

На правах рукописи



Паршина Евгения Константиновна

**ДЕСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА
В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ТАЕЖНОЙ И
ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОН ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

03.00.05 – ботаника

03.00.27 – почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Томск

2009

Работа выполнена в лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН

Научный руководитель: кандидат биологических наук
Миронычева-Токарева Нина Петровна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Прокопьев Евгений Павлович

кандидат биологических наук
Пологова Нина Николаевна

Ведущая организация: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Защита диссертации состоится 24 декабря 2009 года в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.09 при ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
Факс: (3822) 529601

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета

Автореферат разослан « ____ » ноября 2009 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук

 З.П. Середина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Исходя из положения о том, что основной функцией растительных сообществ и вообще природы является не продуктивность, а стремление создать стабильные системы (Шварц, 1976), можно полагать, что накопление органического вещества имеет определяющее значение для роста и развития растительных сообществ болот. Роль растительности в почвообразовании чрезвычайно разнообразна, однако наиболее существенной функцией ее является синтез органического вещества и накопление энергии. Глубокие сопряженные исследования всех форм деструкции растительного вещества являются основой правильного понимания закономерности трансформации растительности в процессе эволюции. Познание этих закономерностей откроет реальную возможность предвидеть перспективу развития растительного и почвенного покрова отдельных регионов. Величина накопления или потерь органического вещества в болотных почвах конкретной болотной экосистемы является главным признаком ее современного функционального состояния. Органическое вещество обладает способностью, поглощать и удерживать в больших количествах воду и эта особенность явилась предпосылкой использования создаваемых запасов мертвых растительных остатков в качестве субстрата (почвы) для устойчивого функционирования растительных сообществ. Органогенные почвы служат не только накопителем влаги, но и источником азота и зольных элементов, количество и пропорции которых соответствуют составу произраставшей на них растительности (Титлянова, 1977).

Количественные оценки продуцирования и потерь растительного вещества требуют динамических наблюдений в различных типах болотных экосистем, определяющих режим их функционирования. Вопросы, связанные с определением ведущего источника биогенных элементов для болотной растительности, до сих пор не имеют однозначного решения, хотя изменяющиеся на протяжении жизни болот условия минерального питания фитоценоза – один из главных движущих факторов развития болотной экосистемы и ее компонента – почвы.

В основу изучения различных аспектов процесса деструкции растительного вещества положен биогеохимический подход, который позволил определить роль болотной растительности в формировании минерального состава верхних горизонтов болотных почв.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы явилось выявление закономерностей трансформации минерального состава корнеобитаемого горизонта болотных почв, обусловленных спецификой растительного покрова и динамикой разложения растительного вещества в болотных экосистемах южной, средней тайги и лесотундры. Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить скорости разложения отдельных фракций доминантных видов растений в корнеобитаемом почвенном слое олиготрофных, мезотрофных и эвтрофных болотных экосистем;

- проследить динамику потерь растительного вещества верхним горизонтом болотных почв в лесотундровой и таежной зонах;

- определить содержание основных макроэлементов в доминантных растениях торфяных экосистем;

- проследить динамику потерь основных макроэлементов при разложении растительного вещества в болотных почвах лесотундровой и таежной зон Западной Сибири;

- рассчитать бюджет основных макроэлементов для корнеобитаемого слоя почвы в болотных экосистемах средней тайги.

Защищаемые положения.

1. При разложении одних и тех же видов доминантных растений в направлении с севера на юг на территории Западно-Сибирской равнины потери массы увеличиваются.

2. Содержание макроэлементов в растительном веществе экосистем снижается в ряду: $C > N > Ca > K > Mg > P$. Фракция охеса сфагновых мхов в болотных экосистемах играет роль хранилища элементов питания.

3. Бюджет макроэлементов для четырех болотных экосистем в средней тайге показал наличие стока углерода и повышенное накопление элементов-биофилов в корнеобитаемом слое торфяных почв, что свидетельствует о роли последнего в регуляции обмена углекислого газа в системе растение – почва при современном состоянии уровня накопления углекислого газа в атмосфере.

Научная новизна. Впервые выявлены закономерности динамики потерь растительной массы и макроэлементов в процессе деструкции растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири. Показано, что скорость деструкции растительного вещества зависит от содержания элементов-биофилов в его фракциях. Выявлена роль охеса сфагновых мхов как хранилища элементов-биофилов в болотных экосистемах. Обоснованы оценки потерь в процессе деструкции корневой массы доминантов растительного покрова болот. Впервые рассчитан бюджет макроэлементов для четырех болотных экосистем в средней тайге, показывающий, что происходит накопление углерода и элементов питания в корнеобитаемом слое торфяных почв, который может выполнять роль регулятора устойчивости болотных экосистем.

Практическая значимость работы. Исследования вносят вклад в теорию биологического круговорота, а также развивают представления о деструкционных процессах в болотных экосистемах северных регионов. Разработана и заполняется компьютерная база данных по запасам и потерям химических элементов в растительных сообществах болотных экосистем. Полученные результаты и выводы по определению потерь при разложении растительного вещества в болотных экосистемах могут быть использованы как основа при организации регионального экологического мониторинга окружающей среды при техногенном загрязнении. Полученные материалы и результаты исследования могут использоваться для подготовки лекционных и практических занятий по экологии и болотоведению в ВУЗах соответствующего профиля.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и обсуждены на Международном полевом симпозиуме «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее» (Ноябрьск, 2001); на Всероссийской научной конференции «Человек и почва в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2004); на

Международной научной конференции «Проблемы изучения растительного покрова Сибири» (Томск, 2005); на втором Международном полевым симпозиуме «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее» (Ханты-Мансийск, 2007); на Российской научной конференции «Почвы Сибири: генезис, география, экология и рациональное использование» (Новосибирск, 2007); на Российско-Французском форуме «Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте» (Томск, 2007); на Всероссийском съезде почвоведов им. В.В. Докучаева (Ростов-на-Дону, 2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе 5 публикаций в журналах из перечня ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 213 страницах, содержит 34 таблицы и 70 рисунков. Список литературы включает 270 источников, в том числе 65 на иностранных языках. В приложениях приведены схемы опытов на ключевых участках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Проблема изучения процессов деструкции растительного вещества в болотных экосистемах

Функционирование биосферы осуществляется сложной системой процессов, различных по своей пространственно-временной структуре. Теоретические представления о сложной системе взаимодействия всех компонентов в биосфере и экосистеме были заложены работами В.В. Докучаева (1954), В.И. Вернадского (1965), Ю. Одума (1986) и др. «...Ни в одном природном биогеоценозе растительность не выступает в роли ведущего почвообразователя так зримо, как в болотном. Здесь свойства субстрата и растительности теснейшим образом взаимосвязаны...» (Бахнов, 1986, стр. 43). На каждом историческом этапе состав и свойства почвы соответствовали уровню развития растительности и условиям окружающей среды. Развитие почвообразовательного процесса, так же как и эволюция растительности и природы в целом, следовали от простого к более сложному (Герасимов, 1976). Вопросы, связанные с определением ведущего источника биогенных элементов для болотной растительности, до сих пор не имеют однозначного решения, хотя изменяющиеся на протяжении жизни болот условия минерального питания фитоценоза – один из главных движущих факторов развития болотной экосистемы и ее компонента – почвы.

Глава 2. Характеристика болотных почв

В процессе общей эволюции формы почвообразования продолжают существовать и развиваться: изменяются количественный, и качественный составы органического и минерального компонентов. Объектом наших исследований являются болотные почвы, относящиеся к атмоземной форме почвообразования (Бахнов, 1986). Исследования взаимосвязи современной растительности с почвами и торфяными отложениями дают противоречивые результаты. Отмечено, что взаимосвязь между почвой и растительностью выражена на болотах гораздо сильнее, чем на суходольных землях, вследствие более сильного непосредственного

воздействия на растительность условий питания. Запас биогенных элементов в органогенном профиле болотных почв, сформированных на выровненных водораздельных пространствах, создается, главным образом, биологическим путем, а ведущим источником их служит почва (минеральный субстрат), подвергшаяся заболачиванию.

Глава 3. Природные условия таежной и лесотундровой зон Западной Сибири

Исследуемая территория распространяется на следующие природные зоны: лесотундру и таежную зону. Таежную зону подразделяют на подзоны северной, средней и южной тайги (Шумилова, 1962; Ермаков, 2003). Средняя заболоченность лесотундры и таежной зоны около 40% (Иванов, Новиков, 1967).

Глава 4. Объекты и методы исследования

Объектами наших исследований являлись болотные комплексы лесотундры (водораздел рек Надым и Ныда) и таежной зоны Западной Сибири (междуречья рек Обь и Иртыш, Бакчар и Икса) (табл. 1). Болота представлены кустарничково-сфагновыми, кустарничково-пушицевыми, осоково-сфагновыми, осоково-гипновыми и другими растительными сообществами.

Плоскобугристое болото Пангоды расположено в пределах водораздела рек Надым и Ныда. Ключевой участок в зоне лесотундры включает две экосистемы – плоские мерзлые бугры и талые мочажины. Глубина талого слоя на буграх в летнее время колеблется от 30 до 50 см ниже поверхности мхов и лишайников. Торфяной слой, начинающийся от отмерших частей мхов и лишайников обладает плотным сложением и высокой степенью разложения. Мочажины за вегетационный период оттаивают на глубину более 1 м. Уровень залегания болотных вод варьирует от 0 до 15 см ниже поверхности мохового покрова. Растительность представлена на буграх кустарничково-лишайниковыми и кустарничково-моховыми сообществами (*Ledum decumbens* Lodd. ex Steud., *Cladonia stellaris* (Opiz) Brodo, *Sphagnum fuscum* (Schimp.)

Таблица 1. Расположение ключевых участков

| Зона и подзона | Тип болота | Координаты | Название экосистем |
|----------------|--------------------------------|----------------------------|--|
| лесотундра | плоскобугристое болото Пангоды | 65°52' с.ш. 74°58' в.д. | плоский бугор, мочажина |
| средняя тайга | верховое болото Кукушкино | 60°58' с.ш. 70°10' в.д. | рям, гряда и мочажина ГМК, осоково-сфагновая топь |
| | верховое болото Чистое | 61°03' с.ш. 69°28' в.д. | рям, гряда и мочажина ГМК |
| южная тайга | верховое болото Бакчарское | 56°50' с.ш. 82°51' в.д. | рям, гряда и мочажина ГМК, кустарничк.-пушиц.-сфагновое с-во, осоково-сфагновая топь |
| | пойменное болото Обское | 56°30' с.ш. 84°01' в.д. | осоково-гипновая топь |

Klinggr.), в мочажинах – осоково- и пушицево-сфагновыми сообществами (*Carex rotundata* Wahlenb., *Eriophorum russeolum* Fries., *Sphagnum balticum* Russ. ex C.Jens.).

В подзоне средней тайги для исследования выбраны два олиготрофных комплекса, находящиеся на территории водораздела рек Оби и Иртыша. На них заложены трансекты, охватывающие следующие экосистемы: рям, грядово-мочажинный комплекс и осоково-сфагновую топь. Почвы болотных комплексов представлены торфяно-болотными на средних и глубоких торфах.

В подзоне южной тайги в качестве ключевых участков выбраны водораздельный олиготрофный комплекс, представляющий собой северо-восточный отрог Большого Васюганского Болота в междуречье рек Бакчар и Икса и осоково-гипновое пойменное болото. Почвы болотного комплекса представлены торфяно-болотными почвами на средних и глубоких торфах.

Растительность олиготрофных комплексов южной и средней тайги сходна. В рямах и грядах с *Pinus sylvestris* L. кочковатый микрорельеф. Кочки покрыты кустарничками (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Ledum palustre* L., *Andromeda polifolia* L., *Oxycoccus palustris* Pers.). Около 20% проективного покрытия приходится на травы – *Rubus chamaemorus* L. и *Eriophorum vaginatum* L. В моховом покрове доминирует *Sphagnum fuscum* (60% проективного покрытия). В мочажинах преобладающим сообществом является шейхцериево-сфагновое. Общее проективное покрытие трав и кустарничков около 10%. Моховой покров в основном сложен *Sphagnum balticum* и *S. papillosum* Lindb.

Эксперименты по определению динамики потерь растительных остатков доминантных видов проводились в тридцатисантиметровом верхнем слое болот с 2000 по 2007 годы. Для ведения эксперимента использовался метод разложения в нейлоновых мешочках. Мешочки с определенными фракциями растительного вещества закладывались в верхний слой торфяной толщи на следующие глубины – 5 см, 15 см и 25 см. При расчетах данные потерь разных глубин усреднялись для слоя 30 см.

В эксперименте участвовало 6 видов кустарничков, 13 видов травянистых растений, 10 видов мхов и 2 вида лишайников. Использовались следующие фракции: зеленые листья, ветошь трав и кустарничков, стволы кустарничков, подземные органы растений, очес сфагновых мхов, ветошь лишайников. Всего было обработано 1340 образцов.

Для выяснения влияния условий местообитания на деструкцию растительного вещества меняли условия разложения, перенося остатки с кочки в мочажину или из верхового болота в низинное. Это делалось для того, чтобы выяснить факторы, обуславливающие низкую скорость деструкции сфагновых мхов.

С целью получения количественных характеристик потерь макроэлементов определяли зольность, содержание углерода, азота, фосфора, калия, натрия, кальция и магния в исходных образцах растительного вещества и после эксперимента разложения.

Глава 5. Динамика деструкции кустарничков

В растительном покрове болот на повышенных элементах рельефа хорошо выражен кустарничковый ярус, вклад которого в запасы растительного вещества в надземной и подземной сферах колеблется в пределах 30-40%, и при движении с севера на юг эти значения меняются незначительно. Видовой состав болотных кустарничков во всех подзонах тайги и в лесотундре практически не меняется. В различных подзонах происходит замена одних доминирующих видов кустарничков на другие, но и те, и другие присутствуют в растительных сообществах, с различной степенью обилия. Скорость разложения различных фракций кустарничков зависит от особенностей их морфологического строения.

Для всех видов кустарничков в течение первого года характерна наименьшая скорость деструкции в кустарничково-пушицево-сфагновом сообществе. Наиболее значительное снижение массы корней кустарничков произошло в первый год, примерно третья часть от исходного веса. В течение второго года скорость разложения упала в два раза. Корни за два года разложения потеряли половину исходной массы. Изменение константы разложения *Chamaedaphne calyculata* в течение трехлетних экспериментов проиллюстрировано на рисунке 1. Максимальная скорость разложения отмечалась на начальных этапах по прошествии 2-х месяцев после закладки опыта. Наивысшее значение константы для корней кустарничков $k = 0.11$, для листьев $k = 0.08$. Затем скорость разложения заметно снизилась, и уменьшился диапазон, в пределах которого варьирует константа.

Наибольшая скорость разложения отмечена для листьев *Betula nana* L. в верховых болотах. Разложение зеленых листьев у *Ledum palustre* и *L. decumbens* идет медленнее, чем у *Chamaedaphne calyculata*. Медленнее, чем другие части кустарничков, разлагаются стволы. Снижение их массы за год в рябе и на гряде составляет 15%, и чуть меньше в топи – 12%. В течение второго года масса

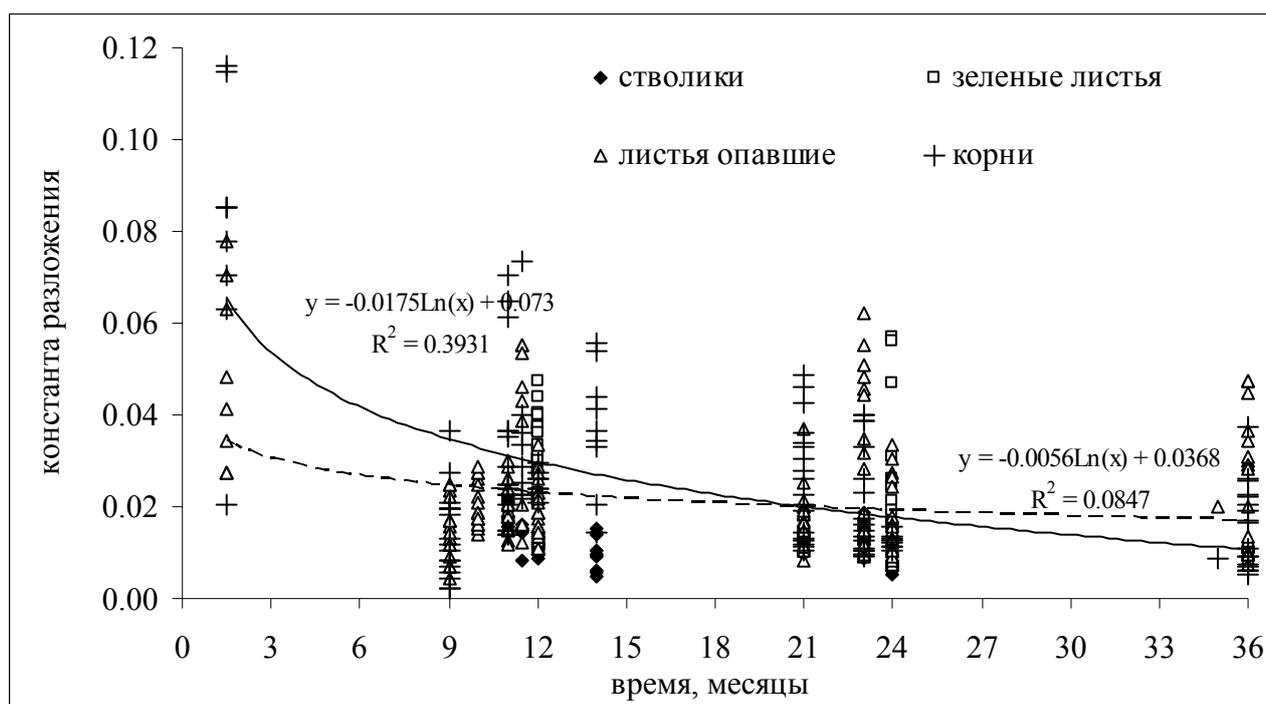


Рис. 1 Динамика константы разложения *Chamaedaphne calyculata* по фракциям

стволиков понижается на повышениях – на 9%, в понижениях только на 3%. Потери при разложении листьев багульника в лесотундре за год составили 20%, что сравнимо с потерями в пятнистой тундре 16% и в мелкопочварной тундре 24%, согласно данным Н.И. Андреяшкиной (1974), проводившей исследования в лесотундре Зауралья.

По скорости разложения фракции кустарничков можно выстроить в ряд: зеленые листья, опавшие листья, корни и самая трудноразлагаемая фракция – это стволики. Листья, корни и стволики кустарничков разлагались быстрее на повышенных элементах рельефа – рям, гряда, кустарничково-пушицево-сфагновое сообщество. По скорости разложения виды кустарничков можно расположить в следующем порядке: *Betula nana*, *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Ledum decumbens*, *Oxycoccus palustris*, *Andromeda polifolia*. При сравнении потерь при разложении одних и тех же видов кустарничков в болотных экосистемах можно сказать, что в направлении с севера на юг потери массы при разложении увеличиваются, причем скорость разложения наибольшей разницы достигает в течение второго года опыта (рис. 2).

При разложении в течение года зеленых листьев *Chamaedaphne calyculata* в лесотундре и средней тайге потери всех элементов, кроме азота, были больше в средней тайге, чем в лесотундре (табл. 2). Потери углерода колебались в пределах 22-30%. Средняя подвижность элементов при разложении зеленых листьев уменьшается в ряду: Na, K, Mg, Ca, C, P, N.

В опавших листьях *Chamaedaphne calyculata* потери углерода были приблизительно равны на всех трех ключевых участках (16-18%). Потери калия (72-82%) и натрия (60-69%) также различались незначительно и превысили потери углерода в 3-5 раз. Кальций из опавших листьев терялся почти равномерно с углеродом, его потери превысили потери углерода лишь на 5-15%, максимальные потери кальция наблюдались в южной тайге. Азот и фосфор обнаружили почти одинаковые потери в лесотундре и превысили потери углерода в три раза. Потери

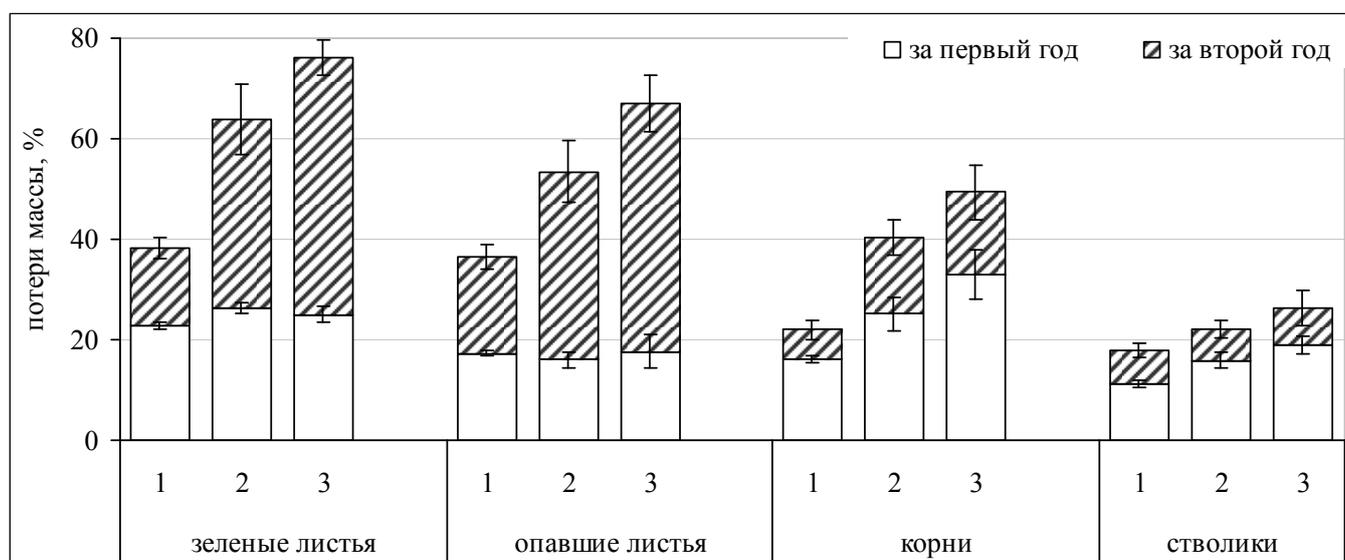


Рис. 2 Потери массы при разложении фракций *Chamaedaphne calyculata* на трех ключевых участках: 1 – в лесотундре, 2 – в средней тайге, 3 – в южной тайге.

Таблица 2 Потери элементов при разложении фракций *Chamaedaphne calyculata* в течение года на трех ключевых участках, в % от исходного количества

| Фракции | Зона и подзона | С | N | Р | К | Na | Ca | Mg |
|----------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| зеленые листья | лесотундра | 22.3 | 14.1 | 3.3 | 58.4 | 77.2 | 20.4 | 25.4 |
| | средняя тайга | 30.4 | 8.4 | 24.4 | 87.8 | 78.1 | 37.6 | 44.3 |
| опавшие листья | лесотундра | 17.2 | 53.4 | 44.6 | 72.4 | 69.4 | 23.1 | 14.4 |
| | средняя тайга | 16.4 | 27.5 | 57.1 | 82.3 | 66.7 | 21.2 | 33.8 |
| | южная тайга | 17.9 | 38.2 | 17.9 | 72.2 | 60.4 | 32.3 | 35.2 |
| корни | лесотундра | 18.6 | 8.3 | 30.2 | 66.4 | 83.5 | 58.3 | 17.6 |
| | средняя тайга | 25.4 | 52.8 | 13.4 | 75.1 | 81.9 | 71.8 | 44.7 |
| | южная тайга | 33.1 | 21.4 | 20.2 | 51.8 | 78.7 | 61.2 | 18.7 |

азота в лесной зоне были меньше, чем в лесотундре, но, тем не менее, выше потерь углерода в два раза. Для фосфора наблюдались максимальные потери в средней тайге (57%) и минимальные в южной (16%). Средняя подвижность элементов при разложении опавших листьев снижается в ряду: К, Na, N, P, Mg, Ca, С. При разложении корней *Chamaedaphne calyculata* наблюдались высокие потери натрия (около 80%), около 64% составили средние потери калия и кальция. Потери этих трех элементов превысили потери углерода в 2-4 раза. В среднем потери азота и магния были равны потерям углерода, хотя в средней тайге наблюдались максимальные потери этих элементов – около половины от исходного количества. В среднем, по ключевым участкам, фосфор из корней терялся медленнее, чем азот и углерод, но максимальные потери их отмечены в лесотундре. Средняя подвижность элементов при разложении корней падает в ряду: Na, К, Ca, N, Mg, С, P.

Глава 6. Динамика деструкции трав

Травяной ярус болотных комплексов различной трофности представлен сосудистыми растениями, в основном одним семейством – *Cyperaceae*, с незначительной примесью видов из других семейств, относящихся к гидрофитам и гигрофитам. Для определения скорости деструкции были взяты 13 видов трав, доминантов болотных экосистем. На пониженных элементах рельефа болот по трансекту с севера на юг доминируют осоки – *Carex rotundata*, *C. limosa* L., *C. rostrata* Stokes, *C. lasiocarpa* Ehrh. Встречаются также *Equisetum fluviatile* L., *Eriophorum russeolum*, *Menyanthes trifoliata* L., *Scheuchzeria palustris* L. и *Thelypteris palustris* Schott. На повышенных элементах рельефа травяной ярус представлен *Carex globularis* L., *Eriophorum vaginatum* и *Rubus chamaemorus*. Разложение трав изучалось в тех же сообществах, где они составляют основу растительного покрова и являются доминантами или содоминантами.

Динамика разложения фракций пушицы, осок, шейхцерии и вахты в подзонах южной и средней тайги была довольно сходна. Листья *Eriophorum vaginatum* в ряме разложились за год на четверть массы, в течение второго года скорость их разложения возросла и за два года потери составили чуть больше половины исходной массы. Потери массы корней пушицы в средней тайге были на 80% больше, чем на болоте в южной тайге. Скорость разложения их снизилась на второй год в 2-3 раза и за два года потери составили одну четвертую часть от исходного

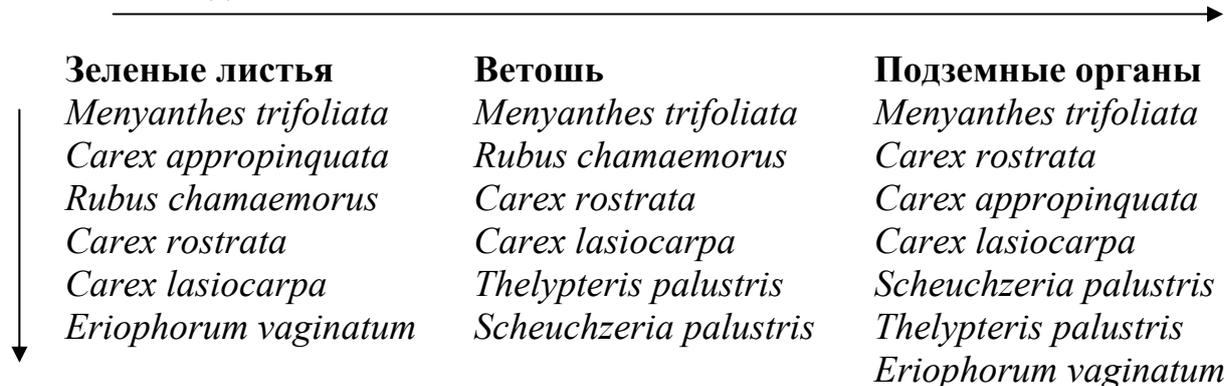
количества. Узлы кущения, как в южной, так и в средней тайге, потеряли не более 20%. В отличие от зеленых листьев морошки и пушицы, у которых наибольшие потери массы наблюдались во второй год опыта, листья осок почти половину потеряли уже в течение первого года, а на следующий год скорость их разложения упала в два раза. Ветошь осок разлагалась с увеличением скорости разложения, примерно на 10%, и потери за два года составили половину исходного веса. Корни и корневища осок за первый год разложения потеряли третью часть массы, потери второго года не превысили 5%. Ветошь и корневища *Sheuchzeria palustris* разлагались примерно одинаково. Они потеряли треть массы за первый год, в течение второго года опыта их потери варьировали от 3 до 12%.

Наибольшая скорость разложения наблюдалась у *Menyanthes trifoliata*. Для всех четырех фракций характерна наибольшая потеря массы в первый год, на следующий год скорость разложения резко снизилась. В первый год больше других фракций потеряли корневища вахты (75%), на 15% меньше разложились зеленые листья, чуть больше половины исходной массы потеряла ветошь, и потеря корней была наименьшей. По истечении трех лет почти полностью (на 90%) разложились зеленые листья и ветошь, на несколько процентов меньше потеряли корневища и только половину от исходной массы потеряли корни. Сравнивая разложение вахты в средней и южной тайге, можно сказать, что зеленые листья и корни быстрее разлагались в южной тайге, а ветошь и корневища разлагались примерно с одинаковой скоростью в обеих подзонах.

Наблюдение за разложением листьев *Carex limosa* в мочажинах болотных комплексов лесотундры, средней и южной тайги показало, что потери массы были наименьшими в лесотундре, а в средней и южной тайге весьма близкими, и превысили потери в лесотундре на 10%.

Подобные исследования по скорости деструкции болотных трав проводились в Северной Америке (Канада, провинция Квебек, Bartsch, Moore, 1985), Европейской части России (Карелия, Боч, 1978; Козловская, Медведева, Пьявченко, 1978), Азиатской части России (Обь-Томское междуречье, Загуральская, 1967). За год в Канаде потери при разложении ветоши осок составили 26,6%; в Карелии – по данным М.С. Боч (1978) – за год потери составили 24,5%, по нашим данным потери при разложении ветоши листьев осок в южной тайге составили в среднем 35%.

Снижение скорости разложения трав по фракциям и видам может быть представлено в виде схемы.



Наблюдения за потерями макроэлементов проводились в осоково-сфагновом и осоково-гипновом топяных сообществах южной тайги на примере двух видов – *Carex lasiocarpa* и *Menyanthes trifoliata*. При разложении в течение года ветоши вахты в осоково-сфагновой топи элементы (азот, фосфор, калий, натрий и в меньшей степени кальций и магний) терялись равномерно (около половины от исходного количества) по сравнению с потерей углерода (табл. 3). При разложении корней и корневищ вахты потери азота и кальция были меньше потерь углерода, в то время как убывание фосфора, калия, натрия и магния было значительно больше (от 80 до 98%). Ветошь *Carex lasiocarpa*, разлагаясь в осоково-сфагновой топи, потеряла 14% от исходного содержания кальция, что в два раза меньше потерь углерода; снижение количества остальных элементов происходило интенсивнее, наибольшие потери были у натрия. Из подземных органов осоки сильнее других вымывались кальций и магний (около 90% от исходного количества). Удивительно, что потеря фосфора была в этой фракции довольно низкой (23%).

В образцах, разлагавшихся в течение года в осоково-гипновой топи, наблюдались значительные потери калия и натрия (от 70 до 90%), особенно в подземных органах вахты (99%). Для этой же фракции были получены наибольшие в данном сообществе потери кальция и магния (93%). Ветошь вахты и осоки, а также корни и корневища осоки потеряли всего 20-30% кальция, что ниже, чем потери углерода. Количество магния в образцах осоки снизилось на половину, что в два раза больше потерь углерода, а в ветоши вахты снижение было не таким значительным (42%) и не превысило потерю углерода в этой фракции. Сравнивая потери ветоши осоки в осоково-сфагновой и осоково-гипновой топах, можно сказать, что ветошь осоки теряла массу и макроэлементы сходным образом в обоих сообществах.

В средней тайге потери макроэлементов при разложении наблюдали, как и в южной тайге, на примере *Carex lasiocarpa* и *Menyanthes trifoliata* в осоково-сфагновой топи. Зеленые листья вахты интенсивнее других фракций теряли углерод, азот, калий и натрий, корни и корневища – фосфор, кальций и магний; для ветоши характерны наименьшие потери всех исследуемых элементов, кроме фосфора

Таблица 3 Потери элементов при разложении фракций трав в течение года в южной тайге, в % от исходного количества

| Виды | Фракции | С | N | P | K | Na | Ca | Mg |
|------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Осоково-сфагновая топь | | | | | | | | |
| <i>Carex lasiocarpa</i> | ветошь | 26.7 | 36.8 | 46.0 | 60.4 | 82.6 | 14.4 | 55.8 |
| | корни и корневища | 29.3 | 57.6 | 23.3 | 71.2 | 72.4 | 92.6 | 88.1 |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> | ветошь | 51.0 | 48.2 | 48.4 | 55.3 | 52.9 | 40.2 | 28.2 |
| | корни и корневища | 66.6 | 27.6 | 87.4 | 96.9 | 97.7 | 36.8 | 80.7 |
| Осоково-гипновая топь | | | | | | | | |
| <i>Carex lasiocarpa</i> | ветошь | 29.2 | - | - | 80.5 | 72.1 | 19.7 | 52.2 |
| | корни и корневища | 26.3 | - | - | 85.9 | 84.9 | 31.8 | 46.2 |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> | ветошь | 52.5 | - | - | 88.8 | 84.0 | 32.9 | 41.7 |
| | корни и корневища | 65.0 | - | - | 99.1 | 99.4 | 92.5 | 93.3 |

(табл. 4). Калий и натрий, как наиболее подвижные элементы, из всех фракций вахты вымылись почти полностью, более чем на 90%. При разложении зеленых листьев и ветоши вахты потери углерода, фосфора и кальция довольно близки и составили около 60%, потери азота из листьев были меньше на 15%, а потери азота из ветоши были в три раза меньше, чем потери углерода. При той же самой величине потери углерода из подземных органов вахты потери азота составили здесь 40%, а потери фосфора в два раза больше, и почти полностью вымылись из остатков корней и корневищ калий, натрий, кальций и магний.

Зеленые листья *Carex lasiocarpa* больше, чем другие фракции, потеряли углерода, азота, фосфора, калия и натрия, корни и корневища – кальция и магния; для ветоши осоки были характерны наименьшие потери всех элементов, кроме кальция. Несмотря на сравнительно небольшие во фракциях осоки потери углерода, варьирующие от 20 до 40%, для зеленых листьев и подземных органов отмечены потери азота около 60%, которые превысили потери азота из тех же фракций вахты на 15%. Потери азота из ветоши вахты и осоки были почти равны. Также довольно сходные величины имели потери фосфора из зеленых листьев обоих растений, в то время как потери фосфора при разложении ветоши и подземных органов осоки были в три раза меньше, чем при разложении тех же фракций вахты. Калий, натрий и

Таблица 4 Потери элементов при разложении фракций трав в течение года в средней тайге, в % от исходного количества

| Виды | Фракции | C | N | P | K | Na | Ca | Mg |
|------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Carex lasiocarpa</i> | зеленые листья | 44.3 | 60.3 | 62.8 | 95.6 | 90.9 | 67.1 | 79.6 |
| | ветошь | 20.7 | 15.6 | 20.7 | 61.0 | 76.7 | 75.8 | 52.4 |
| | корни и корневища | 26.9 | 54.4 | 34.9 | 83.0 | 90.2 | 98.0 | 89.6 |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> | зеленые листья | 61.0 | 44.9 | 57.7 | 99.1 | 99.0 | 59.8 | 92.5 |
| | ветошь | 55.8 | 18.4 | 66.0 | 91.3 | 96.0 | 37.2 | 64.8 |
| | корни и корневища | 59.4 | 40.4 | 83.9 | 97.1 | 99.3 | 95.6 | 95.7 |

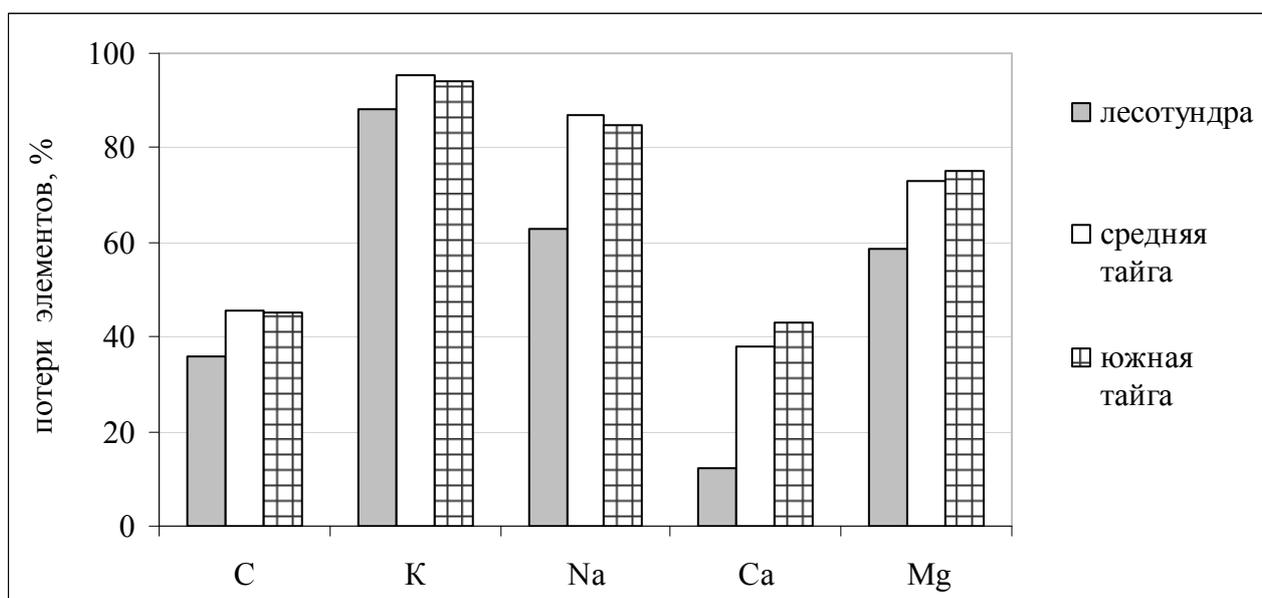


Рис. 3 Потери элементов при разложении зеленых листьев *Carex limosa*.

магний вымывались менее интенсивно из фракций осоки, чем из одноименных фракций вахты. Потери кальция при разложении осоки, наоборот, были больше, особенно из ветоши. В подзонах тайги и лесотундры потери при разложении у зеленых листьев *Carex limosa* в мочажинах наблюдали в течение года. Калий, натрий и магний интенсивно вымывались из разлагающихся зеленых листьев осоки. Наибольшие потери отмечены для калия, около 90%. На треть меньше составили потери натрия и магния. В отличие от них потери кальция в три раза ниже потерь углерода (рис. 3)

Глава 6. Динамика деструкции мхов и лишайников

В качестве объектов изучения трансформации при разложении были выбраны доминирующие виды микрогруппировок болотных экосистем – бугров, рямов, гряд, мочажин и топей. В группу доминантов вошли два вида лишайников: *Cladonia stellaris* и *C. stygia* (Ach.) Ahti; три вида гипновых мхов: *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst., *Helodium blandowii* (Web. et Mohr) Warnst. и *Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T.Kop.; семь видов сфагновых мхов: *Sphagnum angustifolium* (Russ. ex Russ.) C.Jens., *S. balticum*, *S. fallax* (Klinggr.) Klinggr., *S. fuscum*, *S. lindbergii* Schimp. ex Lindb., *S. magellanicum* Brid. и *S. papillosum*.

Потери массы очеса главного доминанта мохового яруса *Sphagnum fuscum* в ряме и на гряде в южной тайге соответствуют потерям в рьямах и на грядах в средней тайге. Разложение очеса в течение двух лет шло довольно равномерно, и скорость разложения менялась незначительно. Скорость разложения *Sphagnum fuscum* на плоскобугристом болоте лесотундры невысока, потери массы в первый год составили 6% от исходного веса (рис. 4). В течение двух лет наблюдалось почти равномерное разложение, с небольшим снижением скорости разложения на следующий год. Потери массы в лесотундре в первый год были в два раза меньше, чем потери на грядах в средней и южной тайге. Потери массы очеса за два года в

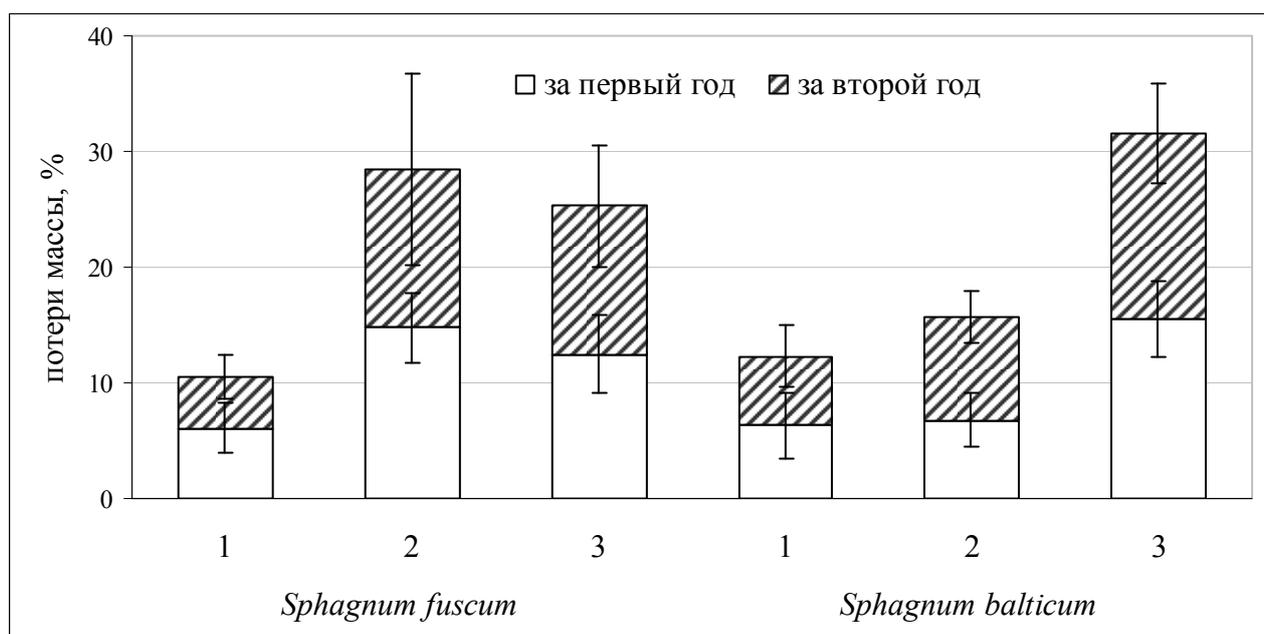


Рис.4 Потери массы при разложении очеса сфагновых мхов на ключевых участках: 1 – в лесотундре, 2 – в средней тайге, 3 – в южной тайге.

лесотундре были наименьшие и составили не более 11%. Разложение сфагновых мхов на примере *Sphagnum fuscum* также изучали Д.М. Ваддингтон на сфагновом болоте в Канаде, провинция Квебек (Waddington et al., 2003), и Т. Хайек на горном верховом болоте в Чехии (Hajek, 2008). При сравнении результатов исследований, можно сказать, что наиболее медленно *Sphagnum fuscum* разлагался в Канаде, а быстрее всего на горном болоте в Чехии, на грядах южной тайги наблюдалась средняя скорость разложения (рис. 5). Потери массы после двух лет экспериментов составили 13% на канадском болоте и на 10% больше на чешском болоте. По истечении трех лет потери массы *Sphagnum fuscum* на канадском болоте были в два раза меньше, чем в болотных экосистемах южной тайги.

Sphagnum balticum в мочажине в южной тайге разлагался в два раза быстрее, чем в средней тайге. Скорость разложения *Sphagnum papillosum* в мочажинах и осоково-сфагновых топях в таежной зоне практически не различалась. Потери массы за два года в осоково-сфагновых топях и мочажинах составили 17 и 14% соответственно. Интенсивность деструкции мочажинных мхов, *Sphagnum balticum* и *S. papillosum*, в мочажине плоскобугристого болотного комплекса в первый и во второй годы была одинаковой, а потери массы низкими, не более 6% в год. Потери массы очеса *Sphagnum balticum* в первый год в мочажине в лесотундре совпадают с потерями в мочажине Кукушкиного болота и в два раза меньше, чем потери в мочажинах болот Чистое и Бакчарское. Разница между двухлетними наименьшими потерями массы *Sphagnum balticum* в лесотундре и наибольшими в южной тайге составила 20% (рис. 4). Скорость разложения *Sphagnum papillosum* в лесотундре в мочажине в первый год была в два раза ниже, чем в мочажинах в таежной зоне, а во второй год во всех исследуемых мочажинах потери массы были почти равны.

Наибольшая скорость деструкции наблюдалась практически у всех видов сфагновых мхов на грядах. Медленнее всего сфагновые мхи разлагаются в осоково-гипновой топи на Обском болоте. Максимальные потери массы были отмечены для *Sphagnum angustifolium* на гряде в южной тайге – 54% от исходного веса за три года. Из семи видов сфагновых мхов, можно выделить два, более других подверженных разложению, это *Sphagnum angustifolium* и *S. magellanicum*. Для них характерна следующая динамика скорости разложения – наибольшие потери массы в первый год опыта и снижение потерь в последующие годы.

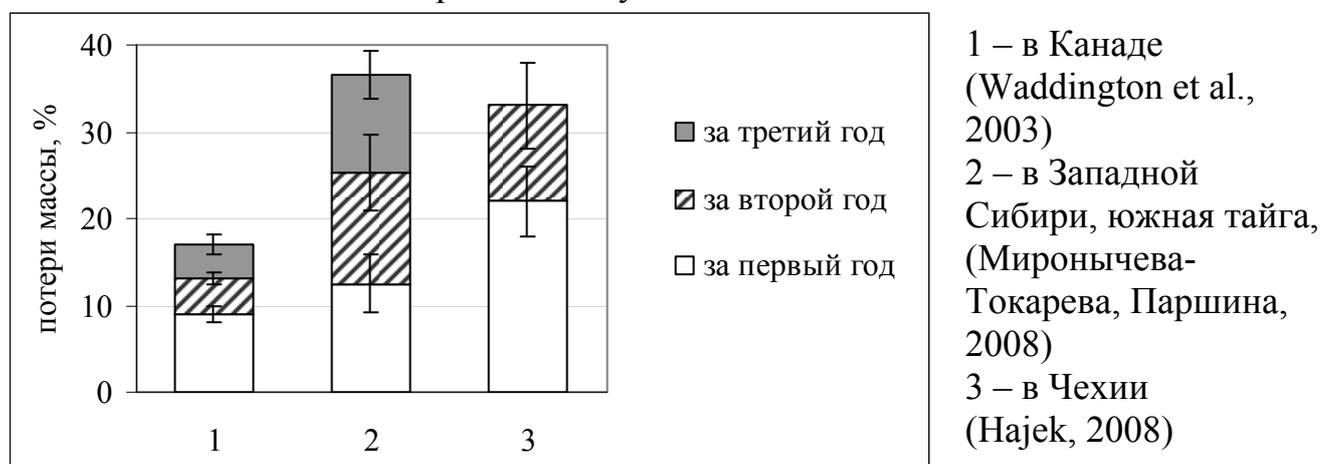


Рис. 5 Сравнительная характеристика потери массы очеса *Sphagnum fuscum*

Очес трех видов гипновых мхов закладывали в осоково-гипновом и осоково-сфагновом топяных сообществах в южной тайге и в мочажине плоскобугристого болотного комплекса в лесотундре. В осоково-гипновой топи разложение очеса в первый год протекало практически одинаково, потери массы составили 21-26% от исходного веса (табл. 5). Наибольшая скорость разложения гипновых мхов отмечалась в осоково-сфагновой топи на Бакчарском болоте; за первый год потери были равны третьей части исходного веса очеса, а за два года – половине. Внутри группы гипновых мхов скорость деструкции уменьшается в ряду: *Plagiomnium ellipticum*, *Drepanocladus aduncus*, *Helodium blandovii*.

Из двух видов лишайников наибольшие потери массы наблюдались при разложении *Cladonia stellaris* в ряме в южной тайге (табл. 6). Потеря массы за год здесь составила 47%, что на 15% больше, чем на гряде. В следующем году скорость разложения снизилась, но максимальной оказалась убыль массы на гряде.

Таблица 5 Потери массы при разложении гипновых мхов, в % от исходного количества

| Виды | Экосистема | за первый год | за второй год | за два года |
|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|
| Лесотундра, болото Пангоды | | | | |
| <i>Drepanocladus aduncus</i> | мочажина | 28.8 ± 3.0 | 3.0 ± 2.1 | 31.8 ± 2.1 |
| <i>Plagiomnium ellipticum</i> | | 31.6 ± 2.1 | 5.6 ± 1.9 | 37.2 ± 1.9 |
| Южная тайга, болото Обское | | | | |
| <i>Drepanocladus aduncus</i> | осок.-гипн.топь | 22.8 ± 2.0 | 6.3 ± 5.5 | 29.0 ± 5.5 |
| <i>Helodium blandovii</i> | | 21.0 ± 5.3 | 7.4 ± 6.9 | 28.4 ± 6.9 |
| <i>Plagiomnium ellipticum</i> | | 26.2 ± 0.6 | 10.4 ± 4.3 | 36.6 ± 4.3 |
| Южная тайга, болото Бакчарское | | | | |
| <i>Plagiomnium ellipticum</i> | осок.-сф.топь | 33.0 ± 4.7 | 15.3 ± 5.1 | 48.3 ± 5.1 |

Таблица 6 Потери массы при разложении лишайников, в % от исходного количества

| Виды | Экосистема | за первый год | за второй год | за два года |
|--|------------|---------------|---------------|-------------|
| Лесотундра, плоскобугристое болото Пангоды | | | | |
| <i>Cladonia stellaris</i> | бугор | 13.0 ± 5.0 | 9.6 ± 3.8 | 22.6 ± 3.8 |
| | мочажина | 14.1 ± 2.3 | 8.0 ± 5.0 | 22.1 ± 5.0 |
| <i>Cladonia stygia</i> | бугор | 14.4 ± 4.4 | 10.8 ± 7.5 | 25.2 ± 7.5 |
| | мочажина | 13.0 ± 4.1 | 7.3 ± 2.3 | 20.3 ± 2.3 |
| Средняя тайга, верховое болото Кукушкино | | | | |
| <i>Cladonia stellaris</i> | рям | 28.2 ± 3.9 | 13.2 ± 8.9 | 41.4 ± 8.9 |
| | гряда | 34.7 ± 4.8 | 14.9 ± 8.6 | 49.6 ± 8.6 |
| <i>Cladonia stygia</i> | рям | 29.5 ± 5.9 | 9.2 ± 6.2 | 38.7 ± 6.2 |
| | гряда | 27.6 ± 4.4 | 16.3 ± 7.7 | 43.9 ± 7.7 |
| Южная тайга, верховое болото Бакчарское | | | | |
| <i>Cladonia stellaris</i> | рям | 46.9 ± 5.6 | 16.1 ± 6.0 | 63.0 ± 6.0 |
| | гряда | 31.6 ± 8.0 | 24.4 ± 7.9 | 56.0 ± 7.9 |
| <i>Cladonia stygia</i> | рям | 25.8 ± 3.3 | 7.9 ± 3.2 | 33.7 ± 3.2 |
| | гряда | 24.7 ± 7.2 | 16.4 ± 6.6 | 41.1 ± 6.6 |

В результате после двух лет опыта потери массы в среднем равны 60%, а разница между сообществами не превышает 7%. В подзоне средней тайги двухлетние потери массы образцов этого вида лишайника составили 40-50%, причем интенсивнее процессы разложения шли на гряде. В лесотундре на всех элементах рельефа скорость деструкции была практически одинаковой, потери равны 23% от исходного веса.

Химическому анализу был подвергнут очес *Sphagnum balticum* и *S. fuscum* (табл. 7). В образцах очеса *Sphagnum fuscum* до экспериментов по разложению было выше содержание азота и зольных элементов, в том числе калия, натрия, кальция, магния. Концентрация фосфора у *Sphagnum fuscum* и *S. balticum* была одинаковой.

Потери макроэлементов при разложении очеса *Sphagnum fuscum* в течение года проходили с разной интенсивностью в различных экосистемах (табл. 8). На гряде в южной тайге были отмечены наибольшие потери калия и кальция – свыше 80%, а также фосфора, но не более одной четвертой части от его исходного количества в очесе. Потери натрия были довольно интенсивными и в то же время сходными, около 95% в таежной зоне и на 20% меньше в лесотундре. Наибольшие потери азота и магния, 56 и 66% соответственно, наблюдались в среднетаежном рьяме. На мерзлотном бугре в лесотундре высвобождение элементов происходило медленнее, чем в рямах и на грядах в таежной зоне, потери всех элементов здесь наименьшие. Тем не менее, во всех экосистемах потери всех элементов, кроме фосфора, значительно превысили потери углерода. И только в южнотаежной подзоне потери фосфора в два раза больше, чем потери углерода.

Сравнивая оба вида сфагновых мхов, можно сказать, что потери азота при разложении *Sphagnum balticum* в мочажинах в 2-3 раза меньше, чем при разложении *Sphagnum fuscum* на повышенных элементах рельефа (табл. 8). Фосфор, наоборот, на пониженных элементах вымывался интенсивнее, чем в рямах и на грядах. Величина потерь элементов-металлов имеет достаточно сходные значения. Потери натрия, калия, кальция и магния имели значительные величины, превышающие

Таблица 7 Химический состав очеса сфагновых мхов, в % на абсолютно сухое вещество

| Виды | Зола | С | N | P | К | Na | Ca | Mg |
|--------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Sphagnum balticum</i> | 1.15 | 49.42 | 0.28 | 0.04 | 0.13 | 0.02 | 0.17 | 0.04 |
| <i>Sphagnum fuscum</i> | 1.68 | 49.16 | 0.31 | 0.04 | 0.14 | 0.06 | 0.29 | 0.06 |

Таблица 8 Потери элементов при разложении очеса сфагновых мхов в течение года на трех ключевых участках, в % от исходного количества

| Виды | Зона и подзона | С | N | P | К | Na | Ca | Mg |
|--------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Sphagnum fuscum</i> | лесотундра | 6.1 | 17.9 | 4.2 | 55.4 | 75.8 | 47.3 | 21.4 |
| | средняя тайга | 14.8 | 40.1 | 10.8 | 83.4 | 95.9 | 73.7 | 46.8 |
| | южная тайга | 12.6 | 39.2 | 25.6 | 85.1 | 94.1 | 81.8 | 60.2 |
| <i>Sphagnum balticum</i> | лесотундра | 6.3 | 9.2 | 24.1 | 64.7 | 85.8 | 63.9 | 35.4 |
| | средняя тайга | 6.8 | 8.2 | 23.1 | 64.3 | 84.9 | 66.4 | 33.7 |
| | южная тайга | 15.6 | 21.9 | 39.3 | 87.9 | 91.9 | 72.0 | 4.2 |

относительные потери углерода в 5-10 раз. Эти элементы интенсивно вымываются из сфагнового очеса на первых этапах его разложения. Причем, магний прочнее связан с растительным веществом и терялся меньше и равномернее. Азот и фосфор обладают еще более прочными связями. В мочажинах в лесотундре и в средней тайге потери азота практически равны потере углерода. Для фосфора то же самое наблюдалось на повышенных элементах рельефа в лесотундре и средней тайге.

Глава 7. Запасы и бюджет элементов в болотных экосистемах средней тайги

На основе данных по запасам растительного вещества на болоте Кукушкино в исследуемых экосистемах (Kosykh et al., 2008) и содержания элементов во фракциях растительного вещества были рассчитаны запасы элементов в экосистемах в слое 0-30 см. На долю углерода приходится примерно 49% от общего запаса растительного вещества. Запасы углерода в разных экосистемах составили от 4164 до 5221 г/м², причем наибольший запас углерода наблюдался в ряме, а наименьший в осоково-сфагнуовой топи (рис. 6). Это обусловлено в большей степени разницей в количестве очеса сфагновых мхов в сообществах. В топи сфагновый покров, а, следовательно, и слой сфагнового очеса, имеет гораздо более рыхлое строение, чем в других экосистемах. На долю углерода фитомассы приходится от 16 до 22% от общего запаса углерода в растительном веществе. В ряду экосистем – рям, гряда, мочажина, топь запас углерода кустарничков снижается от 643 до 72 г/м², а в органах травянистых растений возрастает от 71 до 580 г/м². Во фракции живых частей сфагновых мхов максимум запаса углерода наблюдался в сообществе мочажины – 292 г/м².

Запас азота в исследованных экосистемах был равен 29-41 г/м², что соответствует примерно 0,4% от запаса всего растительного вещества. На повышенных элементах рельефа запас азота выше, чем на пониженных элементах. Около одной трети всего азота содержится в фитомассе, причем в ряме и на

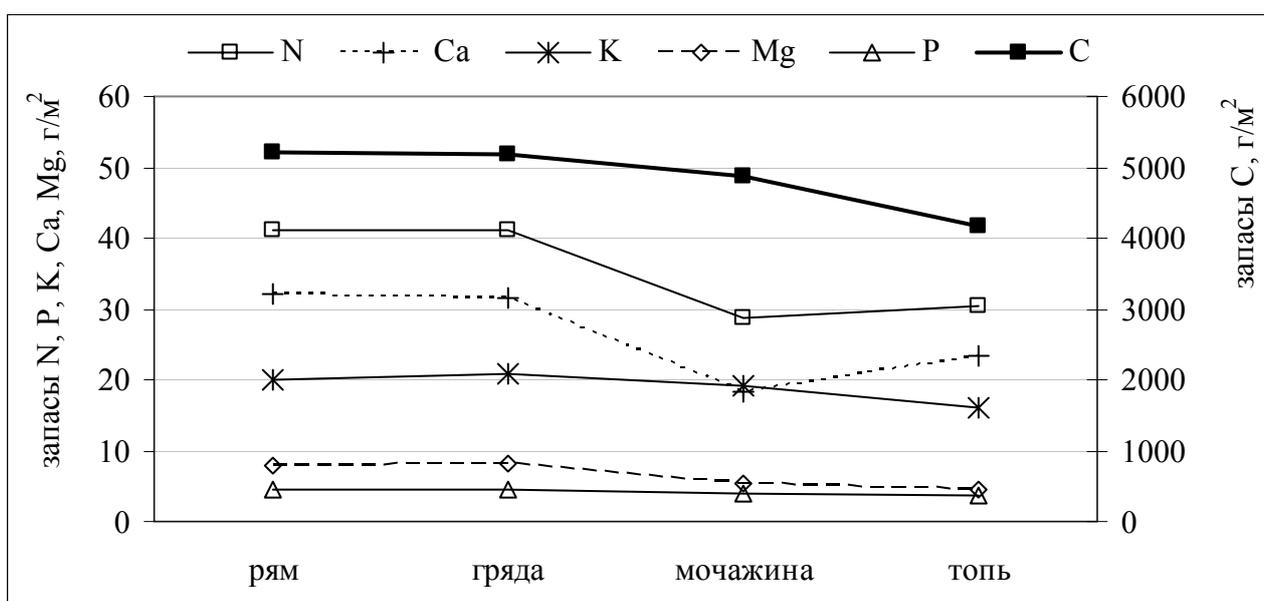


Рис. 6 Запасы элементов в болотных экосистемах средней тайги

грядках значительная его часть приходится на кустарнички, а в топи на травы. Во фракции зеленой фитомассы больше всего запасено азота в фотосинтезирующих частях сфагновых мхов, максимальное количество в ряме – 3,15 г/м². Запас фосфора в данных экосистемах был наименьшим из всех исследуемых элементов и равен 3,6-4,5 г/м². Для калия, как и для большинства других элементов, справедливо, что большая часть его запаса находится во фракции сфагнового охеса. Наиболее высокая концентрация этого элемента отмечена в листьях *Menyanthes trifoliata* и *Rubus chamaemorus*, 2,7 и 1,8% соответственно. Подземные органы *Carex rostrata* обладают наибольшей концентрацией кальция (1,8%), по сравнению с другими растениями данных сообществ. Запас магния в растительном веществе описываемых экосистем составил 4,6-8,2 г/м² (рис. 6).

Сравнивая экосистемы по величине запасов макроэлементов, можно сказать, что рям и грядки обладают, похожими значениями запасов элементов, эти значения значительно превышают таковые в мочажине и топи (рис. 6).

На основе данных по чистой первичной продукции в исследуемых экосистемах и данных по потере элементов из фракций растительного вещества при разложении, были подсчитаны количественные параметры следующих процессов: потребление, ретранслокация, потери при разложении и закрепление в торфяной почве для шести макроэлементов. Потребление – количество элемента необходимое для образования чистой первичной продукции. Оно определяется величиной продукции, химическим составом видов растений, слагающих сообщество и свойствами элемента. Ретранслокация – перенос элементов питания из стареющих органов в живые. Этот процесс относится к внутреннему круговороту элементов в растениях. В большей степени, чем другие макроэлементы, ретранслокации подвержены азот, фосфор и калий (Базилевич, Титлянова, 2008).

Потребление углерода в болотных экосистемах средней тайги колеблется от 317 до 581 г/м² в год и уменьшается в ряду экосистем: топь, грядка, мочажина, рям. Наибольшее потребление углерода среди кустарничков наблюдалось на грядке (190 г/м² в год), среди трав – в топяном сообществе (406 г/м² в год) и среди сфагновых мхов – в мочажине (193 г/м² в год). В ряме и на грядке половина потребленного углерода приходится на кустарнички, третья часть – на моховой ярус, а на травы только 10-20%. В пониженных элементах рельефа, наоборот, на кустарнички приходится самая маленькая доля потребленного углерода – около 10%, основная часть продукции создается в мочажине сфагновыми мхами (60%), а в топи – травянистыми растениями (70%), причем, большей частью их подземными органами. В ряме, на грядке и в топи 27% от углерода потребленного всей экосистемой после отмирания теряется в течение одного года, оставшееся количество углерода остается в растительных остатках и переходит в торфяной горизонт, продолжая разлагаться в последующие годы. Ввиду низкой скорости разложения в мочажине за год теряется минимальное количество углерода – не более 15%, что соответствует 50 г/м² в год. В ряду экосистем – рям, грядка, мочажина, топь – количество углерода, высвобожденного при разложении сфагнового охеса, снижается с 27 до 9 г/м² в год.

Количество азота, необходимое для образования продукции в болотных экосистемах, колеблется от 2,9 до 8,7 г/м² в год (табл. 9). Наибольшее ежегодное

потребление азота отмечено в топяном сообществе, несмотря на то, что запас азота был выше на повышенных элементах рельефа. Ретранслокация азота из отмирающих листьев наиболее выражена у болотных трав (*Menyanthes trifoliata*, *Eriophorum vaginatum*, *Rubus chamaemorus*) и листопадных кустарничков (*Betula nana*, *Vaccinium uliginosum* L.). Эти растения перекачивают в живые органы до 70% азота, содержащегося в листьях. *Sphagnum fuscum* в ряме ретранслоцирует 0,9 гN/м² в год, это равно половине количества азота, необходимого ему для прироста. Сравнивая экосистемы в целом, можно сказать, что наибольшей величины ретранслокация азота достигает на гряде – 1,3 г/м² в год, это в три раза больше, чем на пониженных элементах рельефа. Таким образом, благодаря процессу ретранслокации экосистемы, рям и гряда, сохраняют 20-25% азота, заключенного в чистой первичной продукции. Остальное количество азота поступает с наземным и подземным опадом во фракцию мортмассы. Примерно половина поступившего с мортмассой азота высвобождается в течение года, тогда как вторая половина остается в неразложившихся растительных остатках, и азот частично высвобождается при дальнейших процессах разложения, а частично запасается в торфяной почве. В процессе разложения в исследуемых экосистемах высвобождается от 0,7 до 4,0 г/м² в год (табл. 9). Величина потери азота при разложении мортмассы в экосистеме напрямую зависит от величины потребления. Величины запаса и ретранслокации азота уменьшаются в ряду экосистем: гряда,

Таблица 9 Бюджет элементов (N, P, K) в болотных экосистемах средней тайги

| Процесс | Интенсивность процессов, г/м ² в год | | |
|-------------------------------------|---|------|------|
| | N | P | K |
| <i>Рям</i> | | | |
| Потребление растениями с продукцией | 4.68 | 0.35 | 2.65 |
| Ретранслоцировано в живые органы | 1.15 | 0.04 | 1.07 |
| Потери при разложении | 1.65 | 0.11 | 1.36 |
| Закрепление в торфяной почве | 1.88 | 0.20 | 0.22 |
| <i>Гряда</i> | | | |
| Потребление растениями с продукцией | 5.91 | 0.49 | 3.56 |
| Ретранслоцировано в живые органы | 1.31 | 0.04 | 1.23 |
| Потери при разложении | 2.14 | 0.17 | 2.00 |
| Закрепление в торфяной почве | 2.46 | 0.28 | 0.33 |
| <i>Олиготрофная мочажина</i> | | | |
| Потребление растениями с продукцией | 2.86 | 0.32 | 2.28 |
| Ретранслоцировано в живые органы | 0.37 | 0.05 | 0.74 |
| Потери при разложении | 0.74 | 0.07 | 1.01 |
| Закрепление в торфяной почве | 1.75 | 0.20 | 0.53 |
| <i>Мезотрофная топь</i> | | | |
| Потребление растениями с продукцией | 8.71 | 0.74 | 3.70 |
| Ретранслоцировано в живые органы | 0.48 | 0.06 | 0.93 |
| Потери при разложении | 4.01 | 0.38 | 2.12 |
| Закрепление в торфяной почве | 4.22 | 0.30 | 0.65 |

рям, топь, мочажина. В то время как потребление, потери при разложении и закрепление в торфе уменьшаются в следующем порядке: топь, гряда, рям, мочажина. Потребление фосфора в болотных экосистемах варьирует от 0,32 до 0,74 г/м² в год (табл. 9). Наибольшее ежегодное потребление фосфора отмечено в топяном сообществе, несмотря на то, что запас его в этом сообществе был минимальным (рис. 6) Потребление фосфора в болотных экосистемах варьирует от 0,32 до 0,74 г/м² в год (табл. 9). Наибольшее ежегодное потребление фосфора отмечено в топяном сообществе, несмотря на то, что запас его в этом сообществе был минимальным.

ВЫВОДЫ

По стойкости к разложению растительность болотных экосистем разделилась следующим образом: не фиксирующиеся в ботаническом составе органогенного слоя болотных почв (полностью разлагающиеся) – все фракции кустарничков, вахта, разнотравье, и постоянно фиксирующиеся в ботаническом составе торфа – сфагновые мхи, осоки, шейхцерия, пушицы.

1. Различные фракции *Chamaedaphne calyculata*, интенсивно разлагаются в течение первых двух лет. На третьем году эксперимента потери массы снижаются. За три года разложения потери листьев составляют 70-80% на повышенных элементах рельефа. В обводненных условиях (топи) потери заметно ниже и более равномерны, со снижением потерь уже на втором году эксперимента.

2. Потери при разложении травяной составляющей растительного вещества торфяных болот колеблются от 25 до 50%. Наибольшая скорость разложения наблюдалась у *Menyanthes trifoliata*, по истечении трех лет потери составили 90%. Узлы кущения и корни пушиц – наиболее медленно разлагающиеся фракции, их потери за два года были не более 20%. Масса подземных органов осок за два года потеряла половину исходного веса.

3. У доминантов мохового яруса *Sphagnum fuscum* и *S. balticum* максимальная скорость разложения отмечена на грядах. Потери их массы за два года составили треть от исходного веса.

4. За год сумма потерь всех фракций живого растительного вещества в болотной экосистеме колеблется в пределах 15-27% от величины прироста.

5. При сравнительно низкой концентрации макроэлементов, но большой массе, фракция очеса сфагновых мхов выполняет роль хранилища. В рямах и на грядах элементы сконцентрированы в ветвях кустарничков, в топяном сообществе – в подземных органах трав. В мочажинах углерод, азот, фосфор и калий распределены равномерно между кустарничками, травами и мхами, тогда как кальций и магний более тяготеют к кустарничкам.

Бюджет макроэлементов для ряма, гряды, мочажины и топи для подзоны средней тайги был основан на следующих установленных фактах и закономерностях:

6. Потребление углерода в исследованных экосистемах колеблется от 317 до 581 г/м² в год и уменьшается в ряду экосистем: топь, гряда, мочажина, рям. Наибольшее потребление углерода среди кустарничков наблюдалось на гряде (190

г/м² в год), среди трав – в топяном сообществе (406 г/м² в год) и среди сфагновых мхов – в мочажине (193 г/м² в год).

7. В процессе ретранслокации экосистемы, рям и гряда, сохраняют 20-25% азота, заключенного в чистой первичной продукции. Остальное количество азота поступает с наземным и подземным опадом во фракцию мортмассы.

8. На основе полученных данных сделан расчет бюджета питательных элементов в болотных экосистемах средней тайги Западной Сибири. В процессе ретранслокации 5-25% азота, 6-15% фосфора и 25-36% калия от потребления в экосистеме возвращается в живые органы растений. Все отмеченные особенности зависят от типа экосистемы, видового состава сообщества и химического состава растений.

9. Часть необходимых для построения новых тканей элементов питания поступает не из почвы, а из стареющих тканей растения. Данный процесс ретранслокации относится к внутреннему круговороту и может составлять значительную часть потребления элемента на построение продукции.

10. Бюджет макроэлементов для четырех болотных экосистем в средней тайге показал наличие стока углерода и накопление элементов-биофилов в корнеобитаемом слое торфяных почв. Это свидетельствует о роли последнего в регуляции обмена углекислого газа в системе растение – почва при современном состоянии уровня накопления углекислого газа в атмосфере.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

Миropyчева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Паршина Е.К. Продукционно-деструкционные процессы в болотных экосистемах Ханты-Мансийского автономного округа // Биоресурсы и природопользование в Ханты-Мансийском национальном округе: проблемы и решения. – Материалы окружной научно-практической конференции. – Сургут, 2006. – С.175-178.

Наумов А.В., Косых Н.П., Миropyчева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // **Сибирский экологический журнал**. – 2007 – №5. – С. 771-779.

Паршина Е.К. Разложение растительного вещества в лесотундре // **Сибирский экологический журнал**. – 2007 – №5. – С. 781-787.

Косых Н.П. Миropyчева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Продуктивность болотных экосистем природного парка «Сибирские увалы» // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: сборник статей в двух частях. Часть 2. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2007. – С. 180-184.

Миropyчева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Паршина Е.К. Компоненты углеродного баланса на болотах средней тайги и лесотундры Западной Сибири // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.). – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 117-118.

Паршина Е.К. Разложение растительных остатков на верховых болотах средней тайги. // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и

настоящее: Материалы Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.). – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 119-121.

Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Динамика зольных элементов при разложении растительного вещества в болотных почвах поймы реки Оби. // Почвы Сибири: генезис, география, экология и рациональное использование: Материалы Российской научной конференции к 100-летию со дня рождения Р. В. Ковалева. – Новосибирск, 2007. – С. 109-111.

Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Ежегодный вклад органического вещества с чистой первичной продукцией в болотные почвы лесотундры Западной Сибири // Почвы Сибири: генезис, география, экология и рациональное использование: Материалы Российской научной конференции к 100-летию со дня рождения Р. В. Ковалева. – Новосибирск, 2007. – С. 79-80.

Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Peregon A.M., and E.K. Parshina Biological Productivity of Bogs in the Middle Taiga Subzone of Western Siberia // Russian Journal of Ecology. – 2008. Vol. 39. № 7 – P. 8-16.

Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // **Вестник ТГПУ**. – 2008. – Вып. 4 (78). – сер.: биологические науки. – С. 53-57.

Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Элементный состав растительного вещества на болотах средней тайги Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата – Новосибирск. – 2008. – Вып.1. – С. 160-167.

Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Элементы углеродного баланса в болотных почвах Васюганья // Материалы V Всероссийского съезда почвоведов им. В.В. Докучаева, (18-23 авг. 2008 г.).-Ростов-на-Дону: ЗАО«Ростиздат», 2008.–С. 416.

Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N., Parshina E. The carbon and macroelements budget in the bog ecosystems of the middle taiga in Western Siberia. - London, 2009. - International Journal of Environmental Studies, 66. P. 485-493.

Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // **Вестник ТГПУ**. – Томск, 2009. – Вып. 3 (81). – сер.: биологические науки. – С. 63-70.

Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Бюджет питательных элементов в болотных экосистемах. // ГЕО-Сибирь-2009. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч. 2: сб. матер. V Междунар. научн. конгресса, 20-24 апреля 2009 г., Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 102-107.

Наумов А.В., Косых Н.П., Паршина Е.К., Артымук С.Ю. Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг // **Сибирский экологический журнал**. – 2009. – №2. – С. 251-259.

Отпечатано в ООО «НИП»
г. Томск, ул. Советская, 47, тел.: 53-14-70
заказ № 74-12, тираж 100 экз.