исследований почвы Гомельского района были разделены на четыре группы по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям в зависимости от их почвенно-гидрологических констант, гранулометрического состава почв и подстилающей породы:

– наименее устойчивые – дерново-подзолистые (д.-п.) автоморфные песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые песками; дегроторфяные остаточные торфяные и постторфяные песчаные и супесчаные;

– слабоустойчивые – д.-п. автоморфные песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые связными породами; д.-п. слабogleеватые песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые песками;

– среднеустойчивые – д.-п. автоморфные легко- и среднесуглинистые; д.-п. слабogleеватые легко- и среднесуглинистые, песчаные и рыхлосупесчаные, подстилаемые связными породами; дерновые глееватые и глеевые песчаные и супесчаные; д.-п. глееватые и глеевые песчаные и супесчаные, дегроторфяные торфяно-минеральные, подстилаемые песком; дегроторфяные остаточные торфяные и постторфяные суглинистые; аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные на песчаном и супесчаном аллювии;

– наиболее устойчивые – дерновые глееватые и глеевые суглинистые; д.-п. глееватые и глеевые суглинистые; торфяные; дегроторфяные торфяно-минеральные, подстилаемые суглинком; аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные на суглинистом аллювии; аллювиальные заболоченные [5].

**Результаты и их обсуждение.** На первом этапе были созданы цифровые карты пространственного распространения почв различной степени увлажнения (по основной почвенной разновидности) и различного гранулометрического состава на территории Гомельского района (рис. 1).

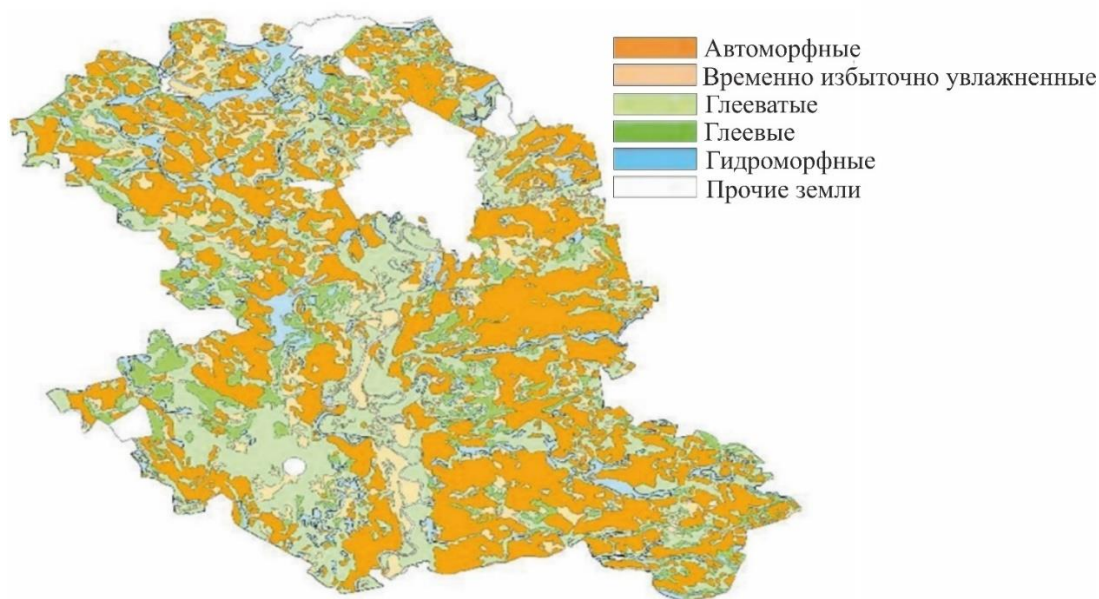


Рисунок 1. Пространственное распространение почв по степени увлажнения на территории Гомельского района.

Анализ созданной цифровой карты показал, что на сельскохозяйственных землях Гомельского района по параметру «степень увлажнения» 45,2% территории занимают устойчивые к засухам и засушливым явлениям почвы. К ним относятся по степени увлажнения полугидроморфные (глееватые, глеевые) гидроморфные почвы. Слабоустойчивые к засухам (временно избыточно увлажненные) составляют 14,8% и наименее устойчивые (автоморфные) почвы – 40,0% (рис. 2). Значительная доля полугидроморфных почв (48,7%) приурочена к пойме р. Сож и её притоков. Однако большинство пахотных земель расположено на автоморфных почвенных разновидностях, на которых потенциальный риск проявления засухи высокий.



Рисунок 2. Распределение почв по устойчивости к засухам и засушливым явлениям на территории Гомельского района по степени увлажнения, %.

По параметру «гранулометрический состав почв» наименее устойчивые к засухам и засушливым явлениям связно- и рыхлоспесчаные почвы занимают на сельскохозяйственных землях 65,6 %. Площадь слабоустойчивых рыхлоспесчаных почв составляет 16,6 %, устойчивых (легкосуглинистых, связносупесчаных, органогенных) – 17,8 % (рис. 3).

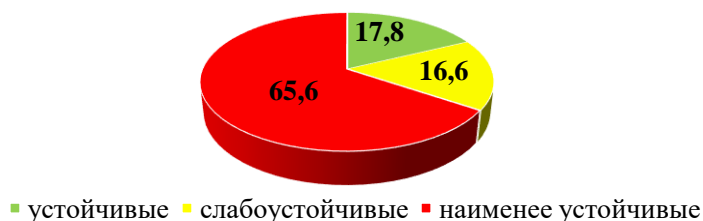


Рисунок 3. Распределение почв по устойчивости к засухам и засушливым явлениям на территории Гомельского района по гранулометрическому составу, %

На рисунке 4 представлена цифровая карта пространственного распространения почв различного гранулометрического состава на территории Гомельского района.

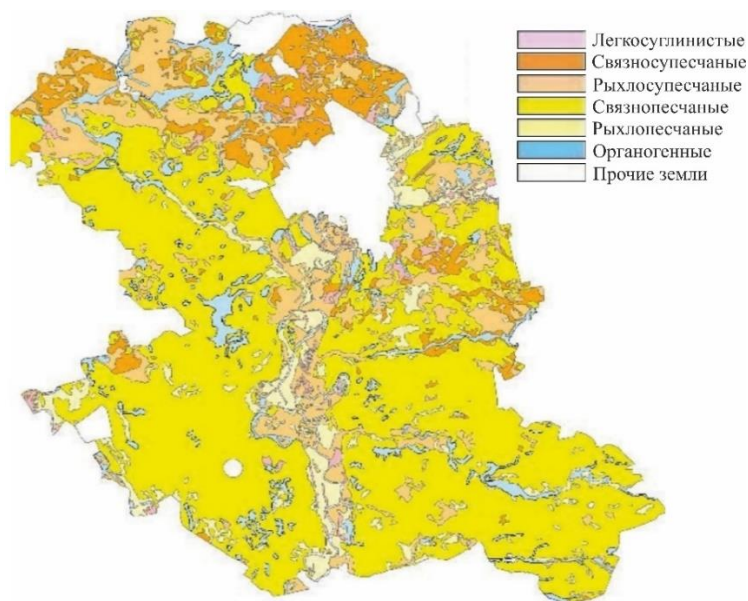


Рисунок 4. Распространение почв различного гранулометрического состава на территории Гомельского района (по основной почвенной разновидности).

Преобладание песчаных почв (60,4%) указывает на высокую степень вероятности проявления засух, однако большое распространение аллювиальных почвообразующих пород несколько уменьшает потенциальные риски.

В целом, основываясь на распределении основных факторов устойчивости к засухам, наиболее вероятно проявление засушливых явлений в юго-восточной части Гомельского района.

Обобщение картографического материала дало возможность установить площади почв района по степеням устойчивости к засухам и засушливым явлениям (табл., рис. 5).

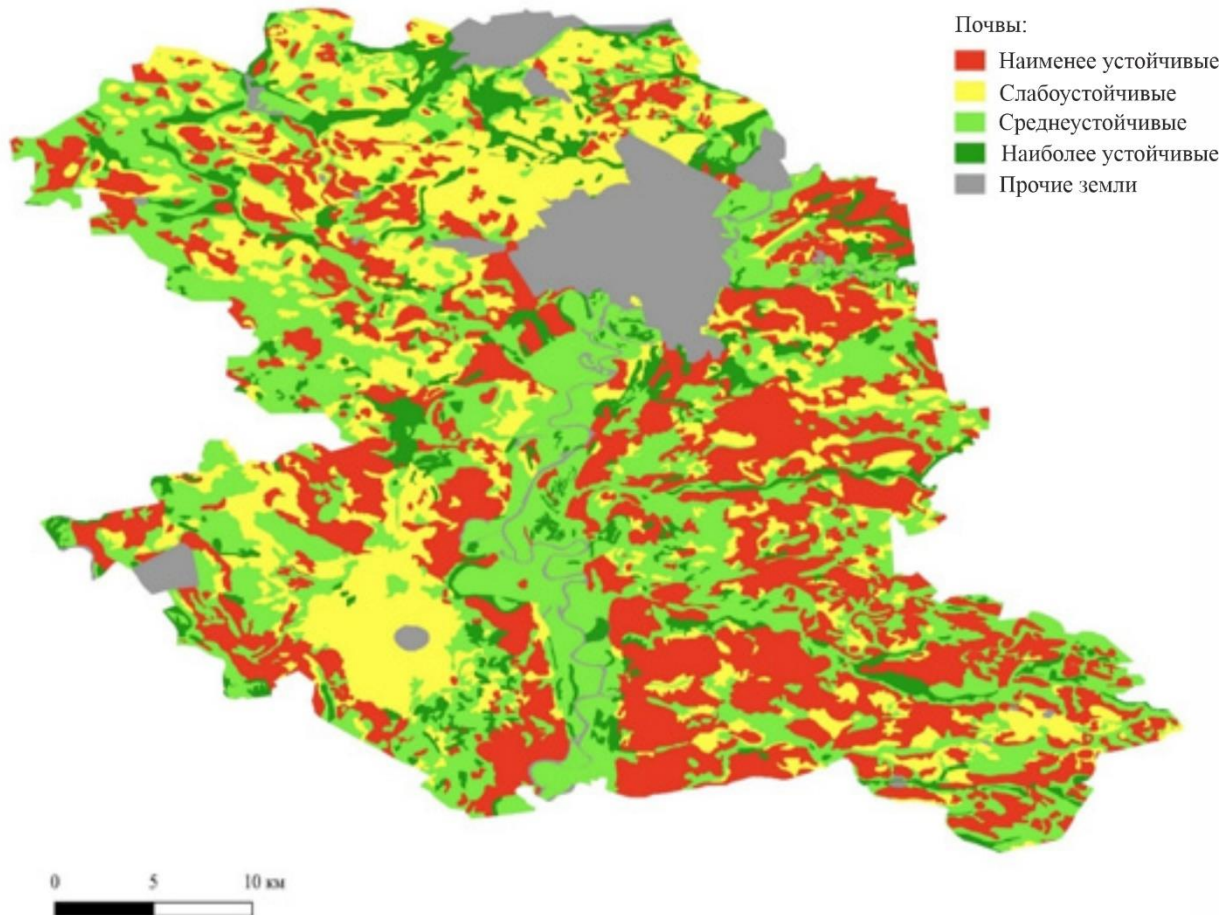


Рисунок 5. Распространение почв различной степени устойчивости на территории Гомельского района (по основной почвенной разновидности).

Таблица. Распределение почв Гомельского района по степени устойчивости к засухам и засушливым явлениям (по основной разновидности), %

Вид земель	Степень устойчивости почв			
	наименее устойчивые	слабоустойчивые	среднеустойчивые	наиболее устойчивые
все земли	32,6	23,3	35,2	8,9
сельскохозяйственные	3,6	9,9	76,0	10,5

В почвенном покрове Гомельского района преобладают наименее устойчивые и слабоустойчивые к засухам почв. Их суммарная доля составляет 55,9%. Среднеустойчивые почвы также достаточно широко представлены на территории района – их удельный вес 35,2%. Доля наиболее устойчивых всего 8,9%.

Отметим, что в составе сельскохозяйственных земель преобладают среднеустойчивые почвенные разновидности (76,0%), что обусловлено широким распространением аллювиальных почв в пойме р. Сож и её притоков.



Доля почв сельскохозяйственных земель с наивысшим риском проявления засух (наименее устойчивые и слабоустойчивые) составляет 13,5%. Выявлена значительная разница в удельном весе данных почв в почвенном покрове района (55,9%) и в составе сельскохозяйственных (13,5%), что указывает на использование их в качестве лесных земель.

Таким образом, почвенный покров Гомельского района подвержен высоким потенциальным рискам проявления засушливых явлений. Основные факторы риска – преобладание почв легкого гранулометрического состава (65,6% от общей площади) автоморфной степени увлажнения (40,0%). Согласно созданным цифровым картам, такие почвы распространены в юго-восточной части Гомельского района. Установлено, что удельный вес наименее устойчивых и слабоустойчивых почв составляет 55,9% от общей площади района и 13,5% от сельскохозяйственных земель. Стоит отметить, что наименее устойчивые к засухам и засушливым явлениям почвы относятся к категории несельскохозяйственных земель.

### Литература

1. Мееровский, А.С. Уязвимость почв сельскохозяйственных земель к засухам в условиях потепления климата Белорусского Полесья / А.С. Мееровский, В.И. Мельник, В.М. Яцухно // Мелиорация. 2 (96). Минск, 2021. С. 29–36.
2. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата [Электронный ресурс] / В. Мельник [и др.]. Минск-Женева, 2017. 54 с. URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. (Дата обращения: 21.03.2023).
3. Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменениям климата [Электронный ресурс], URL: <http://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/adaptation%20strategy%20for%20belarus%20agriculture%20RUS.pdf>. (Дата обращения: 28.03.2023).
4. Почвенная карта Гомельского района М 1 : 10 000.
5. Установление параметров устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и составление цифровых карт пространственного распределения выявленных факторов (на примере Каменецкого района) / В.Б. Цырибко [и др.]. // Почвоведение и агрохимия. № 1(70). Минск, 2023. С.38–48.

### GROUPING OF THE GOMEL DISTRICT SOILS ACCORDING TO THE DEGREE OF RESISTANCE TO DROUGHTS AND ARID PHENOMENA

H.M. Ustinova, V.B. Tsyrybka, I.A. Lahachov, A.A. Mit'kova

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, [erosion@brissa.by](mailto:erosion@brissa.by)

*Summary.* The soil cover of the Gomel district is subject to high potential risks of arid phenomena due to the predominance of light granulometric composition (65.6% of the total area) soils of an automorphic degree of moisture (40,0%). It has been established that such soils predominate in the southeastern part of the district. The share of the least and weakly resistant soils is 55,9% of the total district area and 13,5% of agricultural land, with the most vulnerable being non-agricultural land

*Keywords:* drought, arid phenomena, risks, degree of moisture of soils, granulometric composition of soils, soil cover.



УДК 631.4:551.8

## ГУМУСОВЫЙ ПРОФИЛЬ СРЕДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

А.П. Учаев<sup>1</sup>, О.А. Некрасова<sup>1</sup>, М.И. Дергачева<sup>2</sup>, Н.Л. Бажина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, [anton.uchaev@urfu.ru](mailto:anton.uchaev@urfu.ru)

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, [mid555@yandex.com](mailto:mid555@yandex.com)

**Аннотация.** Изучен состав гумуса среднеплейстоценовых отложений в карьере города Миасс (Челябинская область). Проведенная диагностика среднеплейстоценовых отложений Южного Урала на основании анализа системы гумусовых веществ показала, что преобладающим типом почвообразования в период формирования палеопочв было черноземообразование, тогда как педогенное преобразование отложений тынынского стратиграфического горизонта происходило в холодных и влажных условиях.

**Ключевые слова:** гумусовый профиль, палеопочвы, средний плейстоцен, Южный Урал.

Система гумусовых веществ является надежным носителем почвенной «памяти» [1]. Состав гумуса, соотношение основных его компонентов обладают сенсорностью и рефлекторностью по отношению к климатическим условиям, а гумусовый профиль, концептуальный подход к понятию которого разработан М.И. Дергачевой [2], фиксирует этапы почвообразования. Являясь интегральным показателем, он отражает и сохраняет все состояния, которые проходит почва в период своего развития, поскольку соотношение и свойства гумуса как системы обусловлены гидротермическим режимом, в котором проходило образование гумусовых кислот и их органо-минеральных производных. С этих позиций гумусовый профиль может служить инструментом, позволяющим прогнозировать поведение почв в меняющихся природных условиях, что может быть осуществлено на основе интерпретации характеристик гумусового профиля [3].

Объектом исследования послужили среднеплейстоценовые почвы глиняного карьера в городе Миассе Челябинской области (Южной Урал), которые вмещаются, согласно В.В. Стефановскому [4], в Сарыкульский (Миасский), Тынынский и Батурицкий горизонты, охватывающие период около 600–800 тыс. лет назад.

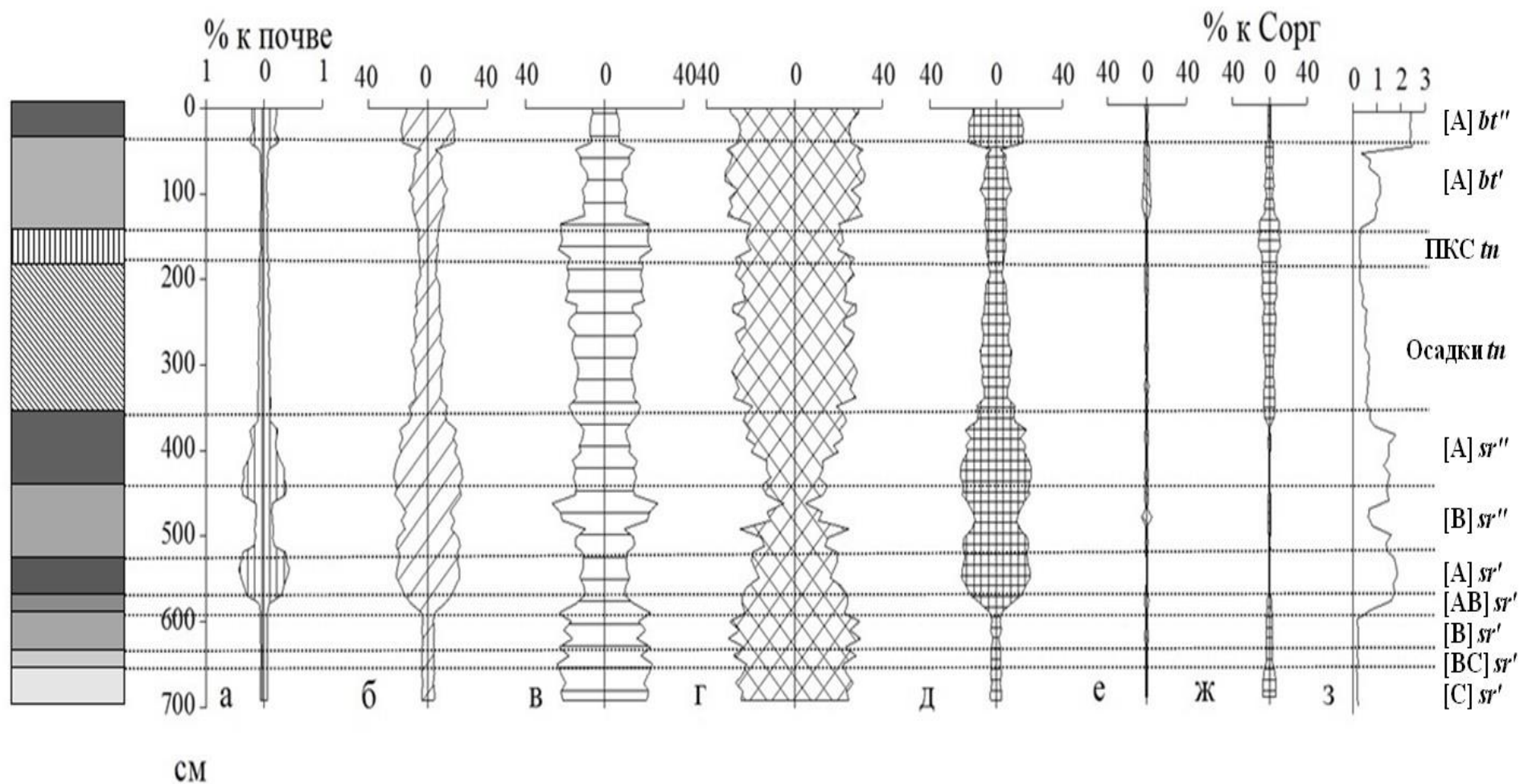
В настоящее время территория относится к Кундравинско-Учалинскому району подзоны сосново-березовых лесов лесной зоны восточного склона Урала [5]. Средняя температура самого теплого месяца составляет +18,2 °С, самого холодного равна –14,4 °С, среднегодовая температура воздуха – +2,4 °С. Глубина снежного покрова не превышает 60–90 см, глубина промерзания почвы колеблется от 50 до 80 см. Годовое количество осадков составляет около 560 мм, сумма активных температур воздуха – 1900 °С [6, 7].

Для изучения состава гумуса применялся метод И. В. Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой [8].

На основании проведенной по мощности горизонтов и удельной магнитной восприимчивости массы палеопочв или осадков корреляции между изученными палеопочвами и отложениями Миасского карьера разных зачисток [9, 10], по усредненным значениям была построена гумусовая профилограмма составной колонки педогенно переработанных среднеплейстоценовых осадков (рисунок 1), что позволило проследить тенденции изменений природной среды за этот период.

В отложениях сарыкульского периода (рисунок 1) четко выделяются две толщи относительно повышенного гумусонакопления, совпадающие с горизонтами [А] нижней (sr') и верхней (sr'') палеопочв, с наибольшей долей гуминовых кислот в составе гумуса, имеющей близкие значения (около 40%), представленных преимущественно гуматами кальция, на долю которых приходится свыше 80% ГК.

Фульвокислоты в гумусовом горизонте нижней (sr') сарыкульской палеопочвы (рис. 1) имеют минимальное в изученной части этого стратиграфического горизонта содержание,



а – общий органический углерод, % к почве;  
 % к общему органическому углероду: б – сумма гуминовых кислот (ГК); в – сумма фульвокислот (ФК);  
 г – негидролизуемые формы гумуса; д – ГК фр.1+2; е – ГК фр. 3; ж – ФК фр. 1а; з – СГК:СФК

Рисунок 1. Гумусовый профиль составной колонки палеопочв и вмещающих их отложений Миасского карьера.

составляющее в составе гумуса около 20%, в горизонте [A] верхней (sr'') палеопочвы их количество повышается до 30%, что отражается на интегральной характеристике состава гумуса – Сгк:Сфк.

Гумус горизонта [A] нижней сарыкульской палеопочвы имеет гуматный состав (Сгк:Сфк=1,72±0,14), верхней сарыкульской палеопочвы – пограничный между гуматным и фульватно-гуматным (1,45±0,08). На основании этих данных можно заключить, что формирование обеих почв шло по типу черноземообразования, т.е. условия их функционирования были теплыми, но в период формирования нижней – менее влажные, чем верхней.

Толща тыньинских осадков, перекрывающая сарыкульские палеопочвы (см. рис. 1), характеризуется постепенным убыванием снизу-вверх содержания гуминовых кислот в составе гумуса (от 26 до 10%) и увеличением в этом направлении доли фульвокислот (от 27 до 47%). Гумус в толще от 366 до 225 см имеет гуматно-фульватный состав, выше – фульватный, Сгк:Сфк тыньинских осадков уменьшается от 0,70 в подошве слоя до 0,28 – в его кровле.

Ход изменения величины соотношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот (интегрального показателя состава гумуса) отражает формирование большей части толщи тыньинского горизонта в холодных и влажных условиях, при продолжающемся понижении теплообеспеченности и росте увлажненности.

Гумусовый горизонт нижней батуриной (bt') палеопочвы (рисунок 1) содержит относительно небольшое количество гуминовых кислот (в среднем около 20%), фульвокислот – от 18 до 25%. Максимум соотношения гуминовых кислот и фульвокислот в горизонте [A] этой палеопочвы не превышает 1,14. Все это указывает на его формирование в относительно теплых и влажных условиях, сопоставимых с условиями северных районов лесостепи.

В составе гумуса горизонта [A] верхних (bt'') батуриных палеопочв (рисунок 1) преобладают гуминовые кислоты (среднее содержание 33,7±2,2%), на фульвокислоты в среднем приходится около 14% от содержания общего количества гумусовых веществ. Гумус этого горизонта имеет гуматный состав, характеризующийся наибольшими величинами отношения Сгк:Сфк во всей рассматриваемой толще отложений, равными 2,42±0,05, что диагностирует самые оптимальные для гумусообразования (и почвообразования) условия сочетания тепла и влаги в период его формирования.

Проведенная на основании характеристик органо-минеральных продуктов педогенеза диагностика среднеплейстоценовых отложений Южного Урала показала, что преобладающим типом почвообразования в период формирования палеопочв было черноземообразование, тогда как педогенное преобразование отложений тыньинского стратиграфического горизонта происходило, судя по характеристикам системы гумусовых веществ, в холодных и влажных условиях.

Таким образом, сарыкульские палеопочвы функционировали в теплых условиях с разной степенью увлажнения, перекрывающие их тыньинские осадки формировались в холодное и влажное время, при дальнейшем ухудшении условий для образования органо-минеральных продуктов почвообразования – понижения температуры и увеличения увлажненности, формирование расположенных над ними батуриных палеопочв также происходило в теплых условиях с разной степенью увлажнения: максимальных в нижней палеопочве и оптимальных – в верхних.

### Литература

1. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Издательство ЛКИ, 2008. С. 530–560.
2. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика, Новосибирск: Наука, 1984. 155 с.
3. Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовые профили почв экотона тайга – степь Западной Сибири. Томск–Новосибирск: ООО Окарина, 2011. 127 с.
4. Стефановский В.В. Плиоцен и квартал Восточного склона Урала и Зауралья. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. 223 с.

5. Куликов П.В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 969 с.
6. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Ч.4. Влажность воздуха и осадки. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. 372 с.
7. Климат: Миасс. 2023. // [climate-data.org](http://climate-data.org) URL: <http://ru.climate-data.org/location/1843/> (Дата обращения 19.07.2023).
8. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л., 1975. 105 с.
9. Учаев А.П. Ближние корреляции разрезов сарыкульских палеопочв на Зауральском пенеппене Южного Урала по магнитной восприимчивости // Состав и свойства почв и палеопочв разных условий формирования и методы их изучения: Материалы / Девятая Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого», 01–06 августа 2018. Новосибирск, 2018. С. 81–84.
10. Учаев А.П., Некрасова О.А., Дергачева М.И. Диагностика палеоприродной среды лесостепной зоны Южного Урала на границе Брюнес-Матуяма // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42. № 2. С. 142–151.

## HUMUS PROFILE OF MIDDLE PLEISTOCENE SEDIMENTS IN THE SOUTHERN URALS

A.P. Uchaev<sup>1</sup>, O.A. Nekrasova<sup>1</sup>, M.I. Dergacheva<sup>2</sup>, N.L. Bazhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, [anton.uchaev@urfu.ru](mailto:anton.uchaev@urfu.ru)

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [mid555@yandex.com](mailto:mid555@yandex.com)

*Summary. The composition of humus in the Middle Pleistocene sediments in Miass quarry (Chelyabinsk region) was studied. The diagnostics of the Southern Ural Middle Pleistocene sediments, based on the analysis of humus substance system, showed that the predominant type of soil formation during the formation of paleosols was chernozem formation, while the pedogenic transformation of the Tynyinsky stratigraphic horizon sediments occurred in cold and humid conditions.*

*Keywords: humus profile, paleosols, Middle Pleistocene, Southern Urals.*

УДК 631.4

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ: ОТКЛИК НА ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Д.Г. Федоров-Давыдов<sup>1</sup>, В.Е. Остроумов<sup>1</sup>, С.П. Давыдов<sup>2</sup>, А.В. Лупачев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Северо-восточная научно-экспериментальная станция, Республика Саха (Якутия), пос. Черский, [muss96@yandex.ru](mailto:muss96@yandex.ru)

*Аннотация. Анализ температурных режимов и наблюдений за глубиной сезонного протаивания почв, проводимые со второй половины 1990-х гг. на ряде территорий Северной Якутии показал, что их изменение под влиянием глобального потепления происходит, в первую очередь, за счет температур холодного периода, чутко реагирующих на снижение суровости зим и увеличение количества твердых осадков, тогда как отклик летнего температурного режима и сезонного протаивания почв на потепление в разных биогеоценозах проявляется неодинаково. Широко распространенные на изучаемой территории заболоченные ландшафты аласных котловин проявляют высокую инерционность: при наличии колебаний мощности деятельного слоя достоверного тренда в многолетней динамике не выявлено.*

*Ключевые слова: температурный режим, тундровые почвы и экосистемы, глобальное потепление, глубина протаивания.*



В последние десятилетия на территории Северной Якутии (восточный сектор арктической Сибири) наблюдается устойчивый рост, как зимних, так и летних температур воздуха. По данным метеостанции Черский уменьшение суровости зим сочетается с увеличением количества твердых осадков. В других случаях, при отрицательном или статистически недостоверном многолетнем тренде, во второй половине 2010-х годов также наблюдались зимы с повышенной снежностью. По данным метеостанций Черский, Андрюшкино и Чокурдах в XXI столетии выделяются две волны потепления летних сезонов, одна из которых приходится на 2000-ые гг., а вторая – проявилась в последние 3–4 года. Первая волна отличалась многолетней повторяемостью теплых летних сезонов (кумулятивным эффектом) и их совпадением с полупериодом зимнего потепления. Для метеостанции Тикси наблюдается непрерывный рост летних температур с середины 1980-х годов без сколько-нибудь существенных минимумов, а для станции Бухта Амбарчик при положительном тренде летних температур новейшего потепления пока выявлено не было.

Наблюдения за температурой и глубиной сезонного протаивания почв проводятся со второй половины 1990-х гг. на территории Колымской низменности, Яно-Индибирской низменности и п-ва Быковского. Повышение зимних температур воздуха и количества твердых осадков отражается на динамике термического состояния почв Северной Якутии. В 10 точках, где термометрические наблюдения велись в течение продолжительного времени, было обнаружено повышение температур почвы в холодное время года. Аппроксимация с помощью полиномиальных функций позволила выявить волнообразные колебания значений суммы отрицательных среднесуточных температур вдоль положительного линейного тренда. Однако, если на территории Колымской низменности тенденция к увеличению температур почв в зимний период наблюдалась уже давно, то в более западных регионах она четко обозначилась лишь в период аномально снежных зим второй половины 2010-х годов.

Определяющая роль снега в зимнем температурном режиме состоит не только в снижении теплоток и температурных градиентов между атмосферой и почвой, когда последняя уже промерзла, но и в замедлении процесса ее промерзания. Увеличение продолжительности существования осенней «нулевой завесы» во второй половине 2010-х годов наиболее значимо проявилось в северной тайге, где, по сравнению с тундрой, существуют лучшие условия для снегонакопления. В профиле изучаемой криометаморфической почвы, обычно полностью промерзающей к середине января, в наиболее снежные зимы смыкание фронтов сезонной и многолетней мерзлоты происходило 28 февраля 2017 г. и 13 марта 2018 г. После установления прямого теплообмена между атмосферой и многолетней мерзлотой на выхолаживание почвенного профиля и подстилающих пород оставалось не более 2 месяцев. В результате среднегодовая температура на глубине 40 см за 2016–2017 и 2017–2018 гидрологические годы была нулевой, а на глубине 20 см – положительной. В эти же годы наблюдения в районе пос. Черского выявили четко выраженный дисбаланс между поступлением и потерей энергии в годовом цикле, а также резкий рост температуры подпочвенных многолетнемерзлых пород.

Об изменении температурного режима почв в летнее время наилучшим образом можно судить по такому интегральному показателю, как максимальная глубина их сезонного протаивания. За годы мониторинга для 11-ти из 18-ти точек длительного наблюдения отмечалась положительная корреляция со средней температурой воздуха в летний период ( $r = 0,58-0,78$ ) и лишь для одной – с количеством жидких осадков ( $r = 0,51$ ). В силу вышеуказанных причин первая волна потепления оказала большее влияние на почвенный климат, чем вторая. На территории приморских низменностей Якутии в 2000-х годах имели место положительные и статистически достоверные тренды мощности сезонноталого слоя (СТС), величины которых изменялись в широких пределах: от 0,28 до 3,79 см/год. На п-ве Быковском, где потепление было постепенным, без волнообразных колебаний, достоверного увеличения глубины протаивания почв на этом временном отрезке зафиксировано не было.

Дальнейшая динамика мощности СТС, в том числе ее реакция на вторую волну потепления, различалась в зависимости от типа ландшафта. В песчаных подбурах тундры и тайги глубина сезонного протаивания стабилизировалась на новом уровне, на 27–28 см превосходящим значения конца 1990-х годов. В случае развивающихся на песках полигональных болот поздних стадий сукцессии после примерно 10-летнего стабильного периода мощность деятельного слоя стала уменьшаться.

Зональные почвы водоразделов, сложенных высокольдистыми пылевато-суглинистыми отложениями позднеплейстоценовой едомной свиты (ледового комплекса), демонстрируют две модели многолетней динамики глубины сезонного протаивания. Для одной характерен волнообразный рост значений этого показателя при хорошо выраженном линейном тренде. В этом случае мощность СТС четко реагирует на новейшее потепление. Другая модель динамики заключается в постепенном возвращении выведенной из равновесия системы на исходный уровень: с кратковременным (около 5 лет) периодом стабилизации более глубокого протаивания почв (Колымская низменность) или без него (Яно-Индигирская низменность). В притундровом редколесье на востоке изучаемой территории (окрестности пос. Черского) в 2020 году имел место резкий переход от первой модели ко второй.

Картина динамики лишь отчасти объясняется климатическими различиями: например отсутствием второй волны потепления на побережье Восточно-Сибирского моря (мыс Малый Чукочий) и ее четким проявлением в континентальной тундре (среднее течение рек Большая Чукочья и Алазея). В большей степени многолетнее изменение СТС на водораздельных поверхностях определяет высокольдистый и самовоспроизводящийся покровный горизонт отложений едомной свиты (ледового комплекса). Выполняя буферную роль, этот горизонт и ограничивает темпы увеличения протаивания в период потеплений, и способствует возвращению СТС в первоначальное состояние в периоды похолоданий. Прирост деятельного слоя, особенно в сочетании с возрастанием количества осадков, может привести к увеличению льдистости у подошвы деятельного слоя и к снижению глубины протаивания почвы в последующие годы. Реакция покровного горизонта на климатические изменения зависит от локального сочетания многих факторов, включая, например, лесные и тундровые пожары, и плохо поддается прогнозированию.

На крутом водораздельном склоне, где покровный горизонт отсутствует, колебания значений мощности СТС характеризуются наибольшей амплитудой, однако достоверного тренда значений этого показателя за годы мониторинга выявлено не было. Отсутствие направленных изменений при волнообразных колебаниях глубины протаивания почв свойственно и экосистемам переувлажненных термокарстовых котловин (аласов), занимающих наибольшую площадь на равнинных территориях арктической и субарктической Якутии, а также некоторым заболоченным водораздельным редколесьям.

Наконец, в двух пойменных биогеоценозах бассейна р. Колымы многолетняя динамика мощности СТС приближалась к линейной (0,57–0,80 см/год). Можно предположить, что такая картина связана с какими-то особенностями гидрологического режима региона, также зависящего от атмосферного потепления.

Таким образом, изменение термического состояния равнинных почв Северной Якутии в результате глобального потепления происходит, в первую очередь, за счет температур холодного периода, чутко реагирующих на снижение суровости зим и увеличение количества твердых осадков. Отклик летнего температурного режима и сезонного протаивания почв на потепление в разных биогеоценозах проявляется по-разному. Наиболее широко распространенные в изучаемом регионе заболоченные ландшафты аласных котловин обнаруживают высокую инерционность: при наличии колебаний мощности деятельного слоя достоверного тренда в многолетней динамике не выявляется.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках госзаданий ИФХиБПП РАН №122040500038-3, ТИГ ДВО РАН №122020900184-5 и международной программы «Циркумпольярный мониторинг деятельного слоя» (CALM), при поддержке РНФ (проект №23-27-00242).

## TEMPERATURE REGIME OF SOILS IN NORTHERN YAKUTIA: RESPONSE TO GLOBAL WARMING

D.G. Fedorov-Davydov<sup>1</sup>, V.E. Ostroumov<sup>1</sup>, S.P. Davydov<sup>2</sup>, A.V. Lupachev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, muss96@yandex.ru

<sup>2</sup>Pacific Institute of Geography FEB RAS, North-Eastern Scientific Experimental Station, Republic of Sakha (Yakutia), pos. Chersky

*Summary. Analysis of temperature regimes and observations of soil seasonal thawing depth, carried out since the second half of the 1990s in a number of territories of Northern Yakutia, showed that their change under the influence of global warming occurs primarily due to the temperatures of the cold period (which are sensitive to a decrease in the severity of winters) as well as due to an increase in the amount of solid precipitation. At the same time the response of the summer temperature regime and seasonal thawing of soils to warming in different biogeocenoses it manifests itself differently. The swampy landscapes of alas basins, which are widespread in the study area, show high inertia: in the presence of fluctuations in the active layer thickness, no significant trend has been identified in the long-term dynamics.*

*Keywords: temperature regime, tundra soils and ecosystems, global warming, thaw depth.*

УДК 631.4

## ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ АРИДНЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ И ОПУСТЫНИВАНИЯ

А.В. Федотова, Л.В. Яковлева, Э.В. Спасенков

Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Астрахань  
a.v.fedotova@gmail.com

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ состояния аридных почв Астраханской области за 2010 и 2022 гг в условиях интенсивного развития опустынивания. Исследования показали, что в целом опустыненные почвы региона характеризуются низкой влажностью (3–4%), высокой плотностью (1,3–1,9 г/см<sup>3</sup>), неудовлетворительной водопроницаемостью. Установлено, что за 2010–2022 гг в почвенном покрове произошли негативные изменения: сократились запасы влаги (на 14%) и гумуса (на 12%), увеличилось содержание солей (на 8%) и величины плотности почвы (на 2%), порозность почв уменьшилась на 8%.

**Ключевые слова:** почвы, опустынивание, почвенные свойства, Астраханская область

Одним из важнейших факторов почвообразования является климат. Глобальные изменения климатических процессов считаются уже неоспоримым фактом и актуальность приобретают проблемы адаптации к этим изменениям. Существует доказанная взаимосвязь между климатом, его текущими изменениями и почвой, с трансформацией каждого отдельного фактора ее формирования и функционирования [1]. Из-за экстремальных климатических условий и антропогенной нагрузки южные регионы России сталкиваются с проблемами опустынивания, которые грозят стать необратимыми. Это создает серьезную угрозу продовольственной безопасности и сохранению биоразнообразия. Увеличение числа пыльных бурь создает уже значительные проблемы населению и его хозяйственной деятельности. Ученое сообщество едино во мнении, что дальнейшее развитие опустынивания на планете грозит большими социальными и экономическими проблемами.

Разработка мер по борьбе с опустыниванием и деградацией почв невозможны без научно обоснованного понимания происходящих изменений и их динамики. Поэтому вопрос изучения динамики почвенных свойств и процессов в засушливых регионах представляет значительный научный интерес.

Спусковым механизмом «запуска» процесса опустынивания является иссушение почвы, отсутствие или сильная изреженность растительного покрова, в том числе в результате уничтожения сельскохозяйственными животными во время выпаса. В целом почвы опустыненных территорий характеризуются неудовлетворительными физическими, химическими и физико-химическими свойствами [2].

Почва, как одно из важнейших звеньев биосферы, откликается на происходящие изменения, трансформируя базовые свойства и процессы. Одним из экологически напряженным регионом является Астраханская область, где темпы развития опустынивания набрали устрашающие масштабы (рис. 1).



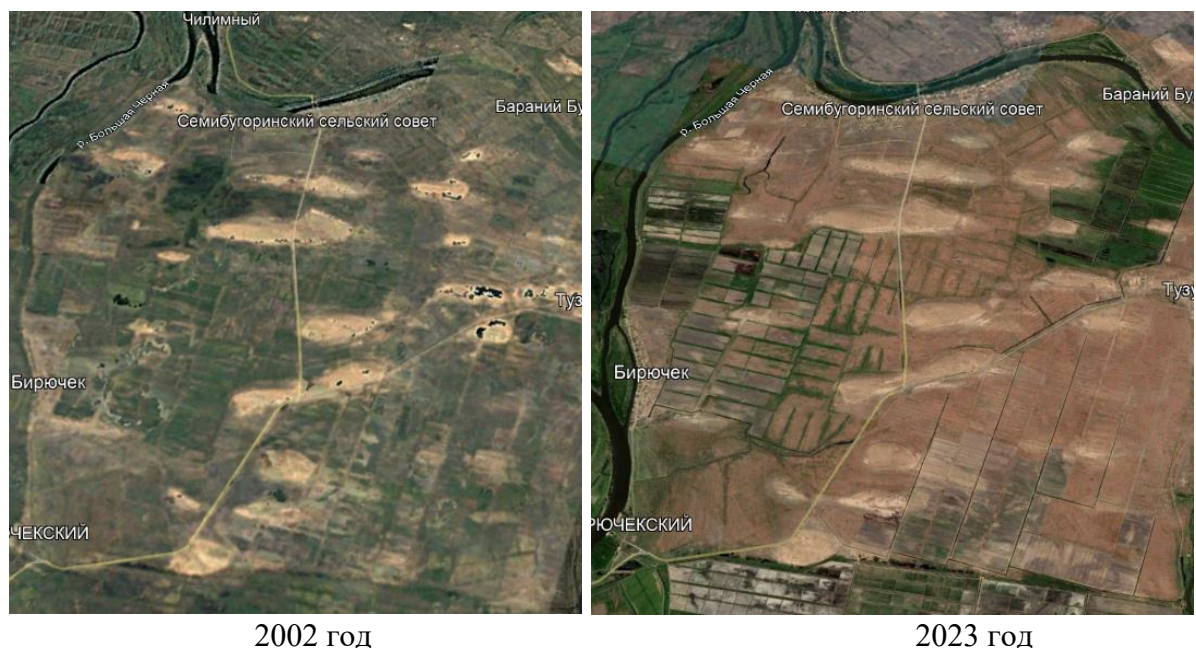


Рисунок 1. Космоснимки территории района Астраханской области за 2002 и 2020 гг.

Из рисунка 1 видно, что значительно увеличились площади деградированных территорий с полным отсутствием растительного покрова. Если в 2002 году на данной территории находились обрабатываемые пашни, то в 2023 году территория почти полностью выведена из хозяйственного использования.

Объектами исследования являлись почвы Астраханской области типичного бугрового ландшафта: 1) антропогенно преобразованные (постагрогенные) и 2) целинные (не используемые в сельском хозяйстве).

Первая группа почв представлена полугидроморфными луговыми солончаками, локализованными в оклобугровом пространстве. Целинные почвы представлены автоморфными и полуавтоморфными засоленными осолонцованными почвами зонального ряда, бурыми аридными, локализованными на возвышенных элементах рельефа (непосредственно на буграх Бэра).

Наблюдения за происходящими изменениями ведутся с 2010 года на заложенных стационарных участках.

Изучение почвенного покрова проводили методом равномерной сетки. Анализ почвенных образцов, отобранных в узлах сетки проводили общепринятыми в почвоведении методами [3, 4]. Статистическую обработку результатов проводили в среде программирования R.

Климат Астраханской области характеризуется резкой континентальностью. Очень высокие температуры воздуха летом (выше  $+40^{\circ}\text{C}$ ), низкие – зимой (менее  $-30^{\circ}\text{C}$ ). Основной климатической проблемой региона является крайне малое количество осадков (среднегодовое их количество всего около 150 мм). На фоне высоких температур воздуха и малой обеспеченности атмосферными осадками наблюдается острый дефицит почвенной влаги, что и является одним из основных факторов опустынивания. Кроме того, происходящие изменения осложняются наличием солей в почвах. Как известно, процессы, происходящие в засоленных почвах, отличаются от подобных в незасоленных почвах. Установлено, что увеличение степени засоления влечет изменение физических свойств почв, непосредственно обеспечивающих экологические функции почв, такие как влаго- и воздухосодержание, агрегатный состав, плотность, водоудерживающая способность [5].

Результаты проведенного исследования показали, что содержание солей в автоморфных почвах более высокое. Так в поверхностном слое 0–10 см содержание солей (по плотному остатку) на участке № 1 составило  $1,51 \pm 0,19\%$ , а на участке № 2 –  $0,97 \pm 0,26\%$ . С глубиной количество солей увеличивается. В слое 20–40 см этот показатель равен  $2,79 \pm 0,48\%$  и  $2,01 \pm 0,40\%$  соответственно. Такое различие связано с гидрологическим режимом территории. Во время весенне-летних половодий околбугровое пространство вступает в стадию рассоления за счет воздействия подъема уровня грунтовых вод.



В условиях жесткого дефицита влаги и крайне малого и полного отсутствия растительного опада процессы гумусообразования протекают медленно. Содержание общего гумуса в почвах зонального ряда крайне низкое и находится на уровне  $0,8 \pm 0,1\%$ , для лугового солончака этот показатель несколько выше и составляет  $1,2 \pm 0,1\%$ .

За период наблюдений удалось выделить почвенные свойства, наиболее чувствительные к происходящим изменениям. Так, например, установлено в среднем статистически значимое снижение содержания гумуса в почве в среднем на 14%, влагообеспеченности почв на 12%, снижение показателей порозности почв на 8% и увеличение содержания солей на 7%.

Положение участков в рельефе влияет на скорость изменений почвенных свойств в результате развития процессов опустынивания. Автоморфные почвы в большей степени подвержены эрозионным процессам в связи со скудностью растительного покрова. Здесь за период наблюдений зафиксированы следующие потери почвенной влаги: снижение запасов влаги со  $173 \text{ м}^3/\text{га}$  до  $150 \text{ м}^3/\text{га}$ , запасов гумуса  $18 \text{ т}/\text{га}$  до  $16 \text{ т}/\text{га}$ . Для лугового солончака потери составили для почвенной влаги с  $163 \text{ м}^3/\text{га}$  до  $114 \text{ м}^3/\text{га}$ , запасы гумуса уменьшились с  $26 \text{ т}/\text{га}$  до  $22 \text{ т}/\text{га}$ .

Базовые физические свойства почвы показали большую устойчивость к климатическим изменениям. Величины водопроницаемости почвы не имеют статистически значимых различий в 2010 и 2022 гг. и изменения находятся на уровне погрешности (для участка № 1: в 2010 г.  $K_{\text{водопр}} = 3,24 \text{ см}/\text{час}$ , в 2022 г.  $K_{\text{водопр}} = 2,84 \text{ см}/\text{час}$ ; для участка № 2: в 2010 г.  $K_{\text{водопр}} = 3,48 \text{ см}/\text{час}$ ; в 2022 г.  $K_{\text{водопр}} = 3,06 \text{ см}/\text{час}$ ). Выявлено незначительное изменение плотности в середине профиля (в среднем с  $1,44 \text{ г}/\text{см}^3$  до  $1,53 \text{ г}/\text{см}^3$ ), что связано с развитием процессов осолонцевания. Оказавшись отрезанными от влияния грунтовых вод, засоленные почвы вступили в стадию рассоления под воздействием скудных атмосферных осадков. В профиле почв формируются осолонцованные плотные и слитые горизонты. Количество осадков недостаточно для перехода в следующую стадию солонца.

В целом состояние опустыненных почв оценено как плохое. Влажность почв находится на уровне гигроскопической (3–4%). В структуре ППК доминируют ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Содержание  $\text{Na}^+$  варьирует от 1,3 % до 30,0% от ЕКО. Величина ЕКО варьирует от 8,0–16,4 ммоль на 100 г почвы, реакция в поверхностных горизонтах слабощелочная (рН 7,4–7,6), на глубине – щелочная (рН 8,2–8,8). Плотность почвы варьирует в широких пределах от  $1,3 \text{ г}/\text{см}^3$  на поверхности почвы до  $1,9 \text{ г}/\text{см}^3$  в горизонтах с признаками осолонцевания. Ветровой режим территории способствует дефляции поверхностных горизонтов, в результате чего происходит деструкция поверхностных горизонтов почв в виде разрушения структуры, сопровождающаяся уплотнением нижележащих горизонтов. Масштабы дефляции приводят к увеличению массивов незакрепленных разветвленных почв, которые продолжают перемещаться в пространстве из-за отсутствия препятствий в виде полноценного растительного покрова

#### Литература

1. Certini G., Scalenghe R. The crucial interactions between climate and soil // *Science of The Total Environment*. 2023. Т. 856. С. 159–169
2. Fedotova A., Yakovleva L., Maslova E., Utaliev A. WHY the area of degraded soils and desertification is increasing in the Volga delta // *The Caspian in the Digital Age: "The Caspian in the Digital Age" within the framework of the International Scientific Forum "Caspian 2021: Ways of Sustainable Development"*, Astrakhan, 27 мая 2021 года. Vol. 2. Astrakhan: Dela Press, 2022. P. 012. DOI: [10.56199/dpcsebm.anok2721](https://doi.org/10.56199/dpcsebm.anok2721)
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск.ун-та, 1970. 488 с.
4. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: Методическое руководство/ под ред. Е.В.Шейна. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200с.
5. Дембовецкий А.В., Шейн Е.В., Милановский Е.Ю., Федотова А.В., Колокольцев В.В., Харитонов Г.В. Засоление и пространственная изменчивость физических свойств почв ландшафтов бэровских бугров Прикаспийской низменности // *Биогеохимия и гидроэкология наземных и водных экосистем*. Т. 20. Хабаровск: Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, 2013. С. 88–109

## CHANGES IN THE STATE OF ARID SOILS IN THE SOUTH OF RUSSIA UNDER THE CONDITIONS OF SALINATION AND DESERTIFICATION

A.V. Fedotova, L.V. Yakovleva, E.V. Spasenkov  
Astrakhan State University V.N. Tatishcheva, Astrakhan  
a.v.fedotova@gmail.com

*Summary.* A comparative analysis of the state of arid soils in the Astrakhan region for 2010 and 2022 was carried out under conditions of intensive development of desertification. Studies have shown that, in general, the desert soils of the region are characterized by low humidity (3–4%), high density (1,3–1,9 g/cm<sup>3</sup>), and poor water permeability. It was established that in 2010–2022, negative changes occurred in the soil cover: the reserves of moisture (by 14%) and humus (by 12%) decreased, the salt content (by 8%) and soil density (by 2%) increased, porosity soils decreased by 8%.

*Keywords:* soils, desertification, soil properties, Astrakhan region.

УДК 631.48:631.417(571.56-191.2)

## ПОСТАГРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ АЛАСООБРАЗОВАНИЯ – БЫЛЛАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (С. ЧУРАПЧА)

Н.В. Филиппов, Р.В. Десяткин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, finiva88@mail.ru

*Аннотация.* В работе нами дана характеристика некоторых свойств почв заброшенных пахотных угодий на территории Лено-Амгинского междуречья. В результате деятельности человека и глобальных климатических изменений происходит деградация льдов ледового комплекса. Данные процессы привели к тому, что на поверхности начали формироваться начальные термокарстовые формы рельефа – быллары. В итоге, однородный почвенный покров со временем видоизменяется в сложное полигональное сочетание трансформированных почв.

*Ключевые слова:* постагrogenные почвы, термокарстовые процессы, трансформация почв, быллары, Центральная Якутия, солонцы.

**Актуальность.** На территории распространения многолетней мерзлоты особенно заметно влияние глобальных изменений климата, из-за которых происходят порой необратимые изменения всей окружающей среды, в частности рельефа, затем и почвенного покрова. Хозяйственная деятельность человека при это играет далеко не последнюю роль, служа своего рода катализатором. Лено-Амгинское междуречье является одним из наиболее освоенных сельским хозяйством территорий Якутии. Здесь, как и во многих других местах, в начале 1990-х годов произошло массовое закрытие сельскохозяйственных предприятий, в результате которого тысячи гектаров пахотных угодий оказались заброшенными. Совокупность этих факторов на рассматриваемых территориях вызвала процесс деградации ледового комплекса с активным образованием начальных форм аласообразования – былларов. И как следствие данных негативных процессов происходит трансформация почвенного покрова.

**Объекты и методы исследования.** В геоморфологическом отношении территория относится к Абалахской средневысотной аккумулятивно-эрозионной террасе [1], сложенной четвертичными отложениями: в верхней части суглинисто-супесчаными озерно-аллювиальными, в нижней – песчаным аллювием [2]. В почвенном отношении район исследования расположен в пределах Лено-Таттинского района Центральноякутской почвенной провинции [3]. Почвенный покров представлен палевыми карбонатными, палевыми осолоделыми суглинистыми почвами, мерзлотными лесными солодами [4], в аласах – комплексом аласных почв [5]. Наиболее распространены различные вариации лиственничных лесов, а также встречаются березняки с остепненными элементами [6]. Климат на территории исследования резко-континентальный. Характерна высокая амплитуда между зимними и летними температурами и небольшое количество осадков [7]. Следует отметить, что последнее десятилетие XX века стало самым теплым (–8,7 °С) за всю историю метеорологических наблюдений в Центральной Якутии [8]. Тенденция повышения

температуры воздуха привела к увеличению глубины сезонноталого слоя [9], в результате чего она стала достигать верхней границы многолетнемерзлых пород. И, как следствие, это привело к возникновению таких форм термокарстового рельефа, как быллары и молодые термокарстовые озера (дюеди), что послужило изменению однородного почвенного покрова окультуренных, но затем заброшенных, пахотных угодий.

Рассматривались характеристики трех почвенных разрезов, заложенных на вершине и склоне быллара, а также в западине между ними. Размеры былларов на участке были в пределах 7–10 м, с высотой 0,4–1,6 м. Все три типа почв представляют собой трансформированные варианты изначальных почв бывших пахотных угодий: на вершине (Р-з 01-12) – мерзлотный солонец темный криотурбированный, на склоне (Р-з 02-12) – мерзлотный солонец светлый типичный и в западине между былларами (Р-з 03-12) – мерзлотный солонец светлый глееватый.

В полевых условиях проводилось морфологическое описание почвенных профилей и измерение глубины протаивания СТС по общепринятым методам. Для определения физико-химических свойств почв производился отбор почвенных образцов по генетическим горизонтам режущим кольцом объемом 100 см<sup>3</sup> в трехкратной повторности. Для определения гранулометрического состава применен седиментационный метод пипетки по Н.А. Качинскому.

**Обсуждение результатов.** После раскорчевки типичных лесов под нужды сельского хозяйства на территории исследования под березовыми лесами А.А. Красюк [10] выделял солоды, а под лиственничниками – солонцеватые оподзоленные (по В.Г. Зольникову [11] и Л.Г. Еловской [12] – лесные дерновые или мерзлотные палевые) почвы. Из этих определений вытекает, что основным типом на представленных заброшенных пахотных угодьях являются мерзлотные палевые солонцеватые почвы, которые за длительное время сельскохозяйственной обработки с поверхности приобрели пахотный и нижележащий подпахотный горизонты. То есть можно сделать вывод, что изученные на былларах современные почвы являются трансформацией вышеуказанных почв, длившейся более 20-ти десятилетий.

В разрезе Р-01-12 пахотный горизонт трансформирован в светлогумусовый горизонт (АJ(P)), а подпахотный – в солонцовый. В результате процессов криогенеза подпахотный и солонцовый горизонты перемешаны, характеризуются наиболее темным цветом в профиле и наличием криогенных трещин с затеками гумусированной массы. Горизонт (ВСА) в почвенном профиле разреза представлен сильно вскипающими от соляной кислоты лёссовидными суглинками палевого цвета мощностью 47–56 см. Переходный горизонт (ВСа) мерзлотного солонца темного криотурбированного представлен плотным, карбонатным суглинком, имеющим мощность до 43 см. Материнская порода (горизонт Сса) представляет собой серый, средне уплотненный, карбонатный средний суглинок.

В разрезе на склоне выделяется поверхностный задернованный постагрогенный горизонт (АУра) бурого цвета. Под задернованным горизонтом в разрезе Р-02-12 залегает характерный для солонцов светлых – светлогумусовый горизонт светло-серого цвета с буроватым оттенком. В результате деформации рельефа бывший пахотный горизонт оказался на склоне микрорельефа, улучшение дренажа в последние два десятилетия, по-видимому, привело к промывке водорастворимых веществ, включая лабильные фракции органических веществ и обусловило осветление окраски почвы. Солонцовый горизонт залегает на глубине от 20(28) до 34(40) см, мощность его составляет 12–14 см. В отличие от первого разреза, здесь криогенные процессы менее выражены, в результате чего, подпахотный (белесый) и иллювиальный (бурый) горизонты четко дифференцированы.

В третьем разрезе в процессе оседания профиля почвы гумусовый горизонт частично перемешан с элювиальным. В профиле последнего разреза (Р-03-12) солонцовый горизонт серовато-бурого цвета залегает на глубине от 23(30) до 52(60) см, мощность его составляет 29–30 см. Элювиальный горизонт ярко выражен и имеет характерный светло-серый с белесым оттенком цвет. Данный разрез по морфологическому строению схож со вторым (Р-02-12). Отличается менее выраженными следами криогенных процессов и дифференциацией горизонтов вымывания и вмывания. Здесь, в отличие от предыдущих двух почвенных профилей, элювиальный и солонцовый горизонты гораздо мощнее, что объясняется

«растяжением» данных слоев при оседании нижней части профиля почвы в процессе исчезновения фундамента из повторно-жильного льда.

Аккумулятивно-карбонатный горизонт (BCA) в почвенном профиле разреза, заложенного на вершине быллара, является наиболее мощным из представленных (47–56 см). Нижняя граница данного горизонта в разрезе P-02-12 располагается существенно выше, чем в предыдущем, и доходит только до глубины 47(56) см, из-за чего его мощность гораздо меньше (13–16 см). В разрезе P-03-12 горизонт BCA, из-за мощного солонцового горизонта, залегает ниже, чем в предыдущем разрезе, в пределах 52(60)–78(81) см.

Переходные горизонты (BCca, BCca,g) в разрезах P-01-12 и P-03-12 не отличаются большой мощностью и достигают 43 см и 32 см соответственно. Следует отметить, что нижняя граница горизонта во всех трех разрезах залегает на примерно одинаковой глубине ~ 110–117 см, но, как было отмечено ранее, нижняя граница аккумулятивно-карбонатного горизонта в P-02-12 расположена существенно выше, вследствие чего, мощность нижележащего горизонта BCca значительно больше, чем в остальных двух, и достигает 59–63 см.

Материнская порода (горизонты Cca и Cca,g) во всех трех разрезах глубина залегания имеет небольшие различия: все три разреза подстилаются многолетней мерзлотой на глубине 161 см, 171 см и 156 см соответственно.

В качестве наиболее информативных свойств почв при их термокарстовой трансформации нами изучены такие динамические показатели как плотность, актуальная кислотность (pH) и полевая влажность.

Считается, что плотность почвы зависит от свойств пород, образующих твердую фазу, гранулометрического состава, структуры и содержания органического вещества. Установлено, что этот показатель динамичен [13,14]. На окультуренных площадях наиболее рыхлой почва бывает сразу после обработки, затем постепенно уплотняется и через некоторое время ее плотность приходит в равновесное состояние. Изучая плотность по профилю почв на разных формах рельефа начальных стадий термокарста, можно установить влияние деградации подпочвенных льдов на пространственную и вертикальную пестроту плотности почвы.

В верхней части разреза на вершине быллара выделяется тонкий (0–6(7) см) светлогумусовый горизонт, представляющий бывший пахотный слой с плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>. Ниже залегает очень плотная подплужная подошва BSN/(P), еще ниже – плотные слои BCA и BCca. Надмерзлотный, самый нижний слой почвы Cca, по классификации Н.А. Качинского [13] относится к очень плотным (1,53 г/см<sup>3</sup>), что в целом характерно и для палевых почв в естественных условиях под таежной растительностью [5]. Сокращение мощности пахотного слоя, возможно, обусловлено сочетанием комплекса факторов, связанных с низкой культурой земледелия (неглубокой пахотой) и усилением водной эрозии в условиях деформации рельефа в результате проявления начальных стадий термокарста за последние десятилетия.

В профиле почвы на склоне быллара в результате оседания произошла существенная перестройка плотности по профилю почвы. Она привела к уплотнению поверхностного и подпахотного горизонтов, что объясняется формированием более мощного дернового горизонта в условиях отсутствия механического рыхления и усиления солонцовых свойств бывшего подпахотного слоя в результате промывки верхних слоев почвы. В то же время наблюдается снижение плотности солонцового горизонта (20–40 см), что возможно связано с удалением легкорастворимых солей из верхних горизонтов почвы при проявлении роли транзитных ландшафтов на склонах микрорельефа. Генетические горизонты нижней половины профиля почвы на склонах микрорельефа испытали уплотнение. Данное явление обусловлено вертикальным сжатием нижней половины профиля почвы при оседании наиболее прочносвязанных верхних горизонтов почв локальных участков пашни вслед за уходящими вниз такими же слоями почв западин.

В результате таяния повторно-жильных льдов, представляющих собой фундамент залегающих на них грунтов, почвы западин подверглись сильному проседанию, они влекут за собой рядом расположенные площади бывших пахотных угодий, которые оказались на склонах микрорельефа. Плотность почв западин при этом до метровой глубины по сравнению с плотностью почвы на былларе сильно не меняется. Обратная картина наблюдается в надмерзлотном полуметровом горизонте, плотность которого составляет всего 1,04 г/см<sup>3</sup>.



Такое резкое рыхление данного слоя объясняется обвалом нижней части почвы вслед за защитным слоем, залегающим над подземными льдами, в результате таяния последних под влиянием распространения положительных температур в этих глубинах в результате потепления климата.

Кислотность почвы – важный агрохимический параметр, указывающий на баланс кислот и оснований в почвенном растворе, от которого зависят многие агро- и биохимические процессы, определяющие плодородие почв. Показатели рН почвы на былларе указывают на очень сильнощелочную реакцию по всему профилю (рН > 9,5). По сравнению с ним в светлогумусовом горизонте почвы склона быллара наблюдается снижение показателя рН до 8,5, что обусловлено усилением промывного режима в транзитных условиях и удалением растворимых солей натрия. Резко заметная динамика параметров рН по профилю наблюдается в почвах западин, где верхний 10-см слой приобрел нейтральную реакцию среды, слой 10–20 см – слабощелочную, слой 20–30 см – щелочную реакцию. Снижение щелочности в этом разрезе наблюдается по всей глубине профиля. Выявленная динамика почвенной реакции в почвах западин объясняется удалением легкорастворимых солей в результате активизации промывного режима, обусловленного их геоморфологическим положением. Как правило, западины микрорельефа в данном случае являются местом сбора поверхностного стока, а термокарстовое разрыхление нижней половины почвы способствует усилению фильтрации влаги с растворенными веществами и ее выводу из почвенного профиля в термокарстовые пустоты.

При интерпретации динамики полевой влажности почв по профилю следует учесть, что под утро 6 июля 2012 года с 3 до 9 часов в Чурапче прошел дождь, выпало около 10 мм осадков. Поскольку до этого стояла сухая жаркая погода поверхностные слои почв были иссушены и выпавшие осадки не проникли глубоко в почву. Это хорошо видно на примере разреза на былларе, где содержание влаги в слое 0–5 см повысилось до 30%, т.е. дождь промочил лишь толщу напочвенного войлока и самую верхнюю часть гумусового горизонта. В средней части профиля влажность почвы имеет ровные показатели и только в надмерзлотных слоях наблюдается увеличение содержания влаги до 29,1%, что связано с освобождением законсервированной мерзлотой влаги. Полевая влажность в верхних слоях почв склона и западины оказалась значительно ниже чем в аналогичных слоях почвы на былларе. Только с глубины ниже 20 см в почвах склона содержание влаги превышает таковые разреза Р-01-12. Склоновое расположение разреза обусловило по профилю постепенное снижение влажности почвы примерно с глубины 1 м до мерзлого водоупора. Подобная динамика содержания влаги по профилю почвы свидетельствует об оттоке ее в гипсометрически нижележащие почвы западин. За счет внутрипочвенного надмерзлотного стока влаги в надмерзлотных слоях почвы западины происходит плавное увеличение влажности, достигая максимального значения в надмерзлотном горизонте (49,7%). Распределение полевой влажности почв по профилю и в пространстве показывает, что влага, поступающая из атмосферы, а также при таянии деятельного слоя почвы, стекает с вершин и склонов былларов и накапливается в западинах между ними.

**Выводы.** В результате изменения климата в сочетании с хозяйственной деятельностью человека на рассмотренных территориях произошла деградация ледового комплекса с возникновением начальных форм аласообразования – былларов.

В итоге после окончания эксплуатации, мерзлотные окультуренные палевые солонцеватые почвы, ранее распространенные на пахотных угодьях, со временем трансформировались в солонцы. На вершине быллара возникли мерзлотные солонцы темные криотурбированные (АJ(P)-BSN(P)-BCA-BCca-Cca), на склоне – мерзлотные солонцы светлые типичные (АYра-АJ(P)-EL(P)-BSN-BCA-BCca-Cca), в западинах между былларами – мерзлотные солонцы светлые глееватые (АYра-А/EL(P)-EL(P)-BSN-BCA-BCca,g-Cca,g).

Трансформация почвенного покрова сопровождается существенной динамикой параметров плотности, рН и полевой влажности по профилю почв. При оседании поверхности склонов происходит уплотнение нижней части профиля их почв (ниже 30–40 см), а в надмерзлотных горизонтах почв западин наблюдается, наоборот, резкое разрыхление в результате обвала почвенного субстрата и защитного слоя грунтов в результате таяния подстилающих их льдов. Почвы склонов микрорельефа и западин в результате смены положения в рельефе испытывают

динамику параметров рН и полевой влажности. Усиление промывного режима приводит к удалению растворимых солей и как результат этого – снижению щелочности, а аккумуляция влаги в понижениях рельефа способствует увеличению влажности в нижней половине профиля почв западин и их оглеению.

### Литература

1. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 144 с.
2. Катасонов Е.М., Иванов М.С., Зигерт Х., Пудов Г.Г. Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 95 с.
3. Еловская Л. Г., Коноровский А. К. Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Наука, 1978. 175 с.
4. Десяткин Р.В., Оконешникова М.В., Десяткин А.Р. Почвы Якутии. Якутск: Бичик, 2009. 64 с.
5. Десяткин Р.В. Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. 324 с.
6. Тимофеев П.А., Исаев А.П., Щербаков И.П., Волотовский К.А., Медведева Н.С. Леса среднетаежной подзоны Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. 140 с.
7. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии: изд 2-е, переработанное и дополненное. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1973. 119 с.
8. Григорьев М.Н., Скачков Ю.Б., Федоров А.Н., Десяткин Р.В., Максимов Т.Х. Обзор современных изменений климата и природной среды в Республике Саха (Якутия). Якутск: ИМЗ СО РАН, 2010. 17 с.
9. Desyatkin R., Fedorov A., Desyatkin A., Konstantinov P. Air temperature changes and their impact on permafrost ecosystems in eastern Siberia // Thermal Science. 2015. Vol. 19, Suppl. 2. Pp. S351-S360. DOI: 10.2298/TSCI150320102D
10. Красюк А.А. при сотрудничестве Г.Н. Огнева. Почвы Ленско-Амгинского водораздела (Якутский округ). Материалы комиссии по изучению ЯАССР. М.: Изд-во АН СССР, 1927. 176 с.
11. Зольников В.Г. Почвы Восточной половины Центральной Якутии и их использование. //Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1954, вып.1. С.35–221.
12. Еловская Л.Г. Почвы земледельческих районов ЯАССР и пути повышения их плодородия. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1964, 76 с.
13. Качинский Н.А. Физика почвы. Часть 1. М.: Высшая школа, 1965. 324 с.
14. Долгов С.И. Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 257 с.

### POSTAGROGENIC SOILS OF THE INITIAL STAGES OF ALAS FORMATION - BYLLARS ON THE TERRITORY OF THE LENA-AMGA INTERFLUVE (CHURAPCHA VILLAGE)

N.V. Filippov, R.V. Desyatkin

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, finiva88@mail.ru

*Summary. In this paper we have characterized some properties of the soils of abandoned arable lands on the territory of the Leno-Amga interfluve. As a result of human activities and global climate change, the ice of the ice complex is degrading. These processes led to the formation of initial thermokarst landform s- byllars on the surface. As a result, a homogeneous soil cover changes over time into a complex polygonal combination of transformed soils.*

*Keywords: post-agrogenic soils, thermokarst processes, soil transformation, byllars, Central Yakutia, solonetztes.*

УДК 631.48

## ПАЛЕОПОЧВЫ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ИНФОРМАТИВНАЯ ЛЕТОПИСЬ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В КВАРТЕРЕ И КОМПОНЕНТ СОВРЕМЕННОСТИ

В.С. Шейнкман<sup>1</sup>, С.Н. Седов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт криосферы Земли ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, Россия,

<sup>2</sup>Национальный Объединенный Автономный Университет Мексики (UNAM), Мехико, vlad.sheinkman@mail.ru

**Аннотация.** Палеопочвы севера Западной Сибири ранее в литературе не освещались, но проведенные исследования выявили почвенные уровни, связанные с потеплениями климата в МИС-5, МИС-3 и в конце МИС-2. У почвы МИС-5 были признаки лесного педогенеза вне криолитозоны, у почвы МИС-3 – оглеения и криогенеза, а почва конца МИС-2 представлена оглеенными педоседиментами в псевдоморфозах по полигонально-жильным льдам. Изученные почвы указывают на соответствующий характер осадков, что важно при оценке окружающей среды.

**Ключевые слова:** Север Западной Сибири, палеопочвы, плейстоцен.

**Введение.** Необходимость обоснования надежных критериев прогноза климатических изменений и связанной с ними трансформации природной среды определила рост интереса к реконструкциям соответствующих процессов и явлений в прошлом. Это вызвало повышенный интерес к палеоэкологическим летописям – палеогеографическим архивам, содержащим информацию об изменениях различных природных обстановок для разных интервалов геохронологической шкалы.

Почвенная память занимает важное место среди источников информации об эволюции природной среды [1]. Известно значение лёссово-почвенных серий, рассматриваемых как одна из важнейших континентальных летописей четвертичных климатических циклов [2]. Исследования объектов такого рода успешно проводились на юге Западной Сибири [3], но на территории к северу от лёссовых областей информация о плейстоценовых палеопочвах была весьма ограниченной. А на севере Западной Сибири подобные объекты вообще не изучались. Причина – традиционные представления о распространении здесь обширных ледниковых покровов и морских трансгрессий, и отсюда следовала идея бесперспективности поиска палеопочв, которые не могли развиваться под толщей льда или морской воды.

В последние десятилетия произошёл пересмотр масштабов оледенений в Евразии в сторону их уменьшения, по крайней мере – в позднем плейстоцене, и главным образом – в восточном, континентальном секторе данного суперматерика [4, 5]. Была обоснована концепция и об отсутствии ледниковых щитов в Западной Сибири в квартере вообще [6]. Из этого следовало, что там формировались ландшафты, предполагающие образование и сохранение впоследствии древних почв, что послужило стимулом для проведения работ по поиску, анализу и интерпретации плейстоценовых палеопочв к северу от субширотного участка среднего течения Оби. В итоге, применив опыт работы в области палеопочвоведения и палеокриологии, авторы приступили к решению принципиально нового круга проблем, не освещавшихся в литературе, и получили затем репрезентативные результаты.

Суть нашего подхода – если покровных оледенений не было, то с большой вероятностью палеопочвенные объекты должны были сохраняться. Соответственно, тогда выявленные почвенные горизонты будут, как и в южносибирских палеолетописях, фиксировать теплые эпохи, а индикатором холодных эпох выступят мерзлые толщи с чертами глубокого промерзания горных пород, характерного для региона в квартере в условиях отсутствия ледниковых покровов. Иными словами, был поставлен вопрос о поиске и расшифровке палеолетописей нового типа – почвенно-мерзлотных летописей севера Западной Сибири, и требовалась разработка оптимальной стратегии поиска соответствующих криопедогенных объектов, причем – при параллельном существовании, пока еще, модели формирования в холодные эпохи ледниковых покровов и концепции безледникового развития региона. Такой поиск был осуществлен на всем протяжении рассматриваемой территории (рис. 1).



Рисунок 1. Расположение исследованных участков. Пояснения в тексте.

Были учтены работы исследователей, посвященные различиям дифференцированного перекрытия рассматриваемой территории предполагаемыми ледниками в разные криохроны. Если до 1990-х гг. отмеченные модели предполагали покрытие льдом всего севера Сибири, включая акваторию Карского моря, начиная с криохрона морской изотопной стадии (МИС) 2 [7, 8], то затем началось обсуждение концепции ограниченности сибирских оледенений по причине недостаточной влагообеспеченности региона. Такой подход был весьма важен: хотя в последующих моделях [4, 5] покрытие ледниками рассматриваемого региона касалось лишь криохронов МИС-6 и древнее, в МИС-2 данная территория показывалась свободной от ледников. С другой стороны, закономерности промерзания водоемов сегодня хорошо известны [9, 10], и с этих позиций предположение о промерзании Карского моря в любые криохроны и формировании в его пределах ледникового щита, впоследствии надвигавшегося на континент, вообще маловероятно.

Авторы придерживаются следующей точки зрения: если в МИС-2 ледниковый покров отсутствовал, он должен был отсутствовать и в предыдущие криохроны. Такой подход основывается на том, что глубина и объем основных криохронов и термохронов квартера, особенно во время МИС 1 – 6, однотипны на шкалах всех основных палеоклиматических летописей; наиболее четко это показано в сводке [11]. Это обусловлено тем, что характер общей циркуляции атмосферы, определяющий питание и режим ледников, в квартере, имел одни и те же черты [6], и в этом случае их размеры контролировались именно однотипной глубиной и длительностью криохронов. Так или иначе, принимая во внимание, что для позднего плейстоцена относительно преимущественно безледникового развития севера Западной Сибири среди исследователей консенсус был достигнут, авторы решили сосредоточить усилия на поиске палеопочв именно этого хроноинтервала.

**Объекты и методы исследования.** Были проведены палеопедологические и палеокриологические исследования с полевыми работами в бассейне р. Вах (правый приток Оби), р. Таз и р. Надым (см. рис. 1), где открыты и исследованы разрезы с позднплейстоценовыми палеопочвами [12]. В настоящей работе эти результаты обобщены, и обнаруженные палеопочвы сопоставлены с поверхностными голоценовыми профилями, что является важным элементом анализа палеопедологических летописей. По результатам построена региональная педостратиграфическая схема и проведена её корреляция с аналогичными схемами сопредельных регионов.

**Результаты и дискуссия.** Палеопочва казанцевского термохрона, МИС-5, обнаружена [13] в разрезе Белая гора, на левом берегу р. Вах – в среднем её течении (см. рис. 1, участок 8). Мощный (суммарная мощность около 2 м) полигенетический профиль отражает многофазное развитие данного почвенного тела.



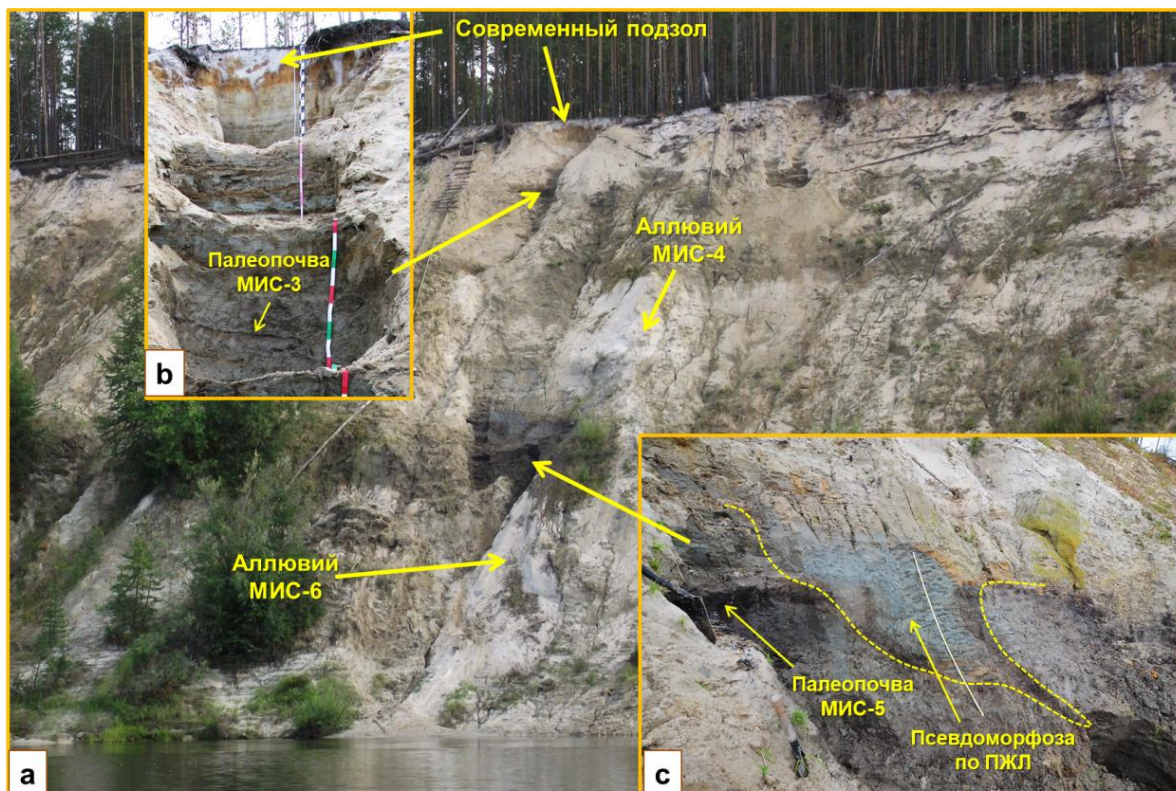


Рисунок 2. Разрез Белая гора: а – общий вид 30–35- метровой террасы р. Вах; б – верхняя часть разреза с палеопочвой МИС-3; с – центральная часть разреза с палеопочвой МИС-5. Фото В.С. Шейнкмана.

Под торфянистым органическим горизонтом здесь залегают гумусовый и минеральный горизонты с сильными признаками застойного оглеения – с серо-сизой окраской. Но при исследовании под микроскопом шлифов из этих горизонтов обнаружены глинистые натёки – индикатор иллювиального процесса; они деформированы и частично включены во внутриагрегатную массу. Такое сочетание признаков указывает на смену фазы лесного почвообразования в дренированных условиях последующей наложенной криогидроморфной фазой, обязанной своим развитием наличию в основании почвы многолетнемерзлого водоупорного горизонта. U/Th-датировка LUU 1298TSD по материалу верхнего торфянистого горизонта дала величину  $103 \pm 9/7$  тыс. лет назад. Она отражает минимальный возраст педокомплекса и соответствует времени МИС-5с. Предполагаем, что лесная фаза почвообразования связана с теплой подстадией МИС-5е. Более поздняя криогидроморфная фаза может быть обусловлена тогда последующими более холодными подстадиями МИС-5, переходящими в стадийный криохрон МИС-4, во время которого весь педокомплекс был рассечен полигонально-жильным льдом (ПЖЛ), по которому сформирована ясно выраженная псевдоморфоза. Характерно, что данная палеопочва во время таяния ПЖЛ оползала по его еще холодным стенкам, примерзала к ним, и ныне она окаймляет псевдоморфозу (рис. 2с).

Палеопочвы, относящиеся к МИС-3, каргинскому термоохрону, обнаружены в упомянутом выше разрезе Белая Гора на р. Вах (см. рис. 1, участок 8, и рис. 2b) и в разрезе Зеленый остров на р. Сабун, правом притоке р. Вах (см. рис. 1, участок 7) [14, 15]. По органическому веществу этих палеопочв получены  $^{14}\text{C}$ -датировки, располагающиеся в интервале 26–35 тыс. лет назад, а представлены данные почвы профилями с ярко выраженным застойным оглеением. Сизые и зеленоватые тона у них сочетаются с наблюдаемыми в шлифах почв железистыми новообразованиями – стяжениями и полосами. Кроме того, наблюдаются признаки мерзлотных процессов: деформация гумусового горизонта и вовлечение органических остатков в материал минерального горизонта, вызванные криотурбациями, и формирование компактных микроагрегатов в результате криогенного структурообразования. Эти почвы также являются продуктом криогидроморфного педогенеза, протекавшего на основании сезонно-талого слоя в условиях его неглубокого расположения. Их современными аналогами



являются тундровые глеевые или мерзлотно-таёжные почвы холодных континентальных бореально-лесных областей.

Специфичны палеопочвы, соответствующие потеплению в конце сартанского, МИС-2, криохрона. Они выявлены в разрезах на всем протяжении рассматриваемого региона (см. рис. 1, участки 1–6) к северу от Сибирских Увалов, где вскрыты заполняющие псевдоморфозы по ПЖЛ (рис.3) глеевые педоседименты. Это переотложенный материал сильно оглеенных горизонтов с включениями гумусированных и оторфованных фрагментов.

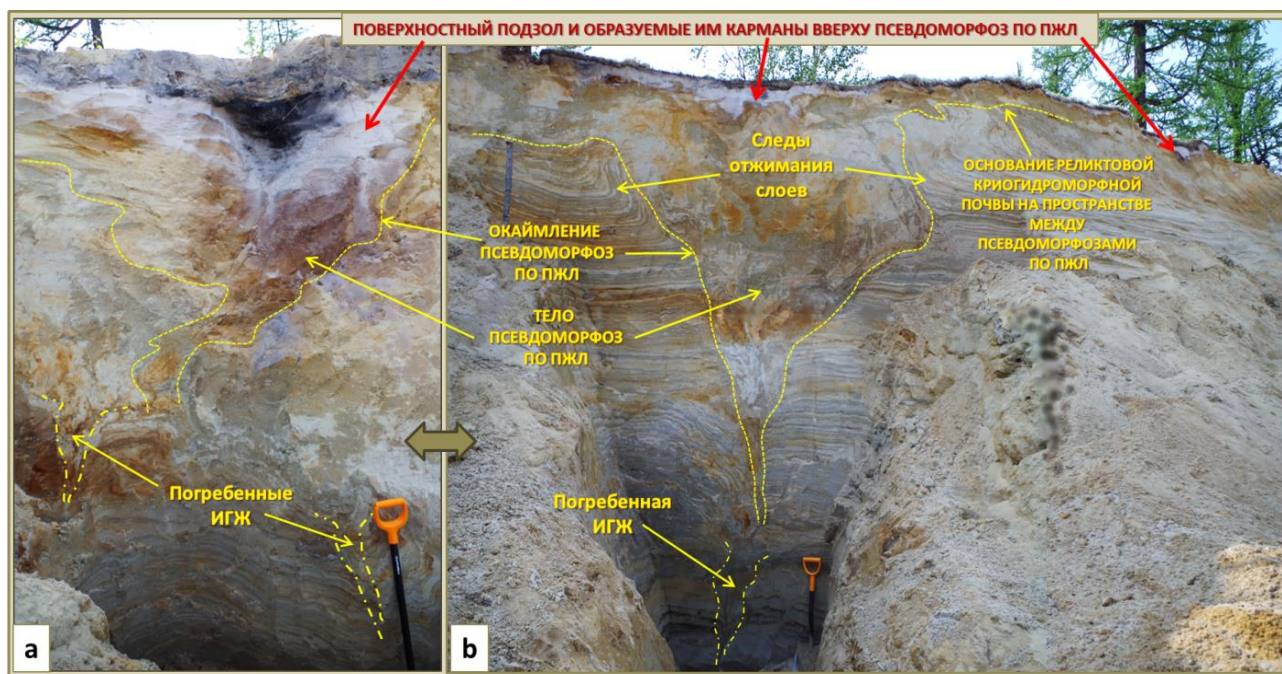


Рисунок 3. Расчистка стенки карьера на участке 4 (см. рис. 1). Фото В.С. Шейнкмана.  
Пояснения в тексте.

Псевдоморфозы (рис. 3), хорошо выражены, отражая эпигенетическое промерзание в МИС-2 каргинской аллювиальной толщи (покрывающей север Западной Сибири) с формированием ПЖЛ, их последующее таяние и замещение материалом палеопочв с междужильного пространства [16]. Таким образом, речь вновь идёт о криогидроморфном педогенезе, протекавшем в тундровых ландшафтах, развитие которых подтверждается и данными спорово-пыльцевого анализа [15]. Эти почвы формировались на основании деятельного слоя, были обеднены гумусом, но при таянии ПЖЛ гумусированные фрагменты скапливались, образуя морфоны, на неровностях их стенок, с которыми былое основание палеопочв ныне сопряжено (рис. 3b). По морфонам получен ряд  $^{14}\text{C}$ -датировок в интервале 17–9 тыс. лет назад, а по всей толще каргинских отложений сохранены былые изначально-грунтовые жилы, фиксируя влажно-прохладные условия своего развития (см. рис. 3b).

Во всех случаях погребенные плейстоценовые палеопочвы контрастно отличались от современных поверхностных почв, которые представлены альфегумусовыми почвами – подзолами и подбурами, с яркими иллювиально-железистыми горизонтами и без признаков оглеения. Эти почвы формировались, как показало их датирование, в голоцене в условиях свободного внутрипочвенного дренажа после оттаивания многолетней мерзлоты, причем они внедряются довольно глубокими клиньями в тело псевдоморфоз по их оси (см. рис. 3a).

**Выводы.** Наши находки позднеплейстоценовых палеопочв на севере Западной Сибири говорят, что на данной территории формировался педогенез, развивавшийся в течение основных периодов потепления климата: в казанцевский (МИС-5) и каргинский (МИС-3) термохроны и в конце сартанского (МИС-2) криохрона. Местонахождения, в которых выявленные палеопочвенные уровни располагались бы в пределах одного разреза, пока не выявлены, но была построена сводная региональная педостратиграфическая схема на основе интеграции результатов по всем изученным профилям. Корреляция данной схемы со стратиграфическими колонками лёссово-почвенных серий сопредельных регионов – юга Западной Сибири [3] и Русской равнины [17] показывает наличие аналогов для всех основных

палеопочвенных уровней. Для казанцевской (МИС-5) палеопочвы – это соответственно бердский и мезинский, для каргинской (МИС-3) – искитимский и брянский педокомплексы, а для позднесартанских педоседиментов – суминская и трубчевская почвы. Тогда как палеопочвы конца МИС-2, будучи расположены близко к поверхности, интегрированы с современными альфегумусовыми почвами, что создаёт парадоксальные наборы диагностических горизонтов и признаков, например, элювиально-иллювиальные профили подзолов, непосредственно подстилаемые сильно оглеенным горизонтом былых криогидроморфных почв. Поэтому требуется раздельная диагностика современных и реликтовых признаков почв – чтобы избежать ошибок в их генетической интерпретации и, соответственно, в рекомендациях по использованию почв региона.

В плане палеокриологических исследований важно отметить, что во всех изученных палеопочвах преобладают признаки криогидроморфного педогенеза, только в казанцевской палеопочве диагностирована ранняя стадия иллювиования глины, протекавшего вне криолитозоны. Это говорит о том, что за исключением тех почв, что образовались в голоцене и в термохрон МИС-5е, остальные изученные почвы формировались на многолетнемерзлом основании и представляют собой хорошо выраженные индикаторы былой мерзлоты.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке по госзаданиям № 121041600042-7 и № 121042000078-9 Тюменского научного центра СО РАН.

#### Литература

1. Таргульян В. О., Бронникова М. А. Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275.
2. Bronger A., Winter R., Sedov S.N. Weathering and clay mineral formation in two Holocene soils and buried paleosols in Tadjikistan: towards a Quaternary paleoclimatic record in Central Asia // Catena. V. 34. 1998. P. 19–34.
3. Зыкина В. С., Зыкин В. С. Лёссово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Гео, 2012. 477 с.
4. Svendsen J.I., Krüger L.C., Mangerud J. et al. Glacial and vegetation history of the Polar Ural Mountains in northern Russia during the Last Ice Age, Marine Isotope Stages 5–2 // Quaternary Science Review. 2014. V. 92. P. 409–428.
5. Möller P., Benediktsson Í.Ö., Anjara J., Ole Bennike O. et al. Glacial history and paleoenvironmental change of southern Taimyr Peninsula, Arctic Russia, during the Middle and Late Pleistocene // Earth Science Review. 2019. V. 196, P. 409–428.
6. Шейнкман В.С., Мельников В.П., Седов С.Н., Парначев В.П. Новые свидетельства внеледникового развития севера Западно-Сибирской низменности // ДАН. Т. 477. № 4. 2017. С. 480–484.
7. Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Труды НИЦ ОИГГМ СО РАН. Вып. 823. Новосибирск: 1994. 105 с.
8. Гросвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. 2009. № 106. 152 с.
9. Деев М.Г. Морские льды. М.: Издательство Московского ун-та. 2002. 133 с.
10. Зубов Н.Н. Льды Арктики. Москва: Издательство Главсевморпути, 1945. 360 .
11. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic  $\delta^{18}\text{O}$  Records // Paleoceanography. 2005. V. 20. P. PA 1003
12. Шейнкман В.С., Седов С.Н., Русаков А.В., Мельников В.П. Криотрасологическая индикация палеопочв // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 1. С. 51–62.
13. Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh L., Bezrukova E. et al. A multiproxy record of sedimentation, pedogenesis, and environmental history in the north of West Siberia during the late Pleistocene based on the Belaya Gora section // Quaternary Research. V. 99. 2021. P. 204–222.
14. Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh L. et al. First results from the Late Pleistocene paleosols in northern Western Siberia: Implications for pedogenesis and landscape evolution at the end of MIS3 // Quaternary International. V. 418. 2016. P. 132–146.

15. Sedov S., Rusakov A., Sheinkman V., Korkka M. MIS3 paleosols in the center-north of Eastern Europe and Western Siberia: Reductomorphic pedogenesis conditioned by permafrost? // *Catena*. V. 146. 2016. P. 38–47.
16. Шейнкман В.С., Седов С.Н., Безрукова Е.В. Палеоэкология севера Западной Сибири в последнюю холодную эпоху плейстоцена: новые свидетельства и сценарии // *Экосистемы: экология и динамика*. 2022. Т. 6. № 4. С. 71–88
17. Velichko A.A. Loess-paleosol formation on the Russian Plain // *Quaternary International*. V. 7/8. 1990. P. 103–114

PALEOSOLS IN THE NORTH OF WEST SIBERIA AS A INFORMATIVE RECORD OF  
THE NATURAL ENVIRONMENT AND COMPONENT OF THE PRESENT

V.S. Sheinkman<sup>1</sup>, S.N. Sedov<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Earth Cryosphere Institute, FRS Tyumen RS SB RAS, Russia

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), CDMX CP 04510, Mexico,  
vlad.sheinkman@mail.ru

*Summary. Paleosols of Northwestern Siberia were not known in literature. The carried out researches revealed pedogenic units belonged to the climatic warming of MIS-5, MIS-3 and in the end of MIS-2. Indicators of forest pedogenesis without permafrost identify the MIS-5 paleosol, gleyic and cryogenic features – the MIS3 paleosol, and the gleyic pedosediments filled ice wedge Pseudomorphs – the paleosol of end of MIS-2 by. All palaeosols indicate character of sediments that is important to assess environments.*

*Keywords: North of West Siberia, paleosols, Pleistocene.*



## СЕКЦИЯ 7. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ: ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ

УДК 631.42

### ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УРБАНОЗЕМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МУЛЬЧИРУЮЩИХ СУБСТРАТОВ

Р.Р. Ахметзянова, М.В. Силаев, З.С. Ежелев, А.А. Белов

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва,  
riana1372@mail.ru

**Аннотация.** Проведено исследование по влиянию 7 органических и 4 минеральных мульчирующих субстратов на изменение физических, химических и биологических свойств урбанозема. Мульчирование слоем мощностью 5 см не приводит к существенному увеличению плотности поверхностного горизонта урбанозема. Выявлено снижение численности потенциально-патогенных для человека колиформных бактерий и стабилизация численности и разнообразия микробных сообществ.

**Ключевые слова:** фильтрация, плотность почвы, влажность почвы, азотфиксация, микроскопические грибы, городские почвы.

Мульчирование почвы – агромелиоративный прием, один из способов регулирования водного режима. Под действием мульчирующих материалов существенно изменяются значения влажности почвы [1, 2], являющейся в свою очередь экологическим фактором, оказывающим влияние на почвенные микроорганизмы [3]. Проанализированные материалы продемонстрировали отсутствие репрезентативных данных, полученных на одном объекте исследования и позволяющих оценить степень влияния различных видов мульчирующих материалов на водный режим почвы [4].

Многие исследователи описали влияние ограниченного числа мульчирующих субстратов, среди которых наиболее полно описано использование пластиковых пленок в сельскохозяйственных целях, но с целью уменьшения оборота пластмасс в различных сферах деятельности человека происходит активный отказ от их использования. Также можно выделить, то, что до недавнего времени многие исследования были посвящены использованию мульчи в сельскохозяйственных целях, несмотря на их активное использование в городском хозяйстве [5, 6].

Объектом проведенного исследования являлись опытные площадки, заложенные на урбанозёме инструментальных площадок почвенного стационара факультета почвоведения МГУ (г. Москва), под пологом различных типов мульчирующих субстратов в 2021 году.

Были исследованы 11 мульчирующих субстратов, 4 минеральных, 7 органических. Среди органических субстратов были выбраны: кокосовые чипсы (КЧ), сосновая щепа крашенная (СЩК), кора лиственницы крупная фракция (КЛ1), кора лиственницы мелкая фракция (КЛ2), кора сосны крупная фракция (КС1), кора сосны мелкая фракция (КС2) и неокрашенная сосновая щепа (СЩ). В качестве минеральных субстратов были использованы следующие материала: змеевик (З), мрамор (М), вулканический туф (ВТ), пеностекло (ПС).

В почвах под пологом мульчирующих субстратов определяли плотность почвы, коэффициент фильтрации, влажность почвы, наименьшую влагоемкость и рН почвы и мульчирующих субстратов, а также численность микроорганизмов различных эколого-трофических групп.

Наибольшая влагоудерживающая способность выявлена для органических субстратов, при этом показатель НВ для большинства субстратов лежит в пределах 57–67%. Минеральные субстраты, за исключением пеностекла, вследствие своей низкой пористости практически не удерживают воду (0,74%–3,77%).

Наименьший коэффициент фильтрации (КФ) свойственен мелкодисперсным органическим субстратам: кокосовые чипсы 2,5 см/мин; кора лиственницы мелкая фракция 3,2 см/мин; кора сосны мелкая фракция 0,8 см/мин. Данные указывают на то, что коэффициент фильтрации в первую очередь определяется размерами фракций исследованных субстратов.

При анализе рН субстратов обнаружена тенденция к увеличению кислотности органических субстратов, и снижению рН минеральных.

По значениям плотности обнаружено, что до начала эксперимента плотность почвы на исследуемом объекте была очень разнородна от площадки к площадке. С течением времени наблюдается стабилизация плотности, а также увеличение ее значений до 1,2–1,3 г/см<sup>3</sup>, что является приемлемым для данного типа почвы.

Показатель общего микробного числа (ОМЧ) за год эксперимента увеличился во всех вариантах, что может говорить о повышении численности микроорганизмов. В апреле, после снеготаяния наблюдалось снижение ОМЧ до 10<sup>5</sup> – 10<sup>6</sup> КОЕ/г в каждом варианте, что может быть объяснимо низким содержанием питательных веществ в почве после зимы. К концу вегетационного периода, осени, мы видим увеличение ОМЧ во всех вариантах, в частности под листовенничной корой мелкой фракции и сосновой корой крупной фракции почти на три порядка. В ранее проведенных исследованиях так же отмечается снижение ОМЧ в весенний период и повышение к осени на городских территориях [7].

По прошествии года эксперимента бактерии группы кишечной палочки (БГКП) были обнаружены только в образцах под крашеной сосновой щепой, сосновой корой крупной фракции и пеностеклом. Их содержание невелико и находится в пределах допустимых норм. Индекс БГКП в городских почвах от 1 до 10 (в пересчете на КОЕ/г составляет 10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup>) соответствует чистой почве [8].

К концу эксперимента, осени 2022 года, азотфиксирующие бактерии не были выявлены в почве под всеми мульчирующими субстратами. Существенных изменений содержания азотфиксирующих бактерий за полгода эксперимента с осени 2021 года по весну 2022 года не выявлено, при этом, как и с общим содержанием культивируемых бактерий (ОМЧ), наблюдается снижение показателей в апреле 2022 года после снеготаяния. Отсутствие азотфиксирующих бактерий может негативно влиять в дальнейшем на состояние почвы, так как именно содержание азота в почве отвечает за питательную ценность органических остатков для микробного сообщества [9].

Численность почвенных микроскопических грибов увеличилась за время эксперимента во всех вариантах с мульчирующими субстратами кроме кокосовых чипсов, и снизилась незначительно в варианте с черным паром. Наибольшие значения содержания почвенных микроскопических грибов наблюдаются в вариантах со змеевиком, мрамором, крашеной сосновой щепой, сосновой корой крупной и мелкой фракция и сосновой щепой и составляют 10<sup>5</sup> КОЕ/г. Почвенные грибные комплексы являются основными участниками минерализации различных, в том числе трудноразлагаемых, растительных и других органических остатков [10]. Что также говорит о благотворном влиянии мульчи.

В начале эксперимента актиномицеты были зафиксированы лишь на пяти площадках. К весне 2022 года актиномицеты были обнаружены в каждом варианте эксперимента. За год эксперимента их численность стабилизировалась в диапазоне 10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup> КОЕ/г под всеми вариантами мульчирующих субстратов. Наличие в почве актиномицетов – благоприятный знак, так как эти микроорганизмы являются активными гидролитами [11, 12] широкого спектра органических веществ, антибиотических агентов [13] с в том числе, противогрибной активностью [14], а также продуцентами экзоферментов, в частности хитиназ, для которых клеточная стенка почвенных грибов является целевым субстратом [15] и позитивно влияют на рост и развитие растений [16].

По результатам эксперимента выявлено что, мульчирующие материалы не приводят к переуплотнению почв, несмотря на большую разницу в их нагрузке. Органические субстраты мелкого размера частиц наиболее хорошо сохраняют влажность почвы, нежели крупнодисперсные варианты или минеральные покрытия.

Также мульчирование способствует подавлению роста условно-патогенных микроорганизмов и положительно влияет на содержание бактерий, микроскопических грибов и актиномицет в почвенном микробном сообществе.

#### Литература

1. Андерсен Р.Л., Косолап Н. Растительные остатки и контроль сорняков в технологии Notill // Зерно. 2008. № 4.

2. Сидорова М.А., Чернова А.Д. Мульчирование органическими материалами как эффективный агроландшафтный прием на дерново-подзолистой почве в условиях засушливых вегетационных периодов // Тр. Междунар. конф. «Тенденция развития агрофизики в условиях изменяющегося климата (к 600летию Агрофизического НИИ)». СПб., 2012.
3. Манучарова Н.А., Ярославцев А.М., Степанов А.Л. и др. Влажность как экологический фактор формирования почвенного гидролитического микробного комплекса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2012. № 1.
4. Сидорова М. А., Борисова Е. О. Особенности режима влажности модельной дерново-подзолистой почвы при мульчировании еловым опадом // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. №. 2. С. 34–39.
5. Kader, M.A. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment / M.A. Kader, M. Senge, M.A. Mojid, et al. // Soil Tillage Res. 2017. P. 155–166.
6. Ma, J. Effects of covering methods on soil water, temperature and nitrogen of Jujube Orchard under drip irrigation / J. Ma, F.Y. Lei, L.D. Li, et al. // Agric. Res. Arid. Areas 34 (1) (2016). P. 147–153.
7. Зайнитдинова Л. И. и др. Влияние урбанизации на микробиоценозы городских почв // Universum: химия и биология. 2021. №. 11-1 (89). С. 12–20.
8. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы и грунтов
9. Стриганова Б. Р. Питание почвенных сапрофагов. М, 1980. 244 с.
10. Воронин Л. В., Колесникова И. Я. Инициированные комплексы почвенных грибов в агроценозах // Ярославский педагогический вестник. 2012. Т. 3. №. 1. С. 90–93.
11. Зенова Г. М. и др. Таксономическая и функциональная структура психротолерантных и термотолерантных комплексов почвенных актиномицетов // Теоретическая и прикладная экология. 2008. №. 3. С. 66–72.
12. Степанов А. Л. и др. Характеристика биологической активности микробного комплекса городских почв // Почвоведение. 2005. №. 8. С. 978–983.
13. Закалюкина Ю. В., Зенова Г. М. Антагонистические свойства почвенных ацидофильных актиномицетов // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2007. №. 4. С. 402–405
14. Закалюкина Ю. В., Огорокова Е. А. Антигрибной антагонизм почвенных актиномицетов in vitro и in situ // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития, Вят. гос. гуманитар. ун-т., Киров. 2008. Т. 1. С. 217–219.
15. Дегтярева Е. А. и др. Почвенные актиномицеты как потенциальные биофунгициды // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2009. №. 2. С. 22–26.
16. Jog R., Nareshkumar G., Rajkumar S. Enhancing soil health and plant growth promotion by actinomycetes // Plant growth promoting actinobacteria: a new avenue for enhancing the productivity and soil fertility of grain legumes. 2016. С. 33–45

#### CHANGES OF PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF URBANOZEM WHEN USING VARIOUS MULCHING SUBSTRATES

R.R. Akhmetzyanova<sup>1</sup>, M.V. Silaev<sup>1</sup>, Z.S. Ezhelev<sup>1</sup>, A.A. Belov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State, Moscow, riana1372@mail.ru

*Summary. Research on the effect of 7 organic and 4 mineral mulching substrates on changes the physical, chemical and biological properties of urbanozem was conducted. Mulching with the 5 cm layers does not leads to sufficient increase of soil density. Potentially pathogenic microorganisms were decreased, while amount and biodiversity of soil microbial communities were increased.*

*Keywords: soil filtration, soil density, soil humidity, nitrogen fixation, microscopic fungi, urban soils.*

УДК 58.056

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**О.В. Вишнякова, В.Л. Убугунов, И.Н. Лаврентьева, Л.Н. Болонева, Л.Л. Убугунов**

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, [ok\\_vish@mail.ru](mailto:ok_vish@mail.ru)

**Аннотация.** *Продуктивность степных экосистем Западного Забайкалья в значительной мере определяется локальными гидротермическими условиями и интенсивностью выпаса. Изученные сообщества относятся к мало- и среднепродуктивным, причем последние встречаются только в пределах Баргузинской котловины. На исследованной территории отмечена дигрессия степных сообществ в результате нерегулируемого выпаса. В сообществах умеренной и средней степени трансформации средняя продуктивность надземной биомассы снижается незначительно. На степных территориях крайней степени дигрессии, приближенных к населенным пунктам, снижение биологической продуктивности превышает 60%.*

**Ключевые слова:** *типичные степи, надземная фитомасса, биологическая продуктивность, дигрессия.*

**Актуальность.** Экстенсивное использование степных экосистем в условиях глобального изменения климата привело к масштабной дигрессии степных территорий. Происходят значительные изменения флористического состава, структуры и продуктивности растительных сообществ, особенно в аридных и субаридных регионах средних и высоких широт, наиболее уязвимых к повышению температуры при недостатке увлажнения. Поэтому важно объективно оценить адаптивную способность степных экосистем в изменяющихся условиях с учетом величины их биологической продуктивности, которая является результатом взаимодействия экологических и антропогенных факторов.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились на территории Западного Забайкалья, которое характеризуется среднегорно-котловинным рельефом. Степные массивы распространены островами вдоль склонов межгорных котловин, окруженных горной тайгой. Разнообразие степей связано с высотной дифференциацией внутри котловин и прилегающих к ним склонов хребтов. В данной работе рассматривались настоящие степи (temperate steppe) [1]. В меридиональном направлении с юга на север среднегодовые температуры в степных районах изменяются от 0 до -3°C. Продолжительность периода с температурой >10°C составляет 102–107 дней. Среднегодовое количество осадков варьирует в диапазоне от 220 до 370 мм.

На юге региона настоящие степи распространены в пределах котловин Селенгинского среднегорья на высотах от 500 до 800 м и простираются дальше по территории Восточной Монголии и Северо-Восточного Китая [2], формируя единый экстроконтинентальный сектор восточносибирско-центральноазиатских степей полиарктики [3, 4]. Северный ареал изученных степных экосистем находится в Баргузинской котловине (54–55° с.ш.) в окружении горной тайги, где формирование степных ландшафтов связано с низким атмосферным увлажнением и преобладанием песчаных почвообразующих пород, усиливающих инфильтрацию атмосферной влаги.

Для изучения растительного покрова и учета продуктивности фитоценозов типичных степей был заложен трансект протяженностью около 500 км с 15-ю контрольными площадками, на каждой из которых на расстоянии 100 м были выбраны 5 участков размером 1 м<sup>2</sup>. Количественная оценка биологической продуктивности степных фитоценозов осуществлялась в первой декаде августа, в период максимального накопления растительной массы. Надземная фитомасса определялась укосным методом с отбором подстилки. Учет подземной массы проводился на тех же участках из 3–5 монолитных почвенных образцов размером 25 см x 25 см послойно через каждые 10 см до глубины 50 см. Корни были промыты от почвы, используя сита размером 0,25 мм. Собранная биомасса высушивалась в печи при температуре 65 °C до достижения постоянного веса и взвешивалась с точностью до 0,1 г. Общая фитомасса рассчитывалась как сумма надземной и подземной составляющих. Данные статистически обработаны.



При флористическом описании рассматривалось общее проективное покрытие, обилие видов [5], яркость, биометрические показатели доминантов, жизненность, состав и структура сообщества.

**Обсуждение результатов.** Степная растительность исследованных территорий относится к классу *Cleistogenetea squarrosae* Mirkin et al. 1986. Доминируют ковыльная (*Stipa krylovii*) и типчаковая (*Festuca lenensis*) формации и различные их варианты с участием *Artemisia frigida*, *Carex duriuscula*, *Potentilla acaulis*, *Neopallasia pectinata*. Проведенные исследования показали, что в целом продуктивность степных экосистем невысокая. Общие запасы растительного вещества варьируют в широких пределах: от 419 до 3060 г/м<sup>2</sup>, в среднем составляя 1717 г/м<sup>2</sup>. Согласно [6], все изученные сообщества относятся к мало- и среднепродуктивным, причем последние встречаются только в пределах Баргузинской котловины. Запасы сухой надземной фитомассы низкие – 42–258 г/м<sup>2</sup> при среднем значении 132 г/м<sup>2</sup>. Корневая масса существенно преобладает, составляя 78–97 % от величины общей продуктивности, что согласуется с данными [7].

Пастбищная нагрузка оказывает заметное влияние на видовой состав и структуру степных фитоценозов [8]. Устойчивость сообществ перед интенсивным выпасом обеспечивается способностью длиннокорневищных растений к вегетативному размножению. Поедание корококорневищных, кистекорневых, стержнекорневых и плотнокустовых растений основной способ, возобновления и самоподдержания которых, является семенным, приводит к понижению их роли в фитоценозе, а затем и к полному выпадению. Сообщество сохраняется как экосистемная единица благодаря наличию устойчивых к выпасу многолетних видов – корневищных злаков, осок и полукустарничков (прежде всего *Artemisia frigida*), занимающих позиции при ослаблении конкуренции со стороны дерновинных злаков [1]. Оценка степени трансформации степных сообществ согласно [9] показала, что основную долю составляют умеренно-, средне- и сильно- трансформированные сообщества, слабо трансформированные и очень сильно нарушенные встречаются редко, ненарушенные сообщества в пределах исследуемых участков не выявлены [10]. Изучение биологической продуктивности изученных степных сообществ в зависимости от их степени деградации показало, что средняя продуктивность надземной массы закономерно снижается с ростом стадии дигрессии. Обильное разрастание полукустарничков, таких как *Artemisia*, на промежуточных стадиях дигрессии приводило к увеличению продуктивности на некоторых участках, поэтому разница в средней величине надземной биомассы на 2 и 3 стадиях была несущественной. В дигрессионных вариантах с преобладанием *Potentilla acaulis* и *Carex duriuscula*, как правило, продуктивность снижалась. Достоверное снижение фитомассы под влиянием выпаса наблюдалось на 4 и 5 стадиях дигрессии, или при сильном сбое. По сравнению с третьей стадией, количество надземной фитомассы растительных сообществ на четвертой стадии в среднем снизилось на 20 %, а на пятой – на 63%. Отрицательная разница в надземной продуктивности между 4 и 5 стадиями составила в среднем более 50%.

**Заключение.** Продуктивность степных экосистем Западного Забайкалья в значительной мере определяется локальными гидротермическими условиями и интенсивностью выпаса. Все компоненты растительной массы варьируют в широких пределах в зависимости от климатических параметров и степени антропогенной нагрузки. Изученные сообщества относятся к мало- и среднепродуктивным, причем последние встречаются только в пределах Баргузинской котловины. На исследованной территории отмечена дигрессия степных сообществ в результате нерегулируемого выпаса. В сообществах умеренной и средней степени трансформации средняя продуктивность надземной биомассы снижается незначительно. На сильно-трансформированных степных территориях, приближенных к населенным пунктам, снижение биологической продуктивности превышает 60%.

#### Литература

1. Степи Центральной Азии / И.М. Гаджиев, А.Ю. Королук, А.А. Титлянова и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 299 с.
2. Булнаев К.Б. Формирование впадин забайкальского типа // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. Вып. 1. С. 18–30.
3. Природные условия, растительный покров и животный мир Монголии. Пушино, 1988. С. 137–159.

4. Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. Степи Евразии. Л.: Наука, 1991. 146 с.
5. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избр. работы. Л., 1971. 334 с.
6. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
7. Wang K., Li J., Shanguan Z. Biomass components and environmental control in Ningxia grasslands // Journal of Integrative Agriculture. 2012. V. 11(12). P. 2079–2087.
8. Christensen L., Coughenour M., Ellis J., Chen Z. Vulnerability of the Asian typical steppe to grazing and climate change // Climate Change. 2004. V. 63. P. 351–368.
9. Прокопьев Е.П., Зверев А.А., Мерзлякова Н.Е., Кудрявцева В.В., Минеева Т.А. Опыт оценки антропогенной трансформации растительности зеленой зоны г. Томск / Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Красноярск: КГПУ, 2006. С. 79–84.
10. Вишнякова О.В., Рупышев Ю.А., Лаврентьева И.Н., Убугунов Л.Л. Трансформация степных сообществ Западного Забайкалья под влиянием антропогенной нагрузки // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 6. С. 15.

#### CHANGES IN PRODUCTIVITY OF STEPPE ECOSYSTEMS IN WESTERN TRANSBAIKAL REGION UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

O.V. Vishnyakova, V.L. Ubugunov, I.N. Lavrentieva, L.N. Boloneva, L.L. Ubugunov  
Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, [ok\\_vish@mail.ru](mailto:ok_vish@mail.ru)

*Summary. Steppe ecosystems productivity in Western Transbaikal Region is largely determined by local hydrothermal conditions and grazing intensity. The studied communities are classified as low- and medium-productive, the latter being found only within the Barguzin depression. Steppe communities within the area under the study were observed to digress as a result of unregulated grazing. The average productivity of aboveground biomass in phytocenoses with a moderate and medium degree of transformation was slightly lower. In the steppe sites with the extreme digression, close to the settlements, the decrease in biological productivity exceeds 60%.*

*Keywords: typical steppe, biological productivity, aboveground phytomass, digression.*

УДК 631.42

#### СУКЦЕССИОННАЯ ДИНАМИКА ПОЧВ И НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ НА ЮГЕ ТАЁЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.Г. Дюкарев, Н.В. Климова, С.Г. Копысов, А.Н. Никифоров, Н.А. Чернова  
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск,  
[dyukarev-ag@mail.ru](mailto:dyukarev-ag@mail.ru), [a.nik-n@mail.ru](mailto:a.nik-n@mail.ru)

*Аннотация. Исследование разнотравных темнохвойных лесов юга Западной Сибири показало тесную связь лесообразовательного и почвообразовательного процессов, проявляющуюся преимущественно в динамике гумусового профиля.*

*Ключевые слова: Лесные экосистемы, почвы, напочвенный покров, сукцессия.*

Лес – многомерная, поликомпонентная, полифункциональная система каждый элемент которой отличается реакцией на внешние возмущения. Сукцессионная динамика проявляется в изменении структуры древостоя обилии видов напочвенного покрова, их продуктивности, гумусовом профиле почв. На территории таёжной зоны Западной Сибири сейчас господствуют леса, находящиеся на разной стадии восстановления. Деграляция лесов имеет антропогенную природу, связана с обширными пожарами при земледельческом освоении в начале прошлого столетия и высокими хозяйственными нагрузками на последующих этапах.

В настоящее время интенсивно развивается направление по изучению первичной продукции и углеродного баланса как в лесах России, так и Евразии. Однако оценка проводится преимущественно, на основе оценок древесного яруса, часто без учета почв и напочвенного покрова [1, 2, 3], в то время как динамические процессы, происходящие в лесах, отражаются и проявляются в первую очередь в изменении продуктивности растительных сообществ и активности почвообразования.

**Цель исследований:** выявление закономерностей трансформации почв и напочвенного покрова в дигрессивно-прогрессивных сукцессиях темнохвойных лесов.

**Объект исследования:** разнотравные пихтовые леса на юге Западной Сибири находящиеся на разных стадиях деградации и восстановления. Формируются «пихтачи» на дерново-глубокоподзоленных почвах. Особенностью почв является высокая контрастность профиля с осветленным элювиальным горизонтом позволяющим отслеживать активности почвообразования в циклах лесообразовательного процесса.

**Метод исследований:** комплексный биогеоценотический анализ, включающий сопряженное описание почв и напочвенного покрова в местообитаниях, ранжированных по состоянию древостоя и его положению в восстановительно-возрастном ряду. Исследования проводились в однотипных по рельефу условиях с учетом фитогенного поля древостоя (приствольная, подкروновая и межкروновая части).

**Результаты исследования:** Лесные экосистемы на юге таежной зоны Западной Сибири являются важным источником информации, необходимой для понимания циклично развивающихся процессов на всех уровнях организации экосистемы. Для изучения пространственно-временной динамики почв и напочвенного покрова нами были выбраны пихтовые леса Томь-Яйского междуречья, формирующиеся в простых сукцессионных циклах со сменой эдификаторов в ряду пихта-осина-пихта [4]. Для этой территории характерно достаточно быстрое протекание восстановительных сукцессий, что связано, в первую очередь, с биологическими особенностями слагающих древостои древесных пород – предельный возраст пихты сибирской для исследуемых лесов составляет 80–120 лет, а осины 50–60 лет. Общая продолжительность сукцессионного цикла в естественных условиях немногим превышает 200 лет.

Отличительной чертой пихтовых лесов Томь-Яйского междуречья является постоянное изменение структуры лесных экосистем: образование более или менее крупных окон с высокотравным покровом на месте выпавших деревьев (одного или группы) и их быстрое зарастание с формированием преимущественно разнотравных осинников. Это обуславливает высокую пространственную неоднородность в лесных экосистемах подобного типа, проявляющуюся во всех ярусах фитоценозов (древостое, подлеске, напочвенном покрове), отражающуюся и в гумусовом профиле почв.

Пространственно-временные стадии эндогенной сукцессии пихтовых лесов исследуемой территории можно выстроить в следующий ряд: окно с высокотравным покровом: - осинник разнотравный: - осинник с выраженным вторым пихтовым ярусом: - субклимаксовый пихтовый лес с разреженным разнотравным покровом: - распадающийся пихтарник с высокотравными окнами: - густой молодой мертвопокровный формирующийся в осветленных местоположениях пихтарник (рис.). Отмечено, что при высоком видовом разнообразии образующих этот ряд растительных сообществ, они имеют достаточно однородный, монодоминантный травяной покров, в формировании которого принимает участие небольшое число видов.

Характерными чертами субклимаксовых пихтовых лесов на исследуемой территории являются разновозрастная структура древостоев пихты сибирской, высокая сомкнутость крон, колеблющейся в пределах 0,6–0,8, разреженный разнотравный напочвенный покров. Подлесок представлен лишь отдельными особями и мелкими куртинками черемухи, рябины, смородины красной, жимолости. Высокая сомкнутость древесного полога оказывает существенное влияние на подчиненные ярусы фитоценозов, в первую очередь препятствуя формированию густого травяного покрова. Проективное покрытие травяного яруса в таких лесных экосистемах составляет всего около 20%, основу образует сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.). Постоянно в небольшом обилии в составе фитоценозов присутствуют хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.), звездчатка Бунге (*Stellaria bungeana* Fenzl), вейник притупленный (*Calamagrostis obtusata* Trin.), адокса мускусная (*Adoxa moschatellina* L.) и другие. С высоким постоянством, хоть и не обильно, присутствуют борец северный (*Aconitum septentrionale* Koelle) и купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), приуроченные к более осветленным участкам.

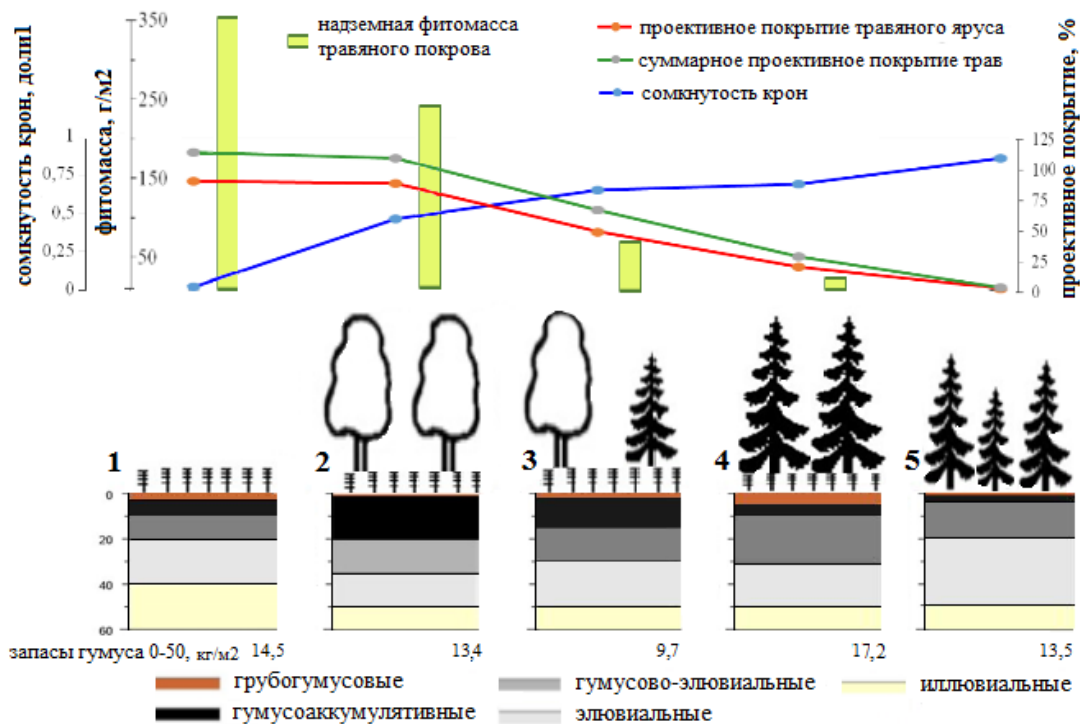


Рисунок. Пространственно-временная динамика пихтовых лесов.

Примечание: 1 – окно высокотравное; 2 – осинник разнотравный; 3 – осинник со вторым пихтовым ярусом разнотравный; 4 – пихтовый лес с разреженным разнотравным покровом; 5 – густой мертвопокровный пихтарник.

По достижении сенильного возраста деревьев начинается локальный распад коренного древостоя. Из-за гибели старых пихт, чаще всего при сломе, образуются небольшие (в 1–3 дерева) окна, в которых формируются высокотравные фитоценозы с густым двухъярусным травяным покровом (проективное покрытие 80–100%, высота 0,8–1,2 м с отдельными растениями до 2 м). Лишь изредка густота травостоя снижается (до 65%), что происходит при существенном разрастании куртин черемухи (проективное покрытие подлеска 30% и более) или при наличии большого количества валежа. Для сообществ этой стадии характерно постоянное присутствие в небольшом обилии малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.). Максимальная освещенность и более высокая прогреваемость, характерная для местообитаний окон, способствует появлению в составе фитоценозов и разрастанию целого ряда видов высокотравья – бодяка (*Cirsium heterophyllum* (L.) Hill), сосюреи (*Saussurea latifolia* Ledeb.), крестовника (*Senecio nemorensis* L.), скерды (*Crepis sibirica* L.), недоспелки (*Parasenecio hastatus* (L.) H. Koyama). Основу образуют страусник (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.) в первом подъярусе и сныть обыкновенная во втором. Характерной особенностью растительного покрова окон является сохранение в составе травостоя видов таежного мелкотравья, таких как цирцея (*Circaea alpina* L.) и звездчатка Бунге.

В целом, стадия высокотравного окна весьма непродолжительна и уже через несколько лет по краям окна начинает появляться пихтовый и осиновый подрост и, по мере развития древесного яруса, формируются производные лиственные леса, в данном случае разнотравные осинники (*Populus tremula* L с сомкнутостью крон 0,4–0,5). Под рыхлым пологом древостоя, в условиях достаточной освещенности, формируется густой травяной покров, в котором абсолютно доминирует сныть обыкновенная. Высокое сходство с описанными выше разнотравными осинниками имеют осиново-пихтовые разнотравные леса, в которых формируется хорошо выраженный второй ярус древостоя из пихты сибирской. Вследствие этого происходит значительное снижение проективного покрытия травостоя (около 50%) при сохранении остальных качественных и количественных характеристик подполюговых ярусов. В условиях, наиболее благоприятных для пихтового возобновления (чаще всего на опушке леса), формируются густые мертвопокровные пихтовые молодняки (возраст 20–40 лет). Очень



высокая сомкнутость крон (0,8–0,9) приводит к почти полному отсутствию подпологовой растительности (рисунок). Снижение обилия травянистых растений по мере формирования пихтового второго яруса древостоя в осиново-пихтовых разнотравных лесах, проявляется в четырехкратном уменьшении надземной фитомассы (с 200–300 до 50–60 г/м<sup>2</sup>). В молодых пихтарниках, где практически не развит напочвенный покров, надземная фитомасса крайне мала и составляет всего 0,4 г/м<sup>2</sup>, что согласуется с данными других исследований [5].

Изменения в растительном покрове естественным образом отражаются на почвообразовании, прежде всего накопление органического вещества как на поверхности (подстилки), так и в профиле (гумуса) [6]. При смене сукцессионных стадий, в поверхностных органогенных горизонтах отмечаются, прежде всего, изменение в структуре лесных подстилок. Типичная для пихтовых лесов хвойный тип подстилки меняется на листовенно-травяную, минерализация которой протекает значительно быстрее. Практически к началу следующей вегетации опад на поверхности почв гумифицируется. В окнах под травяными осинниками активизируется гумусонакопление, практически в два раза увеличивается мощность гумусового горизонта (с 5–7 до 14–15 см) и запасы гумуса. Трансформируются и другие лабильные показатели (рН, сумма обменных оснований и подвижных элементов, в меньшей степени консервативные свойства, качественный состав гумуса, содержание общего азота).

Актуальная кислотность, при ее оценке в грубогумусовых горизонтах не показала существенных различий, отражающих стадии сукцессионной динамики. Все значения характеризуются величинами, указывающими на слабокислую и близкую к нейтральной реакцию среды. Вместе с тем, в верхних органогенных горизонтах четко просматривается тренд трансформации биогеоценоза по показателям обменной и необменной кислотности. На стадии развала древостоя и формировании структуры типа окно-дерево потенциальная и гидролитическая кислотность свидетельствуют о резком закислении подстилки, что по мнению Н.В. Лукиной с соавторами [7] может быть связано с образованием вторичных метаболитов. На последующих стадиях сукцессионной динамики коренных темнохвойных лесов (стадия формирования вторично производных осиновых лесов и стадия возобновления коренных пород под их пологом) происходит стабилизация кислотности, за счет увеличения содержания щелочных элементов в опаде. При этом на этапе восстановления коренного темнохвойного леса и выхода основных пород из-под полога мелколиственных, наблюдается некоторое подкисление реакции среды по показателю потенциальной кислотности, что может быть связано с влиянием хвойного опада с молодых деревьев, способных к рециркуляции зольных элементов, в частности кальция и магния.

Таблица 1. Запасы гумуса в почвах на разных стадиях сукцессии

Стадия сукцессии	Запасы гумуса кг/м <sup>2</sup>		
	Органогенный	Минеральный	Суммарно
Окно высокотравное	5,1	14,5	19,6
Осинник разнотравный	2,6	13,4	16,0
Осиново-пихтовый разнотравный	2,7	9,7	12,4
Пихтовник разнотравный	4,1	6,4	10,5
Пихтарник мертвопокровный	5,3	13,5	18,8

В ходе сукцессионной динамики коренных темнохвойных лесов происходит закономерное изменение запасов углерода, как в подстилочных, так и в минеральных горизонтах почвенного профиля. Общие запасы гумуса в слое 0–50 см существенно варьируют в зависимости от стадий трансформации (табл.1). На стадии развала древостоя наблюдается пополнение запаса гумуса, которое составляет 19,6 кг/м<sup>2</sup>. На следующих стадиях, вплоть до выхода коренных темнохвойных пород в полог осинового леса, органогенные горизонты резко гумифицируются и минерализуются, а запасы гумуса достигают своего минимума как в грубогумусовых горизонтах, так и в минеральной части почв. На стадиях возобновления пихтового леса наблюдается резкое увеличение запаса гумуса в слое 0–50 см, что может быть

связано с увеличением объема органического вещества, накопленного на предшествующих этапах и увеличением мощности подстилки. На начальных стадиях возобновления запасы гумуса в горизонтах подстилки, характеризуются незначительными величинами, редко превышающими 2–3 кг/м<sup>2</sup>, при существенной доле участия почвенного гумуса, превышающего запасы в подстилке почти в 10 раз. На финальной стадии восстановления пихтового леса значения запасов гумуса в органогенной и минеральной толщах близки к значениям, характеризующим начала трансформации.

Таким образом, исследования, проведенные в «квазиравновесных» пихтовых лесах Томь-Яйского междуречья, позволили выявить основные закономерности почвообразования и трансформации фитоценоза в восстановительном ряду лесообразовательного процесса. Показано, что мозаично-ярусное строение лесной экосистемы – циклично развивающийся природный процесс прохождения древостоем разных этапов и стадий. Деградация древостоя приводит к развитию напочвенного покрова и активизации гумусонакопления. При нарушении естественного цикла восстановления может затягиваться на неопределенно долгое время. Ведущими факторами экосистемных трансформаций является нарушение древостоя, изменение инсоляционного и гидротермического режимов. Быстро протекающие сукцессии являются причиной высокой неоднородности лесных экосистем, проявляющейся на всех ярусах: древостое, напочвенном покрове, почвах.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Бюджетного проекта РАН FWRG - 2021-0003 «Динамические и эволюционные процессы в природных экосистемах Сибири: индикаторы, мониторинг, прогноз».

#### Литература

1. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
2. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 573 с.
3. Уткин А.И. Исследования по первичной биологической продуктивности лесов в СССР // Лесоведение, 1970. № 3. С. 58-89.
4. Лашинский Н.Н., Королук А.Ю. Синтаксономия темнохвойных зональных лесов южной тайги Западно-Сибирской равнины и гумидных низкогорий Алтае-Саянской горной области // Растительность России. 2015. № 26. С. 85–107.
5. Углерод в экосистемах лесов и болот России / ред. Алексеев В.А., Бердси Р.А. Красноярск: ТОО ЭКОС, 1994. 224 с.
6. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / под ред. чл.-корр. РАН Н.В. Лукиной. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 232 с.
7. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 341 с.

#### SUCCESSIONAL DYNAMICS OF SOILS AND GROUND COVER IN DARK CONIFEROUS FORESTS IN THE SOUTH OF THE TAIGA ZONE OF WESTERN SIBERIA

A.G. Dyukarev, N.V. Klimova, S.G. Kopysov, A.N. Nikiforov, N.A. Chernova  
Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, [dyukarev-ag@mail.ru](mailto:dyukarev-ag@mail.ru);  
[a.nik-n@mail.ru](mailto:a.nik-n@mail.ru)

*Summary.* On the example of forb dark coniferous forests in the south of Western Siberia, a close relationship between forest formation and soil formation processes is shown, which manifests itself mainly in the dynamics of the humus profile.

*Keywords:* forest ecosystems, soils, ground cover, succession.

УДК [574.42 : 574.45] : 57.042

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОМАССЫ ТРАВЯНЫХ СООБЩЕСТВ В ХОДЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ НА АГРОЗЕМАХ И ТЕХНОЗЕМАХ

Т.В. Жуйкова<sup>1</sup>, В.А. Гордеева<sup>1</sup>, Э.В. Мелинг<sup>1</sup>, В.С. Безель<sup>2</sup>, Е.В. Голоушкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет, Нижний Тагил, hbfnt@rambler.ru

<sup>2</sup>Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, bezel@ipae.uran.ru

**Аннотация.** Изучено изменение общей надземной и подземной фитомассы травяных сообществ, формирующихся на агрогенно и техногенно преобразованных территориях. Исследования проведены в 2022 г. в Притагильской зоне Среднего Урала. Фитомассу изучали в фитоценозах четырех групп, отражающих последовательные сукцессионные этапы: злаковые, ранние луговые, молодые луговые и сформированные луговые. Установлено сходное направление изменения надземной и подземной фитомассы в градиенте сукцессионного возраста фитоценозов агроземов и надземной техноземов: максимально высокие значения показателей на злаковой стадии, снижение фитомассы на ранней и молодой луговой стадиях и повышение на зрелой луговой. На техногенных территориях закономерное изменение подземной фитомассы в соответствии с сукцессионным возрастом не прослеживается, что связано с разным почвенным загрязнением этих территорий, влияющим на уровень фитомассы сообществ. Влияние субстрата на фитомассу проявляется в низких значениях надземной и подземной фитомассы сообществ на техноземах, суммарное почвенное загрязнение которых в 6–32 раза превышает региональный фоновый уровень агроземов. В большей степени эффект выражен по показателям подземной фитомассы. В сообществах ранней луговой стадии на агроземах подземная фитомасса в четыре раза выше, чем на техногенно трансформированных территориях.

**Ключевые слова:** серыйные травяные сообщества, восстановительная сукцессия, надземная и подземная фитомасса, залежи, промышленные отвалы.

В настоящем сообщении представлены результаты исследования современного состояния и перспектив развития растительных сообществ на агрогенно преобразованных и техногенно нарушенных территориях одного из промышленных центров Среднего Урала. Нижний Тагил – город с трехсотлетней деятельностью горно-добывающей и металлургической промышленности. Данная работа выполнена в ключе изучения сукцессионных процессов на залежах и отвалах Притагильской зоны Среднего Урала и является продолжением ранее начатых исследований, посвященных изучению временной динамики альфа-разнообразия [1], видовой насыщенности и проективного покрытия [2].

Целью работы было изучить динамику общей надземной и подземной фитомассы в градиенте сукцессионного возраста в травяных сообществах агрогенно и техногенно трансформированных территорий. Обсуждается гипотеза о влиянии типа субстрата на динамику надземной и подземной фитомассы в ходе восстановительной сукцессии травяных сообществ, формирующихся на агроземах и техноземах.

**Материалы и методы.** Исследования проведены на территории Притагильской зоны Среднего Урала (г. Нижний Тагил (58° с.ш., 60° в.д.) и его окрестности). Изучены травяные сообщества, находящиеся на разных стадиях сукцессии и формирующиеся на двух группах почвенных субстратов: агроземах (А) и техноземах (Т) с разным уровнем почвенного загрязнения тяжелыми металлами. Суммарный показатель токсической нагрузки (Z, отн. ед.) вычисляли на основании содержания в почве (мкг/г)  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ . Учитывали элементы, превышающие региональный фоновый уровень (табл. 1).

Характеристика сообществ и выделение их сукцессионных стадий, уровень почвенного загрязнения исследуемых территорий описаны ранее [1, 2]. Участки агроземов представлены залежными землями, выведенными из-под пашни в разное время (10–30 лет назад). Порядковый номер участка отражает увеличение возраста залежи и соответственно фитоценоза –  $A_0 \rightarrow A_1 \rightarrow A_{1.1} \rightarrow A_2 \rightarrow A_5$ .

Участки техноземов расположены на промышленных отвалах, возраст которых более 50 лет. На отвалах формируются молодые почвы по буроземному и литоземному типам на

техногенной почвообразующей породе, богатой обменными основаниями и элементами питания растений [3]. Порядковый номер участков присвоен в соответствии с увеличением времени с момента отсыпки территории отвала – T0→T1→T3→T4.

**Синтаксономический статус фитоценозов** рассматриваемых участков определяли как безранговые сообщества в рамках высших единиц флористической классификации – порядков и классов. Участок A0. Безранговое дериватное сообщество *Elytrigia repens* [Stellarietea mediae / Molinio-Arrhenatheretea]. Участок A1. Безранговое дериватное сообщество *Taraxacum officinale-Poa angustifolia* [Artemisietea vulgaris / Molinio-Arrhenatheretea]. Участок A1.1. Безранговое дериватное сообщество *Taraxacum officinale-Festuca pratensis* [Artemisietea vulgaris / Molinio-Arrhenatheretea]. Участок A2. Безранговое базальное сообщество *Pimpinella saxifraga-Festuca pratensis* [Arrhenatheretalia]. Участок A5. Безранговое базальное сообщество *Pimpinella saxifraga-Poa angustifolia* [Arrhenatheretalia]. Участок T0. Безранговое сообщество *Cirsium setosum-Calamagrostis epigeios* [Artemisietea vulgaris / Molinio-Arrhenatheretea]. Участок T1. Безранговое дериватное сообщество *Picris hieracioides-Amoria repens* [Artemisietea vulgaris / Molinio-Arrhenatheretea]. Участок T3. Безранговое дериватное сообщество *Picris hieracioides-Festuca rubra* [Artemisietea vulgaris / Molinio-Arrhenatheretea]. Участок T4. Безранговое базальное сообщество *Trifolium pratense-Festuca pratensis* [Arrhenatheretalia].

Изучение надземной и подземной фитомассы сообществ выполнено в период максимального развития травостоя – июль 2022 г. Для исследований подбирали типичные по видовому составу и структуре для данных районов участки. Растительный материал отбирали в пределах пробных площадей (100 м<sup>2</sup>) на 5 учетных площадках размером 25 × 25 см, расположенных методом «конверта». Отбор проб проводили методом монолитов с 25-см глубины [4, 5]. В пределах каждой учетной площадки растения разбирали по видам. В лаборатории растения высушивали до воздушно-сухого состояния и определяли фитомассу вида в пределах каждой учетной площадки (г). Общую надземную и подземную фитомассу рассчитывали в г/м<sup>2</sup>.

Статистический анализ результатов выполнен с учетом среднего арифметического ( $M$ ) и его ошибки ( $m$ ). Счетной единицей были значения надземной и подземной фитомассы в пределах учетной площадки, которые выступали в качестве повторности.

Методом линейных контрастов выполнено сравнение фитомассы между сукцессионными группами [6]. Фактическое значение сравнивали со стандартным значением  $F$ -распределения со степенями свободы  $J - 1$  и  $N - J$ , где  $J$  – количество выборочных средних (сообществ), участвующих в анализе,  $N$  – общее количество наблюдений во всех сообществах ( $n_j \times J$ ),  $n_j$  – число наблюдений в  $j$ -й группе (число учетных площадок в сравниваемых сообществах). Статистическую обработку выполняли с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel 2007 и ПСП Statistica v. 13.0 (StatSoft, Inc., 2018).

**Результаты исследования.** В ходе исследования установлено, что на агрогенно преобразованных территориях надземная фитомасса варьирует от 207,6 до 363,02 г/м<sup>2</sup>. Подземная фитомассу в 1,2–1,9 раз превышает надземную (254–573 г/м<sup>2</sup>). На техногенно нарушенных территориях надземная фитомасса варьирует от 129 до 382 г/м<sup>2</sup> и в среднем ниже, чем на агроземах. Подземная фитомасса изменяется от 100 до 224 г/м<sup>2</sup>. Превышения подземной фитомассы над надземной не отмечено. В среднем на техноземах подземная фитомасса ниже надземной в 1,2–3,1 раз.

Представляет интерес изменение исследуемых показателей в фитоценозах, находящихся на разных стадиях развития травяного покрова (табл. 1). Полученные результаты по надземной фитомассе отражают общую закономерность, проявляющуюся в максимально высоких значениях показателя на начальной стадии сукцессии (злаковые сообщества) и в его снижении на более поздних стадиях независимо от типа субстрата (агрозем / технозем). Так, максимально высокие значения надземной фитомассы в злаковых сообществах. Сравнение данного показателя этих фитоценозов с таковым в сообществах более поздних стадий сукцессионного развития выполнено методом линейных контрастов (табл. 2). Установлены статистически значимые различия в надземной фитомассе злаковых фитоценозов со всеми остальными сообществами как на агроземах ( $F = 5,61, p < 0,01$ ), так и на техноземах ( $F = 7,19, p < 0,01$ ).



По подземной фитомассе данная закономерность проявляется только в сообществах агрогенно преобразованных территорий (табл. 2). На техноземах подземная фитомасса на начальных этапах развития сообществ (злаковая стадия и ранняя луговая) ниже, чем на более поздних (зрелая луговая стадия). В целом, подземная фитомасса сообществ техноземов на всех сукцессионных стадиях ниже, чем на агроземах в 4,7 раз. Все выше сказанное обусловлено физико-химическими особенностями почв техногенно нарушенных, в том числе высоким уровнем их загрязнения поллютантами.

Таким образом в условиях регионального фона ведущим фактором, определяющим уровень как надземной, так и подземной фитомассы выступает сукцессионный возраст сообщества. На техногенных территориях исследуемые участки характеризуются разным уровнем почвенного загрязнения, в связи с чем не прослеживается закономерное изменение подземной фитомассы в соответствии с сукцессионным возрастом.

Таблица 1. Изменение фитомассы травяных сообществ в ходе восстановительной сукцессии на агроземах и техноземах ( $M \pm m$ )

Участок (стадия сукцессии сообщества)	Z, отн. ед.	Фитомасса, г/м <sup>2</sup>	
		надземная	подземная
агроземы			
A0 (злаковое)	2,48	363,02 ± 39,47	573,38 ± 78,34
A1 (раннее луговое)	1,53	219,57 ± 39,34	409,15 ± 82,86
A1.1 (раннее луговое)	1,00	207,60 ± 34,09	361,02 ± 79,44
A2 (молодое луговое)	1,44	207,60 ± 33,52	254,02 ± 64,94
A5 (зрелое луговое)	1,88	283,86 ± 76,76	472,28 ± 89,49
техноземы			
T0 (злаковое)	32,51	382,46 ± 72,83	123,02 ± 35,44
T1 (раннее луговое)	23,70	152,53 ± 39,58	106,46 ± 41,76
T3 (раннее луговое)	26,69	128,54 ± 30,47	100,64 ± 43,78
T4 (зрелое луговое)	6,14	260,91 ± 63,50	224,37 ± 44,37

Примечание. Z – суммарная токсическая нагрузка; M – среднее арифметическое, m – ошибка средней арифметической; n = 5.

Рассмотренная закономерность проявляется не прямолинейно. На следующей за злаковой ранней луговой стадии отмечается снижение надземной и подземной фитомассы как на агроземах, так и на техноземах с дальнейшим его повышением в зрелых луговых фитоценозах. Однако, подъема надземной фитомассы в зрелых луговых фитоценозах до уровня злаковых не наблюдается. На этой стадии развития сообщества надземная фитомасса в 1,3–1,5 раз (агроземы и техноземы соответственно) ниже, чем на злаковой стадии. Подземная фитомасса сообществ участков A0 и A5 различается незначительно в 1,2 раза, а на техноземах в зрелом луговом сообществе даже в 1,8 раз больше, чем в злаковом (табл. 1).

Различия в надземной фитомассе злаковых и ранних луговых сообществ агроземов и техноземов статистически значимы (табл. 2, контрасты [A5] – [(A1 + A1.1)/2] и [T0] – [(T1 + T3)/2]). Значимое снижение подземной фитомассы в ранне луговых фитоценозах характерно только для агроземов. На техноземах данный факт отмечен на уровне тенденции. Интересно, что статистически значимое повышение как надземной, так и подземной фитомассы в зрелых луговых фитоценозах характерно только для техноземов (табл. 2, контраст [T4] – [(T1 + T3)/2]). На агрогенно преобразованных территориях отмечается только тенденция к повышению фитомассы в зрелом луговом сообществе, по сравнению с ранней луговой стадией.

Влияние субстрата на развитие фитомассы можно проследить на примере сообществ, находящихся на одной стадии, развивающихся на агрогенно и техногенно преобразованных территориях. Интересно, что ни на злаковой, ни на зрелой луговой стадии статистически значимых различий в надземной фитомассе сообществ агроземов и техноземов не установлено (табл. 2, контрасты [A0] – [T0] и [A5] – [T4] соответственно). Значимые различия в надземной фитомассе сообществ агроземов и техноземов характерны только для ранне луговой стадии.

Как было сказано выше, надземная фитомасса ранне луговых сообществ ниже на техногенно преобразованных территориях, чем агрогенно нарушенных. В отличие от надземной подземная фитомасса на всех исследуемых сукцессионных стадиях статистически значимо ниже на техноземах, чем на агроземах (табл. 2).

Таблица 2. Результаты сравнений фитомассы методом линейных контрастов

Групповые контрасты	df	Надземная фитомасса, г/м <sup>2</sup>		Подземная фитомасса, г/м <sup>2</sup>	
		F	p	F	p
Стадии на агроземах					
[A0] – [(A1 + A1.1 + A2 + A5)/4]	4; 21	5,61	< 0,01	5,02	< 0,01
[A0] – [(A1 + A1.1 + A2)/3]	3; 17	3,20	< 0,05	7,88	< 0,01
[A5] – [(A1 + A1.1 + A2)/3]	3; 17	2,84	> 0,05	5,10	< 0,05
[A0] – [(A1 + A1.1)/2]	2; 13	7,23	< 0,01	4,32	< 0,05
[A5] – [(A1 + A1.1)/2]	2; 13	2,39	> 0,05	1,89	> 0,05
Стадии на техноземах					
[T0] – [(T1 + T3 + T4)/3]	3; 17	7,19	< 0,01	0,97	> 0,05
[T0] – [(T1 + T3)/2]	2; 13	8,58	< 0,01	1,52	> 0,05
[T4] – [(T1 + T3)/2]	2; 13	8,16	< 0,01	8,82	< 0,01
В пределах одной стадии на разных субстратах					
[A0] – [T0]	1; 9	0,52	> 0,05	11,71	< 0,01
[A5] – [T4]	1; 9	0,51	> 0,05	5,54	< 0,05
[(A1 + A1.1)/2] – [(T1 + T3)/2]	3; 17	4,52	< 0,05	9,70	< 0,01

Таким образом, влияние субстрата на формирование фитомассы как надземной, так и подземной проявляется на ранне луговой стадии. На злаковой стадии развития фитоценоза преобладают многолетние злаки пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) или вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.). На агроземах в структуре надземной фитомассы доминирует *E. repens* (39,5%), на техноземах *C. epigeios* (99,76%). Ранее на основе анализа видовой структуры разновозрастных сообществ с помощью кривых доминирования-разнообразия нами было показано, что на злаковой стадии структура сообщества описывается кривой геометрического ряда с низким индексом выравненности Симпсона [7]. Крутой вид кривой геометрического ряда свидетельствует о стрессовой ситуации [8]. Таким образом, на ранних стадиях сукцессии сообщества находятся в стрессовой ситуации, которая не позволяет развивать большую биомассу разнотравью. При этом злаки на этой стадии развивают значительную наземную фитомассу, независимо от уровня загрязнения почв. Последнее связано с их высокой устойчивостью к почвенному загрязнению тяжелыми металлами, что отмечается в ряде работ [9–10 др.].

В ходе сукцессии условия становятся более благоприятными для функционирования большего числа видов. Ранее нами было показано, что процесс перехода от злаковой стадии к луговой сопровождается повышением видового богатства и ослаблением роли доминанта злаковой стадии [1, 2, 7]. В результате на ранней луговой стадии доминанты предшествующей, исчерпав ресурс среды, снижают фитомассу, а внедряющиеся новые виды еще не формируют значительной биомассы, что и ведет к снижению ее общего уровня на данной сукцессионной стадии. На стадии зрелого лугового сообщества в фитомассе преобладают бобовые и дерновинные злаки развивающие высокую фитомассу.

#### Литература

1. Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Безель В. С. Динамика альфа-разнообразия в ходе восстановительной сукцессии травяных сообществ залежей и отвалов // Экология. 2022. № 3. С. 178–188. [Zhuykova T. V., Meling E. V., Bezel V. S. Dynamics of Alpha Diversity During the Restoration Succession of Grass Communities of Fallow Lands and Pits // Russian Journal of Ecology, 2022, Vol. 53, No. 3, pp. 158–168. DOI: 10.1134/S1067413622030134.]
2. Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Безель В. С. Динамика проективного покрытия и видовой насыщенности травяных сообществ в ходе восстановительной сукцессии на залежах и

- отвалах // Экология. 2022. № 4. С. 289–298. [Zhuikova T.V. Dynamics of Projective Coverage and Species Diversity of Grass Communities During Restoration Succession on Fallows and Dumps / T.V. Zhuikova, E. V. Meling, V. S. Bezel // Russian Journal of Ecology, 2022, Vol. 53, No. 4. pp. 285–294. DOI 10.1134/S1067413622040087].
3. Жуйкова Т.В., Мелинг Э.В., Кайгородова С.Ю., Безель В.С., Гордеева В.А. Особенности почв и травянистых растительных сообществ в условиях техногенеза на Среднем Урале // Экология. 2015. № 3. С. 163–172. [Zhuikova T. V., Meling E. V., Kaigorodova S. Yu., Bezel' V. S., and Gordeeva V. A. Specific Features of Soils and Herbaceous Plant Communities in Industrially Polluted Areas of the Middle Urals // Rus. J. of Ecology. 2015. Vol. 46. №. 3. P. 213–221. DOI: 10.1134/S1067413615030133].
  4. Шалыт М.С. Вегетативное размножение и возобновление высших растений и методы его изучения // Полевая геоботаника. М.; Л., 1960. Т. 2. С. 163–208.
  5. Харитонов Ю.Д., Бойков Т.Г. Биомасса подземных органов степных фитоценозов Западного Забайкалья // Экология. 1999. № 5. С. 344–347.
  6. Гласс Дж., Стенли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. М.: Прогресс, 1976. 495 с.
  7. Динамика травяных сообществ на отвалах горно-металлургической промышленности Нижнего Тагила / Э. В. Мелинг, Т. В. Жуйкова, Е. В. Голушкина, В. А. Гордеева // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования: материалы V Всерос. научн.-практ. конф. Нижний Тагил, 1–4 марта 2017 г. / отв. ред. Т. В. Жуйкова. Нижний Тагил: Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 2017. С. 237–245.
  8. География и мониторинг биоразнообразия / Колл. авторов. М.: Изд-во научн. и учебн.-метод. центра, 2002. 432 с.
  9. Кабата-Пендиас А. Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. Д. В. Гричук; пер. с англ. Е. П. Янин; ред. Ю. Е. Саэт. М: Мир, 1989. 439 с.
  10. Титов А. Ф. Таланова В. В., Казнина Н. М. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 2007. 170 с.

#### CHANGES IN THE PHYTOMASS OF HERBAL COMMUNITIES DURING RESTORATION SUCCESSION ON AGROSOMS AND TECHNOSOMS

T.V. Zhuikova<sup>1</sup>, V.A. Gordeeva<sup>1</sup>, E.V. Meling<sup>1</sup>, V.S. Bezel<sup>2</sup>, E.V. Goloushkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Tagil State Socio-Pedagogical Institute (branch) Russian State Vocational Pedagogical University, Nizhny Tagil, hbfnt@rambler.ru

<sup>2</sup>Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, bezel@ipae.uran.ru

*Summary. The change in the total aboveground and underground phytomass of herbaceous communities, which are formed on agrogenically and technogenically transformed territories, has been studied. The studies were carried out in 2022 in the Tagil zone of the Middle Urals. Phytomass was studied in phytocenoses of four groups, reflecting successive stages of succession: cereals, early meadow, young meadow, and formed meadow. A similar direction of change in above-ground and below-ground phytomass in the gradient of successional age of phytocenoses of agrozems and above-ground technozems was established: the highest values of indicators at the cereal station, a decrease in phytomass at the early and young meadow stages and an increase at the mature meadow. In technogenic territories, a regular change in the underground phytomass in accordance with the succession age is not traced, which is associated with different soil pollution of these territories, which affects the level of the phytomass of communities. The influence of the substrate on the phytomass is manifested in the low values of the aboveground and belowground phytomass of communities on technozems, the total soil pollution of which is 6–32 times higher than the regional background level of agrozems. To a greater extent, the effect is expressed in terms of underground phytomass. In the communities of the early meadow stage on agrozems, the underground phytomass is four times higher than in the technogenically transformed territories.*

*Keywords: serial grass communities, restorative succession, aboveground and belowground phytomass, deposits, industrial dumps.*

УДК 504.73

## ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С.Г. Копысов, А.О. Елисеев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск,  
wosypok@mail.ru, kuzoller@gmail.com

**Аннотация.** С помощью методов геоанализа условий произрастания для территории юго-востока Западной Сибири отработана оригинальная технология моделирования потенциального распространения биоценозов и их продуктивности, отражающая внутренний аттрактор развития биоценозов под влиянием локальных гидролого-климатических условий их произрастания. Методика была реализована в рамках общедоступной ГИС Saga на основе цифровой модели рельефа и данных климатического реанализа WorldClim.

**Ключевые слова:** биопродуктивность, геоанализ, метод ГКР, юго-восток Западной Сибири.

Продуктивность экосистем отражает способность продуцентов накапливать солнечную энергию в виде органического вещества в соответствии с ландшафтно-гидролого-климатическими условиями местообитания. Биопродуктивность в сочетании с социально-экономическими факторами определяет экологическую емкость территории.

У дистанционных наблюдений есть существенные ограничения. Например, по снимкам легко отличить лес от поля или степи, но нельзя понять, какова биопродуктивность ( $m/га$ ) того или иного биоценоза. Чтобы выяснить биопродуктивность, обычно берут «образцовый» участок, оценивают биомассу на нем, а затем умножают площадь таких экосистем на всю известную по спутниковым наблюдениям, получая глобальную оценку биомассы для биоценозов такого типа. Понятно, что такие данные являются оценочными. Кроме того [1], спутниковые снимки не способны эффективно учесть долговременное стимулирующее воздействие на растительность антропогенного углекислого газа (по мере роста концентрации  $CO_2$  биомасса растения растет быстрее, чем площадь листьев, поскольку растениям становится проще добывать углекислый газ через устьица в листьях).

Транспирация препятствует перегреву листьев, а снижение влажности почвы увеличивает затраты энергии на извлечение влаги. При избыточном увлажнении наблюдается недостаток кислорода в почве. В мелиоративной практике установлено, что максимально высокий урожай сельскохозяйственных культур наблюдается при средней за вегетационной период влажности почвы, близкой к её наименьшей влагоёмкости. При оптимальных температурах, растение затрачивает минимум энергии на борьбу с неблагоприятными температурными условиями, что сопровождается достижением максимального урожая.

Поэтому [2], верхний оптимум соотношения тепла и влаги формируется на границе между южной тайгой и лесостепью. Нижний оптимум тепла и влаги, сформировался между сухой степью и полупустыней. Ландшафты, оконтуренные этими изолиниями, наиболее благоприятны для жизнедеятельности населения.

В современный период происходит энергичное развитие динамического моделирования травяных, агро- и лесных экосистем и количество моделей уже исчисляется сотнями [3]. Основная проблема заключается в отсутствии данных необходимых для корректной работы столь подробных моделей. Кроме того, многие параметры моделей могут существенно меняться со временем.

Так как суммарное испарение воды органически связано с экологическими процессами в биоценозах, то за основу гидролого-климатической оценки потенциальной продуктивности и распространения биоценозов нами принят метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) [4].

Для ландшафтного моделирования потенциальной биологической продуктивности экосистем ( $t/га$ ), наиболее оптимальной является методика предложенная и реализованная в работе [2] для Забайкалья и Монголии. Их методика построена на обобщение информации о биологической продуктивности различных природных зон мира в связи с  $\sum t_{>10^{\circ}C}$ , отражающей поступление солнечной радиации, и коэффициентом увлажнения  $\beta_H$ . Для исследуемой территории можно использовать линейную зависимость:



$$БП = 0.004 \cdot \beta_H \cdot \sum t_{>10^{\circ}C} - 1 \quad (1)$$

Однако, формула В.Т. Дмитриевой и А.Т. Напрасникова разработана для аридных территорий и не отражает того факта, что наибольшая биопродуктивность наблюдается при относительной увлажненности  $\beta_H \approx 1$ , являющейся оптимальной, она характерна для перехода от лесостепного увлажнения к лесолуговому, т.е.  $CV_{ОПТ} = 64$  ( $CV$  – степень увлажнения по шкале Л.Г. Раменского [5]). При более высокой влажности продуктивность будет снижаться по причине переувлажнения деятельного слоя почвы. Поэтому, для расчёта биопродуктивности не только аридных, но и гумидных экосистем формулу нам пришлось модернизировать [6]:

$$БП = 0.0045 \cdot \left( 1 - \text{abs} \frac{(CV_{ОПТ} - CV)}{CV_{ОПТ}} \right) \cdot \sum t_{>10^{\circ}C} - 1 \quad (2)$$

Согласно выполненному моделированию, для исследуемой территории наиболее характерны земли со средней (4–6 т/га) биопродуктивностью (64,3%). Низкая потенциальная биопродуктивность характерна для 13,3% территории. Доля земель с очень низкой (менее 2 т/га) биопродуктивностью составляет 2,5%. На земли с повышенной потенциальной продуктивностью 6–10 т/га приходится 20% территории преимущественно в лесостепной зоне.

Верификация модели гидролого-климатической оценки потенциального распространения биоценозов и их продуктивности биоценозов, реализованная в виде растровых карт основывалась на данные из базы данных [7]. Ценность такой верификации снижает отсутствие точных координат площадок учета биопродуктивности, что вызывает неопределённость при оценке соответствия полевых и модельных данных. Качественная оценка соответствия измерений результатам моделирования говорит о приемлемости результатов моделирования по ступеням увлажнения. По биопродуктивности есть основания полагать, что смоделированная биопродуктивность ниже измеренной в пределах от 0 до 25%, что заставило внести изменения в расчётную формулу 1, где коэффициент 0,004 заменен на коэффициент 0,0045.

Достоверность моделирования биопродуктивности находится в диапазоне 0,42–0,6. Это обусловлено наложением биологических ограничений продуктивности (плодородие почв, засоленность почв, физиологические особенности преобладающей растительности). Влияет также малое количество лет наблюдений, приводящее к несоответствию гидротермических условий периода наблюдений среднемноголетним условиям, используемым для расчётов.

#### Литература

1. Jian J., Bailey V., Dorheim K., Konings A.G., Hao D., Shiklomanov A.N., Snyder A., Steele M., Teramoto M., Vargas R., Bond-Lamberty B. Historically inconsistent productivity and respiration fluxes in the global terrestrial carbon cycle // *Nature Communications*, 2022. №13:1733
2. Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т. Методические аспекты определения биологической продуктивности аридных территорий // *Вестник Московского государственного педагогического университета. Серия «Естественные науки»*, 2012. № 2(10). С. 33–46.
3. Чертов О. Г., Грабарник П.Я., Шанин В.Н., и др. Динамические модели наземных экосистем для количественной оценки продуктивности растительности // *Растительные ресурсы*. 2019. том 55. № 2. С. 151–169.
4. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 168с.
5. Kopysov S.G., Chernova N.A., Klimova N.V. Validation of vegetation type modeling at a local level using a moisture scale // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ.* 2018. Sci. 211 012032, 5p. doi: 10.1088/1755-1315/211/1/012032
6. Мониторинг продуктивности экосистем / С.Г. Копысов, А.О. Елисеев // *Интеграционные проекты СО РАН*, 2022. Вып. 48. С. 111–116.
7. Продуктивность экосистем Северной Евразии [Электронный ресурс] // *Базилевич Н.И. и мн. др.* 2006. URL: <http://biodat.ru/db/prod/index.htm> (дата обращения: 25.02.2023).

#### HYDROLOGICALLY AND CLIMATICALLY DETERMINED PRODUCTIVITY OF ECOSYSTEMS IN THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA

S.G. Kopysov, A.O. Eliseev

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia, wosypok@mail.ru, kuzoller@gmail.com

*Summary.* An original technology has been developed for modeling the potential spread of biocenoses and their productivity using methods of analyzing growing conditions for the territory of the south-east of Western Siberia, reflecting the internal attractor of the development of biocenoses under the influence of local hydrological and climatic conditions of their growth. The methodology was implemented within the framework of the publicly available GIS Saga based on a digital terrain model and WorldClim climate reanalysis data.

*Keywords:* bioproductivity, geonalysis, HCC method, south-east of Western Siberia.

УДК 574.45 + 581.526

## МЕЖГОДОВАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ СФАГНОВЫХ МХОВ БАКЧАРСКОГО БОЛОТА

Н.Г. Коронатова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, koronatova@issa-siberia.ru

*Аннотация.* Представлены результаты 8-летнего исследования динамики функциональных показателей роста и чистой продукции четырёх видов сфагновых мхов в разных сообществах Бакчарского болота. Выявлен видоспецифичный отклик на погодные флуктуации и значение местообитания. Установлено, что линейный прирост является наиболее чувствительным к погоде у всех видов, кроме *S. fuscum*, у которого изменяется плотность дернины. Показано, что суммарная продукция болотного комплекса остаётся стабильной благодаря видоспецифичному отклику на погодные флуктуации.

*Ключевые слова:* функциональные показатели, первичная продукция, метеорологические факторы, сфагновые мхи, болото.

Рост сфагновых мхов отражает условия местообитания [1] и поэтому может служить индикатором климатических изменений на региональном уровне [2]. Понимание влияния погоды на функциональные показатели роста мхов важно для оценки поглощения углерода и моделирования продуктивности болотных экосистем в меняющемся климате. Целью работы было изучение межгодовой динамики роста и продуктивности сфагновых мхов в зависимости от погодных условий.

Полевой эксперимент проводили в сосново-кустарничково-сфагновом сообществе (ряме) и осоково-сфагновом сообществе (топи) Бакчарского болота на территории Томской области. Объектами изучения были четыре вида мхов, *Sphagnum fuscum*, *S. divinum*, *S. angustifolium* и *S. fallax*, первые три из которых растут в ряме, а последний доминирует в топи. На протяжении восьми вегетационных сезонов (2013–2020 гг.) у этих видов определяли линейный прирост, массу заданной длины прироста, численность и массу капитул, а также рассчитывали первичную продукцию каждого вида, как произведение длины прироста (мм) на массу 1 мм стебля (г) и на численность капитул (шт м<sup>-2</sup>) [3]. Для поиска связи с погодными условиями использованы метеорологические данные метеостанции «Бакчар», которые есть в открытом доступе [4]. Было проанализировано влияние следующих факторов: средней суточной температуры, суммы осадков, осадков при средней температуре выше 15°C, числа дождливых дней, длины сухого периода, а также анализировалась зависимость от климатического индекса, предложенного в работе Asada et al. [5]. Статистическую обработку результатов проводили с применением теста Краскела-Уолеса, ранговой корреляции Спирмена, а также метода главных компонент (PCA). Анализ данных проводили в программе PAST V. 2.17 [6].

Установлено, что за наблюдаемый период у *S. fuscum* было самое стабильное значение линейного прироста, в то время как численность его капитул значимо менялась в разные годы, в отличие от остальных видов. У *S. fallax* значимо варьировалась масса капитул. У всех видов существенно изменялась продукция в течение ряда лет. Выявлены достоверные межвидовые различия между всеми мхами по всем функциональным показателям, за исключением численности и массы капитул между *S. fallax* и *S. divinum*. PCA-анализ позволил установить два основных компонента, где первый определял компромисс между численностью и массой

капитул, что ранее было показано в работе Laing et al. [7], а также был связан с массой прироста, а второй – с линейным приростом.

Был выявлен видоспецифичный отклик функциональных показателей роста мхов на погодные условия. Линейный прирост *S. fuscum* был нечувствителен к погодным факторам; прирост *S. divinum* положительно откликался на осадки, особенно при высокой дневной температуре, и на увеличение значения климатического индекса; прирост *S. angustifolium* также усиливался при увеличении осадков и снижался с ростом температуры; прирост *S. fallax* возрастал при увеличении сухого периода и снижался с ростом числа дождливых дней. В отличие от линейного прироста, численности капитул и масса прироста у *S. fuscum* зависела от ряда факторов, главным образом, от осадков и климатического индекса; у *S. divinum* – от осадков и числа дождливых дней. Масса капитул у *S. fuscum* возрастала при увеличении числа дождливых дней, а у *S. fallax* увеличивалась при росте средней температуры и падала при увеличении осадков.

Первичная продукция сфагновых мхов зависела от величины линейного прироста, численности и массы прироста, причём вклад этих функциональных показателей в продукцию видоспецифичен: продукция *S. fuscum* определяется массой прироста, *S. angustifolium* и *S. fallax* – линейным приростом, а *S. divinum* – всеми тремя показателями. Первичная продукция *S. divinum*, *S. angustifolium* и *S. fallax* определялась в основном теми же погодными предикторами, что и для их линейного прироста, продукция *S. fuscum* – теми же факторами, что и для его численности. В основном продукция сфагновых мхов стимулировалась условиями увлажнения, а у *S. angustifolium* к тому же ингибировалась при повышении температуры, что отражает чувствительность этого вида к пересыханию. В целом, реакция мхов – обитателей рьяма на погодные изменения отражает их чувствительность к условиям увлажнения, которая возрастает в ряду *S. fuscum* – *S. divinum* – *S. angustifolium*. Отклик роста и продукции топяного вида *S. fallax* на увеличение увлажнённости был нейтральным или отрицательным в связи с отсутствием дефицита воды в условиях постоянного высокого стояния болотных вод.

Проведённое исследование показало значительную межгодовую вариабельность численности капитул *S. fuscum*, что выделяет его среди других видов. Можно предположить, что в то время, как другие виды регулируют линейный прирост в зависимости от погодных условий, *S. fuscum* контролирует плотность дернины, что позволяет сохранять высокую водоудерживающую способность в конце вегетационного сезона, когда в почве снижается капиллярная влажность, и занимать господствующее положение на верховых болотах [3].

Наши результаты демонстрируют, что более тёплые и сухие погодные условия способствуют высыханию мхов и прекращению их роста в рьямах, в то время как эти же условия могут способствовать росту мхов в обводнённых топях. Таким образом, погодные факторы тепла и влажности ускоряют или тормозят рост сфагновых мхов в зависимости от вида и местообитания.

Исследование выявило более существенный межгодовой разброс значений чистой продукции мхов, чем их функциональных показателей, и это зависело от погоды. *S. fuscum* и *S. divinum* более продуктивны в тёплых и влажных условиях (при этом *S. fuscum* менее чувствителен к погодным колебаниям), *S. angustifolium* имел наибольшую продукцию в прохладных и влажных условиях, а *S. fallax* – в сухую погоду. При этом суммарная продукция доминанта рьяма, *S. fuscum*, и доминанта топи, *S. fallax*, была стабильной в течение ряда сезонов ( $337 \pm 6$  г м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>). Эта стабильность является результатом асинхронности продукции этих двух видов, что согласуется с выводами Jasseу и Signarbieux [8], которые показали стабильную продуктивность экосистемы при изменении температуры благодаря различной реакции видов сфагновых мхов. Такая взаимодополняющая обратная связь между мхами и погодными колебаниями стабилизирует функционирование болотных комплексов независимо от метеорологических условий.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## Литература

1. Bengtsson F., Granath G., Rydin H. Photosynthesis, growth, and decay traits in *Sphagnum* – a multispecies comparison // Ecology and Evolution. 2016. V. 6, № 10. P. 3325–3341.
2. Gignac L.D., Vitt D.H. Responses of Northern peatlands to climate change: effects on bryophytes // The Journal of Hattori Botanical Laboratory. 1994. V. 75. P. 119–132.
3. Koronatova N.G., Kosykh N.P., Saib E.A., Stepanova V.A., Vishnyakova E.K., Granath G. Weather factors in different growing periods determine inter-annual change in growth of four *Sphagnum* species: evidence from an eight-year study // Wetlands. 2022. V. 42, № 8. A118.
4. Расписание погоды: банк гидрометеорологических данных. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 16.11.2020)
5. Asada T., Warner B.G., Banner A. Growth of mosses in relation to climate factors in a hypermaritime coastal peatland in British Columbia, Canada // The Bryologist. 2003. V. 106, № 4. P. 516–527.
6. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4, № 1. P. 1–9 (Article 04).
7. Laing C.G., Granath G., Belyea L.R., Allton K.E., Rydin H. Tradeoffs and scaling of functional traits in *Sphagnum* as drivers of carbon cycling in peatlands // Oikos. 2014. V. 123. P. 817–828.
8. Jassey V.E.J., Signarbieux C. Effects of climate warming on *Sphagnum* photosynthesis in peatlands depend on peat moisture and species-specific anatomical traits // Global Change Biology. 2019. V. 25, № 11. P. 2859–3870.

### INTER-ANNUAL VARIABILITY OF SPHAGNUM GROWTH AND PRODUCTION IN THE BAKCHAR MIRE

N.G. Koronatova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, koronatova@issa-siberia.ru

*Summary. The results of an 8-year study of the dynamics of functional traits and net production of four Sphagnum species in different habitats of the Bakchar mire are presented. Species-specific response to weather fluctuations and importance of habitat were revealed. It was found that linear increment is the most sensitive to weather, and that is true for all species except S. fuscum, whose capitulum density is more responsive. It was shown that the total production of the mire complex remains stable due to species-specific response to weather fluctuations.*

*Keywords: functional traits, net production, meteorological factors, Sphagnum, mire.*

УДК 574.4

### ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В РЯМАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.П. Косых, Н.П. Миронычева-Токарева, Е.К. Вишнякова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, npkosykh@mail.ru

*Аннотация. Приведены экспериментальные данные по биологической продуктивности, разложению и поступлению в торф растительного вещества в сообществах олиготрофных болот средней, южной тайги и лесостепи Западной Сибири. Дана естественная оценка запасов фитомассы, мортмассы, продукции и скорости разложения основных видов торфообразователей. Прослежена зависимость скорости разложения растительного вещества от чистой первичной продукции. Показано, что в экосистемах олиготрофных болот с увеличением продукции, увеличивается скорость разложения. Рассмотрены особенности функционирования углеродного цикла болот в контрастных условиях средней, южной тайги и лесостепи.*

*Ключевые слова: запасы фитомассы, мортмассы, рям, продукция, деструкция, средняя, южная тайга, лесостепь Западной Сибири.*

Болота Западной Сибири по своему географическому положению занимают особое место и играют существенную роль в формировании регионального климата, регулировании речных стоков, газовом обмене с атмосферой, а также вносят значимый вклад в глобальный



круговорот углерода. Верховые олиготрофные болота являются преобладающим типом болот в Западной Сибири, наиболее широко распространены в таежной зоне. В лесостепной зоне рьямы занимают небольшие участки в межгрядных понижениях. Рассмотрим особенности продукционно-деструкционных процессов на контрастных примерах функционирования сфагновых болот по широтному градиенту Западной Сибири. Баланс углерода природных болотных экосистем определяется по соотношению процессов поглощения углерода растениями (чистая первичная продукция) и разложению разных фракций и видов растительного сообщества. Цель данной работы заключается в оценке запасов фитомассы и мортмассы, продукции, разложении и поступлении растительного вещества в торф в экосистемах рьямов в лесостепной зоне, южно- и среднетаежной подзонах Западной Сибири.

Болотные системы Западной Сибири в условиях тайги имеют оптимальное количество тепла и влаги для своего развития, в лесостепи отмечается уменьшение влаги и увеличение температуры. Исследования проводились на трех ключевых участках в олиготрофных болотах, расположенных в лесостепной зоне и в подзонах средней и южной тайги. Выбор объектов определялся контрастностью условий формирования и функционирования болотных массивов, и представляют олиготрофные рьямы, наиболее характерные для каждой ландшафтной подзоны. В древесном ярусе рьямов доминирует *Pinus sylvestris* L. Высотой 3–5 м, в подросте присутствует сосна и береза, высотой 0,5–3 м. Кустарничковый ярус, высотой 50–70 см представлен такими видами, как *Ledum palustre* L. – 40%, *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench – 20%, *Andromeda polifolia* L. – 5%, *Vaccinium vitis-idaea* L. – 10%, *Oxycoccus palustris* Pers. – 3%, *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. – 2%. Из трав встречается *Rubus chamaemorus* L., *Eriophorum vaginatum* L. Моховой покров в ненарушенных рьямах достигает 100% проективного покрытия мхами: *Sphagnum fuscum* (Schimp.)linggr. – 60%, *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw. – 30%, *S. angustifolium* (Russ. ex Russ.) C. Jens. – 9%, встречается *Polytrichum strictum* (Brid.)Mitt. – 1%. Мощность торфяной залежи рьямов колеблется в пределах 2 – 4 м.

Исследования верховых сфагновых болот и оценка их экологического состояния приобретают особую значимость в связи с наметившимся в последнее время климатическим трендом. Мониторинг параметров их продуктивности и деструкции вдоль широтного градиента является важным показателем изменения окружающей среды. Болотные экосистемы чутко реагируют изменением состава растительности, структуры и уменьшением продуктивности и показывают более быстрый отклик на климатические тренды из-за своего расположения в типичных для их развития условиях и дают возможность предсказать изменение поведения болотной экосистемы в меняющихся климатических условиях. Во всех экосистемах преобладает мертвое растительное вещество или мортмасса (*M*), образующая 50-70 % от общих запасов. Запасы живой фитомассы рьямов юга Западной Сибири изменяются от 3500 до 4200 г/м<sup>2</sup>, увеличиваясь с севера на юг. Около половины запасов 40-45 % вносят деревья, из них на хвою приходится 4-6%, основная доля приходится на ствол и ветки – 30%, корни деревьев вносят около 10% запасов фитомассы [1, 2]. Кустарнички вносят значительную массу, доля которых составляет около 40%, на корни - около 30%, ветки - 5% и листья не превышают 3% от всей фитомассы. Травы на рьямах не играют доминирующей роли и их вклад не превышает 1 %. Сфагновые мхи, которые играют большую средообразующую роль, вносят около 10 % в запасы фитомассы.

Несмотря на сходство растительности ключевых участков, были выявлены важные количественные различия. Более суровые климатические условия в таежной зоне существенно ограничивали запасы живой фитомассы и общий продукционный потенциал болот. Запасы живой фитомассы травяно-кустарничково-мохового яруса в таежной зоне 1920 – 2360 г/м<sup>2</sup> и в лесостепи увеличивается на 30% до 2950 г/м<sup>2</sup>. Древесный ярус увеличивает запасы живой фитомассы на 45 % в таежной зоне и на 26 % в лесостепной зоне. Так запасы живой фитомассы с учетом древесного яруса составляют 3510 (средняя тайга), максимальная величина достигается в южной тайге - 4180 г/м<sup>2</sup> и уменьшается до 3960 г/м<sup>2</sup> в лесостепи. Запасы фитомассы мхов рьямов изменяются от 450 до 770 г/м<sup>2</sup>. Максимальные запасы живой фитомассы вносят мхи в южной тайге, где плотность дернины максимальная и длина прироста.

Чистая первичная продукция варьирует от 700 до 900 г/м<sup>2</sup>/год, увеличиваясь с севера на юг, максимальная величина продукции отмечена в лесостепной зоне. Вклад в общую продукцию

более половины вносят корни всех трех групп растений (деревья, кустарнички и травы), так вклад корней кустарничков изменяются от 28% (южная тайга), 37% (средняя тайга) и 44% (лесостепь). Вклад древесного яруса в продукцию экосистемы не превышает 20 %, так 11%, 19%, 13% средняя, южная и лесостепь (соответственно). Продукция мхов изменяется от 230 до 260 г/м<sup>2</sup>, увеличиваясь с продвижением на юг, и вклад мхов в общую продукцию: 32% в средней, 37% в южной тайге и 29 % в лесостепи. Надземная продукция трав и кустарничков не превышает 15%.

Разложение является одним из важнейших процессов углеродного цикла болотных экосистем. Вид растения и его фракция меняет скорость разложения в процессе минерализации торфа и растительных остатков. Скорость разложения изменяется от 5 до 40 % в зависимости от вида и фракции растения. В тоже время в разных климатических условиях один и тот же вид разлагается быстрее на юге. Так, потери при разложении листьев вересковых кустарничков изменяется от 15 до 35%, увеличиваясь с севера на юг. Корни кустарничков за первый год имеют потери от 21% до 35% и в лесостепи больше, чем в таежной зоне. Медленнее, чем другие части кустарничков, разлагаются стволы. Снижение их массы за год в рьях составляет 14 - 17%, в лесостепи достигая максимума. Значительное снижение массы ветоши морошки *Rubus chamaemorus* – 38 - 40%, тогда как при разложении корней и корневищ морошки, потери составляют 20 - 35%. Сфагновые мхи разлагаются в рьяе очень медленно 10 - 13 %. Доминант мохового покрова в рьяе *Sphagnum fuscum*, за год разлагается на 10 % в таежной зоне и в лесостепи – 13%. Таким образом, скорость деструкции увеличивается в ряду: сфагновые мхи (10 - 13%), многолетние части кустарничков (14 - 17%), узлы кушения и корневища осок и пушиц (15 - 30%), корни кустарничков (20 - 40%), ветошь и опавшие листья трав и кустарничков (20 - 40%), зеленые листья трав и кустарничков (12 - 40%). Причем скорость разложения увеличивается с севера на юг. В целом, разложение растительных остатков составляет 122 г/м<sup>2</sup> в год в средней тайге и увеличивается в 2 раза в лесостепи, где становится 213 г/м<sup>2</sup> в год.

В ходе анализа результатов полевых экспериментов по разложению разных фракций растительного материала была построена обобщенная регрессионная зависимость величины потерь углерода при разложении фитомассы от продукции (NPP). Выявленная степенная зависимость подтверждает наличие сильной функциональной связи между первичными продуцентами и деструкторами в болотных экосистемах. Таким образом, чем выше чистая первичная продукция, тем больше потери углерода при разложении [3]. Продукция (NPP) по своей сути характеризует приходную статью баланса, деструкция – расходная часть. Разность между поступлением растительного вещества с продукцией и разложением составляет от 560 до 660 г/м<sup>2</sup> в год или от 255 до 297 гС/м<sup>2</sup> в год, это то количество растительного вещества, которое поступает в торф в первый год. Таким образом общий баланс углерода для болот Западной Сибири остается положительным. Углеродный баланс любой экосистемы характеризует чистый углеродный поток, представляющий собой процесс поступления с первичной продукцией и процесса разложения как разнонаправленных потоков. Особенность болот обуславливается незамкнутостью круговорота веществ, когда системы возвращают в биосферу меньше веществ, чем забирают из нее [4]. Накопление торфа происходит за счет более медленного разложения растительных остатков. Современную скорость депонирования торфа и соответственно углерода, можно оценить, используя данные по продукции, отмиранию и скорости разложения растительных остатков. Количественную оценку депонирования углерода получали путем вычитания потерь углерода при разложении растительных остатков из годового поступления с продукцией. Исходя из полученных данных, текущая скорость аккумуляции углерода в среднем для исследуемых фитоценозов составляет 272 г С/м<sup>2</sup> год в средней тайге, изменяясь в южной тайге до 255 г С/м<sup>2</sup> год и максимальной величины в лесостепи 297 г С/м<sup>2</sup> год. Приведенные значения соответствуют накоплению углерода в результате разложения растительных остатков на поверхности (опада трав, кустарничков и мхов) и разложения опада корней в 30 сантиметровом слое торфа. Максимальный вклад в депонирование углерода оказывают подземные органы деревьев, трав и кустарничков (30-50 %), за счет медленной скорости деструкции. Значительную роль в накоплении углерода в рьях играют кустарнички (40-50 %), сфагновые мхи (30-40 %), деревья (11-20 %), и минимально вносят травы (1-10 %). Болотные экосистемы лесостепной и

таежной зон Западной Сибири в настоящее время являются местом постоянного стока углерода и, кроме того, являясь устойчивыми природными образованиями, способствуют смягчению последствий изменения климата.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### Литература

1. Коронатова Н.Г., Косых Н.П. Продуктивность древесного яруса на верховых болотах в таежной зоне Западной Сибири // Лесоведение. № 4. 2022. С. 432–448.
2. Косых Н.П., Коронатова Н.Г. Запасы общей фитомассы и чистая первичная продукция болотных экосистем Сургутского Полесья // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т.1. № 2. 2010. С. 1–6.
3. Наумов А.В., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. Т.14. № 5. 2007. С.771–781.
4. Титлянова А.А., Тесаржова М. Режимы биологического круговорота. Новосибирск: Наука, Сиб.отд-ние. 1991. 150 с.

#### PRODUCTION AND DESTRUCTION PROCESSES IN THE RYAMS OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

N.P. Kosykh, N.P. Mironysheva-Tokareva, E.K. Vishnyakova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, [npkosykh@mail.ru](mailto:npkosykh@mail.ru)

Summary. Experimental data on biological productivity, decomposition and entry of plant matter into peat in communities of oligotrophic bogs of the middle and southern taiga and forest-steppe of Western Siberia are presented. Quantitative estimates of phytomass and mortmass, production and decomposition rate of the main peat-forming species are given. The dependence of the rate of decomposition of plant matter on net primary production has been traced. It is shown that in the ecosystems of oligotrophic bogs, with an increase in production, the rate of decomposition increases.

*Keywords: stocks of phytomass and mortmass, ryam, production, destruction, middle and southern taiga, forest-steppe, Western Siberia.*

УДК 550.47:636.2.034

## ПРОДУКТИВНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ АРИДИЗАЦИИ

И.Ю. Кудреватых<sup>1</sup>, П.И. Калинин, А.О. Алексеев

<sup>1</sup>ФИЦ ПНЦБИ РАН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, [averkieva25@rambler.ru](mailto:averkieva25@rambler.ru)

**Аннотация.** В исследовании оценена взаимосвязь между изменением степной растительности при аридизации климата и влияние этого вида изменений на свойства почв. В настоящих, пустынных и опустыненных степях отбирали образцы растений и почв по климатическому градиенту, в которых определяли содержание макро- и микроэлементов. Дополнительно в почве определяли свойства, которые определяют рост и развитие растений: гранулометрический состав, pH, содержание катионов, анионов, карбонатов ( $CO_2$ карб) и органического углерода ( $C_{орг}$ ). С помощью модели Монте-Карло рассчитывали возможный вклад изученных семейств растений в содержание макро-и микроэлементов в почве степных ландшафтов. Выявлено, что при аридизации в степной зоне происходит изменение растительных ассоциаций, что приводит к увеличению биомассы и биопродуктивности степей, а в почвах накапливаются связанные с солями химические элементы (Ca, Mg, Na, C, Sr). Накопление Ca, K, Na, S и Cl аридными видами приводит к дальнейшей деградации почвенного покрова (засолению, формированию горизонта cambic) и снижению его устойчивости.

**Ключевые слова:** степь, почва, растение, аридизация климата, метод Монте-Карло.

**Введение.** Являясь одним из крупнейших типов растительности Евразии, степи имеют первостепенное социальное значение для продовольственного снабжения человека и тесно связаны со стабильностью региональной экологической среды и социально-экономическим развитием. Отмечают, что рост степной растительности определяется множеством климатических факторов, при этом температура, осадки и солнечная радиация определены как основные [4]. Почвы семиаридных районов представляют собой довольно консервативные образования и показано, что в течение голоцена климатические изменения не приводили напрямую к смене их подтипов [1]. За исключением антропогенного воздействия и связанного с ним опустынивания, изменение климата может повлиять на свойства степных почв только через изменение растительности. Влияние растений на свойства почвы порождает неоднородность биогеохимических закономерностей и процессов в различных пространственных масштабах. Следовательно, пространственная неоднородность почвенных процессов, создаваемая растениями, является важным компонентом для оценок биогеохимических процессов на уровне экосистемы. В этой связи понимание последствий изменения структуры наземной растительности становится важной задачей, которая позволит ответить на вопрос о механизме влияния аридизации климата на свойства степных почв.

**Объекты и методы.** В качестве объектов исследования были выбраны настоящие, пустынные и опустыненные степи (16 участков) на водосборах с минимальным антропогенным воздействием. Тип почвы изучаемой территории изменялся с севера на юг от Endosalic Kastanozems и Endosalic Calcisols до Luvic Calcisols. Среднегодовое количество осадков (MAP) уменьшалось с севера на юг и варьировало от 160 до 450 мм, а среднегодовая температура (MAT), наоборот, увеличивалась, изменяясь от 5 до 10°C [2]. Индекс засушливости климата де Мортонна (IDM) для изучаемой территории составил 10–25. На выбранных пробных участках закладывали две 100 м<sup>2</sup> площадки, на которых оценивали флористическое разнообразие растений и первичную продукцию по методу суммирования пиков зеленой биомассы отдельных видов в момент максимального развития каждого. Подземную первичную продукцию рассчитывали, как сумму максимальных приращений корневых масс отдельных видов растений с пересчетом на единицу площади в единицу времени максимального роста растений. Схема отбора образцов растений и почвы показана на рисунке 1.



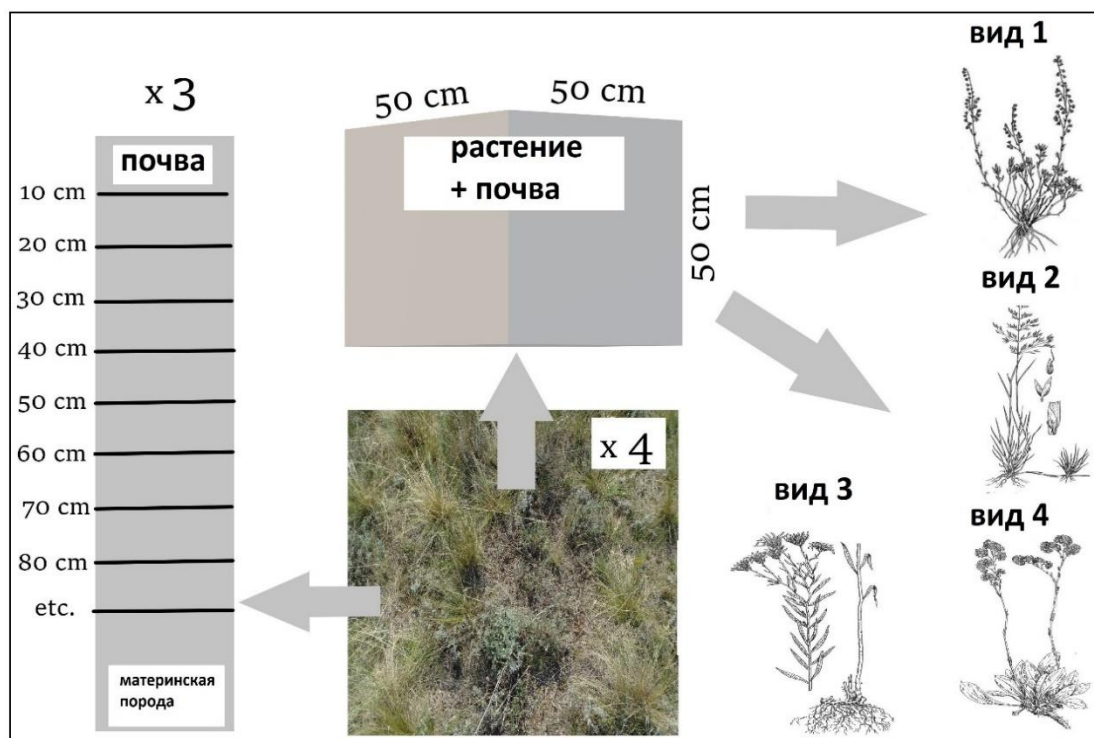


Рисунок 1. Схема отбора образцов растений и почвы.

В полученных пробах растений ( $n = 478$ ) и почвы ( $n = 149$ ) измеряли концентрацию Ca, K, Al, S, Mg, P, Cl, Fe, Ti, Zn, Mn, Cr, Sr, Ba и Rb методом рентгено-флуоресцентного анализа с помощью сканирующего спектрометра «СПЕКТРОСКАН МАКС – GV» (Россия). В почве дополнительно определяли гранулометрический состав, pH,  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{C}_{\text{орг}}$ , содержание катионов и анионов стандартными методами [3]. С помощью метода Монте-Карло был проведен расчет поступления химических элементов с растениями в верхние слои почв, который состоял из 3 блоков. Блок 1. Расчет извлечения элементов корневыми системами растений из почвы и атмосферы ассимилирующими органами с последующим накоплением их в ежегодно продуцируемом органическом веществе; Блок 2. Расчет возврата элементов на поверхность почвы и в почву в виде мертвых растительных остатков; Блок 3. Расчет высвобождения элементов в процессе разложения растительных остатков. Для выявления качественного перехода поступления элементов с растительностью в верхние слои почв в зависимости от климатических параметров исследованные участки делили на группы с разной частотой изменения климатического параметра, а достоверность различия каждой группы оценивали однофакторным дисперсионным (ANOVA) и апостериорным (критерий Тьюки) анализами.

**Результаты и их обсуждение.** При исследовании было выявлено, что в профиле почв настоящих степей содержание глины достигало 44 %, а в сухих и засушливых степях этот показатель снижался в 2 раза. В каштановых почвах содержание  $\text{C}_{\text{орг}}$  в среднем в 3 раза выше, чем таковое в бурых полупустынных. Исследования pH почв выявило, что в изученных типах степей почва имела слабощелочную реакцию и среда значительно не различалась между изученными типами степей. Распределение  $\text{CaCO}_3$  в профиле почв показало увеличение на глубине 40–80 см для всех изученных участков, но наиболее высокие величины этого показателя характерны для настоящих степей. В гумусо-аккумулятивных горизонтах его содержание значительно ниже и не значительно различается в разных типах степей. В верхних горизонтах почв выявлены не значительные различия в содержании катионов и анионов между почвами разного вида степей, что подтвердило отсутствие засоления в верхних горизонтах изученных почв.

Изучено распределение в профиле почв химических элементов, на которые может влиять химический состав растений, изменяющийся под воздействием климатических параметров. Показано, что Ca, Mg, Sr и S в профиле изученных почв распределялись по элювиальному типу (максимум в нижних горизонтах), а K, P, Mn и Rb – по аккумулятивному типу (максимум в верхних горизонтах). Миграция Ca, Mg, Sr, S в почвах степей, по большей части, связана с поведением солей. В связи с тем, что соли являются легкорастворимыми соединениями,

миграция этих элементов подвержена значительным вариациям в верхней части профиля. При увеличении среднего уровня МАР эти элементы выщелачиваются в нижнюю часть профиля, где накапливаются на испарительном барьере. При уменьшении среднего уровня МАР и кратковременном промачивании, растворы, обогащенные этими элементами, подтягиваются в верхние горизонты почв и осаждаются на испарительном барьере, уменьшая тем самым глубину карбонатного и солевых горизонтов. Из-за этого рециклинга достаточно трудно установить влияние биогенной мобилизации в накоплении Ca, Mg и Sr, так как этот процесс менее масштабный по сравнению с испарительной концентрацией.

На изученной территории было выявлено 6 семейств, к которым принадлежало большинство изученных растений. В северных настоящих степях в биомассе преобладали растения семейства *Roaceae*. При переходе от северных степей к разнотравным отмечалось увеличение биомассы растений семейств *Compósitae*, *Caryophyllaceae*, *Umbellíferae* и *Asteraceae*. Южнее при переходе в более сухие пустынные степи в биомассе преобладали растения семейств *Asteraceae* и *Amaranthaceae*. Общая первичная продукция (надземная+подземная) растений настоящих степей составила  $4016 \pm 2554$  г/м<sup>2</sup>, а сухих и засушливых была  $3280 \pm 1265$  г/м<sup>2</sup>. В среднем надземная продукция была ниже в 4 раза, чем подземная для всех исследованных типов степей. Химический состав изученных растений варьировал в зависимости от принадлежности к семейству и составной части. Выявлено, что в корнях *Roaceae* наиболее высокое содержание Mn, Fe, Al, Ti, Ba и Zn, в то время как в верхней части содержание этих элементов близко со значениями растений других изученных семейств. В растениях сухих степей (семейства *Crucíferae*, *Asteraceae* и *Plumbaginaceae*) было выше содержание (особенно в корнях) Ca, Sr, Br, S, K и P. Характерной особенностью химического состава растений семейства *Asteraceae* является высокое содержание как в верхней, так и в нижней части Rb.

Расчет поступления химических элементов с растениями в верхние слои почв методом Монте-Карло показал, что значения этого показателя для всех изученных элементов были выше в настоящих степях по сравнению с таковым в сухих и засушливых. Для настоящих степей с вероятностью 50–75 % рассчитанные значения Zn, Fe, Mn, Ca, K, Al, S, Mg, P, Sr, Br, Ba, Rb и Ti составили 1,0–5,3, 88–290, 12–59, 420–1363, 850–2150, 139–781, 232–490, 200–400, 80–370, 5,5–10, 2,4–2,8, 2,0–6,9, 1,4–3,3 и 21–39 соответственно. Для сухих степей, имеющих близкое к нормальному распределение, с вероятностью 75 % рассчитанные значения Zn, Fe, Mn, Ca, K, Al, S, Mg, P, Sr, Br, Ba, Rb и Ti соответствуют диапазону 2,7–5,3, 245–290, 32,0–59,3, 1055–1363, 1453–2170, 491–781, 421–595, 287–400, 187–370, 7,9–10, 2,4–2,8, 4,4–6,9, 1,9–3,3 и 29,2–39,4 соответственно. С помощью однофакторного дисперсионного и апостериорного анализов были получены закономерности вариации каждого климатического параметра, при котором наблюдались достоверные различия между группами в поступлении химических элементов с растениями в верхние слои почв. Выявлено, что при увеличении МАТ (аридизация) происходит увеличение поступления P, S, Rb, K и Ca с растениями в верхние слои почв и «шаг» 2 градуса лучше всего (достоверные различия) отражает различия между группами. Со снижением МАР коррелирует увеличение поступлением P, Rb, K и Ca с растениями в верхние слои почвы, при этом достоверные различия между исследованными группами выявлены при «шаге» в 100 мм. Однако лучше качественный переход в поступлении элементов с растениями в почву отражает IDM, при увеличении его значения на каждые 5 единиц показано качественное увеличение поступления в почву с растениями Br, Ca, K, Mg, P, Sr, Mn и S.

**Заключение.** В результате исследования было выявлено, что при аридизации в степной зоне происходит смена растительных семейств в ряду: злаковая → злаково-разнотравная → злаково-полынная → полынно-злаковая → полынно-маревая ассоциация. В этом ряду уменьшается биомасса и биопродуктивность степных ландшафтов, но происходит увеличение накопление химических элементов, связанных с солями: Ca, Mg, Na, S, Sr. Можно говорить, что аридизация климата приводит не только к уменьшению продуктивности ландшафтов и развития таких деградационных процессов, как эрозия и опустынивание, но и к смене их биогеохимических свойств. Аккумуляция аридными видами узкого спектра химических элементов (Ca, K, S, Cl) ассоциирующихся с солями, ведет к дальнейшей деградации почвенного покрова и снижению его устойчивости. Снижение уровня атмосферных осадков

приводит к засолению средней части почвенного профиля, а биогенная миграция катионов и анионов солей увеличивает еще выше их накопление в гумусовых горизонтах. Мобилизация таких элементов приводит к развитию ряда деградационных процессов, например, засоления и осолонцевания.

### Литература

1. Borisov A.V., Alekseev A.O., Demkina T.S., El'tsov M.V., Kalinin P.I., Alekseeva T.V., Khomutova T.E. Climate Dynamics and the History of Soil Formation in the Steppe Zone of Eastern Europe in the Holocene // *Paleontological Journal*. 2020. 54(8): 862–871. <https://doi.org/10.1134/S0031030120080067>
2. Climatic Research Unit, University of East Anglia, 2022. <https://lr1.uea.ac.uk/cru/data> (accessed 1 May 2023).
3. Van Reeuwijk LP (1995) ISRIC Technical Paper 9: Procedures for Soil Analysis. ISRIC, FAO, Wageningen.
4. Wang S., Liu Q., Huang C. Vegetation change and its response to climate extremes in the arid region of northwest China // *Remote Sens*. 2021. 13: 1230. <https://doi.org/10.3390/rs13071230>

### PRODUCTIVITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS AS A FACTOR OF CHANGES IN THE GEOCHEMICAL PROPERTIES OF STEPPE ECOSYSTEMS DURING ARIDIZATION

I.Y. Kudrevatykh, P.I. Kalinin, A.O. Alekseev

*Summary. This study assesses the relationship between vegetation response to climate aridization and the effect of these changes on soil properties, which is crucial for understanding the sustainability of steppe among the trend toward further global warming. Plant and soil samples were taken in the true, desert and desertified steppes along a climatic gradient. In the obtained samples, the contents of trace and major were determined. Soil properties that can affect vegetation cover were identified (grain size, pH, carbonates (CO<sub>2</sub>carb) and soil organic carbon (SOC)). Using the Monte Carlo model, the possible contribution of the studied plant family to the contents of major and trace elements in the soil of steppe landscapes was calculated. The study revealed that during aridization in the steppe zone, there is a change in plant association, which lead to the increases in the biomass and bio-productivity of steppe, and chemical elements associated with salts accumulate in soils (Ca, Mg, Na, S, Sr). The accumulation of Ca, K, Na, S, Cl by arid species leads to further degradation of the soil cover (salinization, forming of cambic horizon) and a decrease in its sustainability. During climate aridification, goosefoot and wormwood would replace grass, which accelerate soil salinization and alkalization, thus lead to decreasing sustainability of steppe.*

*Keywords: steppe, soil, plant, climate aridization, Monte Carlo method.*

УДК 631.4

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ФОСФОРИТОНОСНЫХ ЛАНДШАФТОВ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ ПРИХУБСУГУЛЬЯ (МОНГОЛИИ) БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И ИХ ЭКОЛОГО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Н.А. Мартынова

Иркутский государственный университет, Иркутск, [natamart-irk@yandex.ru](mailto:natamart-irk@yandex.ru)

**Аннотация.** Проведено комплексное изучение морфогенетических и экологических особенностей функционирования почв котловины озера Хубсугул юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны, развитых на выходах на дневную поверхность пород фосфоритных пластов Онголигнурского месторождения Хубсугульского фосфоритноносного бассейна Монголии. Получен новый фактический материал о слабо изученных биоценозах, их биоразнообразии и процессах почвообразования в горных почвах, развитых на фосфатно-карбонатных породах месторождения, простирающегося в пределах тундрового, лесного и степного высотных поясов Прихубсугулья. Литогенная матрица фосфоритных почв, образующая прочный органико-минеральный каркас гуматного состава, влияет на биотическое разнообразие биоценозов и способствует поддержанию достаточно высокого уровня почвенно-экологического потенциала исследуемой территории.

**Ключевые слова:** Хубсугул, фосфоритные почвы, биоразнообразие, биопродуктивность

Биоразнообразие играет жизненно важную роль в функционировании экосистем и их устойчивом развитии, противостоянии изменениям климата, антропогенного давления.

Проведено комплексное изучение морфогенетических и экологических особенностей функционирования почв и биоценозов котловины озера Хубсугул юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны, развитых на выходах фосфоритных пластов Онголигнурского месторождения Хубсугульского фосфоритноносного бассейна Монголии. Уникальность исследуемых, мало затронутых антропогенным воздействием, экосистем Байкальской рифтовой зоны определяет актуальность изучения почв, биоценозов и ландшафтов, биоразнообразия и устойчивости экосистем, учета природных ресурсов территории и необходимость их охраны, а также – оценки рекреационной нагрузки.

Исследование особенностей развития уникальных природных экосистем, сформированных на рудных телах с аномально высоким содержанием различных химических элементов или их соединений в породе, представляет большой научный интерес, т.к. позволяет расширить существующие представления об их генезисе и эволюции в условиях естественного развития геосистем. Между видовым богатством многолетних растений (первичных производителей) и поддержанием ими многофункциональности экосистем выявлена [1] тесная взаимосвязь, наиболее выраженная для засушливых территорий. В горных условиях Прихубсугулья именно почвенная литогенная матрица, в силу своей биоклиматической рефлекторности, определяет направления и скорость процессов почвообразования, эволюционного развития экосистем и их адаптивную устойчивость к внешним воздействиям, экологический потенциал территории.

Полевые исследования почв и биоценозов были проведены в рамках Хубсугульской советско-(российско)-монгольской комплексной экспедиции ИГУ и МонГУ на ландшафтах юго-западной части впадины озера Хубсугул (рис. 1, А, Б) по изучению особенностей экосистем для рационального природопользования и охраны природной среды Монголии.

Район исследования сформировался в рамках каледонского Байкало-Саяно-Монгольского складчатого пояса на юго-западе Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) на стыке Сибирской платформы и Центрально-Азиатского пояса и разделённых протерозойским главным разломом Восточного Саяна. Тувино-Монгольский массив, охватывающий Восточную Туву, юго-восточную часть Восточного Саяна, хр. Хамар-Дабан и Прихубсугулье - отнесен к областям ранней (рифейско-кембрийской) геосинклинальной консолидации в системе палеозойских складчатых сооружений Южной Сибири—Северной Монголии. Поверхностная часть литосферы исследуемой территории имеет сложный, мозаичный и изрезанный характер рельефа, геологического и тектонического строения, наличие большого числа разломов земной коры (рис. 2, В, Г).



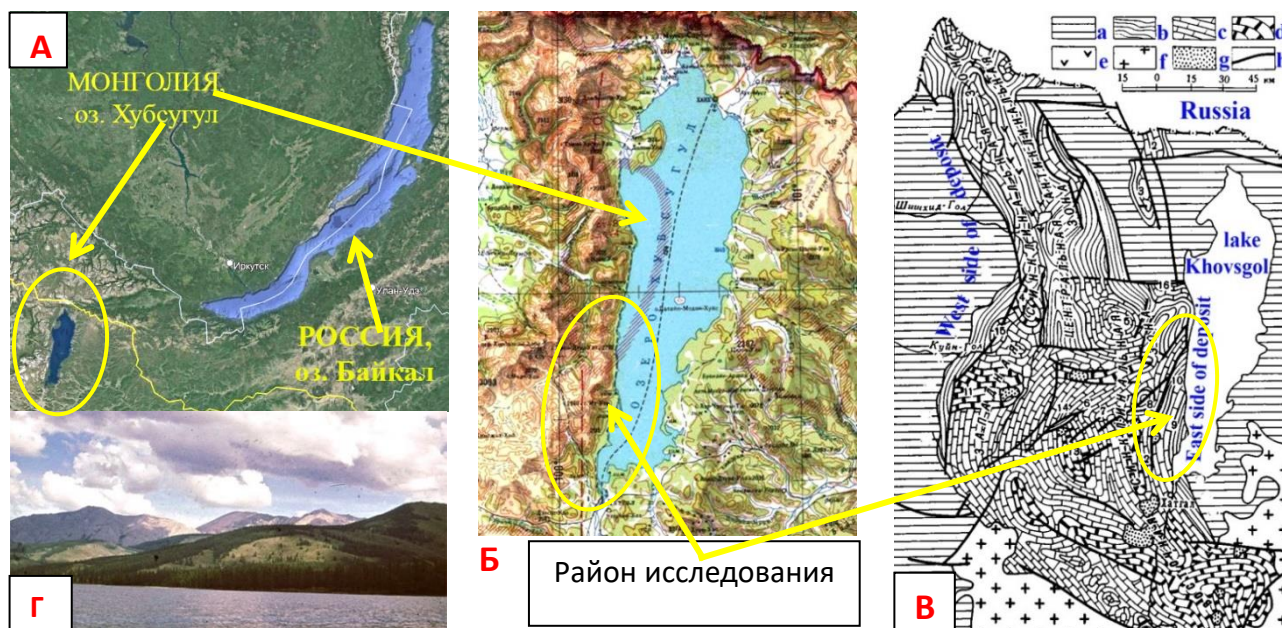


Рисунок 1. А – Гипсометрическая карта Байкальской природной территории; Б – из. Хубсугул (Монголия) и район исследования; В – Хубсугульский фосфоритоносный бассейн - тектоническая схема [2]: а – структурный комплекс верхнего рифея; b-d – структурный комплекс верхнего рифея-кембрия; b – Дархатская серия; с – нижняя часть Хубсугульской серии, d – верхняя часть Хубсугульской серии; e – эффузивные фации Хубсугульской серии; f – гранитоиды среднего и верхнего палеозоя; g – верхнепалеозойские щелочные породы; h – разломы; Г – вид территории исследования с вод оз. Хубсугул.

Образование оригинальных фосфоритных почв Монголии обусловлено выходом на поверхность рудных тел Хубсугульского фосфоритоносного бассейна. Исследовались почвы опорных полигонов тундровых, лесных и степных геосистем юго-западной части оз. Хубсугул, развитые на наиболее крупном из более чем тридцати месторождений и проявлений фосфоритов, объединяемых в Хубсугульский фосфоритоносный бассейн общей площадью 30000 кв. км. Собственно, Хубсугульское месторождение протягивается вдоль западного берега озера полосой в 50 км при ширине 30 км. Содержание  $P_2O_5$ , представленной фторапатитом (фканколитом) с примесью карбонатапатита, колеблется в широких пределах, достигая 31-32 %. Запасы месторождения близки к 1 млрд. т [3]. Фосфориты бассейна обогащены кремнеземом, густо пропитаны органическим веществом, в большинстве случаев бесструктурно и изотропно. имеют хемогенный генезис и разделяются на три группы: 1) карбонатные (известково-доломитовые), 2) кремнисто-карбонатные и 3) кремнистые (представленные черными плитчатыми углеродисто-кремнистыми сланцами).

Специфика влияния фосфатно-карбонатных пород на почвообразование, на установление "собственных" почвенных функций определяется сложностью и пестротой минерального состава, стратиграфической и фациальной изменчивостью фосфатно-карбонатных пород месторождения. В Прихубсугулье сформировались различные "экзотичные" классы почв и биоценозов благодаря химическим и минералогическим свойствам пород, присутствию полиметаллов, фосфора, меди и др. Опасные загрязняющие почвы химические элементы (Ag, Hg, Pb, Co, Zn, F) являются естественными составляющими горных пород и почв. Но уровень их поступления в почвы фоновых территорий низок. Биогенная составляющая изучаемых экосистем является мощным биосферным барьером для многих элементов. Эти особенности повышают значимость экологического мониторинга и созданного здесь Хубсугульского национального парка для сохранения биоразнообразия уникальных экосистем.

На фосфатопроявлениях развиваются различные фитоценозы (лиственничные леса, степи, тундровые ценозы) с исключительно богатым травянистым ярусом из злаков и бобовых. Выветривание фосфоритов приводит к значительному накоплению силикатного мелкозема по мере разложения и выноса карбонатно-фосфатной составляющей, а также - к остаточной аккумуляции глинистых минералов гидрослюдисто-хлорит-иллитового состава со слабой

окристаллизованностью и супердисперсностью и илистого органического вещества. Карбонатно-фосфорно-гумусовые скоагулированные комплексы характеризуются хорошей стабилизирующей способностью. Карбонатный компонент “затушевывает” влияние фосфатного материала пород. В процессе почвообразования на фосфоритах характерные для данной климатической территории и высотной поясности процессы буроземообразования, лессивирования и оподзоливания заторможены или нейтрализованы высоким содержанием карбонатов в фосфоритных породах, выраженность которых зависит от интенсивности образования и трансформации алюмосиликатной части почв, степени карбонатности и фосфатности, структурных особенностей литогенной матрицы почв и пород и др. [4].

Большое количество в фосфоритных почвах разных высотных поясов франколита (карбонат-фтор-апатита) определяет их обогащенность фосфатами и карбонатами. Это наряду с большим содержанием гумуса, наличием глинистых минералов и насыщенностью обменными катионами, способствует формированию в почвах гуматов кальция, фосфорно-органических соединений и прочных органо-минеральных комплексов гуматного типа, которые определяют способность почв к поглощению и удержанию от вымывания элементов питания растений, сохранению и развитию биоразнообразия биотопов и их устойчивости.

Сложная геологическая история региона, способствовала формированию разнообразных и специфичных горно-озерно-котловинных экосистем БРЗ в зоне контакта флористических и фитоценологических рубежей крупных планетарных природно-биогеографических областей Азии (бореально-таежного и бореально-степного типов), порой не свойственных зонально-климатическим факторам Северной Азии. Флора Прихубсугулья включает более 800 видов, разделяемых на 3 основных комплекса: высокогорного (24%), лугово-лесного (22%), и степного (22%). До 75% видов приходится на эндемики.

Подгольцовый пояс высокогорной растительности элювиальных фосфоритных ландшафтов Прихубсугулья в пределах 1800–2800 м н.у.м. представлен различными щебнисто-дриадовыми тундровыми и луго-тундровыми биотопами, формирующимися на темногумусовых глинисто-иллювирированных карболитоземах (КПП, 2004 г.) или Lamelli-Rendzic Calcaric Leptosol (Eutric, Humic) по классификации WRB. Специфика горных тундр Прихубсугулья – небольшая доля мхов с преобладанием их гипновых форм и отсутствием сфагновых (из-за высокой карбонатности пород), развитие мезоксерофитной растительности, появление арктогольцовых и высокоарктических видов с более развитой и проникающей вглубь почвы корневой системой на дериватах карбонатных пород; локальное развитие злаковой растительности степного габитуса в наиболее прогреваемых и умеренно увлажненных местообитаниях, наиболее ярко проявляющееся в мезоморфных условиях. Роль гипоарктиков на карбонатных породах существенно уменьшается.

Довольно однородный по сложению травостой тундр пятнистого характера состоит из лишайника (*Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. and moss (*Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb. ) и дриады (*Dryas oxydonta* Juz) со значительным участием злаков (*Festuca ovina* L., *F. lenensis* Drobow, *Poa attenuata* Trin, *Helictotrichon mongolicum* (Roshev) Henrard, *Ptilagrostis mongholica* (Turcz. Ex. Trin) Griseb, *Koeleria cristata* (L.) Pers.), осоковых (*Kobresia myosuroides* (Vill.) Fiori subsp. *subholarctica* (T.V. Egiriva) T.V. Egorova, *K. sibirica* (Turcz. ex Ledeb) Boeckeler, *Carex tristis* M. Bieb. Subsp. *stenocarpa* (Turcz. ex V.I. Crecz) T.V.Egiriva) и разнообразных представителей разнотравья (*Oxytropis oxyphylla* (Pallas) DC, *Astragalus dasyanthus* Pall, *Campanula turczaninovii* Fed, *C. dasyantha* M. Bieb, *Bistorta viviparum* (L) Delabre, и др.) [5]. Продуктивность кобрезиево-дриадовой тундры составляет 185-263 (в среднем – 224) г/м<sup>2</sup> сухой фитомассы. Для щебнистой овсяницево-дриадовой тундры соответственно: 148–170 (в среднем – 156) г/м<sup>2</sup>.

Пояс лесотундры (до 2600 м н.у.м.) представлен лиственницей сибирской (высотой от 0,3- до 2,5 м) с обильным разрастанием кустарников. В лесном поясе в зависимости от высотности и экспозиционности выделяются полосы бореально-лесных травяных и остепененных лесов с преобладанием злаково-разнотравно-бобовых лиственничных лесов и высокогорной растительности на более высоких ступенях рельефа северной экспозиции. Таёжные древостои в районе месторождения фосфоритов состоят в основном из лиственничников и лиственнично-кедровых биоценозов и развиваются преимущественно по склонам северо-восточной экспозиции (несколько выше 2500 м н.у.м.) на серых и темно-серых



метаморфических остаточно-карбонатных почвах (КПР) или Rendzic-Cambic Calcaric Fhaeozems (Epidystric, Loamic, Skeletic) (WRB), в которых идут интенсивные процессы выщелачивания карбонатов и фосфатов, накопления глинистых веществ (до 46% физической глины) и гумуса гуматного состава. Высокая гумусность, фосфатность, карбонатность и глинистость создают хорошие условия для развития и биоразнообразия биоценозов. Лесные биоценозы месторождения представлены невысоким фаунным (100%) древостоем разновозрастных (170–220 лет) лиственничников (*Larix sibirica*) V класса бонитета с единичными включениями березы (*Betula microphylla* Bunge, *B. fruticosa* Pall) и ивы (*Salix sajanensis* Nasarov), с изреженным кустарничковым ярусом (*Vaccinium vitis-idaea* L., *Arctous alpina* (L) Nied subsp. *erythrocarpa* (Small) M.M. Ivanova), но с однородным травостоем невыраженной ярусности. Травянистый злаково-разнотравно-бобовый покров включает 22 вида. Среди них: злаковые (*Trisetum sibiricum* Rupr, *Poa sibirica* Roshev., *Festuca brachyphylla* Schult. Et Schult. fil.), бобовые (*Vicia megalotropis* Ledeb.), осоковые (*Carex globularis* L., *Kobresia K. sibirica* (Turcz. ex Ledeb) Boeckeler, *K. myosuroides* (Vill.) Fiori.) subsp. *subholarctica* (T.V. Egorova) T.V. Egorova), разнотравье (*Anemone sylvestris* L., *A. sibirica* L., *Aegopodium alpestre* Ledeb., и др.), лианы, эпифиты, водоросли. Моховой покров (до 80% покрытия) включает *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb с пятнами лишайника *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. [5]. Продуктивность фитомассы лесной эталонной площадки составила 1152 г/м<sup>2</sup> воздушно сухой массы, в том числе: 530,0 г/м<sup>2</sup> (46%) – разложившийся опад; 249,6 г/м<sup>2</sup> (21,6%) – веточный опад; 50,0 г/м<sup>2</sup> (4,3%) – зеленая фитомасса; 283,4 г/м<sup>2</sup> (24,5%) – мхи и лишайники; 40,4 г/м<sup>2</sup> (3,5%) – ветошь.

На остепненных участках юго-западных склонов на элюво-делювии проявлений фосфоритонесных доломитизированных сланцев месторождения, формируются щелочные черноземы дисперсно-карбонатные (КПР) или Chernic-Calcic Endo-Leptic Chernozems (Eutric, Epi-calcaric, endodolomitic) (WRB) с высоким содержанием углерода, азота, карбонатов, валового ЕКО. Количество физической глины и подвижного фосфора – несколько снижено из-за заторможенности процессов выветривания благодаря сухости и влияния мерзлотных условий резко-континентального климата. Здесь распространены полидоминантные мелкодерновинные злаковые степи с разнотравьем. Для выровненных участков характерны ковыльные степи. Среди злаков доминируют *Festuca lenensis* Drobow., *Poa attenuate* Trin., *Koeleria cristata* (L.) Pers. are dominant; *Helictotrichon hookery* (Scribn.) Henrard subsp. *Schellianum* (Hackel) Tzvelev, *Agropyron cristatum* (L.) P. Beauv., and *Festuca sibirica* Hack ex. Boiss. Большой процент составляют полыни (*Artemisia borealis* Pall., *A. frigida* Willd., *A. gmelinii* Web, ex. Stechm. *A. mongolica* (Besser) Fisch. Ex. Nakai) бобовые (*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge, *Oxytropis filiformis* DC, *Vicia megalotropis* var *multicaulis* (Ledeb.) Trautv). Встречается *Carex pediformis* C.A. Mey. Из разнотравья – наибольшее обилие составляют: *Euphorbia discolor*, *Gypsophila patrinii*, *Thymus serpyllum*, *Joungia tenuifolia*, *Chamaerhodos erecta* и др. Из общего количества видов (64) на злаковые приходится – 10, на осоковые – 5, на бобовые – 3, на разнотравье – 46 [5]. Продуктивность степных фитоценозов варьирует по рельефу (6,8–11,5 ц/га), достигая максимума на приводораздельных участках выходов фосфоритов на поверхность. Основной вклад в повышение продуктивности вносят, по-видимому, бобовые: являясь кальцефилами, выделяя фосфорную кислоту через корневую систему, они могут растворять фосфатно-карбонатные минералы (штаффелит, франколит), обогащая почву доступной формой фосфора.

В межгорных западинах, устьевых и пойменных участках речных долин формируются перегнойно-темногумусовые квазиглеевые почвы и торфяно-перегнойные глееземы (КПР) или Humi-Mollic Calcaric Gleysols (Eutric, Epidystric, Lamellic) и Humi-Histic Gleysol (Eutric) (WRB) с луговыми и лугово-болотными ценозами с большим биоразнообразием (более 50 видов растений), представленных тремя основными формациями: 1) ячменно-короткоостистой (*Critesion brevisubulatum* (Trin.) A. Love) с присутствием *Aconitum barbatum* Pers., *Thalictrum petaloideum* L., *Oxytropis strobilacea* Bunge, *Festuca rubra* L. subsp. *baikalensis* (Griseb.) Tzvelev и др.; 2) мечелистно-осоковой – с доминированием *Carex bigelowii* Torr. ex Schwein. subsp. *ensifolia*, *Kobresia sibirica* (Turcz. ex Ledeb.) Boeckeler *K. myosuroides* (Vill.) Fiori.) subsp. *subholarctica* (T.V. Egorova) T.V. Egorova and *Bistorta vivipara* (L.) Delabre, including *Juncus castaneus* Sm. subsp. *triceps* (Rostk.) Novikov., *Thalictrum alpinum* L., *Angelica*

*tenuifolia* (Pall. ex Spreng) Pimenov и др.; 3) Carex - Kobresia with *Ptilagrostis mongholica* (Turcz. ex Trin) Griseb, *Polygonum rigidum* Skvortsov, *Vicia cracca* L и др.) [5].

Уникальные экосистемы Прихубсугулья характеризуются высокой степенью биоразнообразия, большим числом эндемичных или находящихся в опасности видов, что имеет большое социальное, экономическое, культурное и научное значение.

Почвы фосфоритоносных ландшафтов Прихубсугулья, обладая высоким потенциальным естественным плодородием, создают хорошую основу для создания устойчивой корневой системы растений, препятствующей развитию эрозийных процессов, для формирования богатого видового разнообразия биogeоценозов и их продуктивности, т.о., литогенная матрица фосфатно-карбонатных пород месторождения, выходящих на дневную поверхность, способствует формированию почвенного покрова и видового биоразнообразия экосистем.

#### Литература

1. Guy F. Midgley G. Biodiversity and Ecosystem. Science 335, 2012. pp. 174–175.
2. Ильин Л. В. Хубсугульский фосфоритоносный бассейн // Труды совместной советско-монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции. Вып. 6. М.: «Наука», 1973. 167 с.
3. Яншин А. А., Жарков М.А. Фосфор и калий в природе Новосибирск: Наука, 1986. 190 с.
4. Чепинога В.В., Степанцова Н.В., Гребенюк А.В. и др. Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения) /отв. ред. Л.И. Малышев. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2008. 340 с.

#### BIODIVERSITY AND BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF SOILS OF NATURAL PHOSPHORITES' LANDSCAPES OF HIGH-ALTITUDE ZONES OF LAKE KHOVSGOL' DEPRESSION (MONGOLIA) OF THE BAIKAL RIFT ZONE AND THEIR ECOLOGICAL AND FUNCTIONAL FEATURES

N.A. Martynova

Irkutsk State University, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

*Summary. The comprehensive study of morphogenetic and ecological functioning features of soils, which had been developed at outcrops of phosphorite bedrocks of Ongolignur' deposit of the Khovsgol phosphorite-bearing basin of the lake depression of southwestern branch of Baikal rift zone of Mongolia has been carried out. New factual material on poorly studied biocenoses, their biodiversity and soil formation processes in mountain soils developed on phosphate-carbonate rocks of a deposit, which is extending through tundra forest and steppe high-altitude belts of the territory adjacent to Lake Khovsgol. The lithogenic matrix of phosphorous soils, forming a strong organic-mineral complex of humate composition, affects the biotic diversity of biocenoses and contributes to maintaining a sufficiently high level of soil' ecological potential of the studied area.*

*Keywords: lake Khovsgol, phosphorous soils, biodiversity, bioproductivity.*



УДК 631.484

## ДИНАМИЧНОСТЬ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИЗНАКАМИ БИОГЕННЫХ СУКЦЕССИЙ

А.Н. Никифоров, Э.М. Бисирова, Н.А. Чернова

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск,  
a.nik-n@mail.ru

**Аннотация.** В работе приводятся данные индикационных показателей почвенного плодородия, рассмотренных в тесной взаимосвязи с изменчивостью лесорастительного компонента и его влияния на свойства и признаки почв под коренными темнохвойными лесами южно-таежной подзоны Западной Сибири. Приведена динамика депонирования углерода в компонентах биогеоценоза на разных стадиях биогенной трансформации коренного темнохвойного древостоя.

**Ключевые слова:** пихтовые леса, биогенная сукцессия, свойства почв, динамичность почвообразования, трансформация биогеоценоза, запасы углерода.

Лесные экосистемы, как компоненты ландшафта, сложны, поликомпонентны и полифункциональны. Они одновременно депонируют и продуцируют многие элементы и вещества. Нарушение динамического равновесия, вызванное как биотическими, так и абиотическими факторами может привести к смещению баланса продукционно-деструкционных процессов. За последние 15–20 лет, одним из основных биогенных факторов, приведших к существенной деградации пихтовых лесов юга таежной зоны Западной Сибири стала инвазия уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus*) [1].

Этот чужеродный вид очень агрессивен и практически не имеет естественных врагов, что привело к ряду вспышек численности их популяции и, сначала, к ослаблению и угнетению, а затем и распаду пихтовых насаждений. Последствия проявились, прежде всего, в импактных нарушениях: снижение сомкнутости крон, смена напочвенного покрова, увеличение объема мортмассы.

Целью исследования послужило выявление взаимосвязи между трансформацией лесорастительного компонента и динамическими изменениями свойств и признаков почв.

В качестве объектов исследования выбраны биогеоценозы коренных пихтовых лесов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в границах Ларинского ландшафтного заказника Томской области.

Для оценки состояния объектов применялся комплексный биогеоценотический анализ, включающий сопряженное описание почв, напочвенного покрова (травянистого яруса) и древесного яруса, учитывающего повреждение и стадии трансформации древостоя под влиянием зоогенной сукцессии.

Лесные экосистемы довольно мозаичны и динамичны, что связано с влиянием факторов биотических, абиотических и антропогенно обусловленных трансформаций. Все они оказывают существенное влияние на компоненты биогеоценоза (растительный покров, почву, гидротермические условия) и часто приводят к коренным изменениям [2]. Почва как открытое природное тело, входящее и неразрывно связанное с лесной экосистемой обладает сенсорностью и рефлекторностью [3], отражая изменения как в морфологических, так и в физико-химических свойствах.

Рассматриваемый объект расположен на Томь-Яйском междуречье, с сложной ландшафтной структурой (резкие перепады высот, широкое распространение оврагов и балок). Исследуемый участок относится к северной части Томь-Колыванской складчатой области. В качестве почвообразующих пород широкое распространение здесь имеют суглинки и супеси различного возраста [4].

В почвенном покрове исследуемой территории преобладают почвы с текстурной дифференциацией профиля (дерново-подзолистые и серые). Особенностью строения почв Ларинского заказника является глубокое оподзоливание и высветление минерального материала продуктами внутрпочвенного гипергенеза. Исследованные пихтовые леса отражают три стадии (начало ослабления пихтового компонента, начало гибели пихтового компонента и его распада, распад пихтового компонента и образование окна) зоогенно

обусловленных сукцессионных трансформаций, на каждой из которых меняется как напочвенный покров, так и некоторые свойства почв.

А.И. Кузнецовой с соавторами [5] выявлено, что наиболее динамичными свойствами почв, выступающими индикаторами трансформационных процессов, является актуальная, потенциальная и гидролитическая кислотность, обменные катиона щелочных земель, подвижный марганец, содержание гумуса и азота. Однако значения всех форм кислотности исследованных горизонтов почвенных профилей не показали существенной пространственно-временной вариабельности (табл. 1) сукцессионных стадий, а актуальная кислотность в минеральных горизонтах варьирует в границах кислой и слабокислой реакции почвенного раствора.

Таблица 1. Индикационные показатели трансформации почв

Стадия трансформации	Горизонт и глубина	рН <sub>вод</sub>	Гидр.к.	Σ осн.	Гумус	Азот
			Мг*экв/100г		%	
Ослабление	АО 0–3	5,9	10,8	н/о	38,7	н/о
	АУ 3–13	5,9	7,0	16,9	4,6	0,3
Гибель	АО 0–5	6,1	12,3	н/о	66,3	н/о
	АУ 5–15	5,5	8,5	9,9	4,6	0,3
Распад	АО 0–7	6,5	6,1	н/о	68,5	н/о
	АУ 7–19	5,6	7,5	15,3	2,9	0,3

На стадии начала ослабления пихтового компонента леса напочвенный покров сохраняет типичный таежный облик, с преобладанием мелкотравных и мелкотравно-зеленомошных ассоциаций. Почва характеризуется малой мощностью (рис.1) грубогумусового горизонта (1–3 см), содержащего до 39% гумуса. Сам горизонт представлен, преимущественно, хвойным опадом. Укороченный гумусово-аккумулятивный горизонт, содержит 2–5% гумуса и резко сменяется элювирующей толщей (совокупность горизонтов AEL, ELB, BEL) мощностью до 40–45 см. Значение суммы обменных катионов в верхней части почвенного профиля невелико, что связано, вероятно, с незначительной биогенной аккумуляции щелочных земель в растительных остатках.

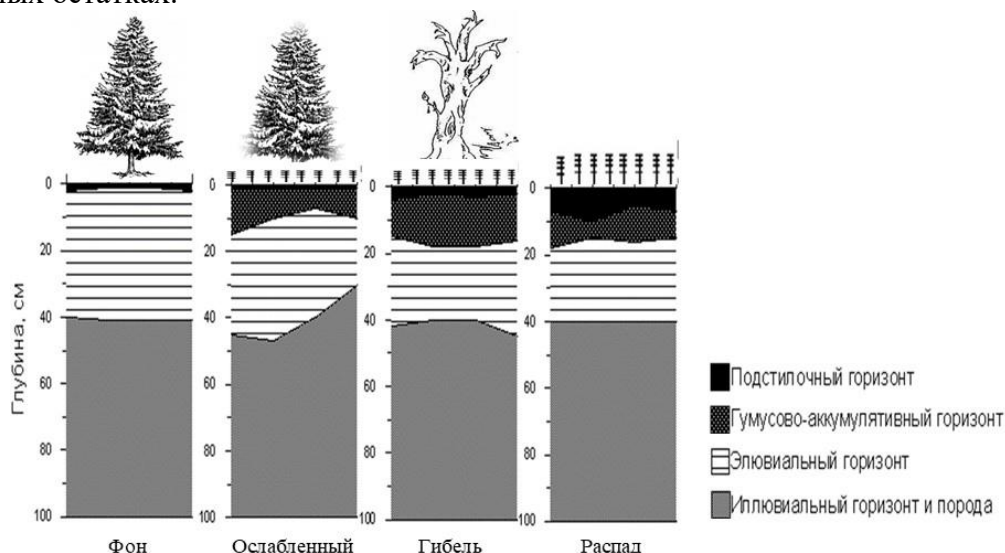


Рисунок 1. Общая схема трансформации биogeоценологических компонентов пихтового леса при импактных биогенных нарушениях.

На стадии гибели пихтового компонента леса при начальной стадии гибели древостоя, под его пологом наблюдается заметная трансформация напочвенного покрова. Таежное мелкотравье сменяется разнотравьем с преобладанием сныти и крапивы. Снижение сомкнутости крон за счет усыхания древостоя, привнос на поверхность почв опада и частичный отпад, способствуют увеличению мощность подстилки до 3–5 см. Содержание гумуса в поверхностном органогенном горизонте существенно возрастает, превышая 60%,

мощность гумусово-аккумулятивного горизонта увеличивается, однако содержание гумуса невелико и редко превышает 3,5%. В связи с привносом на поверхность почв мертвого органического вещества происходит его деструкция, а продукты гумификации прокрашивают минеральную массу вглубь почвенного профиля, оттесняя границы элювиированной толщи. Возрастание объема мортмассы приводит к некоторому увеличению показателя гидролитической кислотности, по сравнению с сопряженными стадиями биогеоценоза. Такие значения могут быть связаны с промежуточным положением биогенно-трансформируемого лесного массива, и участием в формировании подстилки компонентов хвойного опада, со значительной долей участия трав.

При полном отмирании и гибели древостоя пихты начинается образование ячеистой структуры леса. Весь лесной массив обретает облик типа «окно-дерево». На этой стадии происходит полная трансформация как лесорастительного, так и почвенного компонента биогеоценоза. Полный распад древостоя приводит к выходу из-под полога разнотравья. Доминантом здесь, как правило, выступает крапива. Колоссальный привнос на поверхность почв мертвого органического вещества в виде крупных древесных остатков (КДО) и полная смена напочвенного покрова приводят к резкому возрастанию мощности грубогумусового горизонта до 7–15 см. Содержание гумуса возрастает до 65–75%. Интенсивная гумификация способствует еще большему растягиванию границ гумусово-аккумулятивного горизонта, оттесняя элювиированную толщу вниз. Вместе с тем, содержание гумуса в верхних минеральных горизонтах профиля составляет 2,5–3%. Такие значения на фоне низкого содержания обменного кальция указывают на формирование лабильных гумусовых веществ, активно мигрирующими с почвенным раствором.

Покомпонентная оценка (табл. 2) депонированных запасов углерода исследуемого участка показала, что биогеоценозы на стадии ослабления пихтового древостоя обладают самым высоким запасом углерода в живой древесине и ничтожно малыми в напочвенном покрове. Запасы углерода в КДО, на этой стадии, минимальны, что связано с началом отмирания древесного компонента леса. Однако, эти значения существенны, и указывают на некоторую условность выделения стадии как начальной. Запасы углерода в подстилке весомо малы, по сравнению со следующими стадиями деградации, в то время как в почвенной толще они максимальны относительно остальных стадий.

Таблица 2. Запасы углерода в исследованных компонентах лесов, кг/м<sup>2</sup>

Стадия трансформации	Древостой	КДО	Травостой	Подстилка	Почва*	Сумма
Ослабление	10,8	8,1	0,01	4,6	5,9	29,4
Гибель	9,0	8,4	0,07	7,7	4,6	29,8
Распад	3,7	10,4	0,09	11,1	4,6	29,9

Примечание. \*Запасы углерода рассчитаны в слое 0,5 м.

По мере деградации древесного компонента доля живого древостоя и запасы углерода в нем экспоненциально снижаются, при этом возрастает углерод-депонирующая функция КДО и подстилки. Остальные компоненты или не оказывают существенного влияния на аккумуляцию углерода или не изменяются, а суммарные значения изменяются крайне незначительно.

Таким образом, импактные изменения лесного компонента биогеоценоза, связанные с влиянием агрессивных инвазионных видов дендрофагов, приводят к резкой смене подчиненного яруса (напочвенный покров), в то время как при естественных сукцессионных циклах эти процессы сглажены и растянуты во времени. Трансформация напочвенного покрова приводит к морфологическим изменениям почвенного профиля. На начальных стадиях это увеличение мощности грубогумусового горизонта, позже гумусирование минеральной части, протекающее, однако, за заметно более короткие сроки 5-25 лет, по сравнению с естественными сукцессионными циклами (50-150 лет). Существенным отличием этих трансформационных процессов является слабы отклик физико-химических показателей

почв, что может быть обусловлено рядом причин: быстрая смена стадий трансформации; высокая экологическая буферность; образование лабильных соединений и их последующая миграция.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках научной темы: «Развитие системы мониторинга и комплексного анализа пулов и потоков парниковых газов болотных и лесных экосистем Западной Сибири», код научной темы: FWRG – 2022-0001.

#### Литература

1. Кривец С.А. Технологии мониторинга пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Сибири / С.А. Кривец, Э.М. Бисирова, Е.С. Волкова [и др.]; отв. ред. А.Г. Дюкарев, С.А. Кривец. Томск: УМИУМ. 2018. 74 с.
2. Биоразнообразие и функционирование лесных экосистем/под ред. Н.В. Лукиной. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2021. 327 с.
3. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения/И.А. Соколов; отв. ред. М.И. Дергачева. Новосибирск: Гуманитарные технологии. 2004. 288 с.
4. Дюкарев А.Г. Ландшафтно-диагностические аспекты таежного почвообразования Западной Сибири/А.Г. Дюкарев. Томск: НТЛ. 2005. 284 с.
5. Кузнецова А.И. Характеристики плодородия почв как индикаторы сукцессионного статуса лесов/А.И. Кузнецова, Н.В. Лукина, А.В. Горнов [и др.] // Почвы – стратегический ресурс России: Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. Москва-Сыктывкар, 2021. Ч.3. С. 543–545.

#### SOIL FORMATION DYNAMICS IN FIR FORESTS OF THE TOMSK REGION WITH SIGNS OF BIOGENIC SUCCESSIONS

A.N. Nikiforov, E.M. Bisirova, N.A. Chernova

Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, a.nik-n@mail.ru

*Summary. The paper presents data on indicator indicators of soil fertility, considered in close relationship with the variability of the forest-vegetation component and its influence on the properties and characteristics of soils under primary dark coniferous forests of the southern taiga subzone of Western Siberia. The dynamics of carbon deposition in the components of biogeocenosis at different stages of biogenic transformation of a native dark coniferous forest stand is presented.*

*Keywords: fir forests, biogenic succession, soil properties, dynamics of soil formation, transformation of biogeocenosis, carbon reserves.*

УДК 631.524.84:581.9(571.56-191.2)

#### ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛУГОВ АЛАСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

М.Х. Николаева, Р.В. Десяткин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, mayan34@yandex.ru, rvdes@ibpc.ysn.ru

*Аннотация. Проведены многолетние стационарные исследования продуктивности лугов и пространственной структуры аласных экосистем Лено-Амгинского междуречья. Выявлены положительные корреляционные взаимосвязи продуктивности аласных лугов и занимаемой ими площади. Наиболее сильная связь установлена на настоящих лугах ( $p=0,82$ ). На опушечных фитоценозах и влажных лугах связь одинаковой величины ( $p=0,79$  и  $p=0,76$  соответственно). Менее сильная связь на остепненных лугах ( $p=0,67$ ).*

*Ключевые слова: продуктивность, аласные экосистемы, Лено-Амгинское междуречье.*

Аласные экосистемы представляют собой особо динамичные, часто геохимически замкнутые термокарстовые котловинные формы рельефа зоны многолетнемерзлых пород, обладающие ограниченной ёмкостью деятельного слоя, специфическими условиями почвообразования, формирования растительного и животного миров. Аласные котловины по



происхождению, особенностям строения и структуре являются самоорганизующимися, саморегулирующимся и саморазвивающимся экосистемами. Основной их характеристикой является наличие относительно замкнутых, стабильных в пространстве и времени потоков вещества и энергии между биотической и абиотической частями [1]. Одним из наиболее характерных районов распространения аласных экосистем является Лено-Амгинское междуречье.

В 1930–1990 гг. оценку урожайности аласных лугов проводили по материалам маршрутных исследований [2–11]. Стационарные изучения продуктивности аласных лугов не проводились. Особенности аласных ландшафтов, закономерности формирования их растительного покрова, характеристика видового разнообразия и продуктивности влажных, настоящих, остепненных лугов, фитоценозов склонов южной экспозиции и опушечных пространств изученного модельного аласа опубликованы ранее [12–17].

Цель настоящей работы является изучение взаимосвязи между продуктивностью аласных лугов и пространственной структурой аласа.

Исследования проводились в течение 31 года (1988–2015, 2019–2021 гг.) на пробных площадях, заложенных в четырех растительных поясах – остепненных (асс.: *Artemisio commutatae* – *Hordeetum*), настоящих (асс.: *Puccinellietum hauptianae*), влажных лугов (асс.: *Alopecuretum arundinacei*) и фитоценозов опушечных пространств (асс.: *Thalictro* – *Hordeetum brevisubulati*) – на склонах типичного аласа в центре Лено-Амгинского междуречья на стационаре Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (ИБПК СО РАН). Общая площадь модельного аласа, включая озеро, составляет 11,66 га.

Продуктивность каждого типа луга (ц) получена путем умножения продуктивности надземной растительной массы (ц/га) на площадь луга (га). Произведен корреляционный анализ продуктивности аласных лугов по годам с применением коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при  $p < 0,05$ ). Корреляционный анализ выполнен в программе PAST Ver. 4.0.

Пространственная структура аласных экосистем сложная, включает озеро и четыре растительных пояса, окружающих его: влажных лугов, настоящих и остепненных лугов, узкой полосы опушечных пространств по краю лиственничных лесов у подножия склонов северной экспозиции и березово-лиственничных – на склонах южной экспозиции. За годы наблюдений площадь водного зеркала озера варьировала от 0,03 до 6,89 гектара. Наименьшая площадь озера отмечалась в 1988 году, а резкое расширение площади и объема озера – в 2008 году. Полученные данные свидетельствуют, что за 31 год площадь озера расширилась более чем в 229 раз.

Пределы колебаний площади влажных лугов также достигают значительных величин (более чем в 14 раз). Их площадь равная в 1988 году 0,24 гектарам в более благоприятном по условиям 2003 г. увеличилась до 3,36 гектара. В последующие годы в связи с расширением водного зеркала озера площади влажных лугов постепенно сокращаются. С 2006 года пояс этих лугов в результате затопления озером выпал из структуры аласной котловины. На влажных гигрофитных лугах самое низкое значение продуктивности также отмечено в 1988 году (1,87 ц), максимальное в 2002 году (76,74 ц). Среднее значение продуктивности составляет 47,18. Стандартное отклонение 26,6. Коэффициент вариации равен 56,37, указывает на неоднородность данных продуктивности. Установлены положительные корреляционные связи продуктивности и площади влажных лугов ( $r=0,76$ ).

Резкие колебания происходили и с настоящими лугами. Наименьшая их площадь была равной 0,53, максимальная – 7,04 гектарам, т.е. более чем в 13 раз. Среднее значение продуктивности за 31 год составила 80,19 ц воздушно-сухого вещества на всю площадь пояса настоящих лугов. Минимальная продуктивность настоящих лугов отмечена в 1988 г. (2,93 ц), максимальная продуктивность в 1990 г. – 254,61 ц (повысилась более чем 80 раз). При этом коэффициент вариации составляет 86,11, стандартное отклонение – 69,05, что указывает на неоднородность и разброс данных в широком диапазоне. Выявлена статистически значимая связь продуктивности настоящих лугов с их площадью ( $r=0,82$ ).

Площадь остепненных лугов изменялась в 8,5 раз, от 1 до 8,56 га. Самая низкая продуктивность в течение периода наблюдений выявлена у остепненных ксерофитных лугов (от 7,99 до 38,37 ц). Среднее значение продуктивности составляет 19,8 ц. Стандартное отклонение равно 8,51. Коэффициент вариации составляет 42,98, совокупность данных

неоднородная. Установлена взаимная связь продуктивности и площади остепненных лугов ( $p=0,67$ ).

Площадь опушечных фитоценозов от 0,61 га в 1988 г. увеличилась до 3,53 га в 2014 г., т.е. в 5,8 раз. Продуктивность опушечных фитоценозов варьировала от 1,37 ц (1988 г.) до 76,34 ц (2007 г.), при этом среднее значение равно 33,78 ц. Стандартное отклонение составляет 19,32, коэффициент вариации – 57,2. Продуктивность влажных лугов имеет значимую положительную связь с их площадью ( $p=0,79$ ).

Проведенные исследования показали следующее:

- выявлена значительная динамика пространственной структуры аласа за 31 год. Наибольшим колебаниям подвержена площадь влажных лугов модельного аласа, которая занимала от 2,06 до 28,82% от общей площади аласа. Диапазон колебаний площади настоящих лугов составил от 4,55 до 60,38 %. Площадь остепненных лугов сократилась с 73,41 до 8,58 %. Площадь опушечных фитоценозов расширилась с 5,23 до 30,27 %.

- вариационные параметры продуктивности аласных лугов различны. Вариация составляет от 42,98 до 86,11, это указывает на незначительную неоднородность значений продуктивности. По среднему значению наиболее высокая продуктивность отмечена у настоящих лугов (80,19 ц). На втором месте – продуктивность влажных лугов (47,18 ц), на третьем месте – продуктивность опушечных фитоценозов (33,78 ц). Самая низкая продуктивность у остепненных лугов (19,8 ц). При этом стандартное отклонение имело широкий размах, от 8,51 до 69,02.

- выявлены положительные корреляционные взаимосвязи продуктивности аласных лугов с их площадью. Наиболее сильная связь установлена на настоящих лугах ( $p=0,82$ ). На опушечных фитоценозах и влажных лугах связь одинаковой величины ( $p=0,79$  и  $p=0,76$  соответственно). Менее сильная связь на остепненных лугах ( $p=0,67$ ).

#### Литература

1. Десяткин Р.В. Аласные экосистемы – основы развития скотоводства в суровых природно-климатических условиях Якутии // Наука и техника. 2021. Т. 41, N 2. С. 13-18. DOI: 10.24412/1728-516X-2021-2-13-18
2. Работнов Т.А. За улучшение лугов Центральной Якутии // Советское краеведение. 1935. N 8. С. 42–45.
3. Шелудякова В.А., Караваяев М.И., Петров А.М. Луга и пастбища Центральной Якутии // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 234–274.
4. Шелудякова В.А. Луга и пастбища Центральной и Юго-Западной Якутии. Якутск: Кн. изд-во, 1959. 51 с.
5. Пермякова А.А. Растительность аласов Сунтарского района Якутской АССР // Материалы по растительности Якутии. Л., 1961. С. 21–68.
6. Пермякова А.А. Аласные луга // Растительность бассейна реки Вилюя: Тр. ин-та биологии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 8. С.77–91.
7. Усанова А.А. К вопросу классификации аласов Центрально-Якутской равнины // Материалы по растительности Якутии. Л., 1961. С. 7–20.
8. Иванова В.П. Урожайность сенокосов и пастбищ в долине Средней Лены и пути ее увеличения // Проблемы развития производительных сил Якутской АССР. Якутск, 1970. С. 175–181.
9. Луга Якутии /Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Михалева В.М. и др. М.: Наука, 1975. 175 с.
10. Кононов К.Е., Гоголева П.А., Бурцева Е.И. Сенокосы и пастбища Центральной Якутии. Якутск: Кн. изд-во, 1979. 160 с.
11. Улучшение и рациональное использование естественных лугов Центральной Якутии: Метод. рекомендации. Якутск, 1986. 32 с.
12. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и урожайности влажных лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. 2015а. Т. 51, N 1. С.70–80.
13. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и урожайности настоящих лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. 2015б. Т. 51, N 3. С. 328–335.

14. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и урожайности остепненных лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. 2016а. Т. 52, N 1. С. 20–27.
15. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и урожайности фитоценозов степных склонов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. 2016б. Т. 52, N 3. С. 351–360.
16. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и урожайности опушечных фитоценозов аласов Центральной Якутии // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, N 9. С. 67–76. DOI: 10.1134/S0006813619090102
17. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Урожайность луговых фитоценозов аласов Центральной Якутии // Ботанический журнал. 2020. Т. 105, N 6. С. 59–67. DOI: 10.31857/S0006813620060071

#### PRODUCTIVITY OF ALAS ECOSYSTEMS MEADOWS OF THE LENA – AMGA INTERFLUVE

M.C. Nikolaeva, R.V. Desyatkin

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, mayan34@yandex.ru, rvdes@ibpc.ysn.ru

*Summary.* Long-term stationary studies of the productivity of meadows and the spatial structure of the alas ecosystems of the Leno-Amga interfluve have been carried out. Positive correlations of productivity of alas meadows and the area occupied by them are revealed. The strongest connection was established in real meadows ( $p=0,82$ ). On the margin phytocenoses and wet meadows, the connection is of the same magnitude ( $p=0,79$  and  $p=0,76$ , respectively). The connection is less strong in the steppe meadows ( $p=0,67$ ).

*Keywords:* productivity, alas ecosystems, Lena-Amga interfluve.

УДК 574.4:550.84

#### ДЕСТРУКЦИЯ РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ РАЗЛОЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕНАРУШЕННЫХ И ПОСТПИРОГЕННЫХ ТОРФЯННИКОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.Г. Никонова, Д.А. Калашникова, Е.А. Головацкая, Г.В. Симонова

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, lili112358@mail.ru

*Аннотация.* Представлены результаты исследования по разложению растительного опада основных растений-торфообразователей (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*) болотных экосистем Западной Сибири в течение 1 месяца в ненарушенных и постпирогенных условиях. Максимальные потери массы наблюдались при разложении *Chamaedaphne calyculata*. Во время начальной деструкции наблюдалось изменение содержания общего углерода, азота, зольных элементов, а также обогащение изотопами  $^{15}\text{N}$  и  $^{13}\text{C}$ .

*Ключевые слова:* *Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*, деструкция органического вещества, изотопный состав азота и углерода  $\delta^{15}\text{N}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ , постпирогенные торфяники.

Важную роль в биологическом разнообразии и глобальном климатическом балансе играют болотные экосистемы. Одной из ключевых функций болот является их способность накапливать углерод в виде торфа за счет медленной скорости трансформации органического вещества. Мировые запасы углерода, накопленные в торфе, превышают количество углерода, хранящегося в растительности, и по размеру сопоставимы с текущим запасом углерода в атмосфере [1]. Однако, современные климатические изменения могут привести к ускорению процесса разложения органического вещества и, как следствие, к уменьшению мировых запасов торфа [2]. Пожары также могут повлиять запасы углерода в торфе и скорости его выделения в атмосферу, как за счет самого процесса горения, так и косвенно, за счет ускорения процесса деструкции самого торфа и растительных остатков в процессе постпирогенной сукцессии [3]. В связи с этим целью данной работы являлась оценка скорости разложения

органического вещества растений-торфообразователей в условиях торфяных залежей ненарушенных и пирогенных торфяников на начальных этапах деструкции.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проводили на болотных фитоценозах, относящихся к северо-восточным отрогам Васюганского болота, расположенных в Бакчарском районе Томской области: ненарушенный сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз –Естественный рям («Ест.»), сосново-березово-пушицево-сфагновый фитоценоз с явно выраженными следами пирогенного воздействия («Гарь»).

Исследовали скорость разложения растительного опада основных растений-торфообразователей типичных для олиготрофных болот: листья кустарничка *Chamaedaphne calyculata* Moench., очес мха *Sphagnum fuscum* Klinggr. Кроме отдельных видов растений, подготавливался смешанный образец, представляющий смесь исследуемых растений в соответствии с долей каждого вида в растительном опаде наиболее типичного естественного фитоценоза, состоящий из *S. fuscum* (60%) и *Ch. calyculata* (40%).

Для определения скорости разложения применялся метод закладки растительных остатков в торф [4]. Для этого в лабораторных условиях собранные растения высушивали до воздушно-сухого веса и раскладывали в мешочки из синтетического материала по 15 г. Приготовленный растительный материал закладывали в торфяную залежь в мае, на глубину 10 см от поверхности в трехкратной повторности. Образцы с растительным материалом извлекали через 1 месяц после начала эксперимента. В образцах определяли убыль массы растительного вещества весовым методом. В исходных образцах растительного вещества и в образцах после эксперимента с целью получения количественных характеристик потерь макроэлементов была определена зольность методом сухого озоления [5]. Анализ содержания общего азота и общего углерода, а также изотопного состава проводился при помощи изотопного масс-спектрометром DELTA V Advantage (приборы предоставлены центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН).

**Результаты исследования.** Исследуемые растения по химическому составу (табл. 1) значительно отличаются друг от друга – самым высоким содержанием углерода, азота, зольных элементов и наименьшим соотношением C/N характеризуются листья *Ch. calyculata*. *S. fuscum* обладает менее благоприятным для деятельности микроорганизмов химическим составом: наименьшим содержанием углерода и азота, высоким соотношением C/N и низким показателем зольности. Смешанный образец по химическому составу занимает промежуточное положение между его отдельными компонентами, но обладает достаточно высоким соотношением C/N, что также может замедлять активность микроорганизмов-деструкторов.

Таблица 1. Исходный химический состав растений-торфообразователей

Содержание Растение	Зольность, %	C, %	N, %	C/N
<i>Ch. calyculata</i>	2,49	53,33±0,1	1,92±0,3	28
<i>S. fuscum</i>	1,77	45,13±0,1	0,69±0,3	65
Смешанный образец	1,89	51,53±0,1	1,01±0,3	51

Выбранные точки исследования обладают рядом уникальных характеристик, которые могут оказать значительное влияние на процесс трансформации органического вещества. Естественный рям расположен вне зоны воздействия антропогенных факторов и может считаться ненарушенным. Глубина торфяной залежи Естественного рьяма достигает 320 см, в то время как для Гари она составляет от 70 до 90 см. В результате пожара (1998 г.) данный участок был сильно поврежден, в настоящее время встречаются явные следы пожара, такие как поваленные деревья, обгорелая кора уцелевших деревьев. Результаты предыдущего исследования [6] показали, что температура торфяной залежи в исследуемых фитоценозах отличается. Условия на Естественном рьяме оказались более прохладными, по сравнению с «Гарью» (на 1,5 и 1,7°C в мае и июне, соответственно). Также, в работе [7] отмечалось, что участок «Гарь» является наиболее обводненным в период вегетации, чем Естественный рям.



За первый месяц разложения в среднем потери массы в условиях Естественного рьяма колеблются от 4,42 до 13,32%, в условиях «Гари» от 2,61 до 21,67% (рис. 1).

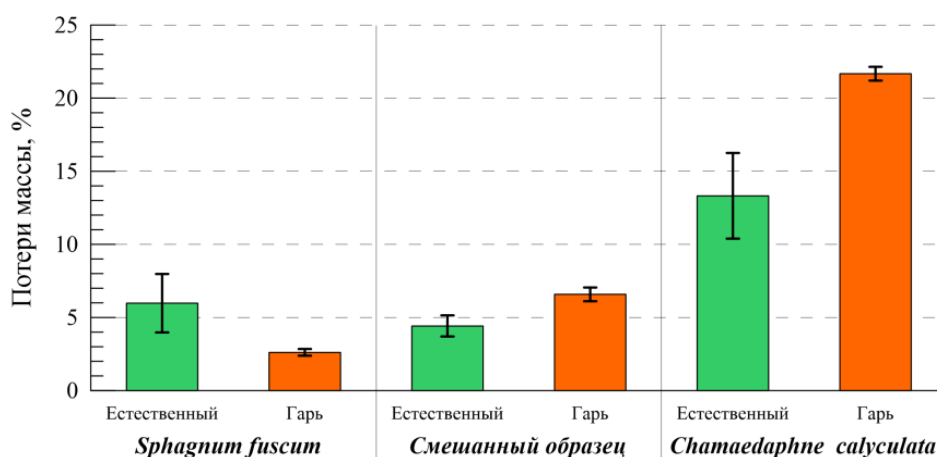


Рисунок 1. Потери массы опада растений-торфообразователей в торфяной залежи Естественного рьяма (Естественный) и Горелого рьяма (Гарь) за 1 месяц, % от исходной массы.

Гидротермические условия «Гари» в основном оказывают положительное влияние на процесс разложения, так для *Ch. calyculata* потери массы на 8,4% выше, чем в Естественном рьяме, а Смешанного образца – на 2,73% выше, по сравнению с Естественным рьямом). Однако разложение *S. fuscum* наиболее активно протекает в условиях Естественного рьяма, потери массы здесь на 3,37% выше, чем в «Гари».

Среди исследуемых образцов наибольшая скорость разложения на начальных этапах, как и предполагалось исходя из химического состава растительного опада, выявлена *Ch. calyculata* (13,32% и 21,67% в Естественном рьяме и «Гари», соответственно). Гораздо медленнее процесс разложения протекает в образцах *S. fuscum* (2,61% и 5,98% в условиях «Гари» и Естественного рьяма, соответственно). Разложение Смешанного образца вызывает особый интерес, так в условиях «Гари» Смешанный образец занимает промежуточное положение между *S. fuscum* и *Ch. calyculata* (потери массы составили 6,58%), а в условиях Естественного рьяма характеризуется минимальными значениями потери массы – 4,42%.

В ходе деструкции происходит изменение зольности, содержания общего углерода и азота. Уже на начальной стадии разложения (1 месяц) для всех исследуемых образцов наблюдаются вынос углерода в диапазоне от 9,1% до 16,5%, при этом наибольшие изменения содержания углерода характерно для Смешанного образца (14,5% и 16,5% в Естественном рьяме и в «Гари», соответственно). В Естественном рьяме минимальные потери углерода характерны для *S. fuscum* (11,37%), а в «Гари» для *Ch. calyculata* (9,06%) (рис. 2).

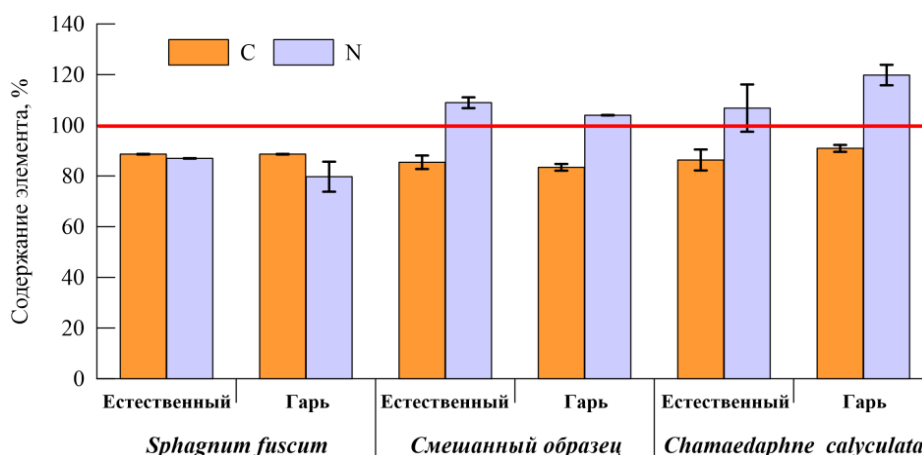


Рисунок 2. Содержание общего углерода (C) и азота (N) в растительных остатках при разложении в торфяной залежи Естественного рьяма (Естественный) и Горелого рьяма («Гарь») за 1 месяц (по отношению к исходному количеству, %).

В процессе деструкции в растительных остатках может происходить как потеря, так и накопление азота. Как в условиях Естественного рьяма, так и в условиях «Гари», наблюдаются потери общего азота лишь в образцах *S. fuscum* (13,04% и 20,29% от исходного значения в Естественном рьяме и в «Гари», соответственно). В Смешанном образце и в листьях *Ch. calyculata* в течение первого месяца разложения происходит накопление азота, при этом наибольшее накопление азота характерно для *Ch. calyculata* в условиях «Гари» (19,8%). В связи с неравнозначным изменением содержания углерода и азота в процессе деструкции происходит изменение такого важного показателя, как соотношения C/N, согласно полученным результатам для всех образцов, кроме *S. fuscum*, происходит снижение значения.

Важное влияние на динамику и скорость разложения оказывает также зольность. В естественных условиях происходит снижение зольности в течении первого месяца разложения (рисунок 3). В Смешанном образце и в *S. fuscum* в условиях «Гари» происходит накопление зольных элементов. При этом накопление зольных элементов в очесе *S. fuscum* превышало накопление в Смешанном образце в 5 раз (накопление зольных элементов 20,9% и 4,8%, соответственно).

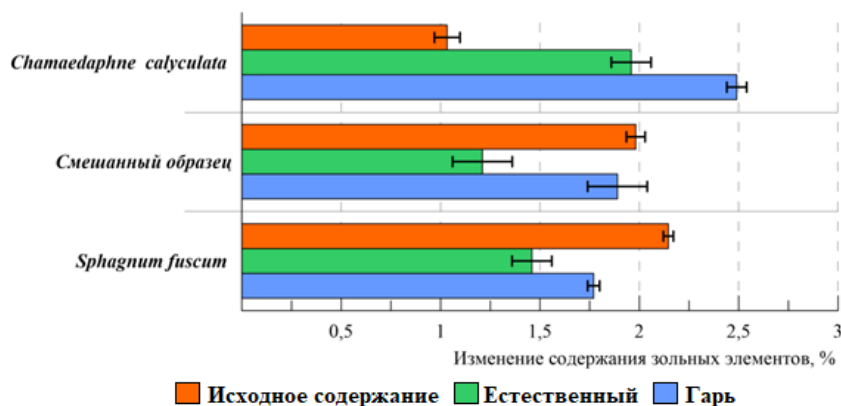


Рисунок 3. Изменение содержания зольных элементов в растительных остатках при разложении в торфяной залежи Естественного рьяма (Естественный) и Горелого рьяма («Гарь») за 1 месяц.

Известно, что изменение соотношений стабильных изотопов углерода и азота свидетельствует о биохимических процессах в экосистемах [8, 9]. Исходные образцы растений обладали низкими значениями изотопного состава углерода  $\delta^{13}\text{C}$  и азота  $\delta^{15}\text{N}$ , при этом наиболее легким изотопным составом отличался очес *S. fuscum* (табл. 2). В результате наших исследований выявлено, что в ходе даже краткосрочной деструкции изотопный состав углерода и азота претерпевает изменение. Фракционирование углерода происходит менее активно в отличие от изменения изотопного состава азота, при том для всех образцов, за исключением Смешанного образца, наблюдается обеднение легким изотопом  $^{12}\text{C}$  в процессе трансформации. В образцах *S. fuscum* и Смешанном образце наблюдается обогащение тяжелым изотопом  $^{15}\text{N}$ , при этом наиболее явные отличия, связанные с участком закладки образцов выявлены для очеса *S. fuscum*, максимальное обогащение изотопом  $^{15}\text{N}$  наблюдалось в Естественном рьяме.

Таблица 2. Изменение изотопного состава углерода и азота при разложении в торфяной залежи Естественного рьяма (Естественный) и Горелого рьяма (Гарь) за 1 месяц

Растение	Место закладки	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰		$\delta^{15}\text{N}$ , ‰	
		исходный	ч/з 1 месяц	исходный	ч/з 1 месяц
<i>Ch. calyculata</i>	Естественный	$-30,3 \pm 0,2$	$-30,1 \pm 0,1$	$-6,4 \pm 0,4$	$-6,4 \pm 0,1$
	Гарь		$-30,1 \pm 0,1$		$-6,6 \pm 0,4$
<i>S. fuscum</i>	Естественный	$-31,2 \pm 0,2$	$-29,5 \pm 0,2$	$-11,7 \pm 0,4$	$-7,0 \pm 0,2$
	Гарь		$-30,0 \pm 0,3$		$-9,1 \pm 1,2$
Смешанный образец	Естественный	$-29,5 \pm 0,3$	$-29,9 \pm 0,2$	$-9,6 \pm 0,5$	$-7,1 \pm 0,1$
	Гарь		$-30,1 \pm 0,3$		$-7,4 \pm 0,1$

**Заключение.** Исследование показало, что в естественных условиях потери массы за первый месяц деструкции составляют от 4,42% до 13,32%, а в постпирогенных условиях – от 2,61% до 21,67%. Наиболее активное разложение происходит в образцах *Chamaedaphne calyculata* и в Смешанном образце в условиях «Гари», а в образцах *Sphagnum fuscum* – в Естественном рьяме. Таким образом, смешивание компонентов оказывает влияние на скорость разложения. Все образцы в ходе начальной деструкции теряют углерод, азот же иммобилизуется в образцах *Chamaedaphne calyculata* и в Смешанном образце. В Смешанном образце и *Sphagnum fuscum* в условиях «Гари» увеличивается зольность. Изотопный состав углерода и азота начинает изменяться при деструкции уже на начальных этапах, происходит обогащение тяжелыми изотопами  $^{15}\text{N}$  и  $^{13}\text{C}$ . Данное исследование подчеркивает важность изучения процессов разложения растительного опада на начальных этапах и учета компонентного состава при изучении процессов трансформации органического вещества в экосистемах.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научной темы: «Развитие системы мониторинга и комплексного анализа пулов и потоков парниковых газов болотных и лесных экосистем Западной Сибири», Рег. № 122111400002-2.

#### Литература

1. Turetsky M.R., Benscoter B., Page S., Rein G., Van Der Werf G.R., Watts A. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss // *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. № 1. P. 11–14.
2. Hogg E.H., Lieffers V.J., Wein R.W. Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fire // *Ecological Applications*. 1992. Vol. 2. № 3. P. 298–306.
3. Sommers W.T., Loehman R.A., Hardy C.C. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Science overview and knowledge needs // *Forest Ecology and Management*. 2014. № 317. P. 1–8.
4. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука ЛО, 1978. 172 с.
5. Дурынина Е.П., Егоров В.С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений. М.: МГУ, 1998. 113 с.
6. Никонова Л. Г., Головацкая Е.А., Курьина И.В., Курганова И.Н. Скорость разложения растений-торфообразователей в олиготрофных болотах южно-таежной подзоны Западной Сибири: оценка влияния уровня болотных вод и температуры торфяной залежи // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1092–1103.
7. Никонова Л.Г., Головацкая Е.А. Оценка скорости разложения растений-торфообразователей в осушенных и пирогенных торфяниках // *Enviromis* 2020. 2020. С. 227–230.
8. Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2007. № 4. С. 475–489.
9. Robinson D.  $\delta^{15}\text{N}$  as an integrator of the nitrogen cycle // *Trends in ecology and evolution*. 2001. Vol. 16. № 3. P. 153–162.

#### DEGRADATION OF PEAT-FORMING PLANTS AT THE FIRST STAGES OF DECOMPOSITION IN NATURAL AND POST-PYROGENIC PEATLANDS OF WESTERN SIBERIA

L.G. Nikonova, D.A. Kalashnikova, E.A. Golovatskaya, G.V. Simonova  
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the  
Russian Academy of Sciences, Tomsk, lili112358@mail.ru

*Summary.* The results of a study on the decomposition of plant litter of the main peat-forming plants of bog ecosystems in Western Siberia (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*) for 1 month under nature and post-pyrogenic conditions are presented. The maximum weight loss was observed during the decomposition of *Chamaedaphne calyculata*. Change in the content of total carbon, nitrogen, ash elements, as well as enrichment by  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  isotopes was observed during the initial decomposition.

*Keywords:* *Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*, decomposition of organic matter, nitrogen and carbon isotope composition  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ , post-pyrogenic peatlands.

УДК 004.942:574.47:631.452

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

И.В. Припутина<sup>1</sup>, П.В. Фролов<sup>1</sup>, В.Н. Шанин<sup>1,2</sup>, С.С. Быховец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, [prputina@pbcras.ru](mailto:prputina@pbcras.ru)

<sup>2</sup>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

**Аннотация.** Представлены результаты имитационного моделирования динамики и пространственной неоднородности распределения запасов углерода и азота в почвах под хвойно-широколиственным лесом на территории Приокско-Террасного заповедника. Для расчетов использована система моделей EFIMOD3, позволяющая моделировать сопряженную динамику биогенного круговорота углерода и азота в лесных экосистемах с учетом пространственно-видовой структуры растительных сообществ и вариабельности почвенных условий. Представленные данные позволяют оценить различия в почвенных запасах углерода и азота в пределах относительно небольшого по размерам лесного участка, связанные с особенностями поступления растительного опада и гидротермических условий под пологом леса

**Ключевые слова:** биогенный круговорот, углерод и азот в почвах, структура древесного яруса, видоспецифичный опад, почвенная модель Romul\_Hum, система моделей EFIMOD3.

Пространственная неоднородность почвенных условий ярко проявляется в лесных биогеоценозах [1], формируя под пологом леса эдафические условия, благоприятные для произрастания разных видов, что обеспечивает высокое биоразнообразие лесов [2]. В свою очередь, вариабельность распределения почвенных запасов органического вещества и элементов питания во многом зависит от взаимного расположения и размера деревьев, которые определяют локализацию видоспецифичных фракций растительного опада, перераспределение и биохимическую трансформацию атмосферных осадков, а также гидротермические условия в почве [3]. Изучение пространственно-временных аспектов функционирования лесных почв – актуальное направление современных почвенных исследований [4], включая направление, связанное с 3D-моделированием почвенных процессов [5].

Цель данной работы – анализ влияния структуры полидоминантного разновозрастного древесного яруса на пространственную неоднородность распределения запасов органического вещества и доступного азота в лесных почвах в условиях заповедного режима, реализованный методами имитационного моделирования.

**Объекты и методы исследования.** Вычислительные эксперименты выполнены на примере участка (размером 25×25 м) постоянной пробной площади (ППП), заложенной в Приокско-Террасном государственном природном биосферном заповеднике (ПТЗ), который расположен на юге Московской области на левобережье р. Оки (54,89° N, 37,56° E). Почвенный покров PPP относится к дерново-подбурам (Entic Carbic Podzol) и отличается заметной пространственной вариабельностью мощности лесной подстилки и гумусового горизонта. Содержание  $C_{орг}$  и  $N_{общ}$  в горизонте O варьирует в диапазонах 17,6–44,9 и 0,84–1,79%, соответственно, а в горизонте АУ – 0,71–8,5 и 0,035–0,33% [6]. В смешанном разновозрастном древостое преобладают *Betula* spp., *Picea abies* L. и *Pinus sylvestris* L., реже встречается *Populus tremula* L. Во втором ярусе представлены преимущественно *Tilia cordata* Mill. и *P. abies*, реже *Quercus robur* L. Средний возраст деревьев первого яруса варьирует от 70–75 лет (*T. cordata*, *P. abies*) до 110–115 лет (*Q. robur*, *P. sylvestris*) [7].

Для выполнения вычислительных экспериментов использована система моделей EFIMOD3 [8], которая позволяет моделировать сопряженную динамику биогенного круговорота углерода и азота в лесных экосистемах с учетом пространственно-видовой структуры растительных сообществ и вариабельности почвенных условий. В качестве почвенной модели в EFIMOD3 интегрирована модель динамики органического вещества и азота в почвах Romul\_Hum [9].

Имитационный участок, условно соответствующий квадрату 25×25 м, представлен имитационной решеткой с размером ячеек 0,5×0,5 м и общим числом ячеек 2500. Вычисления



проводились отдельно для каждой ячейки и учитывали расположение деревьев и растений напочвенного покрова в моделируемом пространстве, а также характерные для них стадии вегетации. Временной шаг модели – 1 сутки. Для анализа результатов и их визуализации данные были пересчитаны с временным шагом 1 месяц и 1 год; суммарный период моделирования 50 лет. Динамика запасов С и N в лесной подстилке и в органоминеральной части почвы оценивалась по данным для середины вегетационного сезона (июль), доступного растениям азота – в каждый из месяцев вегетационного сезона.

Сгенерированная в модели EFIMOD3 пространственно-видовая структура древостоя соответствовала характеристикам, полученным на основе полевого картографирования древесного яруса реального участка с определением высот деревьев, диаметров стволов и координат в пространстве ППП. В ходе моделирования видовая структура древесного яруса изменялась в соответствии с характером восстановительных сукцессий лесных фитоценозов на территории ПТЗ [10]. Видовая структура напочвенного покрова сгенерирована по данным геоботанических описаний. Количество всех фракций опадов древесного яруса и напочвенного покрова рассчитывали в рамках соответствующих блоков EFIMOD3. Содержание С и N во фракциях опадов разных видов определено по литературным данным на стадии параметризации EFIMOD3. Начальные данные о запасах С и N в почвенных горизонтах соответствовали средним значениям содержания этих элементов из работы [6]. Исходная метеорологическая информация, требуемая для подмодели гидротермического режима почвы (температура воздуха, атмосферные осадки и др.), получена из массивов данных, подготовленных в ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета и доступных на сайте <http://meteo.ru/data>. Климатические условия имитационного периода соответствовали данным метеорологической станции Колומна за 1971–2020 гг.

**Обсуждение результатов.** Согласно расчетам, запасы углерода в лесной подстилке варьируют в пространстве имитационного участка в диапазоне от 1,0 до 4,5 кг С/м<sup>2</sup> с преобладанием микросайтов (имитационных ячеек), для которых запасы оцениваются в 1,5–2,0 кг С/м<sup>2</sup>. Модель показывает некоторое снижение запасов относительно начальных значений в 5–20 годы имитационного периода с последующим ростом к 50-му году на фоне усиления пространственной неоднородности, что отражает сложный характер локализации поверхностного опада в лесных биогеоценозах. Первоначальное снижение запасов подстилки может объясняться отмиранием отдельных деревьев *Betula* spp., возраст которых в начале имитационного периода составлял около 85–90 лет. Последующий рост запасов С в подстилке связан с общим увеличением количества поверхностного опада на фоне повышения соответствующих величин С:N с 19–21 до 22–25 за счет увеличения доли древесных фракций опада, что характерно для старовозрастных лесов.

Запасы углерода в органоминеральной части почвы заметно выше и варьируют от 4,0 до 9,5 кг С/м<sup>2</sup> с преобладанием значений 4,5–6,0 кг С/м<sup>2</sup>. В модельных оценках воспроизводится закономерный лаг-период в динамике запасов С в органоминеральных горизонтах относительно лесной подстилки, отражающий характерный для почв радиальный перенос вещества. Распределение величин С:N в органоминеральной части почвы характеризуется слабо выраженной бимодальностью с диапазонами значений 9,5–11,0 и 12,0–13,5.

Характер пространственного распределения запасов азота ( $N_{\text{общ}}$ ) в подстилке и в органоминеральной части почв в целом аналогичен распределению углерода, но абсолютные значения ниже и составляют для подстилки 0,05–0,24 кг N/м<sup>2</sup>, а в органоминеральных горизонтах – 0,35–0,95 кг N/м<sup>2</sup>. Динамика запасов  $N_{\text{общ}}$  за имитационный период характеризуется относительным снижением доли этого элемента в органическом веществе подстилки на фоне повышения суммарных почвенных запасов за счет увеличения общего содержания азота в органоминеральных горизонтах, что может объясняться сукцессионными изменениями в видовой структуре древесного яруса, когда пионерные виды *P. sylvestris* и *Betula* spp. сменяются зональными эдификаторами *P. abies* и *T. cordata*.

В отличие от запасов  $N_{\text{общ}}$ , динамика азота в форме соединений, доступных растениям (в лесных почвах, как правило, в аммонийной форме) имеет явно выраженный сезонный характер. На рисунке приведены данные пространственного распределения доступного азота в почвах имитационного участка на начало вегетационного сезона (май) в последний год имитационного периода. В расчете на месяц, количество доступного азота оценивается в

диапазоне от 0,1 до 1,5 г N/m<sup>2</sup>, что соответствует 1–15 кг N/га. В годовом исчислении, рассчитанные величины доступного азота в почве оцениваются для разных лет от 80 до 250 кг N/га. Полученные в имитационном эксперименте оценки минерализации азота согласуются с данными полевых измерений из работы [11].

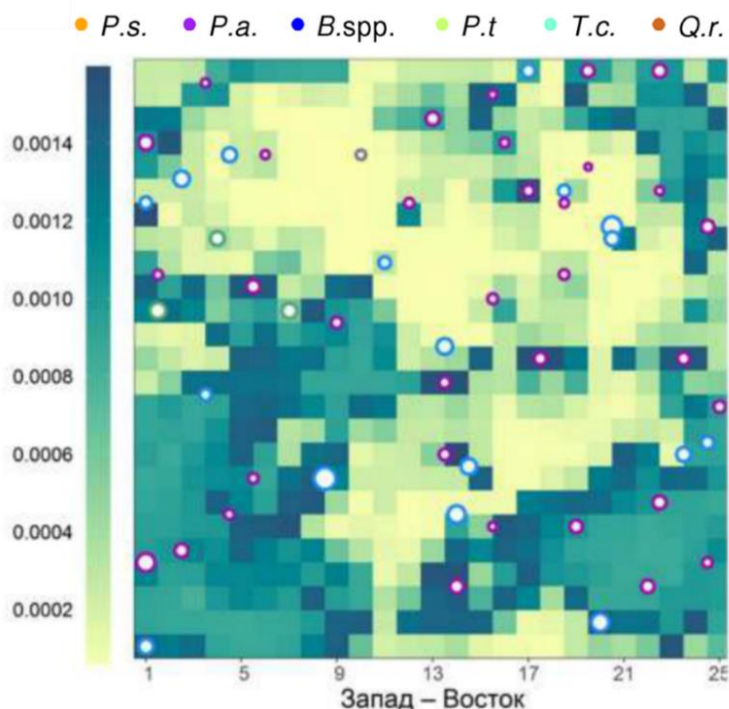


Рисунок. Пространственное распределение запасов доступного азота в почве (50-й год, май).

Условными знаками отмечено расположение деревьев разных пород (P.s. – *Pinus sylvestris*, P.a. – *Picea abies*, B.spp. – *Betula* spp., P.t. – *Populus tremula*, T.c. – *Tilia cordata*, Q.r. – *Quercus robur*), размер знаков пропорционален диаметру деревьев

**Заключение.** Полученные результаты – пилотный опыт использования системы моделей EFIMOD3 и почвенной модели Romul\_Num для оценки пространственного распределения запасов органического вещества в почвах на биогеоценотическом уровне. Представленные данные позволяют с высокой степенью пространственного разрешения оценить различия в почвенных запасах углерода и азота в пределах относительно небольшого по размерам лесного участка, связанные с особенностями поступления растительного опада и гидротермических условий под пологом леса.

#### Литература

1. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
2. Levine J.M., HilleRisLambers J. The importance of niches for the maintenance of species diversity // *Nature*. 2009. V. 461. P. 254–257.
3. Орлова М.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э., Артемкина Н.А. Влияние ели на кислотность и содержание элементов питания в почвах северотаежных ельников кустарничково-зеленомошных // *Почвоведение*. 2016. № 11. С. 1355–1367.
4. Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л. Факторы пространственно-временной неоднородности потоков CO<sub>2</sub> из почв южно-таежного ельника на Валдае // *Лесоведение*. 2014. №4. С. 56–66.
5. Gerke H.H., Vogel H.-J., Weber T.K.D., van der Meij W.M., Scholten T. 3–4D soil model as challenge for future soil research: Quantitative soil modeling based on the solid phase // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. Vol. 185. P. 720–744.
6. Припутина И.В., Фролова Г.Г., Шанин В.Н., Мякшина Т.Н., Грабарник П.Я. (2020) Распределение органического вещества и азота в дерново-подбурях Приокско-Террасного заповедника и его связь со структурой лесных фитоценозов // *Почвоведение* 8:921–933.

7. Шанин В.Н., Шашков М.П., Иванова Н.В., Быховец С.С., Грабарник П.Я. Исследования структуры древостоев и микроклиматических условий под пологом леса на постоянной пробной площади в Приокско-Тerrasном заповеднике / Труды Приокско-Тerrasного заповедника. Вып. 7. М., Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 72–85.

8. Шанин В.Н., Фролов П.В., Припутина И.В., Чертов О.Г., Быховец С.С., Зубкова Е.В., Портнов А.М., Фролова Г.Г., Стаменов М.Н., Грабарник П.Я. Моделирование динамики лесных экосистем с учётом их структурной неоднородности на разных функциональных и пространственных уровнях // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 3.

9. Chertov O., Komarov A., Shaw C., Bykhovets S., Frolov P., Shanin V., Grabarnik P., Pripulina I., Zubkova E., Shashkov M. Romul\_Hum – A model of soil organic matter formation coupling with soil biota activity. II. Parameterisation of the soil food web biota activity // Ecological Modelling. 2017. V. 345. P.125–139.

10. Разумовский С.М., Киселева К.В. К характеристике растительности Приокско-Тerrasного государственного заповедника / Экосистемы Южного Подмосковья. М.: Наука. 1979. С. 234–245.

11. Разгулин С.М. Минерализация азота в почве высокопродуктивного березняка южной тайги // Лесоведение. 2012. № 1. С. 65–71.

## MODELING THE DYNAMICS AND VARIABILITY OF THE CARBON AND NITROGEN POOLS DISTRIBUTION IN FOREST SOILS

I.V. Pripulina<sup>1</sup>, V.N. Shanin<sup>1,2</sup>, P.V. Frolov<sup>1</sup>, S.S. Bykhovets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Pushchino, Russia, pripulina@pbcras.ru

<sup>2</sup>Center for Forest Ecology and Productivity, Moscow, Russia

*Summary. The results of simulation modeling of the dynamics and spatial heterogeneity of the distribution of carbon and nitrogen stocks in soils under coniferous-deciduous forest in the territory of the Prioksko-Terrasny Reserve are presented. Calculations were made using the EFIMOD3 model system which models the coupled dynamics of the biogenic cycle of carbon and nitrogen in forest ecosystems, taking into account the spatial-species structure of plant communities and the variability of soil conditions. The presented data allow to estimate the differences in soil pools of carbon and nitrogen within a relatively small forest area, associated with the peculiarities of the input of plant litter and hydrothermal conditions under the forest canopy.*

*Keywords: biogenic cycle, carbon and nitrogen in soils, tree layer structure, species-specific litter, soil model Romul\_Hum, models system EFIMOD3.*

УДК 631.8

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ АГРОМАТЕРИАЛОВ

Ю.В. Тертышная<sup>1,2</sup>, А.А. Попов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, Москва, terj@rambler.ru

<sup>2</sup>Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, popov@shy.chph.ras.ru

*Аннотация. Применение полимерных материалов в агросекторе увеличивается с каждым годом. Производятся новые пленочные и волокнистые материалы на основе полиэтилена и различных полиэфиров. Основной проблемой использования мульчирующих и укрывных синтетических пленок является утилизация отходов и загрязнение почв. Большое количество пластиковых отходов может влиять на биохимический состав, фауну и микроорганизмы почвы, вследствие чего меняются почвенно-физические свойства и снижается продуктивность.*

*Ключевые слова: полимерные материалы, мульчирующие пленки, продуктивность почв, биодegradация, экология почв.*

**Актуальность.** Актуальной задачей остается вопрос эффективного почвопользования при возделывании сельскохозяйственных земель. Мульчирование как агротехнический прием получает все более широкое распространение в нашей стране и рассматривается как один из важнейших процессов интенсификации растениеводства. Мульчирование – процесс, при котором на поверхности почвы размещают специальные материалы различного состава для удержания влаги, дополнительного питания, предотвращения выветривания почвенных покровов, регулирования температуры почвы и борьбы с сорняками. Материалы для мульчирования используют самые разные: от древесной щепы до пластиковых отходов [1].



Рисунок 1. Мульчирующая полимерная пленка.

Довольно распространённым материалом является полиэтиленовые пленочные материалы (рис. 1). Они прочные и эластичные, их производство достаточно экономично. Несмотря на преимущества мульчирующей пленки из полиэтилена, остатки мульчи вызывают значительные экологические проблемы. Когда накопление остаточных пластиковых отходов в почве достигает определенного уровня, то наблюдается снижение пористости почвы и меняются почвенно-физические свойства. Следовательно, развитие корней сельскохозяйственных культур тормозится, что оказывает негативное влияние на усвоение воды и питательных веществ сельскохозяйственными культурами и впоследствии ограничивает урожайность сельскохозяйственных культур и снижает продуктивность почв [2]. Чтобы сохранить преимущества мульчирующих полимерных пленок, не обременяя потребителя утилизацией отходов, разрабатываются биodeградируемые материалы, которые предназначены для разрушения в почве и могут использоваться вместо традиционных, не поддающихся биологическому разложению мульчирующих пленок [3–5]. Дegradация таких материалов в почве подразумевает соблюдение двух аспектов: биоразлагаемость и отсутствие токсического воздействия на почву.

**Объекты и методы исследования.** Все полимерные пленки были получены на лабораторном прессе ПРГ-2 (Россия). Толщина пленочных образцов составила 150–170 мкм.

В работе применялись полимеры следующих марок и производителей: ПЭ – полиэтилен низкой плотности (марка 15803-020, ОАО «Нефтехимсэвилен», Россия), ПЛА – полилактид (марка 4032D, NatureWorks, США) и ПГБ – поли-3-гидроксibuтират (Biomer, Германия).

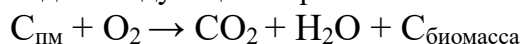
Почвенный тест проводили в течение 180 дней при  $T=25^{\circ}\text{C}$ . Был приобретен грунт «Почвогрунт Кева», рН 5,5–7,0 (ООО Гера, Россия). Влажность почвы во время эксперимента поддерживали на уровне 55–60% и контролировали с помощью влагомера-щупа. В емкости с 200 г почвы помещали 1мас.% полимерной пленки. Пленочные образцы ПЭ, ПЛА и ПГБ квадратной формы размером 1 см<sup>2</sup> в количестве 2 граммов помещали в почву. Затем в эти емкости производили высев семян пшеницы яровой (*Triticum aestivum*) сорта «Дарья» и сравнивали соответствующие показатели с контрольным образцом без присутствия полимерной пленки. Всхожесть семян пшеницы определяли на 7-е сутки. После теста с растениями пшеницы их удаляли из грунта, а эксперимент по взаимному влиянию почва-полимер продолжали до 180 дней.

**Обсуждение результатов.** В ходе эксперимента было установлено, что всхожесть пшеницы сорта «Дарья», определенная согласно ГОСТ 12038-84, оказалась приблизительно одинаковой в контроле и образце с полиэтиленовой пленкой и составила 86–87 и 85–86% соответственно. В образцах с биodeградируемыми полимерами ПГБ и ПЛА величина всхожести равна 88–89%.



Наблюдается некоторое увеличение всхожести, но данный эффект нельзя назвать значимым. Далее на 14-й день вегетации были определены биометрические показатели растений пшеницы, такие как: масса одного растения, длина наземной части и длина корней. Было установлено, что все указанные величины были выше на 15–20% в случае с применением биodeградируемых полимеров ПЛА и ПГБ.

Повышение значений биометрических показателей может быть объяснено структурой и свойствами ПЛА и ПГБ. Такие полимеры подвергаются биоразрушению в почве. Под действием влаги и микроорганизмов почвы протекает ферментативный гидролиз макромолекул полимера, а вещества, образующие в процессе жизнедеятельности микроорганизмов служат питательной средой для растений. Например, известен процесс аэробной деградации. Аэробная биodeградация – это превращение полимерного материала в двуокись углерода, воду и биомассу с потреблением атмосферного кислорода. Схема процесса выглядит следующим образом:



Также существует процесс анаэробной деградации, в этом случае в качестве продукта образуется метан.

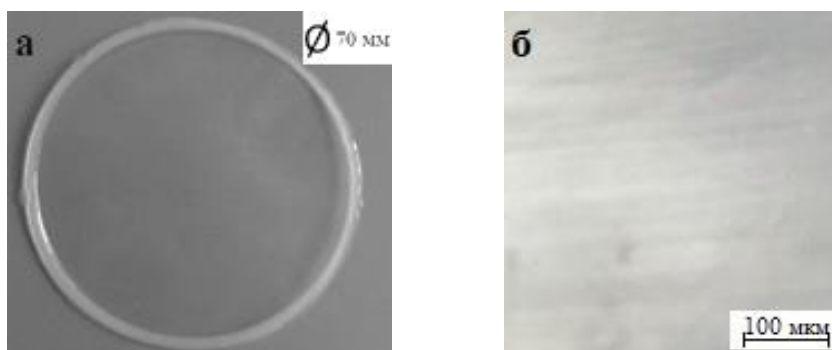


Рисунок 2. Внешний вид пленочных образцов исходного полиэтилена (а) и полилактида (б) после почвенного теста.

После извлечения растений из почвы эксперимент по деградации полимеров в почве был продолжен. После 180 дней пленочные образцы ПЭ, ПЛА и ПГБ были извлечены из емкости с почвой, отмыты и исследованы. Полиэтилен не потерял своей прозрачности и выглядел, как исходный образец ПЭ (рис. 2а).

Образцы ПГБ и ПЛА (рис. 2б) помутнели и стали хрупкими, что подтверждает протекания процессов деструкции в матрице полимеров. Наблюдалась значительная потеря массы у образца ПГБ. Величина рН почвы в случае эксперимента с полимерами не изменилась и составила 6,3.

Проведенный эксперимент показывает, что наличие полимерных пленок в почве в количестве 1 мас.% не оказывает негативного влияния на почву. Наоборот, при использовании полилактида и поли-3-гидроксibuтирата, получаемых из возобновляемого растительного сырья, наблюдается некоторый стимулирующий эффект, который требует дальнейшего изучения.

Что касается полиэтилена, то исследователями определено, что ПЭ оказывает действие на почвенную фауну. Как известно, дождевые черви – одни из самых полезных обитателей почвы. В работе [6] установлено, что при добавлении в подстилку 7% полиэтилена (размер частиц менее 150 мкм) увеличивалась роющая активность дождевых червей *L. terrestris*. Также, у дождевых червей, подвергшихся воздействию высоких концентраций полиэтилена, обнаружены маркеры оксидативного стресса [7].

В общем случае в результате загрязнения микропластиком для почв отмечено изменение физических свойств: общей плотности, влагоудерживающей способности, текстуры. Изменения физических свойств почвы приводят к изменениям микробной активности и последующим модификациям функциональных показателей, в том числе продуктивности.

**Заключение и выводы.** Исходя из полученных результатов, можно полагать, что применение биоразлагаемых пластиков и частичная замена ими полиэтилена будет иметь положительный эффект.

Полимерные композиционные материалы на основе биodeградируемых полиэфиrow можно рассматривать как перспективные и эффективные материалы для мульчирования или защиты растений. Известно, что определенные полимеры способны разрушаться под действием факторов окружающей среды. Влияние воды, температуры, ультрафиолетового излучения, микроорганизмов почвы приводит к разрыву связей основной цепи полимера и деградации. Именно такие композиционные материалы с прогнозируемым сроком эксплуатации, подвергаемые атмосферному и биологическому старению, перспективны для применения в агросекторе. Однако следует детально изучить экотоксичность изучаемых пластиков при различном содержании в почве.

### Литература

1. Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Варьян И.А. Полимерные экоматериалы сельскохозяйственного назначения с добавлением натурального каучука // Вестник аграрной науки. 2022. №3. С. 51–58.
2. Steinmetz Z. et al. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? // Science of the Total Environment. 2016. V. 550. P. 690–705.
3. Kurtycz P., Karwowska E., Ciach T., Olszyna A., Kunicki A. Biodegradable polylactide (PLA) fiber mats containing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ag nanopowder prepared by electrospinning technique – Antibacterial properties // Fibers and Polymers. 2013. V.14. P.1248–1254.
4. Тертышная Ю.В., Скороходова А.Н. Полимерные субстраты для высева семян сельскохозяйственных культур // Вестник аграрной науки. 2022. №1. С. 32–37.
5. Olewnik-Kruszkowska E. Influence of the type of buffer solution on thermal and structural properties of polylactide-based composites // Polym. Degrad. Stab. 2016. V. 129. P. 87–95.
6. Huerta Lwanga E., Gertsen H., Gooren H. et al. Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for Lumbricus terrestris (Oligochaeta, Lumbricidae) // Environ. Sci. Technol. 2016. V. 50. № 5. P. 2685–269.
7. Rodriguez-Seijo A., da Costa J.P., Rocha-Santos T. et al. Oxidative stress, energy metabolism and molecular responses of earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to lowdensity polyethylene microplastics // Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. V. 25. № 33. P. 33599–33610.

### SOIL PRODUCTIVITY UNDER CONDITIONS OF ACTIVE APPLICATION OF POLYMERIC AGROMATERIALS

Yu.V. Tertyshnaya<sup>1,2</sup>, A.A. Popov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Emanuel Institute of biochemical physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, terj@rambler.ru

<sup>2</sup>Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, popov@shy.chph.ras.ru

*Summary.* The use of polymeric materials in the agricultural sector is increasing every year. New film and fibrous materials based on polyethylene and various polyesters are produced. The main problem of using mulching and covering synthetic films is waste disposal and soil pollution. A large amount of plastic waste can affect the biochemical composition, fauna, and microorganisms of the soil. Soil-physical properties change, soil productivity decreases.

*Keywords:* polymeric materials, mulching films, soil productivity, biodegradation, soil ecology.

УДК 631.41

## ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ СУБАЛЬПИЙСКОГО ПОЯСА

М.А. Чепурнова, М.С. Кадулин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва,  
chemaryia@gmail.com

**Аннотация.** В работе исследуется связь индексов функционального разнообразия и почвенных свойств на примере растительных сообществ субальпийского пояса и оценивается влияние локальных почвенно-климатических факторов на функционирование сообщества. Характеризуются растительные сообщества с точки зрения их продуктивности, конкуренции, влияния на них абиотических факторов.

**Ключевые слова:** функциональные признаки, функциональное разнообразие, горные почвы, субальпийский пояс, растительные сообщества, конкуренция, продуктивность.

Высокогорные экосистемы, наряду с экосистемами северных широт, относятся к районам с наиболее выраженными климатическими изменениями. Используя индексы функционального разнообразия, можно дать численную характеристику растительного сообщества по различным экологическим показателям: конкуренции, продуктивности, разнообразию экологических стратегий, адаптации к внешним условиям, в том числе в контексте изменения климата.

В отличие от классического геохимического подхода, изучающего связь между содержанием химических элементов в растении и в почве, индексы функционального разнообразия не зависят от абсолютных значений величин по содержанию элементов в растениях, а основаны на их вариации внутри сообщества. Таким образом, индексы функционального разнообразия позволяют оценить влияние локальных почвенно-климатических факторов на функционирование сообщества.

Связь между индексами функционального разнообразия и почвенными свойствами малоисследована. Эта связь не всегда линейна, а её трактовка зачастую зависит от конкретных условий. В целом известно, что в неблагоприятных и неоднородных условиях взаимосвязь между разнообразием и функционированием экосистем выражена сильнее [1]. Причем, почвенные свойства в наибольшей степени влияют на функциональное разнообразие видов-доминантов [2].

В ходе работы проанализированы 5 растительных сообществ субальпийского пояса Северного Кавказа: субальпийское болото, рододендронник, субальпийский вейниковый луг, пестроостровый луг, высокотравный луг; а также почвы, на которых они развиваются (таблица 1). Почвенные образцы отбирались на территории Тебердинского национального парка.

В растительных образцах растений-доминантов, доминирующих по фитомассе, определяли общее содержание С, N и P. В почвенных образцах определяли pH, содержание азота, углерода и фосфора валовое, а также их лабильных форм ( $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$ ,  $P-PO_4^{3-}$ ).

Расчёт наиболее широко используемых индексов функционального разнообразия (функциональной выравненности, функционального богатства и функциональной дивергенции) производился по формулам [3].

Индекс функционального богатства (FR) – размах значений функционального признака внутри фитоценоза [3]. Значения FR, близкие к 1, трактуются как высокое богатство. В некоторых исследованиях индекс функционального богатства трактуется как степень использования ресурсов, которые потенциально доступны сообществу. При низких значениях FR ресурсы не используются, продуктивность сообщества снижается [4], а с повышением FR повышается продуктивность.

Индекс функциональной равномерности (FE) – регулярность распределения значений функциональных признаков растений в пределах сообщества. При низких величинах FE (меньше 0,5) мы наблюдаем широкий диапазон значения признака у нескольких групп видов. И, напротив, при значении FE близком к 1 распределение функциональных признаков равномерно. FE можно трактовать как давление абиотического отбора на развитие доминирующего типа адаптации растений к факторам внешней среды.

Функциональная дивергенция (FD) описывает неравенство в распределении признаков в сообществе. FD используется для определения степени расхождения видов по ресурсам, что влияет на степень их конкуренции. Высокие значения FD (выше 0,5) характерны для сообществ с высокой степенью дифференциации экологических ниш и низкой конкуренцией за ресурсы [4].

Таблица 1. Характеристика ботанического состава растительности и почв субальпийского пояса

Сообщество	Растения-доминанты	Почвы
Субальпийское болото мезотрофное (СБМ)	<i>Carex nigra</i> , <i>Nardus stricta</i> , <i>Cirsium simplex</i> , <i>Primula auriculata</i> , <i>Blysmus compressus</i> , <i>Swertia iberica</i>	Торфяная остаточно-эуτροφная, торфяно-литозём (КиДПР 2004), Торфяная болотная верховая (КиДП1977), Fibric Leptic Histosols (WRB)
Субальпийское болото эуτροφное (СБЭ)		Эутрофно перегнойно-торфяная, торфяно-литозём (КиДПР 2004), Торфяная болотная низинная (КиДП 1977), Hemic Leptic Histosols (WRB)
Субальпийский вейниковый луг (СЛ)	<i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Festuca varia</i> , <i>Hedysarum caucasicum</i> , <i>Pulsatilla aurea</i> , <i>Poa longifolia</i>	Горно-луговые (КиДП 1977), Перегнойно-темногумусовые (КиДПР 2004), Umbric Leptosol (WRB)
Высокотравный луг (ВЛ)	<i>Angelica tatiana</i> , <i>Milium effusum</i> , <i>Ligusticum alatum</i> , <i>Cephalaria gigantea</i> , <i>Rumex alpinus</i> , <i>Heracleum asper</i>	
Пестро-костровый луг (ПКЛ)	<i>Carex humilis</i> , <i>Bromus variegatus</i> , <i>Plantago atrata</i> , <i>Scabiosa caucasica</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Festuca ovina</i>	
Рододендронник (РОД)	<i>Rhododendron caucasicum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Hedysarum caucasicum</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	

При анализе полученных результатов, можно говорить о наличии корреляции между продуктивностью (фитомассой) сообщества и индексом функционального богатства по содержанию углерода в листьях растений ( $R^2=0,67$ ). Мы делаем такой вывод на основании того, что в аккумулятивных позициях ландшафта происходит развитие высокопродуктивных растительных сообществ за счёт накопления мелкозема и элементов минерального питания. Также накопление мелкозема связано с уменьшением неоднородности почвенного покрова. Можно предположить, что в условиях горного почвообразования, чем выше неоднородность, тем меньше продуктивность, так как неоднородные участки, такие как под рододендронниками, связаны с повышенной эрозией и каменистостью.

Высокие значения функционального богатства означают большой размах внутри сообщества по значению признака. По литературным данным, растения разных экологических стратегий по Грайму значимо различаются по содержанию углерода [5]. Таким образом, большой размах по содержанию углерода в листьях может свидетельствовать о развитии разнообразных экологических стратегий среди доминантов. Наибольшие значения функционального богатства (FR) по содержанию углерода в листьях растений характерно для сообществ субальпийских болот. Вероятно, при совместном влиянии таких факторов как гидроморфизм, высокая обогащённость подвижными формами элементов минерального питания ( $N_{\text{общ-экстр}}$ ,  $N_{\text{орг-экстр}}$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $P-PO_4^{3-}$ ), а также мощном снежном покрове ( $>1m$ )



создаются условия для развития наиболее разнообразных экологических стратегий среди растений-доминантов. Также заметно, что индекс функционального богатства по углероду положительно коррелирует с содержанием общего и экстрагируемого углерода в почвах ( $R^2=0,32$ ,  $p=0,01$  и  $R^2=0,29$ ,  $p=0,018$  соответственно), а также с органической экстрагируемой и аммонийной формой азота ( $R^2=0,22$ ,  $p=0,043$  и  $R^2=0,28$ ,  $p=0,019$  соответственно). Торф субальпийских болот наследует химические свойства растений, претерпевая незначительные изменения в силу низкой степени минерализации растительных остатков, следовательно, можно ожидать наличие высокой корреляции между химическим составом листьев растений и почвенными свойствами. В то же время, если рассматривать только выборку для сообществ автоморфных ландшафтов, в которых органическое вещество трансформируется в почве в более значительной степени, эта корреляция практически не выражена.

Оценивая с помощью индекса функциональной дивергенции конкуренцию среди растений-доминантов, можно заметить, что за азот наивысшая конкуренция характерна для продуктивных сообществ вроде высокотравного луга, которые развиваются на почвах, богатых элементами минерального питания. Если рассмотреть соотношение минерального доступного азота (суммарно нитратной и аммонийной формы) и запасы фитомассы ( $\text{г/м}^2$ ), то можно рассчитать, сколько приходится потенциально доступного азота на 1 грамм биомассы растений. Для субальпийского луга это отношение равно 0,2, для пестрострецового – 0,1, для высокотравного – 0,07. Таким образом, высокотравный луг, среди луговых сообществ, является наименее обеспеченным азотом. Обеспеченность азотом коррелирует с конкуренцией за азот (FD N): чем выше обеспеченность, тем ниже конкуренция ( $R^2=0,7$ ). В целом, для растений-доминантов в высокотравном луге значение индекса функциональной дивергенции по P максимальная (конкуренция меньше), а по N – минимальная (высокая конкуренция). Это может свидетельствовать о том, что в условиях богатства фосфора конкуренция среди доминантов наибольшая за азот, который становится лимитирующим фактором. Причём, при повышении общего содержания P в почве ( $R^2=0,44$ ,  $p=0,002$ ) снижается конкуренция за фосфор в растительных сообществах субальпийского пояса.

При соотношении индексов FD по содержанию фосфора и азота в листьях растений, можно предположить, что растения-доминанты субальпийского пояса Тебердинского национального парка в большей степени конкурируют за P в почве, чем за N.

С точки зрения индекса функциональной выравненности в сообществах субальпийского пояса выравненность по содержанию CNP в листьях высокая. Это позволяет говорить о том, что в целом влияние абиотических факторов (таких как высота снежного покрова и близость залегания грунтовых вод) на функционирование сообществ низкое.

#### Литература

1. Zhang M., Li G., Wang Y., Pan D., Sun J., Wang L. Land use intensification alters the relative contributions of plant functional diversity and soil properties on grassland productivity // *Oecologia*. 2023. V. 201. № 1. P. 119–127.
2. de Bello F., Lavorel S., Lavergne S., Albert C.H., Boulangeat I., Mazel F., Thuiller W. Hierarchical effects of environmental filters on the functional structure of plant communities: a case study in the French Alps // *Ecography*. 2013. V. 36. №3. P. 393–402.
3. Дудова К.В., Атабаллыев Г.Г., Ахметжанова А.А., Гулов Д.М., Дудов С.В., Елумеева Т.Г., Кипкеев А.М., Логвиненко О.А., Семенова Р.Б., Смирнов В.Э., Текеев Д.К., Салпагаров М.С., Онипченко В.Г. Опыт изучения функционального разнообразия альпийских сообществ на примере анализа высоты растений // *Журнал общей биологии*. 2019. Т. 80. № 6. С. 439–450.
4. Рогова Т.В., Сауткин И.С., Шайхутдинова Г.А. Проверка гипотез зависимости продуктивности растительных сообществ от видового и функционального разнообразия // *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*. 2022. Т. 164. № 1. С. 76–93.
5. Лидер Е. Н., Казанцева Е.С., Елумеева Т.Г., Онипченко В.Г. Эколого-морфологические признаки растений альпийских болот Тебердинского заповедника // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2016. Т. 121. № 3. С. 51–59.

## INFLUENCE OF SOIL PROPERTIES ON THE FUNCTIONAL DIVERSITY OF PLANT COMMUNITIES IN THE SUBALPINE BELT

M.A. Chepurnova, M.S. Kadulin

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, [chemarya@gmail.com](mailto:chemarya@gmail.com)

*Summary. The paper investigates the relationship between the indices of functional diversity and soil properties using the example of plant communities of the subalpine belt and evaluates the influence of local soil properties and climatic factors on the functioning of the community. Plant communities are characterized in terms of their productivity, competition, and the influence of abiotic factors on them.*

*Keywords: functional traits, functional diversity, mountain soils, subalpine belt, plant communities, competition, productivity.*

## СЕКЦИЯ 8. МИКРОБИОМОРФНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В СОВРЕМЕННЫХ И ДРЕВНИХ ПОЧВАХ: СОХРАННОСТЬ, ИНФОРМАТИВНОСТЬ, СПЕЦИФИКА

УДК 902/904

### ОСОБЕННОСТИ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПЕЩЕРНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**В.В. Алексейцева**

Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, [v.alekseitseva@g.nsu.ru](mailto:v.alekseitseva@g.nsu.ru)

***Аннотация.** Пещерные археологические памятники зачастую являются объектами палинологического изучения, в то же время оно может быть осложнено особенностями такого типа объектов. Анализ и сопоставление рецентных спектров изнутри и снаружи пещер Чагырская, Страшная, Бийка и Козья позволяют сделать выводы о существовании ряда факторов, которые могут оказывать влияние на результаты спорово-пыльцевого анализа и требуют особо тщательного внимания при интерпретации подобного рода данных.*

***Ключевые слова:** палинология, методика, археологические памятники, пещерные памятники, Алтай.*

Пещерные памятники представляют особый интерес для археологии, являясь накопителями большого объема различной, в том числе палеоэкологической, информации, благодаря чему зачастую становятся объектами палинологических исследований. Тем не менее, пещеры отличаются сложной стратиграфией и особенностями осадконакопления, вследствие чего подобные исследования могут быть осложнены, а их результаты требуют отдельного внимания.

До настоящего момента обсуждаемыми являются результаты палинологического изучения пещеры Шанидар, где в конце XX века было обнаружено высокое содержание цветочной пыльцы, в частности, подсемейства цикориевых, в одном из погребений неандертальца, и было сделано предположение о захоронении этого индивида на подстилке из цветов [1]. На современном этапе Шанидар был изучен повторно, и исследователями было отмечено, что все обнаруженные ранее в погребении семейства присутствуют внутри пещеры и в настоящее время, что может ставить под сомнение наличие у неандертальцев практик намеренного захоронения в цветах [2]. Кроме того, авторы отметили различия в составе палиноспектров в зависимости от места отбора образцов внутри пещеры, что может быть объяснено отличающимися способами переноса пыльцы у разных семейств растений.

Исследователями-палинологами ранее также отмечалось аномальное количество пыльцы цикориевых в пещерных отложениях других объектов. Так, подобная ситуация была зафиксирована относительно Денисовой пещеры [3], пещеры им. Окладникова [4]. На тот момент было высказано предположение о том, что цикориевые, являясь пионерной растительностью, расселяющейся на участках с несформированным почвенным покровом, отражают антропогенное нарушение. Анализ субфоссильных проб с современных объектов, не нарушенных человеком и не заселенных астровыми, позволяет сделать вывод, что другие факторы являются причиной подобного явления, не исключая, однако, и возможной роли человека в переносе пыльцы этого семейства внутрь пещер в ходе своей жизнедеятельности.

Рядом исследователей было отмечено наличие методологических особенностей палинологического изучения пещер [5–7]. На основе исследования современных палиноспектров ряда пещерных памятников выделялись следующие особенности: во-первых, значимую роль может иметь обитаемость пещеры. В связи с этим особо важным представляется отмечать присутствие следов обитания животных и насекомых в изучаемой пещере. Отмечено, что даже наличие бывшего пчелиного гнезда на месте исследования может приводить к искажениям конечного результата [2]. Во-вторых, результат исследования может зависеть от морфологии изучаемой пещеры. Было замечено, что узкие пещеры, имеющие небольшой вход, в меньшей степени накапливают пыльцу, чем пещеры с широким входом, и имеют тенденцию к большему накоплению пыльцы зоофильных видов растений, вероятно, вследствие затруднительного заноса в них пыльцы вместе с ветром [8]. Также отмечались более высокие концентрации пыльцы цикориевых во влажных отложениях, что может

указывать на её большую устойчивость к постдепозиционным процессам, что может вести к чрезмерной представленности этого подсемейства в спектрах [9]. Отмечалось, также, что пещерные спектры могут скорее отражать локальную растительность, чем региональную [10].

Для выявления возможных особенностей палинологического изучения пещер и степени достоверности результатов исследования пещерных объектов нами были проанализированы субфоссильные пробы, отобранные изнутри и снаружи пещер Чагырская, Страшная, Бийка-1, Козья (Алтай) [11].

Сопоставление палиноспектров для точек снаружи и изнутри изучаемых пещер показало, что состав пещерных спектров в целом отражает внешнюю растительность, что позволяет использовать материалы пещерных памятников для палинологических реконструкций. Относительно некоторых таксонов, однако, были выявлены различающиеся тенденции. Пещеры Страшная и Бийка-1 показали преобладание пыльцы цикориевых внутри, в то время как спектрах снаружи пещер этот таксон практически не представлен. Напротив, в спектрах внутри пещер практически отсутствует пыльца древесных, обнаруженная снаружи. Можно заключить, что, судя по всему, для пещерных палиноспектров характерна большая представленность насекомоопыляемых таксонов, к каким относятся цикориевые, лютиковые, розоцветные, и меньшая представленность ветроопыляемых, таких как сосновые, осоковые, подорожниковые. Отмечается, что пыльца энтомофильных растений имеет тенденцию к преобладанию ближе к задней стенке пещеры

Для пещеры Чагырской были отмечены незначительные различия в процентных соотношениях в спектрах, однако в целом спектры были достаточно сходны друг с другом. Это может говорить о том, что, по-видимому, Чагырская пещера является достаточно широкой, чтобы обеспечивать лучшую циркуляцию воздуха, и может лучше отражать внешнюю растительность, чем Страшная и Бийка-1. Можно отметить, что места сбора поверхностных образцов из Чагырской пещеры находились достаточно близко от входа в пещеру, в то время как в Бийке-1 и Страшной образцы отбирались ближе к задней стенке, что также может способствовать более высокой репрезентативности результатов.

В 2023 году для расширения методологической базы нами были изучены субфоссильные пробы, отобранные в полевом сезоне 2021 года на памятнике Козья пещера. Всего для контроля достоверности анализа здесь было отобрано восемь рецентных проб, как изнутри, так и снаружи пещеры. Четыре из них (ID1-4) были отобраны внутри пещеры: по одному у самых дальних точек правой и левой стенок пещеры, один на расстоянии 4 м от входа и один непосредственно около входа в пещеру. Образцы ID5-ID8 относятся к области снаружи пещеры и были отобраны на расстоянии 2, 4, 8 и 15 м от входа в пещеру соответственно.

В рецентных пробах ID1-2, отобранных у дальних стенок пещеры, абсолютно преобладает пыльца подсемейства цикориевых (Cichorioideae), ее содержание в спектрах превышает 50%. В меньшей степени представлены астровые, осоковые, бобовые, розоцветные, полынь, лютиковые. Из древесной растительности представлены береза и ива, хвойные практически отсутствуют в спектрах. Схожий набор таксонов обнаружен в двух других пещерных образцах (ID3-4), однако, цикориевые в них присутствуют в значительно меньших объемах, начинают преобладать полынь и береза (в среднем 10–20%), в более значительных объемах присутствуют розоцветные, лютиковые, бобовые, древесная растительность представлена так же слабо.

В пробах, отобранных в окрестностях пещеры, обнаружено присутствие тех же семейств, что и внутри пещеры (розовые, бобовые, осоковые, астровые, лютиковые, злаки, полынь), однако, значительную роль начинает играть древесная растительность: она является доминирующей во всех четырех пробах (ID5-8). В образцах ID7-8 значимую роль начинают играть мхи. Подсемейство цикориевых практически отсутствует, его содержание составляет один или менее процент.

Сопоставление спектров внутри и снаружи пещеры Козьей позволяет предполагать, что внутри нее происходит активное накопление пыльцы цикориевых, что было замечено ранее также относительно ряда других пещер и не отражает реальную ситуацию, в то время как древесная растительность, в частности, хвойная, судя по всему, в пещерных спектрах оказывается недостаточно представленной.



Для сравнения проб изнутри и снаружи пещеры была осуществлена иерархическая кластеризация данных. Кластерный анализ позволяет обнаружить сходство между данными путем измерения дистанций между точками данных и объединения однородных данных в группы или кластеры. Кластеризация была осуществлена методом одиночной связи с помощью статистической программы PAleontological STatistics, для измерения расстояния между точками использовалась евклидова метрика. Согласно результатам статистического анализа, все образцы можно поделить на три группы: ID1-2 – из зоны около задней стенки пещеры; ID3-4 – внутри пещеры ближе к выходу; ID5-8 – снаружи пещеры. При этом пробы под номерами 3 и 4 оказались ближе к пробам, отобраным снаружи пещеры, чем у дальней ее стенки, что указывает на их более высокую репрезентативность. При разделении данных на два кластера методом k-средних пробы ID1-2 были определены в один кластер, пробы ID3-8 – во второй, что дополнительно подтверждает схожесть состава проб 3-4 в большей мере с окружающей растительностью, чем со спектрами у задней стенки пещеры.

Результаты статистического анализа могут подтверждать выявленные тенденции отобранных у дальней стенки пещеры проб избыточно накапливать пыльцу цикориевых и недопредставлять древесную растительность. Предположительно, причиной этого могут быть особенности переноса пыльцы у различных семейств растений: растения подсемейства цикориевые являются насекомоопыляемыми, их пыльца может накапливаться в пещере в больших количествах благодаря деятельности насекомых; древесная растительность ветроопыляема, что может затруднять проникновение древесной пыльцы глубоко в пещеру.

В целом, результаты анализов рецентных спектров показали, что пещерные объекты могут достаточно достоверно отражать внешнюю растительность. В то же время можно выделить ряд факторов, которые во избежание искажения результатов необходимо учитывать при интерпретации пещерных палиноспектров:

1. Параметры и количество входов в пещеру и морфология пещеры;
2. Расстояние от места отбора образца до входа в пещеру;
3. Особенности распространения пыльцы различных семейств;
4. Постдепозиционные процессы, по-разному влияющие на пыльцу различных семейств;
5. Деятельность животных внутри пещеры, например, гнездование насекомых или обустройство животными логова, либо деятельность человека.

Особенно внимательно стоит относиться к аномально высокому содержанию пыльцы отдельно взятых таксонов, резко отличающемуся от спектров вышележащих или нижележащих слоев. Пыльца подсемейства цикориевых показала тенденцию к чересчур высокому накоплению внутри пещер, что было отмечено ранее и другими исследователями. Решением этой проблемы может стать исключение перепредставленного в силу тех или иных причин таксона из подсчетов и дальнейшая интерпретация спектра без учета его участия в нем.

### Литература

1. Solecki R. S. Shanidar IV, a Neanderthal Flower Burial in Northern Iraq // *Science*. 1975. Vol. 190. P. 880–881.
2. Fiacconi M., Hunt C. O. Pollen taphonomy at Shanidar Cave (Kurdish Iraq): An Initial evaluation // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2015. Vol. 223. P. 87–93.
3. Природная среда и человек в палеолите Горного Алтая / А.П. Деревянко, М.В. Шуньков, А.К. Агаджанян, Г.Ф. Барышников, Е.М. Малаева, В.А. Ульянов, Н.А. Кулик, А.В. Постнов, А.А. Анойкин. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2003. 448 с.
4. Деревянко А. П., Маркин С. В. Мустье Горного Алтая. 1992.
5. Coles G.M., Gilbertson D., Hunt C., Jenkinson R.D.S. Taphonomy and the palynology of cave deposits // *Cave Science – Transactions British Cave Research Association*. 1989. №. 16. P. 83–89.
6. Edwards K., Fyfe R., Hunt C., Schofield J. Moving forwards? Palynology and the human dimension // *Journal of Archaeological Science*. 2015. №. 56. P. 117–132.
7. Hunt C.O., Fiacconi M. Pollen taphonomy of cave sediments: What does the pollen record in caves tell us about external environments and how do we assess its reliability? // *Quaternary International*. 2017. Vol. 485. P. 68–75.

8. Navarro C., Carriyn J. S., Prieto A. R., Munuera M. Modern Cave pollen in an arid environment and its application to describe palaeorecords // *Complutum*. 2002. Vol. 13. P. 7–18.
9. Burney D. A., Burney L. P. Modern pollen deposition in cave sites: experimental results from New York State // *New Phytologist*. 1993. Vol. 124. P. 523–535.
10. Weinstein-Evron M. Biases in archaeological pollen assemblages: Case studies from Israel // *Contributions to Microbiology*. 1994. №. 29. P. 193–205.
11. Алексейцева, В. В., Рудая Н. А. Пещерные археологические памятники как объект палинологических реконструкций // *Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий*. 2021. Т. 27. С. 12–19.

## SPECIFICITY OF PALYNOLOGICAL STUDIES OF CAVE ARCHAEOLOGICAL SITES

V.V. Alekseitseva

Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, v.alekseitseva@g.nsu.ru

*Summary.* Cave archaeological sites often become the objects of palynological studies, at the same time it can be complicated by the features of this type of objects. Analysis and comparison of recent spectra from inside and outside Chagyrskaya, Strashnaya, Biyka, and Kozya caves allow to conclude that there are a number of factors that can affect the results of spore-pollen analysis and require special attention when interpreting this kind of data.

*Keywords:* palynology, methodology, archaeological sites, cave sites, Altai.

УДК 631.42

## ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕВНИХ АГРОЦЕНОЗОВ НА ОСНОВЕ ФИТОЛИТНОГО АНАЛИЗА

А.А. Гольева

Институт географии РАН, Москва, golyevaaa@yandex.ru

*Аннотация.* Целью настоящего исследования является определение диагностических форм фитолитов культурных злаков для определения древнепахотных земель. Исследовали стебли, листья и шелуху зерен пшеницы, ржи, овса, проса и ячменя. Проводился сравнительный анализ с морфотипами фитолитов из дикорастущих злаков луговых сообществ умеренного пояса. Определено, что даже единичный фитолит, надежно принадлежащий культурному злаку (*ELONGATE DENDRITIC* и/или *CROSS*) достаточен для уверенного вывода о выращивании или использовании этих растений в прошлом.

*Ключевые слова:* древние пашни, специфические морфотипы фитолитов, неспецифические морфотипы, диагностика агрогенеза.

**Введение.** На основании исторических документов и археологических артефактов определено, что люди распахивали почвы в умеренной зоне не менее двух тысяч лет [1–5]. Однако очень часто мы не можем обнаружить никаких следов древней пашни, так как после 200–250-летней залежи исчезают практически все морфологические и химические свойства [6]. Плохая морфологическая сохранность признаков бывшей распашки — основная проблема изучения древних агроценозов. С течением времени визуально диагностировать раннюю распашку становится невозможно, так как древний пахотный слой полностью трансформируется: исчезают ровная нижняя граница пахотного горизонта и основные химические характеристики, в том числе реакция почвенного раствора, распределение органического вещества, содержание и распределение различных форм железа [7].

Фитолиты являются прямым свидетельством возделывания сельскохозяйственных культур, поскольку имеют высокую степень сохранности в почвах, оригинальную морфологию и значительно более локальны, чем пыльцевые зерна [8]. Поэтому их можно использовать в качестве диагностов древних пахотных почв. В то же время есть весьма проблемные вопросы, которые кратко изложены ниже и будут рассмотрены в данной работе.

Растения семейства злаковых образуют, с одной стороны, огромное количество фитолитов, повторяющихся в незначительных вариантах у самых разных растений, а с другой стороны, очень мало абсолютно уникальных форм, характерных для одного или небольшого числа

злаков. И это обилие разнообразных форм может привести к ошибочным выводам начинающих исследователей. Например, есть работы [9], где любую форму фитолитов из класса паникоидов интерпретируют как свидетельство произрастания проса в какой-то исторический период на юге Эстонии. При этом имеется большое количество статей, описывающих сходные формы фитолитов из природных почв всей Евразии [10–16].

Идентификация культурных злаков в фитолитных анализах для геоархеологических реконструкций — сложный и неоднозначный вопрос. Географические положения, где были окультурены злаки, и очень тонкие детали морфологии, позволяющие отличить их от дикорастущих трав, всесторонне представлены в широко известной статье о фитолитах одомашненных трав мира [17] и обширной библиографической литературе в этой статье. Однако отсутствуют четкие диагностические критерии фитолитов злаков из погребенных почв умеренного пояса, где ни одно из растений не было окультурено. Поэтому очень важно знать, по каким морфологическим типам фитолитов можно делать выводы о выращивании злаков в прошлом и, по возможности, о каких видах.

Целью работы является определение диагностических форм фитолитов основных культурных злаков.

**Объекты исследования.** Были рассмотрены стебли, листья, шелуха зерен и сами зерна у трех видов пшеницы (*Triticum spelta*, *Triticum dicocum* и *Triticum aestivum*), ржи (*Secale cereale*), ячменя (*Avena sativa*), проса (*Panicum miliaceum*) и овса (*Hordeum vulgare*), выращиваемых в лесной зоне умеренного климата, начиная с раннего железного века [18–20]. А для уверенности в том, что встреченные формы типичны исключительно для культурных растений, рассмотрены фитолиты обычных луговых злаков, растущих в тех же природно-климатических условиях.

Все культурные растения отобраны из гербария кафедры растениеводства факультета почвоведения МГУ. Фитолитные спектры дикорастущих злаков указаны согласно собственной базе данных и из литературных источников [14, 16].

**Методы исследования.** Промытые и высушенные растения и их части озолялись в муфельной печи при температуре 400–450°C. После остывания бюксы с золой обрабатывались перекисью водорода и 10%-ным раствором HCl, промывались дистиллированной водой. Сухие препараты наклеивались на столики для просмотра под электронным сканирующим микроскопом JEOL 6610LV. Описание морфотипов фитолитов приведено согласно International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0 [21].

**Результаты.** Полученные результаты представлены в таблице сравнительных морфотипов культурных и дикорастущих злаков (табл. 1), а также серией фотографий (рис. 1, 2). Таблица содержит столбцы морфотипов, которые встречаются во всех растениях исследуемой природной зоны или характерны только для культурных злаков.

Таблица 1. Сравнительное содержание морфотипов фитолитов в культурных и дикорастущих злаках

Морфотип	Дикорастущие злаки	Культурные злаки
ACUTE VULBOSUS (ACU_BUL)	+	+
ELONGATE SINUATE (ELO_SIN), POLYLOBATE (POL),	+	+
BILOBATE (BIL)	+	+
RONDEL (RON)	+	+
ELONGATE DENDRITIC (ELO_DEN)	-	+
ELONGATE DIBBATE (ELO_DIB)	-	+
CROSS (CRO)	-	+

Хорошо видно, что все полученные результаты можно разделить на две неравные группы. Первую группу составляют такие формы фитолитов, которые присутствуют во всех исследованных образцах. То есть использовать эти формы в качестве диагностов культурных злаков нельзя.

Во вторую входит небольшое количество морфотипов, которые можно уверенно использовать в качестве диагностов культурных злаков.

В тоже время, среди этих специфических форм есть такие, которые присутствуют во многих культурных растениях – это дендритные формы. Они есть в колосе овса, ячменя, ржи, всех видов пшеницы (табл. 2). А, например, у проса подобные формы не встречены.

Есть морфотипы, которые встречены лишь в нескольких культурных злаках, то есть обнаружение данной формы в образце существенно снижает список злаков, выращиваемых в прошлом в конкретном регионе. Это вытянутые палочки с плоскими выступами на поверхности (ELONGATE DIBBATE). Они встречены в листьях и колосе ячменя, листьях овса и колосе полбы.

А, например, для проса выявлена особая – крестовидная форма – которой нет в других рассмотренных растениях. Присутствие данной формы у проса описывалось и ранее [22]. Мы лишь хотим отметить, что эта форма не доминирует в растении, она образуется, можно сказать, как исключение среди обычных двулопастных форм. То есть общее количество продуцируемых растением диагностических форм невелико, следовательно, даже единичное их присутствие в образце является убедительным доказательством выращивания проса в прошлом.

Таблица 2. Общие и специфические морфотипы фитоцитов культурных злаков

Растение	Лист	Стебель	Шелуха зерна
<i>Triticum spelta</i>	RON, POL, ELO_SIN, ACU_BUL	ELO	RON, ACU_BUL, <b>ELO_DEN*</b>
<i>Triticum dicoccum</i>	RON, POL, ELO_SIN, ACU_BUL	RON	RON, ACU_BUL, <b>ELO_DEN</b> <b>ELO-DIB</b>
<i>Triticum aestivum</i>	RON, POL,ELO_SIN, ACU_BUL	RON	RON, ACU_BUL, <b>ELO_DEN</b>
<i>Secale cereale</i>	RON, BIL, POL, ELO_SIN	RON, POL, ELO_SIN, ELO_ENT	ACU_BUL, <b>ELO_DEN</b>
<i>Panicum miliaceum</i>	BIL, ACU_BUL, <b>CRO, ELO_SIN</b>	<b>CRO, RON, BIL</b>	ACU_BUL, <b>CRO, BIL</b>
<i>Hordeum vulgare</i>	RON, ACU_BUL, ELO-SIN, <b>ELO_DIB</b>	RON, ACU_BUL	ACU_BUL, <b>ELO_DEN, ELO_DIB</b>
<i>Avena sativa</i>	RON, POL, ELO_SIN, ELO_ENT, <b>ELO_DIB,</b> ACU_BUL	RON	RON, POL, <b>ELO_DEN,</b> ELO_SIN

Примечание. \*Специфические диагностические формы фитоцитов выделены жирным.

Следует особо отметить, что полученные результаты актуальны только при работе на археологических памятниках лесного, лесостепного пояса умеренного климата. В другом климате эти же формы могут являться диагностами других культурных злаков или вообще встречаться у большинства диких видов. Например, крестовидная форма (CROSS), определенная нами как диагност проса, в тропическом поясе используется в качестве диагноста кукурузы [23].

**Заключение.** Исследования показали, что если при работе с археологическими или почвенными образцами в пределах умеренного климатического пояса, встречена хотя бы одна форма, надежно характеризующая то или иное культурное растение (дендритная, крестовидная), вывод о выращивании или хозяйственном использовании культурных растений можно делать достаточно уверенно. Но если такие формы не встречены, есть только общие формы, то делать какой-либо вывод о наборе выращиваемых культурных злаков нельзя.



Да, возможно, культурные растения использовались, и диагностическая форма просто не встретились, но вероятность ошибки, на наш взгляд, превышает любые допущения.

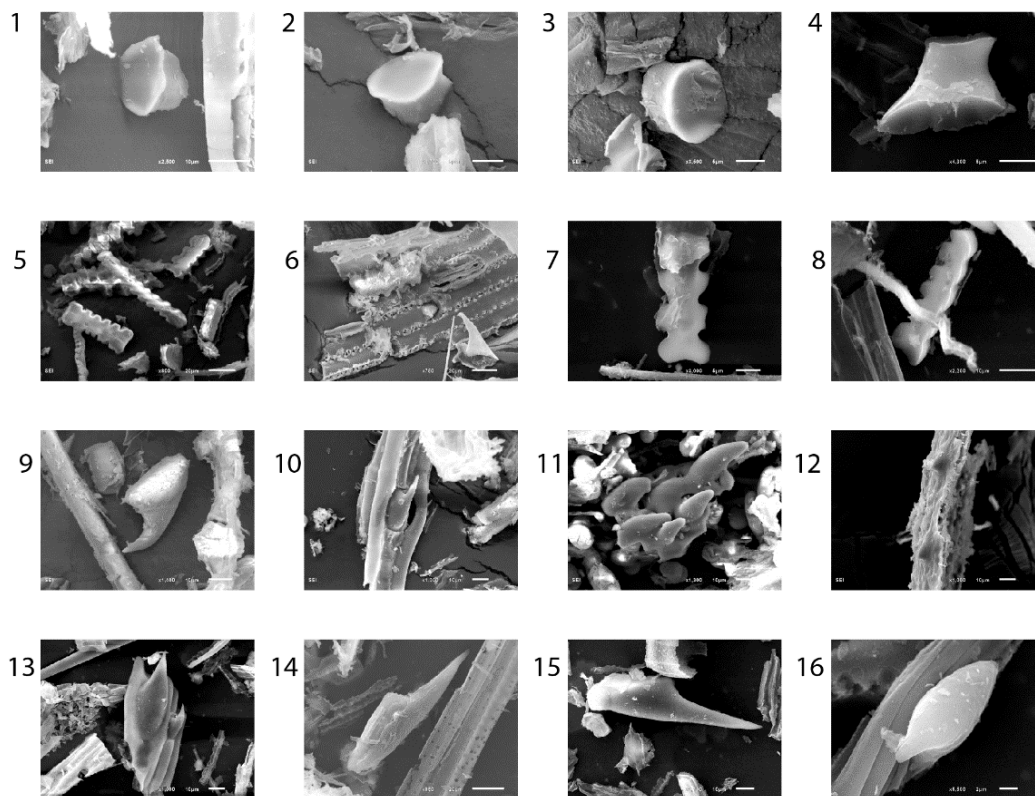


Рисунок 1. Общие формы фитолигов для культурных и дикорастущих злаков: 1-4 – RONDEL: 1 – *Avena sativa*; 2 – *Hordeum vulgare*; 3 – *Triticum dicoccum*; 4 – *Calamagrostis arundinacea*. 5–8 – POLYLOBATE: 5 – *Avena sativa*; 6 – *Secale cereal*; 7 – *Brachypodium*; 8 – *Agrostis gigantea*. 9–16 – ACUTE BULBOSUS: 9 – *Avena sativa*; 10 – *Hordeum vulgare*; 11 – *Panicum miliaceum*; 12 – *Triticum spelta*; 13 – *Drachypodium*; 14 – *Calamagrostis canescens*; 15 – *Festuca pratensis*; 16 – *Poa pratensis*.

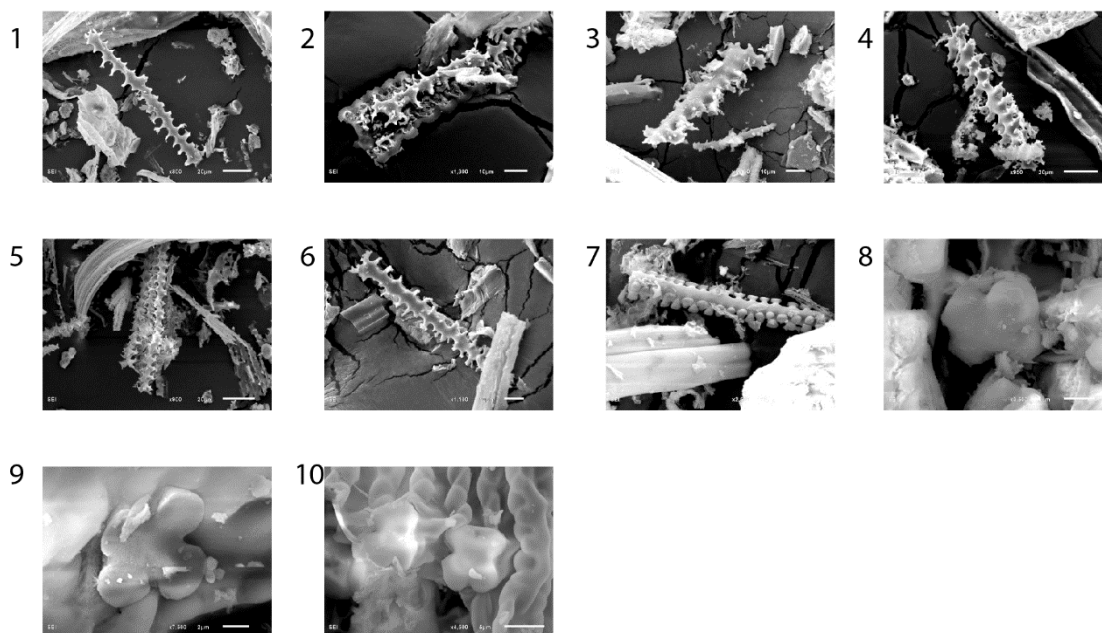


Рисунок 2. Диагностические формы фитолигов 1-6 – ELONGATE DENDRITIC: 1- *Secale cereal*; 2 – *Triticum spelta*; 3 – *Triticum dicoccum*; 4 – *Triticum aestivum*; 5 – *Hordeum vulgare*; 6 – *Avena sativa*; 7 – ELONGATE DIBBATE из *Triticum dicoccum*; 8-10 – CROSS из *Panicum miliaceum*: 8 – стебель; 9 – шелуха зерна; 10 – лист.

## Литература

1. Кренке Н. А., Александровский, А. Л., Лазукин, А. В., Спиридонова, Е. А. Земледельцы и скотоводы бронзового и железного веков на берегах Москвы-реки: новые открытия // Вестник Российского гуманитарного научного фонда. 2011. № 3. С. 147–158.
2. Meijboom, E., Hopman, A., Bijlsma, J. Historical soil. // In: Deben, L., Salet, W., van Thoor, M.-T. (Eds.), Cultural Heritage and the Future of the Historic Inner City of Amsterdam. Aksant, Amsterdam. 2004. pp. 161–172.
3. Mikkelsen, J.H., Langohr, R., Macphail, R.I. Soilscape and land-use evolution related to drift sand movements since the bronze age in Eastern Jutland, Denmark // Geoarchaeology. 2007. 22 (2), 155–179.
4. Certini, G., Scalenghe, R., Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene // The Holocene. 2011. 21 (8), 1269–1274.
5. Engovatova, A., Golyeva, A. Anthropogenic soils in Yaroslavl (Central Russia): history, development, and landscape reconstruction // Quaternary International. 2012. 265, 54–62.
6. Гольева А. А., Сорокина Н. П., Кузнецова И. В. Отражение современных и прошлых агрогенных воздействий в распределении биогенного кремнезема по профилю дерново-подзолистых почв // Материалы конференции «География продуктивности и биогеохимического круговорота наземных ландшафтов. 2010. Т. 100. С. 262–264.
7. Бондарева Ю. А., Свирида Н. М., Гольева А. А. Древние пахотные ландшафты Центральной России: масштабы, диагностические признаки и их устойчивость // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 2. С. 88–94.
8. Vrydaghs, L., Devos, Y., Fechner, K., Degraeve, A., Phytolith analysis of ploughed land thin sections. Contribution to the early development of medieval Brussels (Treurenberg site, Belgium) // In: Madella, M., Zurro, D. (Eds.). Plants, people and places. Recent studies in phytolith analysis. Oxbow books. Oxford 2007. pp. 13–29.
9. Ponomarenko, E., Tomson, P., Ershova, E., Bakumenko, V. A multi-proxy analysis of sandy soils in historical slash-and-burn sites: A case study from southern Estonia. // Quaternary International. 2019. 516, 190–206.
10. Smithson, F. Plant opal in soil // Nature. 1956. 178 (4524), 107–107.
11. Kamanina I. Z. Phytoliths data analysis of soils of different landscape zones // First European Meeting on phytolith research (Madrid, September 23-26 September, 1996)/Pinilla A., Juan-Tresseras J., Machado MJ (eds.). CSIC. Monografia. 1997. Т. 4. С. 23–32.
12. Carnelli, A. L., Theurillat, J. P., Madella, M. Phytolith types and type-frequencies in subalpine–alpine plant species of the European Alps. // Review of palaeobotany and palynology. 2004. 129 (1-2), 39–65.
13. Олонова М. В., Мезина Н. С. Фитолиты некоторых мезофильных видов мятликов (*Poa L.*) секции *Stenopoa* и возможность их использования в систематике // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 1 (13). С. 51–60.
14. Сперанская Н. Ю., Соломонова М. Ю., Силантьева М. М. Трихомы и лопастные фитолиты растений как возможные индикаторы мезофильных сообществ при реконструкции растительности // Приволжский научный вестник. 2013. № 11 (27). С. 40–46.
15. Гаврилов Д. А. Анализ фитолитного состава основных растений степных экосистем Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. № 2 (34). С. 53–68.
16. Лада Н. Ю., Миронычева-Токарева Н. П. Микробиоморфы дерново-солоди и погребённой органо-аккумулятивной квазиглееватой почвы лесостепи Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Т. 6. № 1. С. 42–53.
17. Ball, T., Chandler-Ezell K., Duncan, N., Dickau R., Hart T.C., Iriarte J., Lentfer C., Logan A., Lu H., Madella M., Pearsall D. M., Piperno D., Rosen A. M., Vrydaghs L., Weisskopf A., Zhang J. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world // Journal of Archaeological Science 2016. 68, 32–45.
18. Лебедева Е. Ю. К истории земледелия дьяковской культуры: археоботанические исследования в Настасьино // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. 2013. С. 202–243.

19. Горбаненко С. А., Меркулов А. Н. Свидетельства земледелия с городища скифского времени у с. Пекшево на р. Воронеж //Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2015. №. 9-10 (104). С. 219–224.
20. Краснов Ю. А. Раннее земледелие и животноводство в лесной полосе Восточной Европы. 1971.
21. International Committee for Phytolith Taxonomy (ICPT) Neumann K., Strömberg C., Ball T., Albert R. M., Vrydaghs L., Cummings L. S.. 2019. International code for phytolith nomenclature (ICPN) 2.0. // Annals of Botany. 2019. 124(2), 189–199. [doi.org/10.1093/aob/mcz064](https://doi.org/10.1093/aob/mcz064)
22. Гальцова Т. В., Сперанская Н. Ю. Разнообразие фитолитов *Panicum miliaceum* L. и *P. ruderales* (Kitag.) Chang., произрастающих на территории Алтайского края //Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2013. №. 12. С. 67–69.
23. Pearsall D.M. Phytolith analysis of archeological soils: Evidence for maize cultivation in Formative Ecuador // Science. 1978. 199(4325), pp. 177–178.

**Финансирование.** Исследования выполнены в рамках темы Государственного задания Института географии РАН: АААА-А19-1190221901695 (FMGE-2019-0006).

## POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF IDENTIFYING ANCIENT AGROCOENOSIS ON THE BASIS OF PHYTOLITH ANALYSIS

A.A. Golyeva

Institute of Geography RAS, Moscow, [golyevaaa@yandex.ru](mailto:golyevaaa@yandex.ru)

*Summary. The purpose of this study is to determine the diagnostic forms of phytoliths of cultivated cereals to determine the ancient arable land. Stems, leaves and husks of grains of wheat, rye, oats, millet and barley were studied. A comparative analysis was carried out with morphotypes of phytoliths from wild grasses of meadow communities in the temperate zone. It has been established that even a single phytolith reliably belonging to a cultivated cereal (ELONGATE DENDRITIC and/or CROSS) is sufficient for a confident conclusion about the cultivation or use of these plants in the past.*

*Keywords: Ancient arable lands, specific phytoliths, common forms, indicators of ploughing.*

УДК 631.42

## ФИТОЛИТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ ДРЕВНЕЙ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕМНОЦВЕТНЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ПОЧВ МЕКСИКИ

А.А. Гольева<sup>1</sup>, С.Н.Седов<sup>2</sup>, Э. Соллейро<sup>2</sup>, Х. Диас<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, [golyevaaa@yandex.ru](mailto:golyevaaa@yandex.ru)

<sup>2</sup>Институт Геологии, Национальный Автономный Университет Мексики, Мехико, Мексика.

**Аннотация.** Темноокрашенные глинистые почвы в штате Веракрус (восточная Мексика) связаны с археологическими местонахождениями. В их фитолитных спектрах преобладают морфотипы, свойственные культурным злакам. Значительное содержание фитолитов в подповерхностных горизонтах объясняется антропогенными педотурбациями, в склоновых профилях-делювиальными процессами. Фитолитный анализ подтвердил, что изученные почвы глубоко преобразованы человеком и могут быть аналогами *Терра Прета* – темноцветных антросолей Амазонии.

**Ключевые слова:** тропические почвы, лахары, фитолиты, Мексика, древнее земледелие, антросоли, *Терра Прета*.

**Введение.** Влажные тропические ландшафты восточной и южной Мексики – являются одним из очагов древнейшего развития земледелия, приуроченному к Центральноамериканскому центру происхождения культурных растений [1]. Доместикация растений и развитие агроценозов базировалось на огромном естественном биологическом и почвенном разнообразии этих территорий. Если эволюционные пути одомашнивания различных культурных видов растений в Месоамерике прослежены достаточно подробно, то почвенные аспекты становления древних земледельческих культур изучены ещё недостаточно. В частности, проблемой является диагностика длительного



сельскохозяйственного использования и иного антропогенного воздействия, связанного с доиспанскими сообществами, в различных тропических почвах Мексики.

Весьма специфический вариант формирования почвенных систем реализуется в ландшафтах, в которых молодая вулканическая седиментация накладывается на геологическую основу, образованную карбонатными закарстованными породами. В восточной Мексике такая ситуация складывается там, где Трансмексиканский Вулканический Пояс контактирует с горной системой Восточная Сьерра Мадре, сложенной преимущественно деформированными мезозойскими осадочными породами. В этом случае почвы возвышенных автономных позиций испытывают влияние пеплопадов и содержат значительное количество пирокластического материала со слабой или средней степенью выветренности, залегающего непосредственно на известняках, расположенных сравнительно неглубоко [2]. Иная ситуация складывается на подгорных шлейфах и в выходящих из вулканических массивов речных долинах. Здесь часто почвообразующими породами являются мощные отложения лахаров – вулканических грязевых потоков. В таких условиях формируются мощные красноцветные почвы, включающие переотложенный пирокластический материал (в том числе крупные блоки эффузивных пород), но содержащие значительные количества вторичных продуктов – глинистых минералов группы каолинита и гидроксидов железа. Высокая степень выветренности таких почв объясняется не только трансформацией вулканогенных минералов *in situ* после отложения наноса, но и включением в его состав переотложенного материала ранее существовавших почв, эродированных лахарами [3]. Данные почвы широко вовлекались в сельскохозяйственное использование как в древности, так и в настоящее время.

Трансформация мощных глубоко выветренных тропических почв в результате длительного антропогенного воздействия в прошлом наиболее подробно изучена на примере Терра Прета (Terra Preta) – «черной земли индейцев», обнаруженной в Амазонии [4]. В тропической Мексике подобные почвы распространены не так широко и исследования их преобразования древними доиспанскими культурами пока единичны.

**Объекты и методы исследования.** Данное исследование было проведено в рамках проекта, направленного на анализ почвенного разнообразия тропических карстовых ландшафтов Мексики. Работы проводились в центральной части штата Веракрус (рис. 1), в районе города Кордова, вблизи поселения Амаatlan в местности с абсолютными высотами 600–700 м над уровнем моря. Климат района исследований влажный тропический, со среднегодовой температурой 18°C и осадками около 1800 мм, большая часть из которых выпадает в летние месяцы (муссонный тип климата). Первоначально территория была покрыта влажными вечнозелеными тропическими лесами – сельвой, которая в настоящее время почти полностью замещена сельскохозяйственными угодьями. В последние десятилетия основной возделываемой культурой является сахарный тростник, имеются также небольшие кофейные плантации.

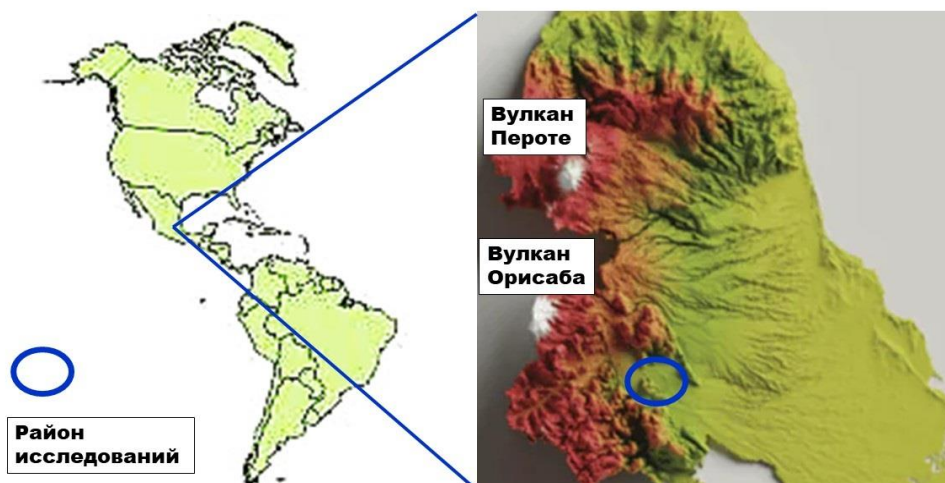


Рисунок 1. Географическое положение района исследования.



Основные исследования происходили в долине реки Хамапа, которая берёт своё начало в вулканических горах. Террасовидные геоформы в этой долине в большинстве своем сложены не аллювием, а отложениями лахар. На них сформированы мощные красноцветные глинистые лессивированные почвы, близкие к ликсисолям, подробно изученные ранее в микроморфологическом и минералогическом плане [3].

В процессе анализа почвенного разнообразия долины наше внимание привлёк ареал почв с мощными темноцветными органоминеральными горизонтами среди красноцветных профилей. Эти почвы были связаны с остатками древних каменных сооружений и с находками фрагментов археологической керамики, что позволило высказать предположение об их древнем антропогенном происхождении. Радиоуглеродная датировка гумуса из нижней части гумусовой толщи ключевого разреза, показавшая возраст около 1600 лет назад – что соответствует т.н. Классическому периоду месоамериканской хронологии – согласуется с данной гипотезой.

В качестве палеоботанического индикатора мы решили использовать характеристики фитолитов из темноцветных профилей. Ранее мы уже применяли фитолитный анализ при исследовании палеопочв археологических местонахождений в тропической Мексике [6], однако использовали его в основном для диагностики естественной эволюции природной среды. В данном случае этот метод использовался для того, чтобы задокументировать антропогенное воздействие на почву. Были выделены и проанализированы опаловые фитолиты из гумусированных горизонтов А и АВ трёх разрезов, расположенных на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга и образующих топоряд: 1) профиль, сформированный на возвышенной террасовидной поверхности вблизи остатков разрушенного древнего сооружения (Профиль 1); 2) профиль в средней части склона (Профиль 2); 3) профиль у подножья склона вблизи русла реки (Профиль 3). Эти почвы принципиально отличаются от окружающих красноцветных почв (рис. 2).

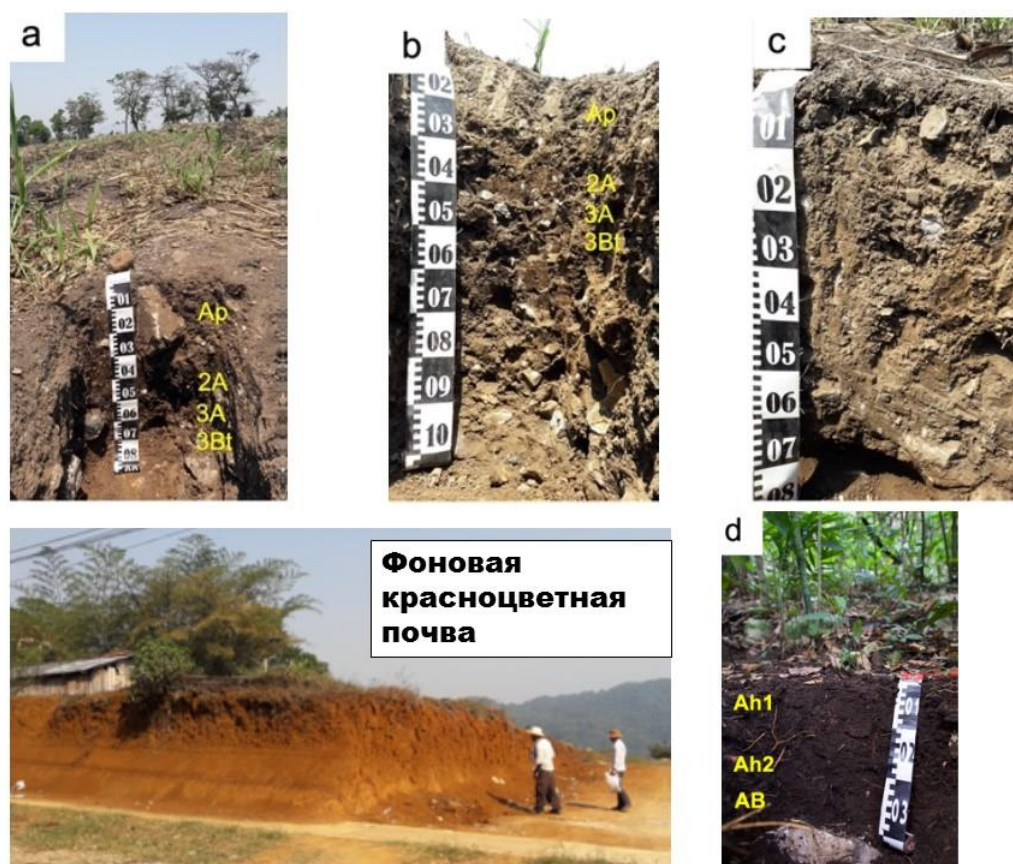


Рисунок 2. Профили исследованных почв: а) Профиль 1, б) Профиль 2, с) Профиль 3, д) Разрез почвы в сельве.

Для сравнения был изучен фитолитный комплекс из гумусового горизонта маломощной естественной рендзины под естественной растительностью - пологом зрелого тропического

леса на крутом горном склоне, спускающемся к долине по другую сторону реки (Рис. 2, d). Анализ проводился по стандартной методике, название морфотипов фитолитов дается согласно международным требованиям (ICPN) 2.0 [6] а их биоценотические характеристики даны согласно [7, 8].

**Результаты** представлены на таблице 1.

Таблица 1. Распределение диагностических групп фитолитов

Глубина, см	Всего	Диагностические группы фитолитов согласно ICPN 2.0 Code*												
		ELO_ENT	BLO_RES BLO_VEL	ACU_BUL_1	ACU_BUL_2 BIL	ELO_SIN	RON_CON RON_TRZ	ELO_DEN	CRO	BUL_FLA	BLO_TAB	SPH_PSI	Обломки	Неизвестные формы
Почва в Сельве														
5–10	100	23	15	4	7	3	4	-	-	4	2	4	31	4
Профиль 1														
0–20	100	25	6	-	8	4	6	1	-	21	10	4	15	-
20–45	100	41	4	9	18	8	-	-	-	4	8	-	-	8
45–60	100	47	-	4	6	2	4	-	-	17	12	4	-	4
Профиль 2														
0/5–10	100	29	9	6	14	8	4	-	2	11	13	2	-	2
10–30	100	38	16	9	9	4	-	-	-	6	12	3	-	3
30–55	100	20	20	10	24	6	-	-	-	-	20	-	-	-
Профиль 3														
0–20	100	32	4	8	22	10	4	-	2	4	4	4	-	6
20–60	100	34	7	18	15	4	7	-	-	4	7	-	4	-
60–90	100	29	14	14	14	-	-	-	-	-	29	-	-	-

Примечание. Биоценотическое значение морфотипов следующее: ELO\_ENT – двудольные и ряд однодольных трав; BLO\_RES и BLO\_VEL – иглы хвойных; ACU\_BUL\_1 – лесные злаки и осоки; ACU\_BUL\_2, BIL, ELO\_SIN – луговые злаки, RON\_CON и RON\_TRZ – степные злаки (сухие открытые ландшафты), ELO\_DEN и CRO – культурные злаки, включая кукурузу; BUL\_FLA – тростник; BLO\_TAB – мхи и папоротники; SPH\_PSI – мхи, а также некоторые листья тропических растений, включая кукурузу.

*Профиль 1.* Максимум фитолитов в самом верхнем образце, что нормально для естественно развитых почв. Но два нижерасположенных образца содержат практически одинаковое количество фитолитов. Это противоречит аккумулятивному тренду распределения частиц в естественных почвах. Вероятно, самый нижний образец генетически не связан с верхней толщей, возможно, он имеет аллювиальный генезис. В пользу данного предположения указывает большая доля фитолитов тростника. Следует отметить, что в самом верхнем горизонте 0–20 см встречен фитолит характерной формы, типичной для культурных злаков, включая кукурузу.

*Профиль 2.* Здесь максимум фитолитов наблюдается в средней части профиля. Основная часть этих частиц в данном горизонте (10–30см) обуглена, то есть фиксируются признаки какого-то пожара. Можно предположить, что пожар способствовал миграции частиц с более высоких элементов рельефа, погребению этого горизонта. Интересно, что состав фитолитных комплексов двух верхних горизонтов более или менее близок по составу и существенно отличается от такового у самого нижнего горизонта. Это может служить основанием для гипотезы, что верхние горизонты формировались в сходных природно-климатических условиях. В самом верхнем горизонте 0/5–10см обнаружена форма специфической крестовидной формы. Эти формы Pearsall [9] выделяет как диагностические для окультуренной кукурузы. Нами данные формы были выявлены в образцах из метелки, образующейся над початком.

*Профиль 3.* Распределение фитолитов здесь сходно с таковым для предыдущего профиля, то есть можно говорить о том, что он формировался за счет постоянного привноса мелкозема и имеет синлитогенный генезис. Здесь, как и в предыдущем разрезе, состав фитолитных комплексов двух верхних горизонтов относительно сходен и существенно отличается от фитолитного комплекса в самом нижнем горизонте. Показательно, что здесь так же в самом верхнем горизонте 0–20 см выявлен морфотип CRO, то есть форма, характеризующая культурную кукурузу.

Кроме того, в обоих случаях нижние горизонты выделяются большей долей фитолитов хвойных при полном отсутствии форм, характерных для тростника. Следовательно, оба нижних горизонта формировались в сходных природно-климатических условиях, отличающихся от более позднего времени.

Таким образом, регулярная встречаемость тех или иных форм фитолитов кукурузы во всех верхних горизонтах изученных разрезов, позволяет сделать вывод об интенсивном агрогенном использовании территории в прошлом под посевами кукурузы

В образце из *Сельвы* наблюдается относительно высокое количество фитолитов хвойных, злаков открытых ландшафтов. Очень много неиндикационных обломков, что часто встречается в лиственных лесах. Присутствие сферических форм фитолитов может быть связано со мхами, но эти же формы в огромном количестве образуются в листьях кукурузы

**Выводы.** Анализ морфотипов фитолитов показал значительное различие между естественной почвой – рендзиной и антропогенно изменёнными тёмноцветными профилями на археологическом памятнике. В первом случае обнаружены фитолиты хвойных, а также формы, типичные для дикорастущих злаков. В профилях топорядка преобразованных почв преобладают формы, характерные для культурных злаков. Важно отметить обилие фитолитов в глубоких подповерхностных гумусированных горизонтах, где они встречаются вместе с микрочастицами обугленных растительных остатков [3]. Мы считаем такое распределение в Профиле 1 (разрез на террасовидной поверхности в пределах археологического местонахождения) результатом антропогенных педотурбаций. В склоновом Профиле 2 глубокое проникновение фитолитов связано, скорее всего, с делювиальным переотложением материала, активизированным вследствие антропогенной нагрузки. В целом распределение и состав фитолитов хорошо согласуются с версией о масштабном антропогенном преобразовании темноцветных почв вблизи Амаatlана древними доиспанскими культурами; эти профили можно считать местными аналогами Терра Прета.

#### Литература

1. Вавилов Н. И., Центры происхождения культурных растений, Л., 1926. 346 с.
2. Ferrand, P.A., Solleiro-Rebolledo, E., Acosta, G., Sedov, S., Morales, P., 2014. Archaic settlement in El Tebernal, Veracruz: First insights into paleoenvironmental conditions and resource exploitation // *Quat. Int.* 342, 45–56.
3. Solleiro-Rebolledo E., García-Ramírez P., Sedov S., Cabadas-Báez H., Rivera-Uria Y., Ibarra-Arzave G., Pi-Puig T. Interaction of geomorphic processes and long-term human impact in the soil evolution: A study case in the tropical area at Veracruz, Mexico // *CATENA*. 2023. Volume 227, 107072.
4. Sombroek, W.G., Amazon Soils: a Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon region // Centre for Agricultural Publications and Documentation. 1966. Wag.
5. Solís-Castillo, B., Golyeva, A., Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E. and López-Rivera, S. Phytoliths, stable carbon isotopes and micromorphology of a buried alluvial soil in Southern Mexico: a polychronous record of environmental change during Middle Holocene // *Quaternary International*. 2015. 365, pp.150–158.
6. International Committee for Phytolith Taxonomy (ICPT) Neumann K., Strömberg C., Ball T., Albert R. M., Vrydaghs L., Cummings L.S. 2019. International code for phytolith nomenclature (ICPN) 2.0. // *Annals of Botany*. 2019. 124(2), 189–199. [doi.org/10.1093/aob/mcz064](https://doi.org/10.1093/aob/mcz064)
7. Golyeva A. Various phytolith forms as bearers of different kinds of ecological information. // In: Madella, M., Zurro, D. (Eds.), *Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolithic Analysis*. Oxbow Books, UK. 2007. pp. 197–203.
8. Sanchez-Perez S., Solleiro-Rebolledo E., Sedov S., McClung de Tapia E., Golyeva A., Prado B., and Ibarra-Morales E. The Black San Pablo Paleosol of the Teotihuacan Valley, Mexico:



Pedogenesis, Fertility, and Use in Ancient Agricultural and Urban Systems // *Geoarchaeology*. 2013. 1–19.

9. Pearsall D.M. Phytolith analysis of archeological soils: Evidence for maize cultivation in Formative Ecuador // *Science*. 1978. 199(4325), pp. 177–178.

#### PHYTOLITH INDICATORS FOR THE ANCIENT ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF THE DARK TROPICAL SOILS IN MEXICO.

A.A. Golyeva<sup>1</sup>, S.N. Sedov<sup>2</sup>, E. Solleiro<sup>2</sup>, J. Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geography RAS, Moscow, golyevaaa@yandex.ru

<sup>2</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, CdMx, Mexico.

*Summary.* Dark clayey soils in the Veracruz state (eastern Mexico) are related to the archaeological sites. Their phytolith assemblages are dominated by the morphotypes typical for cultural Graminea. High content of phytoliths in the subsurface horizons is explained by anthropogenic pedoturbations, in the slope profiles – by colluviation. Phytolith analysis confirmed that the studied soils are deeply transformed by humans and could be analogous to Terra Preta – dark Anthrosols of Amazonia.

*Keywords:* Tropical soils, lahars, phytoliths, Mexico, ancient landuse, Anthrosols, Terra Preta.

УДК 551.89

#### МИКРОБИОМОРФНЫЙ АНАЛИЗ В ИЗУЧЕНИИ ПИОНЕРНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ПРИБАЛТИКИ

О.А. Дружинина<sup>1</sup>, А.А. Гольева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, olga.alex.druzhinina@gmail.com

<sup>2</sup>Институт географии РАН, Москва, golyevaaa@yandex.ru

*Аннотация.* В рамках проекта Российского научного фонда № 22-17-00113 «Критические рубежи и палеоклиматические события позднего плейстоцена и голоцена и их роль в формировании природно-культурных ландшафтов юго-восточной Прибалтики» проведено исследование разреза Куликово (Калининградская область, юго-восточная Прибалтика), вскрывающего отложения одного из позднплейстоценовых палеоводоемов. Впервые для Прибалтики данный тип отложений был исследован методом микробиоморфного анализа. Первый этап изучения разреза показал высокую информативность метода. Получены данные о растительных сообществах, окружающих палеоводоем, среди которых определены луговая и лесная растительность, включая хвойные деревья, а также тростниковые сообщества. Установлена неоднократная смена гидрологических условий на прилегающей территории, выразившаяся в изменении проточности водоема.

*Ключевые слова:* микробиоморфы, фитолиты, позднеледниковье, приледниковый водоем, юго-восточная Прибалтика.

*Актуальность.* Юго-восточная часть Балтийского региона относится к районам, покрытым ледником в период максимума валдайского оледенения. С началом дегляциации в позднем плейстоцене природная среда этой территории претерпела значительные изменения, реконструкция которых представляет собой сложную научную задачу. Отступление последнего Скандинавского материкового ледника стало не только основным фактором формирования рельефа и гидросети суши, но и Балтийского моря как такового. Согласно имеющимся данным, воды тающего ледника собирались перед ним, образуя приледниковые водоемы (подпрудные озера), последующее объединение которых привело к образованию Балтийского ледникового озера (БЛО), а затем и Балтийского моря. Размер и колебания уровня воды приледниковых водоемов сильно зависели от колебаний фронта ледника в Скандинавии, открытия и закрытия связи с океаном, что приводило к сложной динамике всей системы БЛО и более мелких озер на суше. Последледниковое изостатическое поднятие усложняло эволюцию прибрежных ландшафтов, так как, по некоторым оценкам,



земная кора после дегляциации в районе южной части Балтийского моря была на 90 м ниже, чем в настоящее время, и испытала поднятие в относительно короткое время [1].

В 2022 г. в эрозионном береговом уступе Самбийского полуострова Балтийского моря обнаружены отложения одной из неглубоких послеледниковых депрессий, образовавшихся на суше в результате деградации льда (разрез Куликово). Уникальность разреза заключается в том, что большая часть послеледниковых водоемов, существовавших вдоль побережья Балтийского моря, впоследствии была разрушена в ходе трансгрессий и регрессий Балтики, в то время, как отложения обнаруженного водоема предоставляют возможность детального изучения природной среды позднеледниковья юго-восточной Прибалтики [1].

**Объект и методы исследования.** Мощность разреза составляет 192 см. Полученные 5 AMS датировок позволяют отнести отложения к периоду между 14 300 и 12 000 кал.л.н. (средний дриас – аллеред – поздний дриас). Изучение отложений проводится комплексом методов, среди которых литологический (гранулометрия, потери при прокаливании, карбонатность, магнитная восприимчивость), геохронологический, диатомовый, палинологический, альго-зоологический, хирономидный и микробиоморфный (фитолитный) анализы [1]. Последний занимает особое место в изучении разреза, поскольку исследование позднеледниковых отложений методом микробиоморфного анализа проводится впервые не только на территории Калининградской области, но и всей Прибалтики.

В связи с этим поставлены следующие основные задачи микробиоморфного анализа: 1) оценить информативность метода применительно к позднеледниковым отложениям палеоводоемов; 2) получить дополнительные данные о растительности и окружающей среде позднеледниковья.

Анализ проводится в два этапа. На первом этапе было проведено рекогносцировочное исследование образцов (60 шт.) на предмет потенциальной информативности разреза (наличие или отсутствие фитолитов, диатомовых, растительного детрита и т.д.). Для этого применялась методика, включающая обработку образца перекисью водорода ( $H_2O_2$ ) при комнатной температуре для разрушения органо-минеральных соединений и диспергации породы. Затем высушенные образцы просматривались при помощи электронного микроскопа (SEM) JEOL 6610LV (JEOL, Japan). Наиболее типичные и часто встречающиеся частицы фотографировались. Для уточнения химического состава отдельных частиц в 10 образцах был использован INCAx-act microanalyzer (MAN) (Oxford Instruments, GB). На втором этапе запланирована обработка образцов по стандартной методике микробиоморфного анализа (мацерация и разделение осадка тяжелой жидкостью) [2] для более полного и детального изучения всего комплекса микробиоморф, обнаруженных в каждом случае.

**Обсуждение результатов.** Исследования показали, что изученные образцы обогащены органикой и биогенным кремнезёмом в разных его формах. Помимо большого количества целых панцирей диатомовых водорослей и спикул губок, типичного для водных отложений, в образцах обнаружен растительный детрит и фитолиты различных экологических групп растений [3]. Среди диагностируемых растительных сообществ – лесные и луговые злаки, тростник, хвойные деревья.

Чередование доминирования диатомовых водорослей и спикул губок позволяет говорить о сменах водного режима и степени проточности в процессе формирования отложений. Отсутствие или единичное количество гидрофильных микробиоморф в самой нижней части изученной колонки позволяет предположить, что на начальных стадиях водоем представлял собой осушенный участок, возможно, с развитым растительным покровом.

Исследование выявило также присутствие большого количества сферул, имеющих оболочку, состоящую преимущественно из железа. Одним из возможных объяснений может быть то, что сферулы сформированы в процессе жизнедеятельности железо-бактерий.

**Заключение.** Проведенное исследование показало высокую информативность метода микробиоморфного анализа применительно к позднеледниковым отложениям палеоводоемов. Уже на первом этапе изучения седиментационной толщи получены данные о растительных сообществах, окружающих палеоводоем; установлена неоднократная смена гидрологических условий на прилегающей территории, выразившаяся в изменении проточности водоема. Дальнейшие исследования позволят детализировать и уточнить полученные предварительные результаты.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-00113 «Критические рубежи и палеоклиматические события позднего плейстоцена и голоцена и их роль в формировании природно-культурных ландшафтов юго-восточной Прибалтики».

### Литература

1. Druzhinina, O., Rudinskaya, A., Filippova, K., Lazukova, L., Lavrova, N., Zharov, A., Skhodnov, I., Burko, A., van den Berghe, K. The Bølling–Allerød Transition in the Eastern Baltic: Environmental Responses to Climate Change. *Biology* 2023, 12, 821. <https://doi.org/10.3390/biology12060821>
2. Гольева А.А. Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: Генезис, география, информационная роль. М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 240 с.
3. Golyeva A. Various phytolith forms as bearers of different kinds of ecological information. // Madella, M., Zurro, D. (Eds) *Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolithic Analysis*. Oxbow Books, UK - 2007 - P. 107-203.

### MICROBIOMORPHIC ANALYSIS IN STUDYING PIONEER LANDSCAPES OF THE LATE GLACIAL OF THE SOUTH-EASTERN BALTICS

O.A. Druzhinina<sup>1</sup>, A.A. Golyeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Herzen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, [olga.alex.druzhinina@gmail.com](mailto:olga.alex.druzhinina@gmail.com)

<sup>2</sup>Institute of Geography RAS, Moscow, [golyevaaa@ya.ru](mailto:golyevaaa@ya.ru)

*Summary. The project of the Russian Science Foundation No. 22-17-00113 "Critical boundaries and paleoclimatic events of the late Pleistocene and Holocene and their role in the formation of natural and cultural landscapes of the southeastern Baltic" included a study of the Kulikovo section (Kaliningrad region, southeastern Baltic). The latter reveals deposits of one of the Late Pleistocene palaeobasins. For the first time in the Baltics, this type of deposits was studied by microbiomorphic analysis. The first stage of research showed a high information potential of the method. Data on plant communities surrounding the palaeo-basin were obtained. Among them, meadow and forest vegetation, including coniferous trees, as well as reed communities, were identified. A repeated change in hydrological conditions in the adjacent territory has been established, expressed in a change in the water flow of the reservoir.*

*Keywords: microbiomorphs, phytoliths, Lateglacial, glacial lake, south-eastern Baltic region.*

УДК 551.343.7: 56.012.1

### КРИОГЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ БИОГЕННОГО КРЕМНЕЗЁМА В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ.

О.Г. Занина

Институт физико-химических и биологических проблем, Пущино, [oksana.g.zanina@gmail.com](mailto:oksana.g.zanina@gmail.com)

*Аннотация. В работе рассматриваются особенности тафономии биогенного кремнезёма при многократных циклах промерзания-оттаивания в лабораторном эксперименте. Эксперимент по трансформации биогенного кремнезёма (раковин диатомовых водорослей, спикул губок и фитоцитов) под влиянием 300 циклов промерзания-оттаивания в различных биогеохимических условиях проводили при: а) постоянно низкой -20 °С; б) комнатной +20 °С температуре; в) многократных циклах промерзания – оттаивания от -20 °С до +20 °С. Поверхность биогенных микроостатков исследовали с помощью электронной и световой микроскопии. Выявлено, что устойчивость фитоцитов к цикличному промерзанию-оттаиванию зависит от их формы и строения. Установлено, что влияние химизма среды на кремнистые микроостатки начинает проявляться уже к 200 циклам. Кислые условия приводят к растрескиванию массивных форм. Щелочные условия вызывают расслаивание форм и пористость поверхности. Растворы солей приводят к растрескиванию удлинённых и пластинчатых форм, способствуя при этом лучшему сохранению трапециевидных форм. Проведённые исследования выявили влияние многократных циклов промораживания-оттаивания на микробиоморфы, а также позволили определить закономерности*

*формирования поврежденных микробиоморф и установить их зависимость от химизма среды. Результаты исследований расширяют представления о возможности сохранения биоиндикаторов микроскопического размера и их использовании в целях реконструкции природной среды в зоне распространения многолетнемерзлых отложений.*

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые отложения, криогенез, растительные остатки, фитоолиты, микробиоморфы, биогенный кремнезём, циклы промерзания-оттаивания.

Горные породы и минералы в условиях земной поверхности находятся под воздействием внешних экзогенных процессов, в результате они теряют свою первоначальную физическую и химическую устойчивость и разрушаются.

Особую специфику эти процессы приобретают в условиях низких температур и фазовых переходов – «вода – лед». Криогенез в районах распространения многолетнемерзлых пород это совокупность процессов физического, химического и минералогического преобразования почв и пород условиях однократного или многократных фазовых переходов воды через 0 °С. Анализ данных программ «Циркумпольярный мониторинг деятельного слоя» (CALM) и «Температурное состояние многолетней мерзлоты» (TSP) показал, что почвы Северной Якутии различаются между собой по средней продолжительности господства положительных температур они протаивают и промерзают с разной скоростью. Глубина сезонно-талого слоя в таёжной зоне составляет 50–80 см, а в типичных тундрах не каждый год достигает 50 см. Длительность осеннего промерзания и существования в профиле околонулевых температур изменяется от 1 до 3,5 месяцев. Количество циклов промерзания – оттаивания на поверхности почвы за год может достигать 20. За время нахождения в мерзлом состоянии (10–11 месяцев в году) материал современных почв в значительной степени преобразовывается в профилях криогенными процессами: льдовыделением, мерзлотной коагуляцией, криогенным оструктурированием и т.д. Из всех процессов, сопровождающих превращение осадка в многолетнемерзлые отложения, наиболее интенсивным является криогенное выветривание – селективное разрушение минеральных зёрен при повторяющихся длительное время циклах промерзания-оттаивания. В результате этого отложения получают своеобразные черты состава, строения и свойств [1].

Изучение современных биоценозов современных почв и подстилающих их отложений ледового комплекса Колымской низменности показало, что субфоссильные микробиоморфные спектры, отражают состав продуцирующей их растительности с некоторым искажением [2]. Вопрос об адекватности отражения современной растительности в микробиоморфных спектрах остается открытым. Поэтому, при реконструкциях природной среды в криолитозоне необходимо учитывать процессы эволюции минерального и органического вещества под воздействием криогенных процессов.

Кремний имеет большое значение в жизненном цикле различных организмов. Биогенный кремнезём возвращается в отложения и почвы вместе с опадом. Потоки поступления кремния из почвы в растения в травяных экосистемах, особенно осоково-злаковых, могут достигать 340 кг/га в год, а поступление кремния в почву может составлять от 2 до 770 кг/га [3]. Биогенный кремнезём принимает активное участие в почвенных процессах. Однако на сегодняшний момент нет ясности в вопросах сохранения, растворения или преобразования биогенного кремнезёма в т.ч. фитоолитов, в условиях влияния криогенных факторов в сезонно-талом слое.

Объектом нашего исследования явились образования диоксида кремния биогенного генезиса: фитоолиты, диатомовые водоросли, спикулы губок. Они имеют специфическую морфологию, малую размерность (от 0,02 до 0,5 мм) и характеризуются весьма ценными свойствами – устойчивы в разных условиях среды, и что важно быстро формируются и обладают высокой сохранностью во времени. Это делает их ценным, нередко уникальным объектом для решения эволюционных проблем географии и почвоведения, особенно в случаях, когда традиционными методами невозможно получить нужную информацию.

Для изучения влияния условий тафономии на сохранность различных форм новообразований, состоящих из аморфного кремнезёма, был заложен модельный эксперимент.

Фитолиты выделяли из свежего растительного материала разного ботанического состава. Были выбраны доступные для массового сбора (около 20 кг сырой массы) и последующего выделения фитолитов виды растений с высокой зольностью (окремнением), наиболее широко охватывающие разнообразие характерных для Северо-Востока Якутии типов форм.

- 1 – *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. – тростник обыкновенный (листья, стебли).
- 2 – *Equisetum hyemale* L. – Хвощ зимующий (перезимовавшие побеги).
- 3 – *Urtica dioica* L. – Крапива двудомная (листья, стебли).
- 4 – *Pinus sylvestris* L. Сосна обыкновенная (хвоя).
- 5 – *Secale cereale* L. – Рожь посевная (листья, стебли).

Материал готовили сухим озолением в муфеле при температуре 450°C. Затем золу обрабатывали 5% раствором соляной кислоты и отмывали до нейтральной реакции дистиллированной водой и высушивали.

Спикулы пресноводных губок, семейства Бадяговые (Spongillidae) – *Spongilla lacustris* L., *Ephydatia fluviatilis* L., используемые как лекарственное средство, покупали в аптеке. Микроскопные исследования материала показали, что сухой порошок губок состоял почти исключительно из целых гладких одноосных заострённых с двух концов игл - мегасклер, размером 200-250 µm. Для эксперимента его дополнительно очищали от сопутствующего спонгина – фрагментов довольно мягкой пористой ткани - отмучиванием.

Для выяснения влияния условий тафономии на сохранность раковин диатомовых водорослей в условиях многократных циклов промерзания оттаивания был взят диатомит - рыхлая осадочная горная порода, состоящая преимущественно из створок диатомовых водорослей. Анализ образца диатомита Инзенского месторождения выявил, что его породообразующим родом является *Aulacoseira*. Створки представителей этого рода имеют цилиндрическую форму и соединяются одна с другой, образуя нитчатые колонии. Диаметр цилиндров около 15 µm, высота – 10–20 µm. Створки довольно сильно перфорированные, толщина стенки 1 µm.

В ходе подготовки эксперимента с помощью электронной и световой микроскопии, были подробно изучены поверхности всех использованных микрофоссилий.

Все исходные субстраты, подготовленные для эксперимента, разделялись на несколько частей. Первый вариант был оставлен без изменений - воздушно сухой вариант; во второй - добавили дистиллированную воду; в третий – р-р органической кислоты (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>), pH=3; в четвёртый – щелочной раствор (NaOH) pH=9,2; в пятый – 2‰ раствор смеси химически чистых солей NaCl и MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; в шестую – 10‰ раствор смеси солей NaCl и MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; в седьмую – раствор хвойного экстракта с pH=4,5. Подготовленные таким образом растворы моделируют химические условия в почвах и отложениях Северо-Востока.

Насыщение проводили до достижения полной влагоёмкости. Затем каждая из подготовленных частей с различной химической средой сгруппирована по трем температурным условиям. Первая группа оставлена в обычных условиях при комнатной температуре, вторая помещена в морозильную камеру и находилась в замороженном состоянии все время эксперимента, оставшаяся проходила циклы промерзания - оттаивания.

Проведен анализ микробиоморф, прошедших 100, 200, 300 циклов промерзания – оттаивания и образцов экспонировавшихся при комнатной температуре 156 дней, что соответствует 100 циклам и 306 дней (200 циклов) и 480 дней (300 циклов). Результаты сравнивали с контрольными образцами, хранившимися в морозильной камере без оттаивания. Микроскопирование образцов и подсчёт нарушенных экземпляров проводили с помощью светового микроскопа Axio Scope (Carl Zeiss, Германия). Некоторые эффекты разрушения микробиоморф исследовали с помощью электронного микроскопа (Tescan Vega 3, Чехия).

Изучалась поверхность фитолитов, выделенных из разных родов растений, использованных в эксперименте. Для каждого образца исследовали 300 форм и обломков. Основные исследованные фитолиты представляют все формы, встречающиеся в современных и погребённых почвах Северо-Востока России – группа удлинённых (цилиндрические гладкие, параллелепипедные, цилиндрические шиповатые, дендритные), пластинчатые, веерообразные, килевидные с шипом и широким основанием, трапециевидные лопастные, седловидные, овальные, шарообразные, конические полые, усечённо-конические, массивные несимметричные, трапециевидные и кубические.



Изменения кремниевых микроостатков после 100 циклов в варианте с промерзанием-оттаиванием не было выявлено. Исключением являлись параллелепипедные формы в варианте с дистиллированной водой, у которых нарушения поверхности наблюдались единично. В остальных образцах после 156 суток эксперимента изменений не выявлено. Следует отметить, что микрофоссилии, экспонировавшиеся при комнатной температуре в хвойном экстракте не несли следов разрушения, но сильно были оплетены мицелием микроскопических грибов и буквально обсыпаны клетками дрожжей и других микроорганизмов.

В воздушно-сухих образцах после 306 суток/200 циклов и 480 суток/300 циклов изменений не выявлено ни в одном варианте (по температурным условиям).

В циклическом варианте эксперимента с различными растворами выявлены разные типы разрушения форм. Это изъязвление краёв фитоцитов, растрескивание фитоцитов без потери формы. Отмечено, что кислота делает «контрастными» формы, вероятно способствуя дополнительному растворению мелких частиц и некоторому оплавлению выростов и шипиков. В щелочных условиях установлено поверхностное расслаивание (шелушение) форм. Обнаружено, что растворы солей способствуют лучшему сохранению фитоцитов при циклическом промораживании. Однако следует отметить, что сохранность форм напрямую зависит от их строения и плотности. В переувлажнённом субстрате удлинённые фитоциты и спикулы губок наиболее часто теряют концы, раковины диатомовых водорослей разрушаются в районе ареол.

Ранее предполагали [4], что удлинённые морфотипы фитоцитов наиболее хрупкие и подвержены разрушению, чем короткие фитоциты. Эта тенденция проявляется из-за значительной площади поверхности для химического и физического воздействия. В наших исследованиях эта гипотеза подтвердилась не полностью. Формы фитоцитов и спикулы губок, имеющие большую площадь поверхности и длину, многократно превышающую ширину при циклическом замерзании - оттаивании теряют концы и имеют тенденцию к общему растрескиванию, но сохраняют форму, в отличие от лопастных трапециевидных форм. Выявленное ранее нашими работами доминирование удлинённых форм в спектрах из плейстоценовых отложений так же не подтверждает эту гипотезу и вероятнее всего связано с их массовым продуцированием растениями.

В результате проведенных исследований расширены представления о возможности использования биоиндикаторов микроскопического размера для реконструкций природной среды в почвах и многолетнемерзлых отложениях в криолитозоне.

#### Литература

1. Конищев В. Н., Лебедева-Верба М. П., Сталина Е. Е., Рогов В. В. Криогенез современных и позднплейстоценовых отложений Алтая и перигляциальных областей Европы. М.: ГЕОС, 2005.3. Конищев В. Н., Лебедева-Верба М. П., Сталина Е. Е., Рогов В. В. Криогенез современных и позднплейстоценовых отложений Алтая и перигляциальных областей Европы. М.: ГЕОС, 2005.
2. Занина О.Г., Лопатина Д.А. Возможности реконструкции состава растительных ассоциаций низовьев реки Колымы с помощью сопряженного (палинологического, фитоцитного и карпологического) анализа // Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 3. С. 13–23.
3. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск, 2008, 381 с.
4. Madella M, Lancelotti C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. Quaternary International, 2012; V 275, 76–83 pp.

#### CRYOGENIC TRANSFORMATION OF BIOGENIC SILICA IN THE MODEL EXPERIMENTS

O.G. Zanina

Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Science, Pushchino, oksana.g.zanina@gmail.com

*Summary. The paper considers the features of taphonomy of biogenic silica during multiple freeze-thaw cycles in a laboratory experiment. An experiment on the transformation of biogenic silica (shells of diatoms, spicules of sponges and phytoliths) under the influence of 300 freeze-thaw cycles under various biogeochemical conditions was carried out at: a) constantly low -20 °C; b) room temperature*

+20 °C; c) *multiple cycles of freezing – thawing from -20 °C to +20 °C. The surface of biogenic microremains was examined using electron and light microscopy. It was revealed that the resistance of phytoliths to cyclic freezing-thawing depends on their shape and structure. It has been established that the influence of the chemistry of the medium on siliceous microresidues begins to appear already by 200 cycles. Acidic conditions lead to cracking of massive particles. Alkaline conditions cause delamination of forms and surface porosity. Salt solutions lead to cracking of elongate and lamellar forms, while contributing to a better preservation of trapezoidal forms. Studies have revealed the effect of multiple freeze-thaw cycles on microbimorphs. This made it possible to determine the patterns of their damage formation and to establish their dependence on the chemical composition of the environment. The results of the research expand the understanding of the possibility of preserving microscopic bioindicators and their use for the natural environment reconstruction in the permafrost.*

*Keywords: Permafrost, cryogenesis, plant remains, phytoliths, biomorphs, biogenic opal, freeze-thaw cycles.*

ДК: 581.821

### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОЛИТОВ *DACTYLIS GLOMERATA* L. В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**С.Д. Котов<sup>1</sup>, М.Ю. Соломонова<sup>2</sup>, Н.Ю. Сперанская<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, [sergei.kotov98@mail.ru](mailto:sergei.kotov98@mail.ru)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, [m\\_solomonova@list.ru](mailto:m_solomonova@list.ru)

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, [speranskaj@mail.ru](mailto:speranskaj@mail.ru)

*Аннотация.* Публикация посвящена изучению влияния климатических факторов на морфометрические параметры фитолитов злаков на примере морфотипа *crenate* у вида *Dactylis glomerata*. Представлены данные о средних значениях размера и формы этого морфотипа фитолитов в листьях ежи сборной на примере 6-ти популяций из Алтайского края, Республик Алтай и Крым. Выявлена корреляционная зависимость параметры ширины от средней температуры июля.

**Ключевые слова:** Злаки, климат, морфометрия, фитолиты, эпидерма, *Dactylis glomerata*.

**Введение.** Фитолиты злаков являются важным инструментом в изучении вопросов эволюции растительности и почв. Высокий уровень специфичности проявляется при морфометрии фитолитов. Накопление данных о влиянии различных факторов среды на размер и форму фитолитов в дальнейшем позволит разработать новые палеоэкологические индексы. Тем не менее, подобных работ не так много. Т. Ball и J. D. Brotherson [1] был проведен эксперимент по выращиванию двух видов злаков в закрытом грунте с оценкой влияния на морфометрию фитолитов трех переменных – свет, состав грунта, полив. Было выявлено влияние экологических факторов на размер фитолитов, однако авторы работы оценили это влияние как недостаточно значимое. W. A. Out и M. Madella [2] оценили внутривидовую изменчивость фитолитов у видов *Panicum miliaceum* и *Setaria italica* в пяти популяциях для каждого. Авторы отмечают не только стабильность многих параметров, но и влияние климатических условий на некоторые переменные у фитолитов *Panicum miliaceum*. R. E. Dunn с соавторами была показана зависимость размеров фитолитов от освещенности на пяти видах злаков [3]. Стоит также отметить исследование фитолитов *Poa pratensis*, показывающие, что внутривидовые отличия в составе и параметрах фитолитов существуют и могут быть обусловлены стадией развития и влиянием экологических факторов среды [4]. Целью представленного исследования является оценить влияние климатических факторов на размер и форму фитолитов на примере вида *D. glomerata*.

**Материалы и методы.** При полевом этапе исследования было выбрано 6 местообитаний, отличающихся между собой по климатическим параметрам, из них 4 точки на территории западного и северного Алтая (Республика Алтай и Алтайский край), одна в Южно-Сибирском ботаническом саду (Алтайский край, г. Барнаул) и одна в Республике Крым (Таблица 1). Экстракция фитолитов из растительных образцов проводилась согласно методике А. А. Гольевой [5]. Фотографирование *crenate* фитолитов осуществлено в проекции сверху с

помощью микроскопа Olympus BX-51, камеры Olympus XC-50 и программного обеспечения cellSens Standart. Выборка фитоцитов составила 100 шт с образца и 400-500 шт с популяции. Для морфометрических измерений была использована программа ImageJ, рекомендуемая Международным комитетом по морфометрии фитоцитов, а также специальный для нее плагин «PhytolithsBatch» [6]. Было изучено 17 стандартных параметров: площадь, выпуклая площадь, периметр, выпуклый периметр, длина, ширина, длина средней линии, эквивалентный диаметр, вписанный радиус, фактор формы, округленность, выпуклость, плотность, компактность, соотношение сторон, протяженность и извилистость. Для каждого параметра проведен корреляционный анализ с климатическими показателями, проанализированы средние значения и стандартная ошибка в программе Past 4.03.

Таблица 1. Климатические параметры исследуемых популяций\*

№	Название фитоценоза	Высота, м	Климат	Географическая привязка
1	Разнотравно-злаково-щучковый гигрофильный луг	h 1473	T1 -16,5°C, T7 +14,1°C Ос <sub>год</sub> 580 мм	Алтайский край, Коргонский хребет
2	Чихотниково-володушково-вейниковый суходольный луг	h 803	T1 -18,4 °C, T7 +12,4°C Ос <sub>год</sub> 600 мм	Алтайский край, Тигирекский хребет
3	Березово-лиственничный лес с гераниево-крапивно-лабазниковым травяным покровом	h 641	T1 -17,0°C, T7 +15,6°C Ос <sub>год</sub> 620 мм	Алтайский край, Тигирекский хребет
4	Послеселесной разнотравно-злаковый луг	h 197	T1 -17,7°C, T7 +19,7°C Ос <sub>год</sub> 480 мм	Алтайский край, Южно-Сибирский ботанический сад
5	Закустаренный разнотравно-ежовый послеселесной луг	h 1125	T1 +4,1°C, T7 +15,4°C Ос <sub>год</sub> 1020 мм	Республика Крым, г. Айпетри
6	Пихтач папоротниково-злаковый	h 616	T1 -9,2°C, T7 +16,6°C Ос <sub>год</sub> 820 мм	Республика Алтай, хребет Торот

Примечание. \* Информация по Научно-прикладному справочнику по климату СССР, 1993 г. и данных государственной наблюдательной сети Росгидромета (<http://meteo.ru/>) [7].

**Обсуждение результатов.** Анализ результатов морфометрических исследований выявил различия в размере фитоцитов в отдельных популяциях (таблица 2). Наиболее крупными размерами обладают crenate фитоциты популяции *D. glomerata* из популяции в березово-лиственничном лесу. Наименьшими параметрами обладают фитоциты у растений популяции разнотравно-злакового луга на территории ЮСБС, которая характеризуется наименьшей суммой годовых осадков из всех изученных местообитаний. Исключением из всех морфометрических параметров являются ширина и вписанный радиус. Для них характерны наименьшие значения у фитоцитов популяций 4, 5 и 6, которые находятся в различных климатических условиях.

Среди параметров формы фитоцитов наибольшей изменчивостью обладают фактор формы, протяженность, закругленность, соотношение сторон, компактность, протяженность (Таблица 2). При изучении средних значений морфометрических характеристик фитоцитов по популяции не обнаруживается взаимосвязи указанных выше параметров с изученными климатическими показателями.

Таблица 2. Средние значения морфометрических параметров crenate фитоцитов *Dactylis glomerata* в различных популяциях.

Параметры	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6
Площадь, мкм <sup>2</sup>	377,7±4,8	360,4±5,3	470,8±8	278±3,6	315,4±4,3	359,4±4,7
Выпуклая площадь, мкм <sup>2</sup>	456,2±6,3	431,1±6,8	573,5±11	339,2±4,5	380±5,7	441,2±6,2
Периметр, мкм	117,9±1,3	110,1±1,3	142±2,2	100,6±0,9	108±1,2	125±1,4
Выпуклый периметр, мкм	101,2±1,1	93,5±1	122,6±1,8	87±0,8	92,6±1	108,4±1,2
Длина, мкм	44,8±0,5	40,5±0,5	55,7±0,9	38,6±0,4	41,2±0,5	49,4±0,6
Ширина, мкм	11,8±0,1	12,2±0,08	11,7±0,1	10,2±0,08	10,7±0,07	10,4±0,08
Длина средней линии, мкм	49,9±0,6	45,3±0,6	61,8±1	42,8±0,4	45,9±0,6	54,7±0,7
Эквивалентный диаметр, мкм	21,7±0,1	21,2±0,15	24,1±0,2	18,6±0,1	19,8±0,1	21,1±0,1
Вписанный радиус, мкм	3,52±0,04	3,65±0,03	3,5±0,04	2,9±0,03	3,2±0,03	3±0,3
Фактор формы	0,46±0,004	0,39±0,004	0,31±0,005	0,36±0,004	0,36±0,004	0,31±0,004
Округленность	0,26±0,004	0,3±0,004	0,22±0,004	0,25±0,003	0,26±0,004	0,21±0,004
Выпуклость	0,86±0,001	0,85±0,001	0,86±0,002	0,87±0,002	0,86±0,001	0,87±0,002
Плотность	0,83±0,002	0,84±0,002	0,83±0,002	0,82±0,002	0,84±0,002	0,82±0,002
Компактность	0,51±0,004	0,54±0,003	0,46±0,004	0,49±0,003	0,50±0,003	0,45±0,004
Соотношение сторон	3,93±0,06	3,37±0,05	4,8±0,08	3,9±0,05	3,9±0,06	5±0,08
Протяженность	4,36±0,07	3,77±0,05	5,3±0,09	4,3±0,05	4,4±0,06	5,5±0,08
Извилистость	0,90±0,002	0,89±0,002	0,9±0,001	0,9±0,002	0,9±0,002	0,9±0,002

Корреляционный анализ не выявил взаимосвязи морфометрических характеристик фитоцитов морфотипа crenate с суммой годовых осадков и средней температурой января для изученных точек. Коэффициент корреляции для всех параметров ниже статистически значимых показателей. Значимая корреляционная зависимость наблюдается только между шириной фитоцита и средней температурой июля. Коэффициент корреляции отрицательный (-0,35). Таким образом, при более высоких температурах июля наблюдается уменьшение ширины исследуемого морфотипа фитоцитов.

**Заключение.** Морфометрический анализ выявил высокий уровень вариаций многих параметров размера и формы фитоцитов. Наиболее стабильные параметры, например такие как, извилистость и вписанный радиуса, могут быть изучены на предмет их таксономической специфичности. Более вариабельные параметры могут рассматриваться как результат действия экологических факторов. Тем не менее, в рамках представленного исследования удалось показать влияние средней температуры июля на ширину фитоцита crenate у *D. glomerata*.

**Финансирование.** Исследования выполнены при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК-3359.2022.1.4 "Изменчивость характеристик фитоцитов коротких клеток эпидермы *Dactylis glomerata* L. в условиях юга Западной Сибири".

#### Литература

- Ball T.B., Brotherson J.D. The effect of varying environmental conditions on phytolith morphometries in two species of grass (*Bouteloua curtipendula* and *Panicum virginatum*) // Scanning Microscopy. 1992. 6 (4). P. 1163–1181.
- Out W.A., Madella M. Morphometric distinction between bilobate phytoliths from *Panicum miliaceum* and *Setaria italica* leaves. // Archaeol Anthropol Sci. 2016. 8 (3). P. 505–521. <https://doi.org/10.1007/s12520-015-0235-6>
- Dunn R.E., Le T.-Y.T., Strömberg C.A.E. Light environment and epidermal cell morphology in grasses // Int. J. Plant Sci. 2015. 176 (9). <https://doi.org/10.1086/683278>
- Lisztes-Szabo Z., Kovacs S., Pető A. Phytolith analysis of *Poa pratensis* (Poaceae) leaves // Turkish Journal of Botany. 2014. 38 (5). P. 851-863. <https://doi.org/10.3906/bot-1311-8>
- Гольева А.А. Фитоциты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.; Сыктывкар: Элиста, Полтекс, 2001. 140 с.



6. Ball T.B., Davis A., Evett R.R., Ladwig J.L., Tromp M., Out W.A., Portillo M. Morphometric analysis of phytoliths: recommendations towards standardization from the International Committee for Phytolith Morphometrics. *J Archaeol Sci.* 2016. 68. 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.03.023>
7. Научно прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Части 1–3. Вып. 20. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. 719 с.

#### VARIABILITY OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF *DACTYLIS GLOMERATA* L. PHYTOLITES UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

Kotov S.D.<sup>1</sup>, Solomonova M. Yu.<sup>2</sup>, Speranskaya N. Yu.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Altai State University, sergei.kotov98@mail.ru

<sup>2</sup>Altai State University, m\_solomonova@list.ru

<sup>3</sup>Altai State University, speranskaj@mail.ru

*Summary.* The publication is devoted to the study of the influence of climatic factors on the morphometric parameters of grass phytoliths on the example of the crenate morphotype in the species *Dactylis glomerata*. Data are presented on the average values of the size and shape of this phytolith morphotype in the leaves of the cocksfoot on the example of 6 populations from the Altai Territory, the Republics of Altai and Crimea. The correlation dependence of the width parameters on the average July temperature is revealed.

*Keywords:* grasses, climate, morphometry, phytoliths, epidermis, *Dactylis glomerata*.

УДК 631.4

#### ИНДИКАТОРНЫЕ ФОРМЫ ФИТОЛИТОВ ЗЛАКОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВ КУЛУНДЫ Н.Ю. Лада

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, n.lada@issa-siberia.ru

*Аннотация.* В данной работе была предпринята попытка оценить соотношение индикаторных форм фитолитов в верхнем слое почвы с составом фитолитов злаков современной растительности настоящей степи и луговой степи. Ведущая роль в формировании фитолитного профиля современных почв принадлежит следующим видам злаков *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Elytrigia repens*, *Koeleria cristata*, *Calamagrostis arundinacea*, *Bromopsis inermis*.

*Ключевые слова:* фитолиты, биогенный кремнезем, злаки, Кулунда.

**Введение.** Большинство фитолитов и окремневший кутикулярный слой высших растений состоят преимущественно из кремнезема [1]. Двудольные растения поглощают относительно небольшое количество кремнезема, в отличие от однодольных. Вместе с водой кремний поступает в растения в виде кремниевой кислоты и уносится к различным частям растения потоком транспирации через сосудистую систему и выпадает в осадок в виде фитолитов [2]. Фитолиты формируются в различных клетках тканей одного растения и, следовательно, имеют различную форму. Они отражают анатомическое строение растений и многообразие анатомического строения структур растения. Каждое растение производит набор типов фитолитов, которые могут быть или не быть таксономически значимыми на уровне семейства, рода или вида.

Изучение фитолитного состава профилей почв позволяет получать детальную картину изменчивости признаков почв за период, равный времени формирования почвенного профиля. Благодаря фитолитному анализу, можно идентифицировать растительный покров спустя длительное время [1, 3].

В настоящее время на территории Западной Сибири ведутся работы по сбору и анализу данных о соотношении спектров фитолитов почв с их составом в растениях. По данным литературы диагностические морфотипы фитолитов злаков (рондели, полилопастные трапеции, ланцетные частицы и др.) в большей степени соответствуют морфотипам фитолитов почвенных образцов и современных растений [4]. Ранее был проведен анализ фитолитного

состава основных растений степных экосистем Западной Сибири, а также изучены количественные характеристики индикаторных форм [5].

В настоящее время сведений о переходе аморфного кремнезема в виде фитоцитов из растительной массы в почву практически нет. Этот очень важный этап формирования почвенного фитоцитного спектра рассматривался в работах Н.К. Киселевой. Она при изучении фитоцитных спектров доминирующих злаков и осок рассчитала коэффициент доли их участия для монгольских степей [6, 7].

Цель данной работы – оценить соотношение индикаторных форм фитоцитов в верхнем горизонте почв настоящей степи и луговой степи с составом фитоцитов современной растительности.

**Объекты и методы исследования.** Согласно зонированию растительного покрова, Северо-Кулундинская озерная равнина является частью Обь-Иртышского междуречья и относится к вторично-степному району [8]. Сообщества степного типа растительности состоят большей частью из дерновинных злаков. Лугово-степная растительность развивается на пониженных дренированных увлажненных формах рельефа, а степная растительность приурочена к повышенным формам рельефа [9].

Для микробиоморфного анализа пробы отбирали в верхнем горизонте почвы в слое 0–4 см. Выделение фитоцитов проводилось методом мацерации по методике А.А. Гольевой [1].

Фитоциты современной растительности выделялись методом сухого озоления с последующим подсчетом под световым микроскопом (МИКМЕД-6, «ЛОМО», Россия). Учитывалось содержание всех встреченных форм фитоцитов и вычислялось их количественное соотношение в капле глицерина с препаратом, занимаемым всю площадь покровного стекла (24x24 мм).

**Обсуждение результатов.** По результатам проведенных исследований вычислялся фитоцитный спектр почв верхнего слоя почв, т.е. количество индикаторных форм фитоцитов различных злаков, к их общей сумме (по [6]). На основе фитоцитных спектров рассчитывался фитоцитный комплекс – соотношение сумм всех форм фитоцитов каждого рода (вида) злаков, находящихся в почве (в %) к общему количеству всех форм кремниевых тел, поступивших в почву (по [6]).

Различные индикаторные формы характерны для определенных злаков. Выявлено, что для изученных злаков *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Elytrigia repens* такой формой фитоцитов является усеченная конусовидная рондель (RON название по [10], здесь и далее в скобках). Индикаторные фитоциты видов *Koeleria cristata*, *Calamagrostis arundinacea*, *Bromopsis inermis* – трапециевидные волнистые пластинки (CRE). Для видов *Poa pratensis*, *Phleum phleoides* являются трапециевидные полилопастные пластинки (CRE). Морфотип вида *Cleistogenes squarrosa* представлен фитоцитом в виде двулопастных частиц (BIL).

В результате сопоставления фитоцитных спектров злаков настоящей степи и луговой степи современной растительности с фитоцитным спектром почв в слое 0–4 см были рассчитаны показатели доли участия доминирующих злаков в различных фитоценозах (по [6]).

Доля участия усеченных конусовидных фитоцитов в комплексе почвы под разнотравно-типчаковой с пылью степи составляет 61,7%. Трапециевидные волнистые фитоциты составляют 38,3% (табл. 1).

В фитоцитном комплексе почвы под закустаренной ковыльно-разнотравной степью доля участия усеченных конусовидных фитоцитов составляет 68%, также как и в степи, но доля трапециевидные волнистые пластинки уменьшилась до 8%. Доля трапециевидных полилопастных пластинок – 9%. Индикаторный морфотип в виде двулопастных частиц – 4% (табл. 1). В почвах зафиксирован морфотип вида *Cleistogenes squarrosa*, а в доминантах современной растительности данный вид отсутствует.

Можно сделать вывод, что выделенные индикаторные формы фитоцитов современных почв частично коррелируют с соотношением злаков в растительном покрове, установленным по геоботаническим характеристикам.

Таблица 1. Доминанты современной растительности и доля участия злаков в фитолитных комплексах почв Кулунды

Тип степи	Доминанты современной растительности	Доля участия (состав) злаков в фитолитных комплексах почв (0–4см)
Разнотравно-типчаковая с полынью настоящая степь	<i>Stipa capillata</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria cristata</i>	<i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Elytrigia repens</i> – 61,7%. <i>Koeleria cristata</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Bromopsis inermis</i> – 38,3%
Закустаренная ковыльно-разнотравная луговая степь	<i>Stipa capillata</i> , <i>S. pennata</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Phleum phleoides</i>	<i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Elytrigia repens</i> – 68% <i>Koeleria cristata</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Bromopsis inermis</i> – 8% <i>Poa pratensis</i> , <i>Phleum phleoides</i> – 9% <i>Cleistogenes squarrosa</i> – 4%

**Заключение.** Не все фитолиты злаков современной растительности получают адекватное отражение в почвенном фитолитном комплексе настоящей и луговой степи.

Фитолитный комплекс закустаренной ковыльно-разнотравной луговой степи имеет более богатый состав по сравнению с разнотравно-типчаковой с полынью настоящей степью. В состав первой входят рондели, трапециевидные волнистые и полилопастные пластинки, а также двулопастные морфотипы. Комплекс настоящей степи представлен усеченными конусовидными частицами и трапециевидными волнистыми.

Возможно, это связано с малым количеством фитолитов в современной растительности. Доля фитолитов в растениях зависит от их условий произрастания, места осаднения. Чем больше в почве кремния, тем больше произрастающие на ней растения формируют фитолиты.

Для полной интерпретации соотношения фитолитов в почве с составом фитолитов растений необходимо знать степень сохранности индикаторных форм фитолитов в почве.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Литература

1. Гольева А.А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. Москва-Сыктывкар-Элиста: Полтекс, 2001. 140 с.
2. Nawaz M.A., Zakharenko A.M., Zemchenko I.V., Haider M.S., Ali M.A., Imtiaz M., Chung G., Tsatsakis A., Sun S., Golokhvast K.S. Phytolith Formation in Plants: From Soil to Cell. // *Plants*, Vol 8. № 249. 2019. DOI:10.3390/plants8080249
3. Гольева А.А. Микробиоморфная память почв // *Память почв: Почвы как отражение биосферно-геосферноантропосферных взаимодействий*. Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 500–529.
4. Сперанская Н.Ю., Соломонова М.Ю., Чекменева Е.Н. Фитолиты растений в фитолитных спектрах луговых фитоценозов Северного Алтая // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2019. № 18. С. 408–411. DOI: 10.14258/pbssm.2019083
5. Лада Н. Ю., Гаврилов Д. А. Анализ фитолитного состава основных растений степных экосистем Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2016. № 2 (34). С. 53–68. DOI: 10.17223/19988591/34/4
6. Киселева Н. К. Изучение фитолитов в почвах для выяснения истории растительности степей восточной Монголии // *Известия Академии наук СССР. Серия географическая*. 1982. Т. 2. С. 95–106.
7. Динесман Л.Г., Киселева Н.К., Князев А. В. История степных экосистем Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1989. 213 с.
8. Ковалев Р.В. Почвы Новосибирской области. Новосибирск: Наука, 1966. 422 с.
9. Вандакурова Е.В. Ботанико-географическое районирование Новосибирской области // *Известия Новосибирского отдела Географического общества СССР*. 1957. № 1. С. 3–14.

10. Neumann K., Strömberg C.A.E., Ball T., Albert R.M., Vrydaghs L., Cummings. L.S. International code for phytolith nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*. 2019. Vol. 124 (2). P. 189–199. DOI: 1093/aob/mcz064

## INDICATOR FORMS OF PHYTOLITHS CEREALS OF KULUNDA

N.Y. Lada

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, n.lada@issa-siberia.ru

*Summary. In this work, an attempt was made to estimate the ratio of indicator forms of phytoliths in the upper soil layer with the composition of phytoliths of modern vegetation of the real steppe and meadow steppe. The leading role in the formation of the phytolith profile of modern soils belongs to the Festuca vallesiaca, Stipa capillata, Elytrigia repens, Koeleria cristata, Calamagrostis arundinacea, Bromopsis inermis.*

*Keywords: phytoliths, biogenic silica, cereals, Kulunda.*

УДК: 58.072

## ЦЕНОТИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ МОРФОТИПА ФИТОЛИТОВ CRENATE В ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЧВАХ ФИТОЦЕНОЗОВ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО АЛТАЯ

М.Ю. Соломонова<sup>1</sup>, Н.Ю. Сперанская<sup>2</sup>, М.М. Силантьева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, m\_solomonova@list.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, speranskaj@mail.ru

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, msilan@mail.ru

*Аннотация. В тексте представлено исследование ценотической приуроченности полилопастных и волнистых форм морфотипа crenate. Исследованы фитолитные спектры из степных, лесных, луговых и тундровых фитоценозов Северного и Западного Алтая. Выявлены различия в эколого-ценотической специфичности двух форм указанного морфотипа.*

*Ключевые слова: Алтай, злаки, поверхностная почва, фитоценозы, фитолиты, crenate.*

**Введение.** Фитолитный анализ является в настоящее время динамично развивающимся палеоботаническим, палеоэкологическим и палеопочвенным направлением. На территории умеренных широт палеорекострукции в основном строятся на соотношении морфотипов злаков с различной экологической значимостью [1–5]. Одними из таких морфотипов являются полилопастные трапеции и волнистые пластинки. Согласно номенклатурному коду фитолитов ICPN 2.0 это формы объединены в один морфотип: crenate [6]. Однако, имеются сведения о различной таксономической и экологической специфичности этих двух форм [2, 7, 8]. Целью представленного исследования является выявление ценотической специфичности лопастных и волнистых пластинчатых форм морфотипа crenate на примере фитолитных спектров поверхностных проб почвы фитоценозов севера и запада Алтайских гор.

**Материалы и методы.** В представленной работе были исследованы 210 фитолитных спектров из 70-ти растительных сообществ Северного и Западного Алтая. В каждом сообществе были отобраны по 3 пробы поверхностной почвы. Экстракция фитолитов проводилась согласно методике А. А. Гольевой [2]. Подсчет фитолитов выполнен с помощью микроскопа Olympus BX-51. Выборка фитолитов составила 500 шт с одного образца. Волнистые и полилопастные формы морфотипа crenate подсчитывались отдельно. Участие отдельных фитолитов рассчитано в процентах. Для анализа данных использованы описательная статистика с визуализацией в программе STATISTICA 10. Растительные сообщества были сгруппированы следующим образом: лиственничные леса, еловые леса, настоящие степи, луговые степи и остепненные луга, сосновые леса, суходольные луга, субальпийские луга, кедровые леса, альпийские луга, тундры, пойменные луга, березовые леса, кустарниковые сообщества, пихтовые леса, петрофитные степи, осиновые леса.

**Обсуждение результатов.** Полилопастные формы морфотипа crenate (синонимы polylobate trapeziform, полилопастные трапеции) наиболее характерны для фитолитных спектров следующих групп сообществ (рис. 1 А): лиственничные леса, субальпийские луга и кедровые



леса. Эти три группы фитоценозов будут характеризоваться количеством полилопастных форм более 15 % от общего числа фитолитов. Наименее характерен этот морфотип для степей, остепненных лугов и петрофитных кустарниковых и степных сообществ. В фитолитных спектрах большинства оставшихся фитоценозов количество полилопастных форм будет варьировать от 10 до 15 %. Волнистые формы морфотипа *srenate* (синонимы: *wavy plates*, *trapeziform sinuate*, волнистые пластинки/трапеции) встречаются в фитолитных спектрах фитоценозов Северного и Западного Алтая в меньшем по сравнению с полилопастными числе (как правило менее 10 %). Исключением являются петрофитные сухие степи в которых число волнистых пластинок колеблется от 11 до 15 %. Повышено содержание этого морфотипа в спектрах кустарниковых петрофитных сообществ. Наименьшее количество волнистой формы морфотипа *srenate* характерно для фитолитных спектров луговых и лесных фитоценозов.

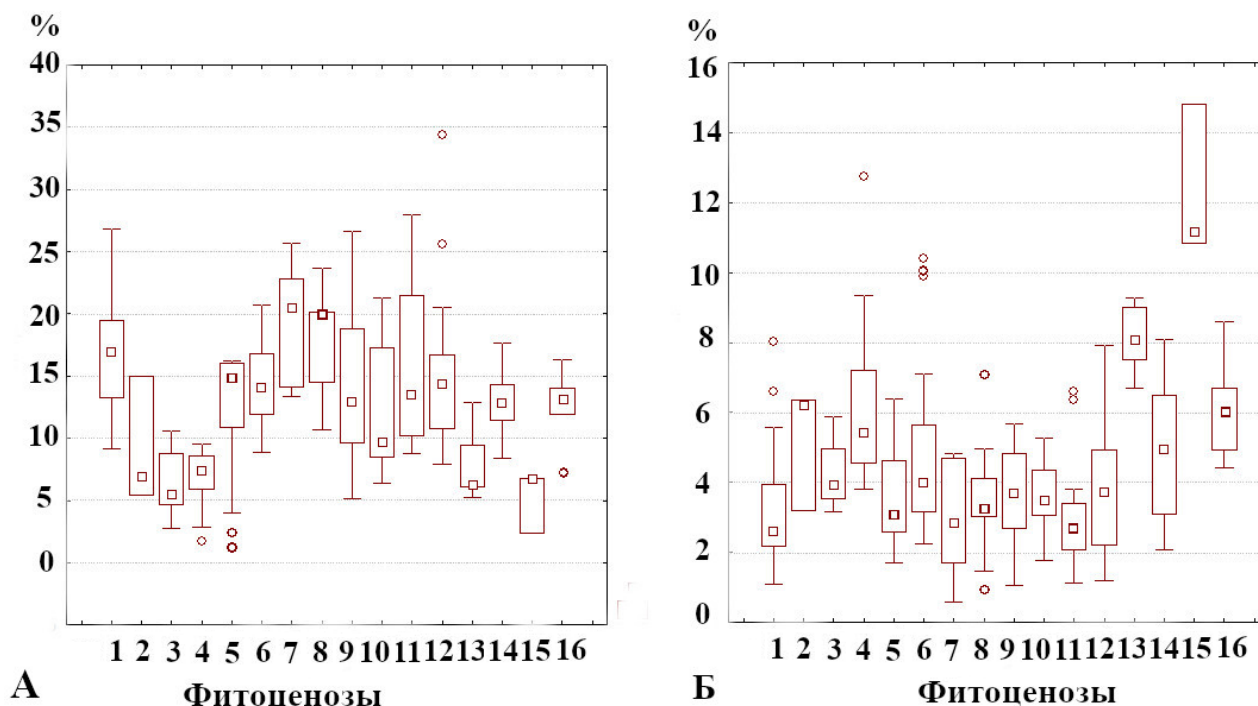


Рисунок 1. Содержание морфотипа *srenate* в фитолитных спектрах фитоценозов Северного и Западного Алтая: А – полилопастные трапециевидные формы, Б – волнистые пластинки. Цифрами указаны следующие группы сообществ: 1 – лиственничные леса, 2 – еловые леса, 3 – настоящие степи, 4 – луговые степи и остепненные луга, 5 – сосновые леса, 6 – суходольные луга, 7 – субальпийские луга, 8 – кедровые леса, 9 – альпийские луга, 10 – тундры, 11 – пойменные луга, 12 – березовые леса, 13 – кустарниковые сообщества, 14 – пихтовые леса, 15 – петрофитные степи, 16 – осиновые леса.

Различие в ценотической приуроченности этих двух форм фитолитов морфотипа *srenate* согласуется с исследованиями фитолитов злаков. Полилопастной морфотип встречается у родов *Agrostis*, *Calamagrostis*, *Dactylis*, *Melica*, которые преимущественно являются лесными и луговыми травами. Волнистые пластинки характерны для *Agropyron*, *Coeleria*, некоторых *Festuca* и *Poa* [2, 7, 9], которые предпочитают более засушливые местообитания. Количество этих двух форм морфотипа *srenate* отличается таксономически на уровне триб и подтриб. Представленные результаты подтверждают данные для равнинных территорий Алтайского края и Европейской территории России относительно различной экологической специфичности этих форм [2, 10].

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о различной ценотической приуроченности волнистых и полилопастных форм морфотипа *srenate*. Обобщая эти данные с накопленным материалом по экологической специфичности фитолитов Алтайского края и Европейской территории России следует отметить, что при палеореконструкциях среды целесообразен раздельный подсчет этих двух форм.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-74-01026, <https://rscf.ru/project/23-74-01026/> на базе ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет.

### Литература

1. Гаврилов Д.А., Мамиров Т.Б., Растигеев С.А., Пархомчук В.В. История формирования и освоение человеком поймы реки Деркул (Западный Казахстан) в середине голоцена // Поволжская Археология. 2021. № 3 (37). С. 127–141.
2. Гольева А.А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.; Сыктывкар: Элиста, Полтекс, 2001. 140 с.
3. Лада Н.Ю., Миронычева-Токарева Н.П. Микробиоморфы дерново-солоди и погребенной органо-аккумулятивной квазиглееватой почвы лесостепи Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Т. 6. № 1. DOI: 10.31251/pos.v6i1.192
4. Соломонова М.Ю., Кирюшин К.Ю., Ситников С.М. Фитолитные исследования археологических объектов бронзового века Новоильинка и Новоильинка-1 (Северная Кулунда) // Известия Алтайского государственного университета. 2017. № 5 (97). С. 218–222.
5. Хохлова О.С., Моргунова Н.Л., Хохлов А.А., Гольева А.А. Изменения климата и растительности за последние 7000 лет в степном Предуралье // Почвоведение. 2018. № 5. С. 538–550
6. Neumann K., Strömberg C., Ball T., Albert R. M., Vrydaghs L., Cummings L. S. 2019. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0 // Annals of Botany XX. 1–11: 1–41. DOI: 10.1093/aob/mcz064
7. Соломонова М.Ю., Сперанская Н.Ю., Блинников М.С., Жембровская Т.А., Силантьева М.М. Разделение волнистых и полилопастных форм фитолитов морфотипа «crenate» у видов Poideae Benth. юга Западной Сибири на основе филогенетических данных // Turczaninowia. 2022. Т. 25. № 4. С. 122–135.
8. Solomonova, M.Yu., Blinnikov, M.S., Speranskaja, N.Yu. Et al., 2019. Phytolith assemblages in modern top soils under plant communities of Northern and Western Altay, Russia // Ukrainian Journal of Ecology. 9 (3). P. 429–435.
9. Динесман Л.Г., Киселева Н.К., Князев А.В. История степных экосистем Монгольской Народной Республики. Москва: Наука, 1989. С. 5–213.
10. Соломонова М.Ю. Фитолитные спектры фитоценозов Северной Кулунды и изменения растительности во второй половине голоцена. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Национальный исследовательский Томский государственный университет. Томск, 2018.

### CENOTIC SPECIFICITY OF THE CRENATE PHYTOLITE MORPHOTYPE IN SURFACE SOILS OF PHYTOCENOSES IN NORTHERN AND WESTERN ALTAI

M.Yu. Solomonova<sup>1</sup>, N.Yu. Speranskaya<sup>2</sup>, M.M. Silantjeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Altai State University, m\_solomonova@list.ru

<sup>2</sup>Altai State University, speranskaj@mail.ru

<sup>3</sup>Altai State University, msilan@mail.ru

*Summary.* The text presents a study of the coenotic confinement of polylobed and wavy forms of the crenate morphotype. Phytolith spectra from steppe, forest, meadow and tundra phytocenoses of Northern and Western Altai have been studied. Differences in the ecological-coenotic specificity of the two forms of the indicated morphotype were revealed.

*Keywords:* Altai, cereals, surface soil, phytocenoses, phytoliths, crenate.

УДК 631.42

## РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ И МИКРОБИОМОРФНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ПРИОЗЕРНЫХ ПОНИЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

А.С. Сыренжапова<sup>2</sup>, Л.Л. Убугунов<sup>1,2</sup>, Е.Ю. Абидуева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, l-ulze@mail.ru

<sup>2</sup>Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р.Филиппова, Улан-Удэ, arunaSS\_70@mail.ru

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, abidueva\_1@mail.ru

**Аннотация.** Комплексные исследования приозерных почв и донных осадков высокоминерализованного хлоридного озера Бабье (юго-восточное Забайкалье, Россия) показали, что циклические изменения уровня озер в гумидную и аридную фазы, соленакопление и почвенно-экологические условия определяют формирование фитоценоза и разнообразие микробных сообществ.

**Ключевые слова:** юго-восточное Забайкалье, высокоминерализованные хлоридные озера, приозерные экосистемы, засоление, галофиты, растительность, таксономическое разнообразие, микробное сообщество.

Изучены приозерные почвы и донные осадки высокоминерализованного хлоридного озера Бабье, расположенного в пределах Восточно-Монгольской платформы. Котловина озера расположена между разнородными и разновозрастными террейнами, породы которых включают осадочные и вулканогенно-осадочные образования окраинных морей, формировавшихся на различных этапах и при неодинаковых геодинамических режимах по периферии Сибирского континента [1]. Озеро относится к Онон-Борзинской группе, особенностью которой является чередование циклов иссушения и наполнения в разные годы, влияющих на гидрохимический состав воды озера, пространственную структуру растительности приозерных экосистем, видовое разнообразие микробных сообществ [2, 3]. По результатам гидрохимического анализа на момент исследования вода озера Бабье характеризовалась сильнощелочной реакцией (рН 8,9), высокой минерализацией солей (47 г/л) и сульфатно-хлоридно-натриевым типом химизма.

Исследования приозерных экосистем проведены на 3 ключевых участках, расположенных на супераквально-субаквальных, супераквальных и элювиально-супераквальных позициях. Заложены 3 опорных и 9 вспомогательных почвенных разрезов, проведено геоботаническое описание растительных сообществ, отобраны пробы на изучение почвенной микробиоты, озерной воды и донных осадков.

Названия почв даны в соответствии с Классификацией почв России [4]. Содержание органического углерода, подвижных форм фосфора и калия, карбонатов, обменных катионов, гранулометрического состава определяли по общепринятым методам в почвоведении и агрохимии [5]. Кислотность среды измеряли на иономере Экотест-120.

Для проведения молекулярных исследований пробы образцов отбирали стерильно в пластиковые флаконы (BD Falcon TM, Greiner Bio-One, Германия), которые затем помещали в холодильник и хранили при температуре 4°C. Изучение разнообразия микробного сообщества проводилось с использованием оборудования ЦКП “Геномные технологии, протеомика и клеточная биология” ФГБУ Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии методом высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК (Санкт-Петербург, Россия).

Первый модельный полигон расположен на наиболее динамичном циклическом супераквально–субаквальном участке приозерного понижения. Морфологический профиль почв резко дифференцирован и имеет следующую систему генетических горизонтов: Sq–Cs–CQs. Водный режим этих почв неустойчив. По системе генетических горизонтов этот тип почвы относится к солончакам квазиглеевым [4].

Второй модельный полигон расположен на супераквальных позициях приозерного понижения, в 153 м от береговой линии озера. Тип профиля представлен следующей системой генетических горизонтов: AJs–ACs–CQs и по [4] соответствует гумусово-квазиглеевой засоленной почве.

Третий модельный полигон заложен на пологом склоне элювиально-супераквального (приозерно-зонального) участка палеогидроморфной позиции озерной депрессии. Морфологическое строение почв (Б-3) имеет следующую формулу: AJ–ACs–Cs и диагностирует тип светлогумусовой засоленной почвы. [4]. Краткая физико-химическая характеристика приозерных почв оз. Бабье дана в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические свойства приозерных почв оз. Бабье

Горизонт	Глубина, см	pH	CO <sub>2</sub>	Гумус	<0,001 мм	Подвижные формы (по Мачигину)	
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
						мг/100г	
Солончак квазиглеевый (разр. Б-1)							
Sq	0–5	8,4	8,35	4,84	54	6,66	74,71
Cs	5–20(22)	8,8	2,34	0,48	14	0,18	15,42
CQs	20(22)–30	8,5	7,80	0,64	37	0,14	20,96
	30–80	8,2	9,38	0,45	41	0,93	17,83
Гумусово-квазиглеевая засоленная почва (разр. Б-2)							
AJs	0–15(18)	8,6	1,87	1,22	14	0,18	19,52
ACs	15(18)–34(39)	9,7	1,59	0,29	15	1,20	15,66
CQs	34(39)–65	9,6	6,0	0,42	31	0,66	16,87
Светлогумусовая засоленная почва (разр. Б-3)							
AJ	0–33(39)	7,5	0,47	1,27	13	0,22	12,05
ACs	33(39)–44(47)	9,4	0,65	0,91	20	0,66	12,05
Cs	44(47)–60	9,2	1,31	0,67	31	0,66	13,73

Основной чертой пространственной структуры растительности приозерных экосистем оз. Бабье является приуроченность пионерных гипергалофитных сообществ и галофитных сообществ к супераквально-субаквальным позициям с сильнозасоленными почвами хлоридного засоления (Б-1). Растительность супераквальных участков на гумусово-квазиглеевых засоленных почвах хлоридно-содового химизма с неустойчивым типом водного режима (Б-2) сформирована преимущественно многолетниками с преобладанием галофитов и мезофитов, что указывает на длительность ее развития в данных условиях. Более низкая засоленность и влажность почв в этой позиции по сравнению с супераквально-субаквальной обуславливают участие глико-олигогалофитов и мезоксерофитов. На элювиально-супераквальных позициях на светлогумусовых почвах (Б-3) сформировалась ковыльно-разнотравно-вострещовая степь. Ксерофиты составляют в совокупности основную часть травостоя (более 2/3 общего проективного покрытия и около 45% видового). Незасоленность 0–44 см слоя благоприятствует развитию растительного сообщества в основном зонального (степного) характера, но с участием мезофитов и ксеромезофитов. Относительно неглубокое залегание засоленных (содово-хлоридное засоление) горизонтов ACs и Cs благоприятствует произрастанию галотолерантных видов, включая доминанты: *Stipa krylovii* и *Leymus chinensis*.

В результате высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК установлено, что бактериальное сообщество изученных почвенных образцов представлено в основном следующими девятью филумами: *Proteobacteria*, *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Planctomycetes*, *Gemmatimonadetes* и *Firmicutes*. В солончаках доминирующими филотипами были: *Proteobacteria* (27%), *Bacteroidota* (16%), *Actinobacteriota* (16%), *Archaea* (13%). Археи представлены филумами *Halobacterota* и *Crenarchaeota*, к последнему принадлежат в основном неклассифицированные аммоний-окисляющие археи семейства *Nitrososphaeraceae*.

В гумусово-квазиглеевых засоленных почвах в составе микробного сообщества доминировали в основном *Firmicutes* (26%), *Proteobacteria* (24%), *Actinobacteriota* (17%). Архейное разнообразие этой почвы представлено филумом *Crenarchaeota*. В гумусовом слое 1,4 % приходится на филум *Halobacterota*, доминант донных осадков.



В микробном сообществе светлогумусовой засоленной почвы преобладают почти в равных долях филумы Actinobacteriota (16%), Alphaproteobacteria (15%), а также Firmicutes (8%), Acidobacteriota (8%) и Archaea (9%), Архейное разнообразие светлогумусовой засоленной почвы представлено исключительно представителями филума Crenarchaeota, которые соотносены в основном с неклассифицированными аммоний-окисляющими представителями семейства Nitrososphaeraceae.

Анализ архейного ряда показал увеличение филума Crenarchaeota и снижение филума Halobacterota при переходе от супераквально–субаквального участка приозерного понижения к элювиально-супераквального (приозерно-зонального) участка палеогидроморфной позиции озерной депрессии (рис. 1).

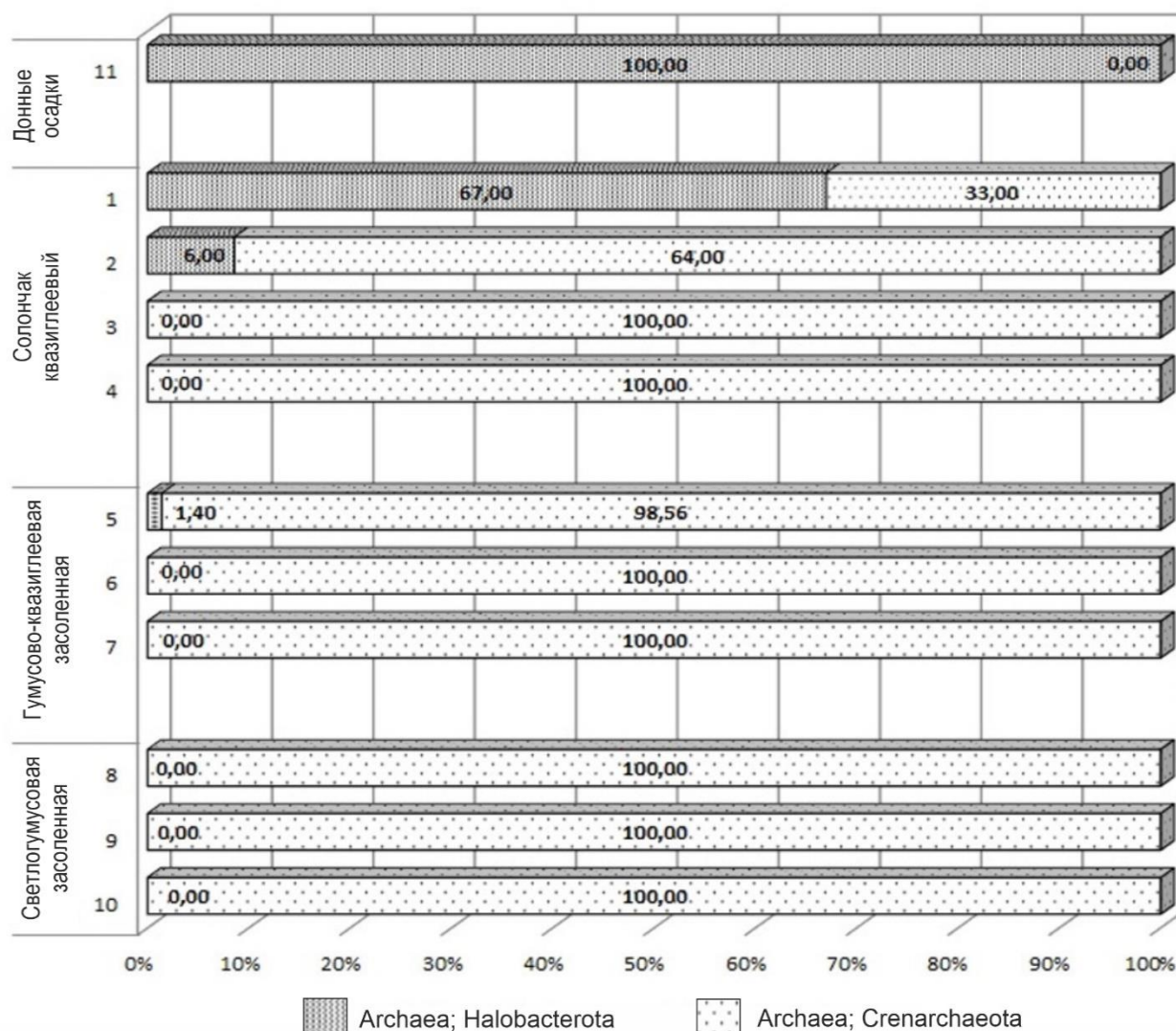


Рисунок 1. Смена архейного разнообразия (на уровне филумов) в донных осадках и ключевых участках прибрежной части озера Бабье.

Таким образом, формирование засоленных почв приозерных понижений степной зоны юго-восточного Забайкалья происходит под действием циклических изменений уровня озер в гумидную и аридную фазы, оказывающих влияние на изменение гидрохимического состава воды. Немаловажное значение оказывает эоловый фактор. Морфологическое строение, а также данные по динамическим свойствам и вещественному составу почв супераквально-субаквальных, супераквальных и элювиально-супераквальных позиций выявили проявление современного континентального засоления различного химизма и гидрогенного окарбоначивания.

Формирование приозерных почв в процессе эволюции и в современных условиях определяют изменения таксономического разнообразия в микробном сообществе. Влияние минерализованных хлоридных вод способствует формированию близких по

таксономическому составу микробных сообществ донных осадков оз. Бабье и сильнозасоленных почвенных горизонтов.

Гумусово-квасиглеевые почвы формируются в различных режимах в аридную и гумидную фазы. Структура микробиома этого типа почв характеризуется присутствием галобактерий и кренархеот. Отсутствие галобактерий в светло-гумусовой засоленной почве, вероятно связано с отсутствием легкорастворимых солей в гумусовом горизонте и низким содержанием их в переходном (Ас).

Для микробных сообществ зональных почв установлена значительная доля таксонов, участвующих в круговоротах углерода и азота (азотфиксирующих, восстанавливающих нитриты и нитраты, окисляющих аммоний), играющих ключевую роль в глобальных биогеохимических циклах.

**Финансирование.** Работа выполнена частично в рамках государственного задания ИОЭБ СО РАН по темам №121030100229-1 и № госрегистрации 121030100228-4.

Результаты секвенирования гена 16S рРНК получены в лаборатории ФГБНУ «Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии» (г. Санкт-Петербург) по договору 18/2022/2н от 16.09.2022 г.

### Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М50 – Борзя. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 553 с.
2. Сыренжапова, А. С. Сезонные и межгодовые изменения активности микроорганизмов высокоминерализованных содово-соленых озер Онон-Керуленской группы: специальность 03.00.1603.00.07: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Сыренжапова Арюна Сыдынжаповна. Улан-Удэ, 2004. 19 с.
3. Борзенко С.В. Причины гидрогеохимического разнообразия соленых озер Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 51–60.
4. Полевой определитель почв России / М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с
5. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / разработ. Н.Б. Хитров, А.В. Понизовский. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. 1990. 236 с.

### SOIL DIVERSITY AND MICROBIOMORPHIC COMPLEXES OF SALINE SOILS OF LAKESIDE DEPRESSIONS OF SOUTHEASTERN TRANSBAIKALIA

A.S. Syrenzhapova<sup>2</sup>, L.L. Ubugunov<sup>1, 2</sup>, E.Yu. Abidueva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, l-ulze@mail.ru

<sup>2</sup>Buryat State Agricultural Academy named after. V.R. Filippova, Ulan-Ude, arunass\_70@mail.ru

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, abidueva\_1@mail.ru

*Summary.* Complex studies of lakeside soils and bottom sediments of the highly mineralized chloride lake Babye (southeastern Transbaikalia, Russia) have shown that cyclic changes in lake level in humid and arid phases, salinity accumulation and soil-ecological conditions determine the formation of phytocenosis and the diversity of microbial communities.

*Keywords:* Southeastern Transbaikalia, highly mineralized chloride lakes, lakeside ecosystems, salinization, halophytes, vegetation, taxonomic diversity, microbial community.

*Научное издание*

УДК 631.4

ББК 40.3

П65

DOI: [10.31251/conf1-2023](https://doi.org/10.31251/conf1-2023)

ISBN 978-5-6044070-4-2

ISBN 978-5-6044070-4-2



**Почвы и окружающая среда** [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (2–6 октября 2023 г., г. Новосибирск). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. 838 с. DOI: [10.31251/conf1-2023](https://doi.org/10.31251/conf1-2023)