

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 полевом 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 ряе и на гряде составляет 15%, и чуть меньше в топи – 12%. В течение второго года масса

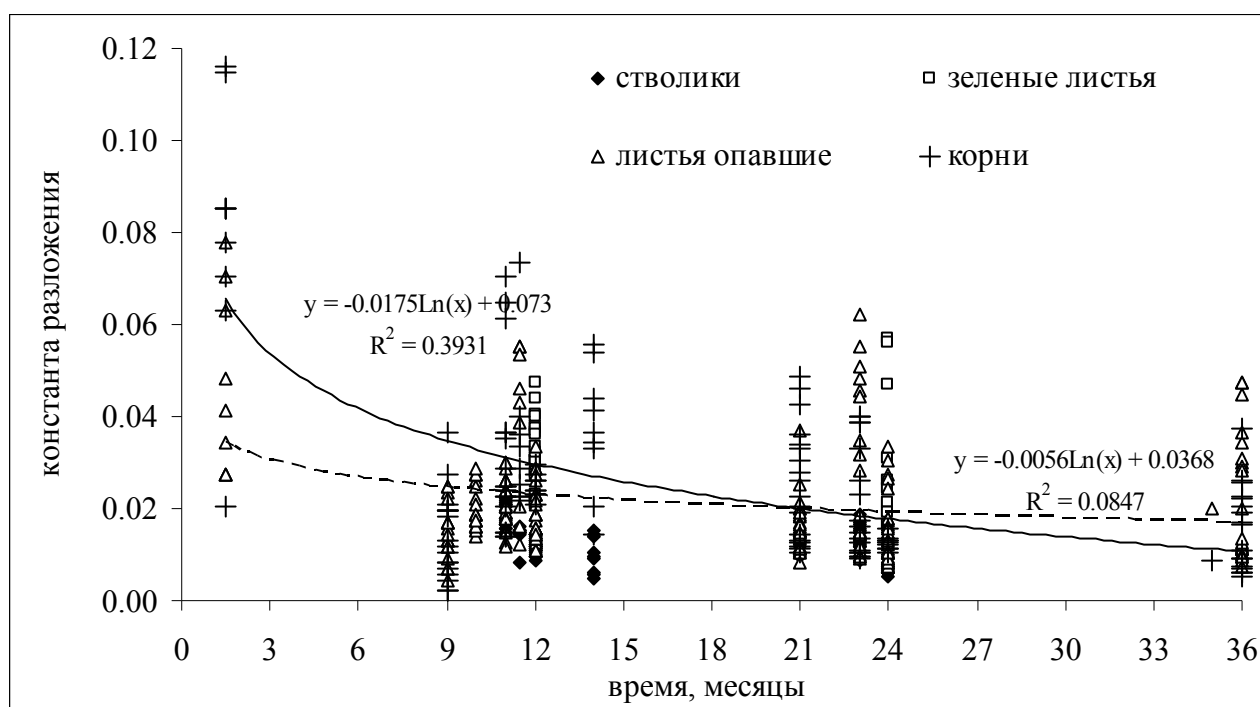


Рис. 1 Динамика константы разложения *Chamaedaphne calyculata* по фракциям



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 мелкопочечной 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 стволы. Листья, корни и стволы 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

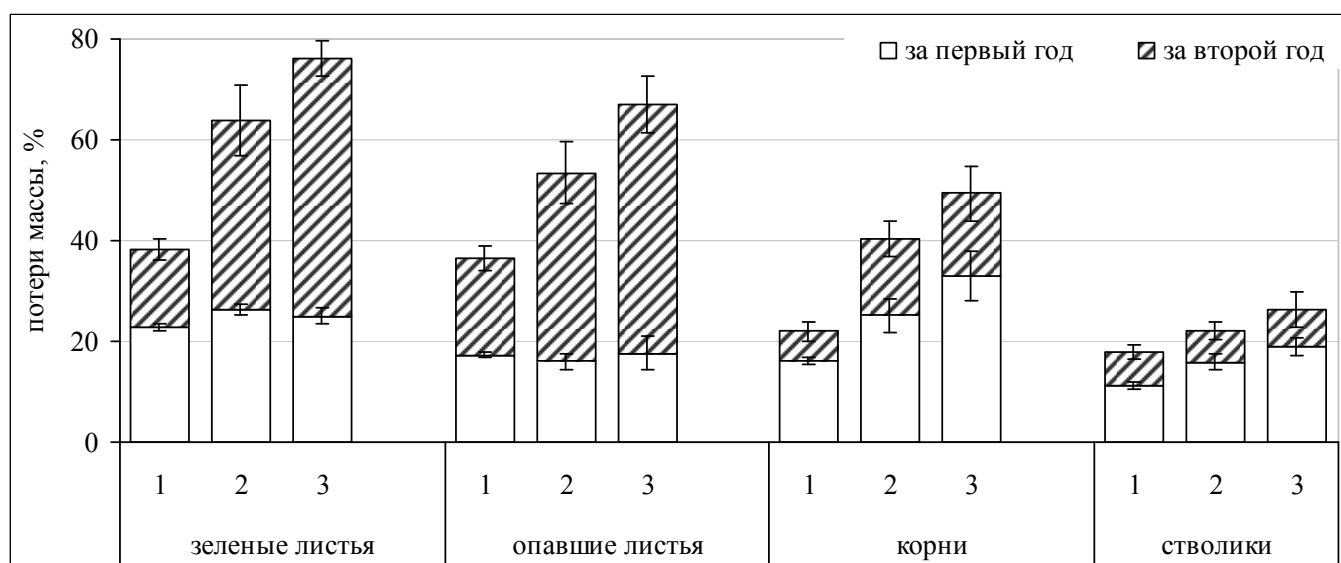


Рис. 2 Потери массы при разложении фракций *Chamaedaphne calyculata* на трех ключевых участках: 1 – в лесотундре, 2 – в средней тайге, 3 – в южной тайге.

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

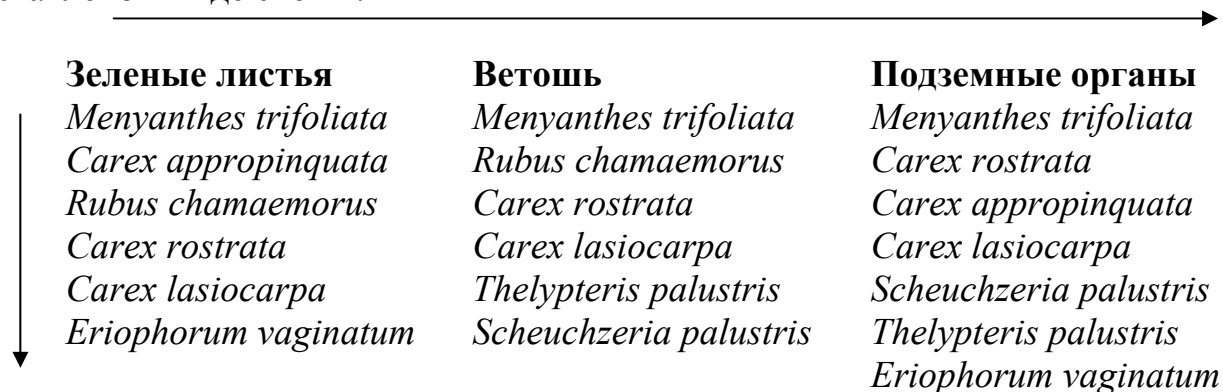
количества. Узлы кущения, как в южной, так и в средней тайге, потеряли не более 20%. В отличие от зеленых листьев морошки и пушицы, у которых наибольшие потери массы наблюдались во второй год опыта, листья осок почти половину потеряли уже в течение первого года, а на следующий год скорость их разложения 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

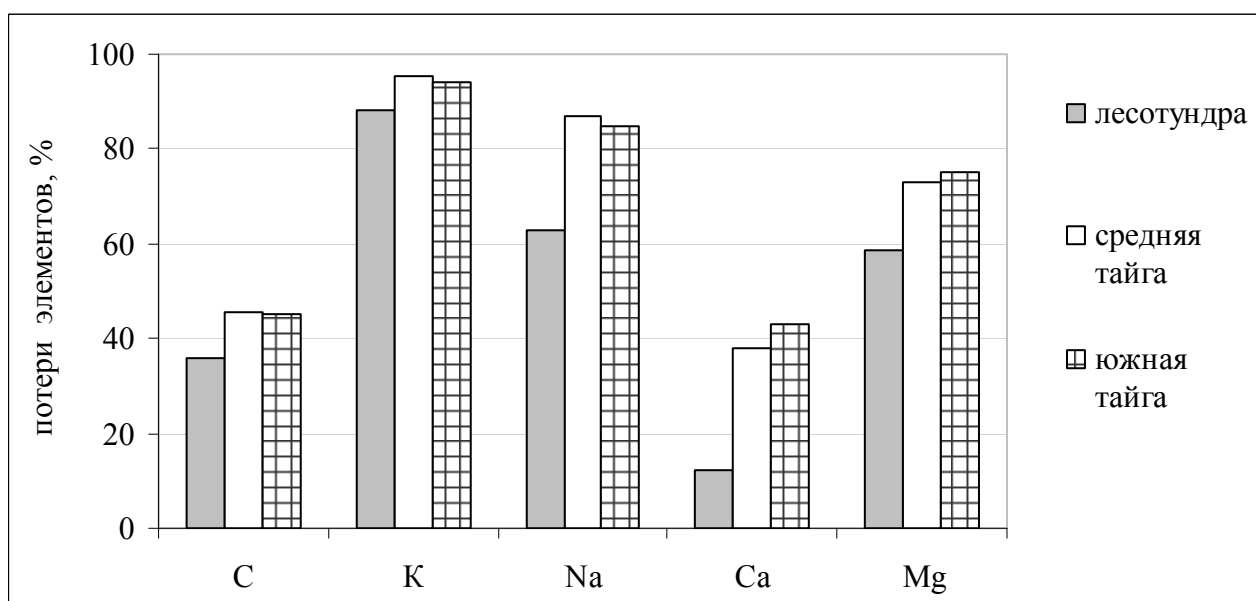


Рис. 3 Потери элементов при разложении зеленых листьев *Carex limosa*.

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 рямках 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

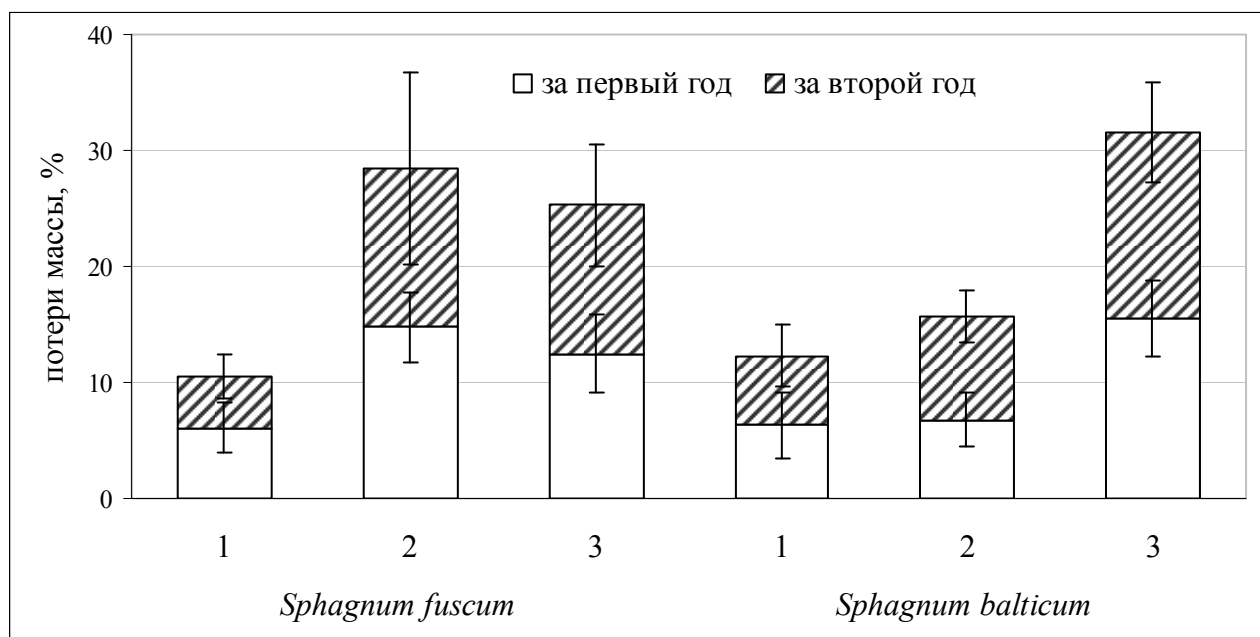


Рис.4 Потери массы при разложении очеса сфагновых мхов на ключевых участках: 1 – в лесотундре, 2 – в средней тайге, 3 – в южной тайге.

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.

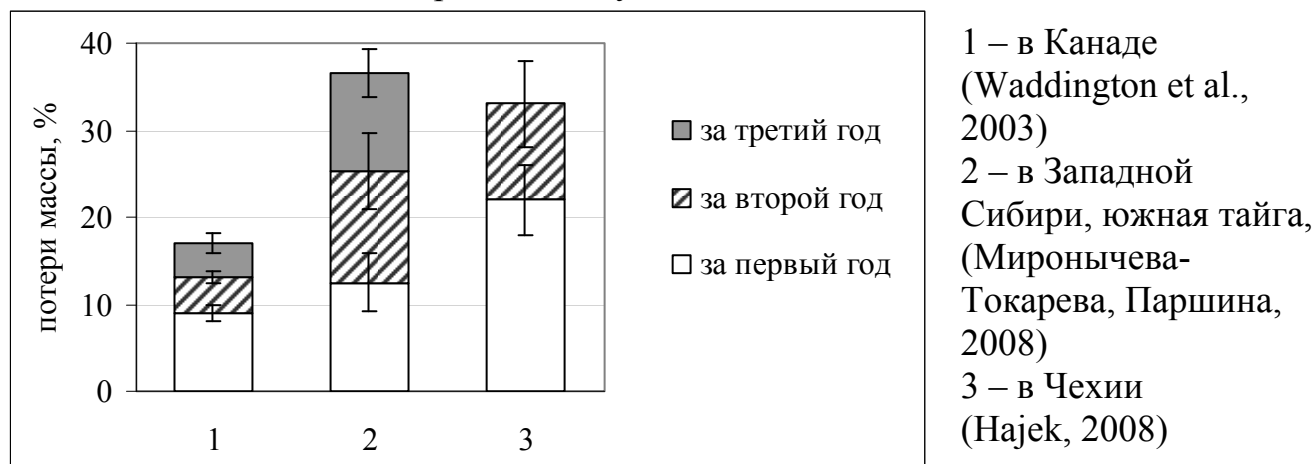


Рис. 5 Сравнительная характеристика потери массы очеса *Sphagnum fuscum*

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 blandowii*.

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/м<sup>2</sup>, 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/м<sup>2</sup>, а в органах травянистых растений возрастает от 71 до 580 г/м<sup>2</sup>. Во фракции живых частей сфагновых мхов максимум запаса углерода наблюдался в сообществе мочажины – 292 г/м<sup>2</sup>.

Запас азота в исследованных экосистемах был равен 29-41 г/м<sup>2</sup>, 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

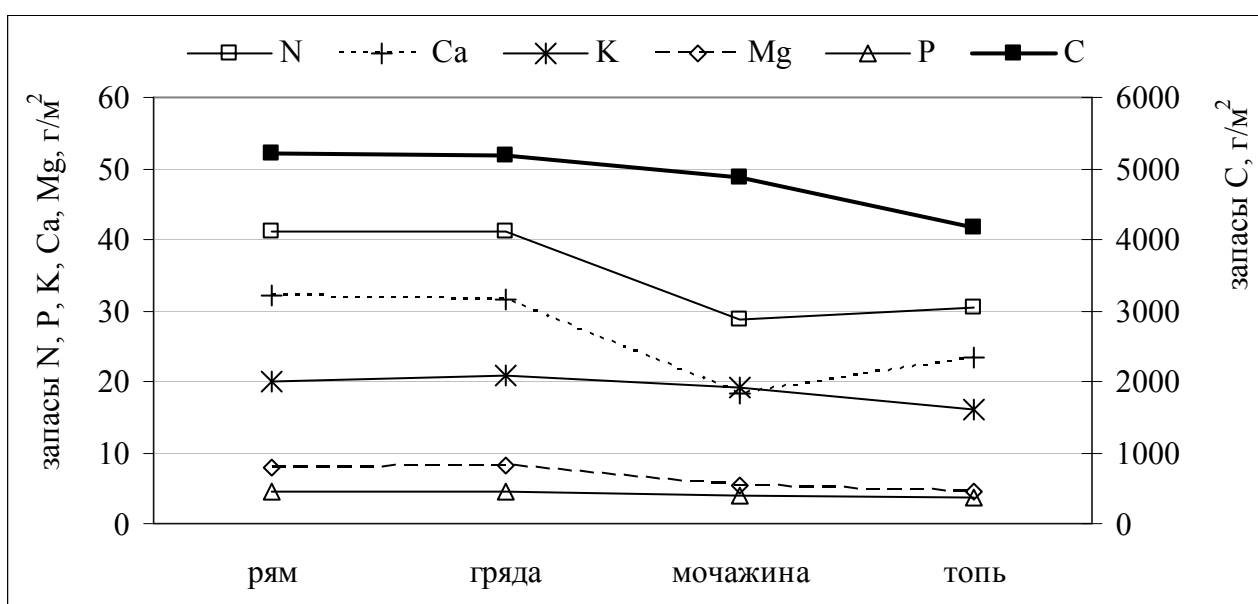


Рис. 6 Запасы элементов в болотных экосистемах средней тайги

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/м<sup>2</sup>. Запас фосфора в данных экосистемах был наименьшим из всех исследуемых элементов и равен 3,6-4,5 г/м<sup>2</sup>. 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/м<sup>2</sup> (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 (Базилович, Титлянова, 2008).

Потребление углерода в болотных экосистемах средней тайги колеблется от 317 до 581 г/м<sup>2</sup> в год и уменьшается в ряду экосистем: топь, грядка, мочажина, рям. Наибольшее потребление углерода среди кустарничков наблюдалось на грядке (190 г/м<sup>2</sup> в год), среди трав – в топяном сообществе (406 г/м<sup>2</sup> в год) и среди сфагновых мхов – в мочажине (193 г/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> в год. В ряду экосистем – рям, грядка, мочажина, топь – количество углерода, высвобожденного при разложении сфагнового охеса, снижается с 27 до 9 г/м<sup>2</sup> в год.

Количество азота, необходимое для образования продукции в болотных экосистемах, колеблется от 2,9 до 8,7 г/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> в год и уменьшается в ряду экосистем: топь, гряда, мочажина, рям. Наибольшее потребление углерода среди кустарничков наблюдалось на гряде (190

г/м<sup>2</sup> в год), среди трав – в топяном сообществе (406 г/м<sup>2</sup> в год) и среди сфагновых мхов – в мочажине (193 г/м<sup>2</sup> 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.