

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БОЛОТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

© 2022 Н. Г. Корнатова 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: kornatova@issa-siberia.ru

В обзорной статье рассмотрены результаты исследований продукционно-деструкционных показателей углеродного цикла в верховых болотах Западной Сибири, проведенных сотрудниками ИПА СО РАН. Установлены особенности круговорота углерода в болотах, описаны применяемые методы, показан географический охват исследованной территории. На основе ранее опубликованных результатов охарактеризованы некоторые закономерности изменения фитомассы, первичной продукции и деструкции вдоль широтного градиента, проведено сравнение продуктивности болот с другими биогеоценозами региона.

Ключевые слова: первичная продукция; деструкция; фитомасса; круговорот углерода; верховое сфагновое болото; мерзлотное плоскобугристое болото; Западная Сибирь

Цитирование: Корнатова Н.Г. Обзор исследований продукционно-деструкционных процессов в болотах Западной Сибири: методы и результаты // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 2. e170. DOI: [10.31251/pos.v5i2.170](https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.170)

ВВЕДЕНИЕ

В рамках Парижского соглашения 2016 г. Россия взяла курс на низкоуглеродное развитие и приняла обязательство снизить выбросы парниковых газов к 2030 г. до 70% от уровня 1990 г. Основные газы, увеличение концентрации которых приводит к парниковому эффекту, – это углекислый газ (CO₂), метан (CH₄) и закись азота (N₂O). В результате человеческой деятельности больше всего выделяется углекислого газа, при этом он же необходим растениям для фотосинтеза и производства органического вещества. Поэтому биосфера является природным уловителем углекислого газа, который выделяется в результате природных процессов и антропогенной деятельности. В настоящее время изучение цикла углерода и продукционно-деструкционных процессов в экосистемах приобретает не только научную, но и политико-экономическую актуальность.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Принцип изучения биотического круговорота углерода и других элементов на основе количественного учёта фракций растительности, их прироста и опада был обоснован в работах Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич (1965), Л.Е. Родина, Н.П. Ремезова и Н.И. Базилевич (1967). Центральное место авторы отвели изучению годовых циклов на основе динамики органического вещества растительного покрова биогеоценозов в различных фракциях, подчеркнули необходимость применения специфичных методик учёта в зависимости от особенностей строения растительных сообществ и дали описание этих методик, отметили неравномерность прироста и отмирания органической массы как в течение сезона, так и в разные годы.

Основные принципы описания биотического круговорота на основе системного подхода были сформулированы в работах А.А. Ляпунова и А.А. Титляновой (1974), А.А. Титляновой (1977). В предложенной схеме есть блоки или компоненты экосистем (зелёная фитомасса, ветошь, подстилка, подземные органы растений, микроббиомасса и другие), а также потоки или обменные процессы (фотосинтез, дыхание, транслокация, отмирание и другие). Чистая первичная продукция и гетеротрофное дыхание выделяются как интегральные показатели, которые характеризуют интенсивность биотического круговорота углерода в биогеоценозе. Методология изучения продукционно-деструкционных процессов в биогеоценозах изложена в нескольких монографиях (Титлянова, 1977; Титлянова, Тесаржова, 1991; Титлянова и др., 1988; 1993; 1996) и основана на создании полной системы качественных представлений о продукционно-деструкционных процессах, выделении количественных характеристик и установлении режима круговорота, идентификации положения биогеоценоза на катене и в широтном ряду зональности.

Методы определения первичной продукции зависят от характера роста растений. В травяных экосистемах фитомасса постоянно нарастает и отмирает. Поэтому запас, который мы можем измерить в определённый момент времени, будет меньше годовой первичной продукции. Для расчёта первичной продукции А.А. Титляновой был предложен балансовый метод, который основан на динамике изменения запасов и требует повторных измерений в течение сезона (Титлянова, 1977; Титлянова и др., 1988; 1993; 1996). В недавно выпущенном А.А. Титляновой и С.В. Шибаревой справочнике по продуктивности травяных экосистем содержатся количественные данные запасов и продукции, обоснована необходимость учёта продукции экосистем, приведена методика и даны методические рекомендации для полевых исследований, показаны способы расчета продукции по неполным данным (Продуктивность..., 2020).

Верховые болота характеризуются специфическими особенностями круговорота углерода. Во-первых, к ним относится незамкнутость, которая приводит к накоплению органического вещества в виде торфа. Во-вторых, типичен вынос вместе с болотными водами части органических веществ, оценку содержания которых в водах южнотаёжных болот Западной Сибири можно найти в работах томских исследователей О.В. Серебrenниковой с соавт. (2019), И.В. Русских с соавт. (2020). Третья особенность – это выделение в атмосферу, помимо углекислого газа, метана, оценку эмиссии которого из Западно-Сибирских болот можно найти в работах А.В. Наумова (2002; 2009). В-четвёртых, для сфагновых болот обосновано наличие внутреннего цикла углерода, который заключается в том, что выделяющийся из почвы углекислый газ не достигает поверхности болота и не поступает в атмосферу, т.к. перехватывается сфагновым ковром и вновь включается в фотосинтез (Наумов, 2009).

Особенностью круговорота верховых болот является также его замедленность по сравнению с травяными экосистемами, связанная с составом фитоценозов. Доминирующими группами растений верховых болот являются сфагновые мхи, кустарнички и, на повышенных элементах рельефа, болотная форма сосны обыкновенной. Травы могут присутствовать, но в олиготрофных условиях их вклад в продуктивность невелик. В отличие от травянистых растений, фитомасса которых постоянно прирастает и отмирает в течение вегетационного сезона, надземные органы сфагновых мхов, кустарничков и сосен прирастают в течение всего вегетационного сезона, а отмирают через несколько лет или десятилетий. Поэтому для определения продукции не требуется динамических наблюдений в течение лета, т.к. запас их надземной фитомассы, который прирост к осени, будет соответствовать надземной первичной продукции.

Есть методы, которые позволяют определить прирост за вегетационный сезон у различных групп болотных растений (Титлянова и др., 2000). Для определения прироста сфагновых мхов существуют различные метки, которые закрепляют на самих растениях или в сфагновом ковре. Метод «ёршиков» (brush-wire method) (Rydin and Jeglum, 2013) является модификацией метода коленчатых проволок (cranked wire method) (Clymo, 1970) и применяется для измерения линейного прироста вертикально растущих мхов с плотной дерниной (рис. 1 А). Метод индивидуальных меток был разработан Н.П. Косых (Kosykh et al., 2008a) на базе метода перевязок (Бегак, 1927; Родин и др., 1967) для сфагновых мхов с рыхлой дерниной и наклонным ростом (рис. 1 Б). У всех групп болотных растений можно определять прирост текущего года по морфологическим признакам. Так, у сфагновых мхов стебель, приросший в текущем году, часто отличается более ярким цветом и расположен выше изгиба и/или сгущения веточек, которые идентифицируют место прошлогоднего расположения головки (капитулы). Текущий прирост побегов кустарничков можно определить по более яркому цвету молодой части стебля и кольцам на месте отпавших почечных чешуй, которые разделяют участки стебля текущего, прошлого года и предыдущих лет (рис. 1 В). Определение прироста текущего года у кустарничков может осложняться наличием двух фаз прироста в течение вегетационного сезона. Прирост текущего года и предыдущих лет у болотных сосен легко устанавливается по наличию кольца на побеге на месте бывших почек, структуре и окраске коры, частоте расположения и длине хвои, которые варьируются в разные годы (рис. 1 Г). Таким образом, морфологические признаки позволяют не только определить приросты разных лет, но и служат индикаторами различных условий среды в разные годы и наличия связи между этими функциональными показателями, в том числе погодными флуктуациями и климатическим трендом; их установление является актуальной задачей будущих исследований.

Для учёта подземной продуктивности, в лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН разработана методика определения видового и фракционного состава подземных органов

болотных растений на основе морфологических признаков (Kosykh et al., 2008a). В то же время, высокая скорость оборота мелких сосущих корней предполагает применение отборов в динамике за вегетационный период, что сопряжено с организационными трудностями и значительным увеличением времени и трудозатрат на разбор образцов. Обычно практикуемый единовременный отбор образцов приводит к занижению оценки подземной первичной продукции болот.

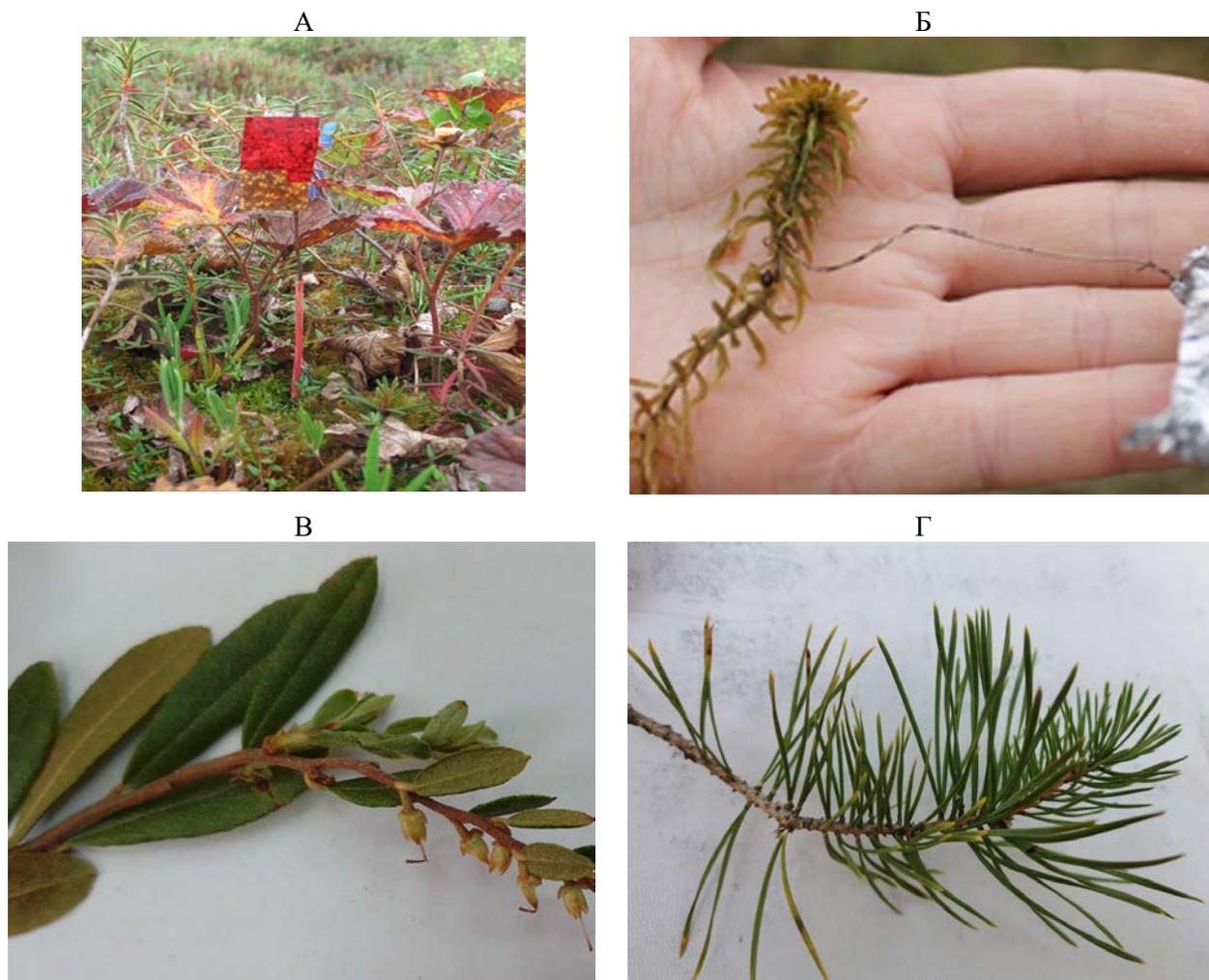


Рисунок 1. Методы определения прироста болотных растений: А – «ёршик», установленный в плотную сфагновую дернину; Б – «индивидуальная метка» на мочажинном мхе *Sphagnum lindbergii* Schimp. ex Lindb.; В – ветка кустарничка *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench в мае 2021 г. с молодым побегом, который развивается в пазухе прошлогоднего листа; Д – ветка болотной формы сосны *Pinus sylvestris* L. f. *uliginosa* Abol. в сентябре 2021 г., длина хвои чётко различается в разные годы.

Для изучения деструкции одним из общепринятых методов является проведение полевого эксперимента, в ходе которого закладывают образцы растительного материала заданной массы в мешочках из устойчивого к разрушению синтетического материала с размером ячеек 0,2-0,3 мм (litter-bag method) (Козловская и др., 1978). Эту методику применяли в лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН для оценки скорости деструкции разных видов болотных растений и их фракций в зависимости от типа болота, глубины закладки образцов в почву и географической широты (Косых и др., 2009; Вишнякова и др., 2012; Vishnyakova, Mironycheva-Tokareva, 2018) и была модифицирована. Во-первых, установлено, что в болотах с заметной долей осок и пушиц в составе фитоценоза, корни и корневища трав проникают внутрь синтетических мешочков, увеличивая массу образца, что привело к необходимости извлекать живые органы из образцов после их отбора в поле (Коронатова, Шибарева, 2010). Во-вторых, обоснована закладка в эксперимент образцов мохового очёса и торфа в естественном, не высушенном состоянии при условии определения влажности исходного материала (Коронатова, 2010). Кроме того, предложен

лабораторно-инкубационный опыт оценки скорости минерализации торфа, который заключается в определении углекислого газа и метана методом газовой хроматографии в контролируемых лабораторных условиях (Наумов, 2017; 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ СОТРУДНИКАМИ ИПА СО РАН

В результате исследования продукционно-деструкционных процессов в болотах Западной Сибири в течение нескольких десятилетий в лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН накоплен значительный первичный материал (табл. 1), получены количественные данные, часть которых вошла в опубликованные работы. Полученный материал может служить базой для дальнейших экспериментов, анализов и выявления локальных и региональных закономерностей в структуре и функционировании болотных биогеоценозов Западной Сибири, а также быть востребованным в современных климатических проектах.

Таблица 1

Масштаб исследований, проведенных сотрудниками ИПА СО РАН, при изучении продукционно-деструкционных процессов в болотах (данные предоставлены Н.П. Косых и Е.К. Вишняковой)

Зона / подзона	Число ключевых болотных массивов	Географический охват	Годы исследования	
			Запасов и продукции	Деструкции
Лесостепь	5	55°09' – 55°39' с.ш. 79°03' – 81°19' в.д.	2004, 2008, 2010, 2014–2021	2010–2015
Подтайга и южная тайга	5	56°48' – 56°86' с.ш. 78°63' – 82°51' в.д.	1993, 1994, 1997, 1998, 2002, 2004, 2010, 2011, 2013–2020	2000–2007, 2012–2015
Средняя тайга	9	59°96' – 61°26' с.ш. 68°41' – 76°43' в.д.	1999–2001, 2004, 2005, 2008, 2010, 2012, 2015–2020	2003–2007, 2012–2015
Северная тайга	8	62°26' – 63°32' с.ш. 74°57' – 81°51' в.д.	1997–2001, 2004, 2006, 2008, 2010, 2013–2018	2012–2015
Лесотундра	3	65°50' – 65°56' с.ш. 74°57' – 80°14' в.д.	2004, 2006, 2008, 2013–2021	2004–2019

В результате проведенных исследований продуктивности установлено, что на верховых болотах фитомасса и первичная продукция определяются гидрологическим режимом и зависят от болотной микроформы: они максимальны в мезотрофных мочажинах, минимальны в олиготрофных мочажинах и занимают промежуточное положение в рямах и на грядах; основными продуцентами являются сфагновые мхи (Косых, Махатков, 2008; Косых и др., 2009). Для величины прироста сфагновых мхов установлена решающая роль температуры в широком географическом охвате и осадков – на подзональном уровне (Косых и др., 2017а; 2017б). В мерзлотных плоскобугристых болотах, в отличие от сфагновых верховых, основной вклад в продукцию вносят подземные органы сосудистых растений, а запасы фитомассы плоскобугристо-мочажинных комплексов зависят от местообитания (кочка, межкочье, мочажина) (Косых и др., 2008; Kosykh et al., 2008a). В пределах подзоны структура растительного органического вещества закономерно меняется с запада на восток, причём к востоку увеличиваются общий запас и мортмасса, но снижаются фитомасса и первичная продукция, что было показано на примере средней тайги (Kosykh et al., 2008b). Изучение рямов, расположенных в лесостепи, выявило роль пирогенного фактора в структуре растительного вещества, значительное снижение продукционного потенциала сфагновых мхов и увеличение скорости минерализации (Косых, 2009; Миронычева-Токарева и др., 2017); это было подтверждено в лабораторном эксперименте и свидетельствует об утрате углеродпоглощающей функции верховыми болотами лесостепи (Наумов, 2018); также обоснована уязвимость, необходимость мониторинга и охраны этих уникальных объектов (Наумов и др., 2009). В то же время, моделирование углеродного цикла лесостепных рямов показало относительную стабильность и автономность их функционирования в будущем при условии стабильности климатических условий (Naumov et al., 2020).

Скорость деструкции в болотах Западной Сибири зависит от вида растений, фракции и гидрологического режима, который связан с болотной микроформой; также установлена зависимость потери массы при разложении от величины чистой первичной продукции, выделены

группы видов по устойчивости к деструкции (Косых и др., 2009; Вишнякова и др., 2012). Показано, что деструкции подвержен не только свежий растительный опад, но и торф, взятый с полуметровой глубины и заложённый в эксперименте в верхнем аэробном слое болот (Коронатова, 2010). Эти потери могут достигать 50% за два вегетационных сезона и свидетельствуют о потенциальном ослаблении углерод-аккумулирующей функции экосистем в случае снижения уровня болотных вод в результате климатических изменений. Для сфагновых болот с заметным участием травянистой растительности показана роль подземных органов трав в пополнении запаса торфа в верхнем полуметровом слое залежи (Коронатова, Шибарева, 2010).

Полученные результаты позволяют установить изменения продукционно-деструкционных показателей вдоль широтного градиента (табл. 2). Так, запас фитомассы увеличивается в верховых болотах от лесостепи к средней тайге и снижается в северной тайге. В то же время, высокий запас получен в лесотундре, что вероятно связано со сменой доминирования сфагновых мхов лишайниками, а наибольшее значение минимальной величины отмечено в лесостепных рямах. Чистая первичная продукция закономерно увеличивается от лесостепных рямов к болотам в южной и средней тайге и затем снижается в северной тайге и ещё более значительно – в лесотундре. Потери массы при деструкции основных торфообразователей – сфагновых мхов – закономерно снижались в направлении с юга на север. Интересно, что эта тенденция нарушилась между южной и средней тайгой, а минимальные потери были почти одинаковы во всех широтно-климатических зонах и подзонах.

Таблица 2

Некоторые показатели углеродного цикла в верховых болотах Западной Сибири

Зона / подзона	Фитомасса, г/м ²	Продукция, г/м ² в год	Деструкция, % потери массы за 2 года*	Ссылка
Лесостепь	1590-1680	650-680	13-78	Косых, 2009; Наумов и др., 2009; Vishnyakova, Mironycheva-Tokareva, 2018
Южная тайга	360-2600	240-1360	13-47	Косых и др., 2003; Вишнякова и др., 2012; Vishnyakova, Mironycheva-Tokareva, 2018
Средняя тайга	800-3800	490-1200	14-60	Kosykh et al., 2008б; Косых и др., 2009; Косых, Коронатова, 2010; Косых и др., 2018; Vishnyakova, Mironycheva-Tokareva, 2018
Северная тайга	650-1830	350-1100	14-29	Kosykh et al., 2008а; Kosykh et al., 2021; Vishnyakova, Mironycheva-Tokareva, 2018
Лесотундра	800-3100	120-800	10-12	Косых и др., 2008; Наумов и др., 2007; Kosykh et al., 2021; Vishnyakova, Mironycheva-Tokareva, 2018

Примечание. *Данные приведены для сфагновых мхов.

До сих пор распространено мнение, что болота – это малопродуктивные территории. Представленные результаты опровергают это мнение. Надземная продукция болот может превышать надземную продукцию луговой степи в Барабе, а подземная продукция сравнима с таковой в сообществе мелколиственного леса южной тайги (рис. 2).

Следует отметить, что изучение продукционно-деструкционных показателей в болотах проведено сотрудниками ИПА СО РАН также вместе с коллегами из других научных учреждений, например, изучение болотных систем Алтая (Волкова и др., 2010; Косых и др., 2010) и болот разных регионов России (Копотева, Косых, 2011), а полученные данные вошли в глобальные оценки продуктивности и элементного состава сфагновых мхов (Bengtsson et al., 2021; Granath et al., 2018). Отметим также, что изучением продукционно-деструкционных процессов в болотах Западной Сибири занимаются учёные Томского научного центра (Головацкая, 2009; Никонова и др., 2019 и др.), Красноярского научного центра (Ефремов, Ефремова, 2000 и др.) и другие исследователи.

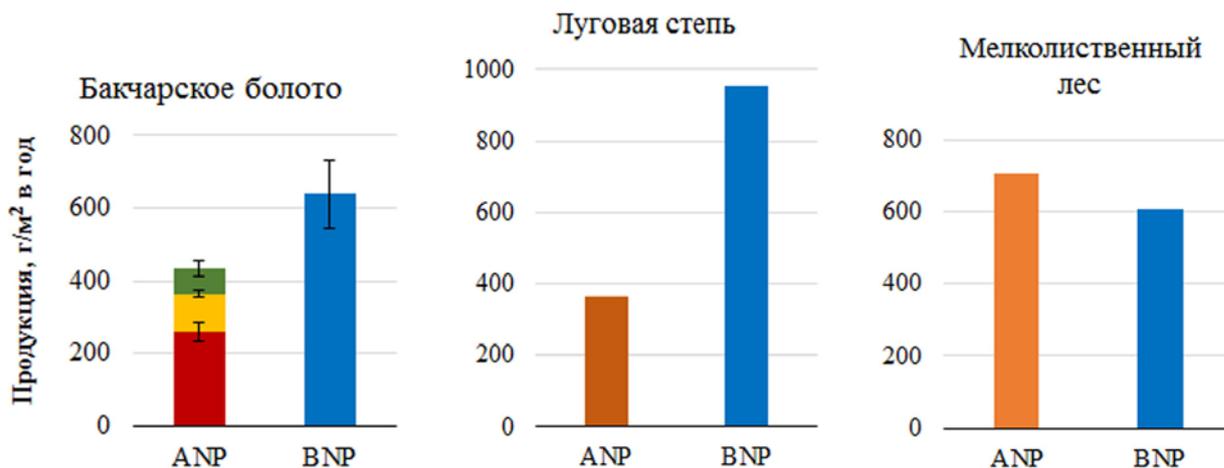


Рисунок 2. Сравнение первичной продукции экосистем юга Западной Сибири. ANP – надземная первичная продукция. BNP – подземная первичная продукция. Бакчарское болото расположено в южной тайге, приведены усреднённые многолетние данные: красным – сфагновые мхи, жёлтым – кустарнички и травы, зелёным – деревья. Луговая степь расположена в лесостепи (Бараба), данные А.А. Титляновой с соавт. (1988), А.А. Титляновой, С.В. Шибаревой (Продуктивность..., 2020). Мелколиственный лес расположен в южной тайге, данные А.А. Титляновой с соавт. (1988), А.А. Титляновой, С.В. Шибаревой (Продуктивность..., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сотрудниками ИПА СО РАН были дополнены или модифицированы имеющиеся методики определения составляющих углеродного цикла в экосистемах, в частности для определения прироста сфагновых мхов, запасов и продукции подземных органов сосудистых растений, деструкции растительного органического вещества в болотах. Выявлены факторы и закономерности изменения запасов растительного органического вещества, первичной продукции и деструкции вдоль широтного градиента, на региональном подзональном уровне и на локальном уровне одного болотного массива в связи с разницей местообитаний. Продуктивность болот Западной Сибири сравнима с другими экосистемами региона и играет существенную роль в глобальном углеродном цикле.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегак Д.А. О приросте торфяников // *Торфяное дело*. 1927. № 11. С. 300–306.
2. Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2012. Вып. 7 (122). С. 87–93.
3. Волкова И.И., Волков И.В., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Кирпотина Л.В., Земцов В.А., Колмакова М.В., Кураев А.В., Захарова Е.А., Кирпотин С.Н. Горная озёрно-болотная система урочища Ештыккель (Горный Алтай) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2010. Т. 1 (9). С. 118–137.
4. Головацкая Е.А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южнотаёжной подзоны Западной Сибири // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2009. Т. 2. № 1. С. 38–53.
5. Ефремов С.П., Ефремова Т.Т. Строение и продуктивность сообществ сфагновых мхов на болотах Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2000. Т. 7. № 5. С. 615–626.
6. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. *Динамика органического вещества в процессе торфообразования*. Л.: Наука, 1978. 176 с.
7. Копотева Т.А., Косых Н.П. Сравнительная оценка структуры фитомассы и продуктивности мезотрофных кустарничково-сфагновых болот зоны тайги // *Сибирский экологический журнал*. 2011. № 2. С. 301–307.
8. Коронатова Н.Г. Исследование разложения торфа в болотах методом инкубации сухих и влажных образцов // *Динамика окружающей среды и глобальное изменение климата*. 2010. Т. 1, № 1. С. 65–71.

9. Коронатова Н.Г., Шибарева С.В. Изменение массы торфа в процессе его разложения на болотах Польши и Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2010. Том 3. С. 445–451.
10. Косых Н.П. Биологическая продуктивность болот лесостепной зоны // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2009. Вып. 3 (81). С. 87–90.
11. Косых Н.П., Коронатова Н.Г. Запасы общей фитомассы и чистая первичная продукция болотных экосистем Сургутского Полесья // *Динамика окружающей среды и глобальное изменение климата*. 2010. № 2. С. 79–84.
12. Косых Н.П., Коронатова Н.Г., Гранат Г. Влияние температуры и осадков на линейный прирост *Sphagnum fuscum* и *S. magellanicum* на территории Западной Сибири // *Экология*. 2017а. № 3. С. 161–170. DOI: [10.7868/S0367059717030088](https://doi.org/10.7868/S0367059717030088)
13. Косых Н.П., Коронатова Н.Г., Лапина Е.Д., Филиппова Н.В., Вишнякова Е.К., Степанова В.А. Линейный прирост и продукция сфагновых мхов в средней тайге Западной Сибири // *Динамика окружающей среды и глобальное изменение климата*. 2017б. Т. 8, № 1 (15). С. 3–13. DOI: [10.17816/edgcc813-13](https://doi.org/10.17816/edgcc813-13)
14. Косых Н.П., Коронатова Н.Г., Степанова В.А. Растительность и продуктивность болотных экосистем заповедника «Юганский» // *Динамика окружающей среды и глобальное изменение климата*. 2018. Т. 9. № 1. С. 53–61. DOI: [10.17816/edgcc8950](https://doi.org/10.17816/edgcc8950)
15. Косых Н.П., Махатков И.Д. Структура растительного вещества в лесо-болотных экосистемах средней тайги Западной Сибири // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2008. Вып. 4 (78). С. 77–80.
16. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Блейтен В. Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета. Сер. Биологические науки*. 2003. Приложение № 7. С. 142–152.
17. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Кирпотина Л.В. Продуктивность осоковых болот Горного Алтая // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2010. Вып. 3 (93). С. 87–91.
18. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2008. Вып. 4 (78). С. 53–57.
19. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2009. Вып. 3 (81). С. 63–69.
20. Ляпунов А.А., Титлянова А.А. Системный подход к описанию обменных процессов в биогеоценозе // *Ботанический журнал*. 1974. Т. 59. № 8. С. 1081–1092.
21. Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Вишнякова Е.К., Коронатова Н.Г., Степанова В.А., Сайб Е.А., Покровский О.С. Растительность и растительное вещество лесостепных рямов юга Западной Сибири // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2017. № 3 (203). С. 73–77.
22. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.
23. Наумов А.В. Минерализация торфа в болотных экосистемах (подходы, модели, эксперимент) // Углеродный баланс болот Западной Сибири в контексте изменения климата: сб. матер. Междунар. конф. (Ханты-Мансийск, 19-29 июня 2017 г.) / Под ред. Е.Д. Лапшиной, Н.П. Миронычевой-Токаревой. Томск: Изд-во ТГУ, 2017. С. 88–90.
24. Наумов А.В. Углекислый газ и метан в почвах и атмосфере болотных экосистем Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2002. Т. 9. № 2. С. 313–318.
25. Наумов А.В. Бюджет углерода и выбросы парниковых газов в болотных экосистемах лесостепной зоны (Западная Сибирь) // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. / Под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: Изд-во Всероссийского НИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2018. Том 1. С. 278–282.
26. Наумов А.В., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2007. Т. 14. № 5. С. 771–781.
27. 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. 521–529.
28. Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Курьина И.В., Курганова И.Н. Скорость разложения растений-торфообразователей в олиготрофных болотах южно-таёжной подзоны Западной Сибири: оценка влияния уровня болотных вод и температуры торфяной залежи // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1092–1103. DOI: [10.1134/S0032180X19090065](https://doi.org/10.1134/S0032180X19090065)
29. *Продуктивность травяных экосистем: справочник* / Составители: А.А. Титлянова, С.В. Шибарева; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. М.: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с.
30. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.-Л.: Наука, 1965. 251 с.

31. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. *Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах*. Л.: Наука, 1967. 145 с.
32. Русских И.В., Стрельникова Е.Б., Серебренникова Р.В., Воистинова Е.С., Харанжевская Ю.А. Идентификация углеводов в водах болот южной тайги Западной Сибири // *Геохимия*. 2020. Т. 65. № 4. С. 405–414. DOI: [10.31857/S001675252004007X](https://doi.org/10.31857/S001675252004007X)
33. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В., Харанжевская Ю.А., Воистинова Е.С. Сезонная динамика распределения органических соединений в болотных водах южной тайги (Западная Сибирь) // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27 (1). С. 65–72. DOI: [10.15372/KhUR20190110](https://doi.org/10.15372/KhUR20190110)
34. Титлянова А.А. *Биологический круговорот углерода в травяных экосистемах*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 222 с.
35. Титлянова А.А., Афанасьев Н.А., Наумова Н.Б. и др. *Сукцессии и биологический круговорот*. Новосибирск: ВО Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 1993. 157 с.
36. Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытко В.А. и др. *Биологическая продуктивность травяных экосистем*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 134 с.
37. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. *Подземные органы растений в травяных экосистемах*. Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 1996. 128 с.
38. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П. Прирост болотных растений // *Сибирский экологический журнал*. 2000. Т. 7. № 5. С. 653–658.
39. Титлянова А.А., Тесаржова М. *Режимы биологического круговорота*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 150 с.
40. Bengtsson F., Rydin H., Baltzer J.L., Bragazza L., Bu Zh.-J., Caporn S.J.M., Dorrepaal E., Flatberg K. I., Galanina O., Galka M., Ganeva A., Goia I., Goncharova N., Hajek M., Haraguchi A., Harris L.I., Humphreys E., Jiroušek M., Kajukalo K., Karofeld E., Koronatova N.G., Kosykh N. P., Laine A.M., Lamentowicz M., Lapshina E., Limpens J., Linkosalmi M., Ma J.-Z., Mauritz M., Mitchell E.A.D., Munir T.M., Natali S.M., Natcheva R., Payne R.J., Philippov D.A., Rice S.K., Robinson S., Robroek B.J.M., Rochefort L., Singer D., Stenøien H.K., Tuittila E.-S., Vellak K., Waddington J.M., and Granath G. Environmental drivers of *Sphagnum* growth in mires across the Holarctic region // *Journal of Ecology*. 2021. V. 109 (1) P. 417–431. DOI: [10.1111/1365-2745.13499](https://doi.org/10.1111/1365-2745.13499)
41. Clymo R.S. The growth of *Sphagnum*: methods of measurement // *Journal of Ecology*. 1970. V. 58(1). P. 13–50.
42. Granath G., Rydin H., Baltzer, J. L., Bengtsson, F., Boncek, N., Bragazza, L., Bu, Z.-J., Caporn, S. J. M., Dorrepaal, E., Galanina, O., Galka, M., Ganeva, A., Gillikin, D. P., Goia, I., Goncharova, N., Hájek, M., Haraguchi, A., Harris, L. I., Humphreys, E., Jiroušek, M., Kajukalo, K., Karofeld, E., Koronatova, N. G., Kosykh, N. P., Lamentowicz, M., Lapshina, E., Limpens, J., Linkosalmi, M., Ma, J.-Z., Mauritz, M., Munir, T. M., Natali, S. M., Natcheva, R., Noskova, M., Payne, R. J., Pilkington, K., Robinson, S., Robroek, B. J. M., Rochefort, L., Singer, D., Stenøien, H. K., Tuittila, E.-S., Vellak, K., Verheyden, A., Waddington, J. M., and Rice, S. K. Environmental and taxonomic controls of carbon and oxygen stable isotope composition in *Sphagnum* across broad climatic and geographic ranges // *Biogeosciences*. 2018. Vol. 15. P. 5189–5202. DOI: [10.5194/bg-15-5189-2018](https://doi.org/10.5194/bg-15-5189-2018)
43. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // *Wetlands Ecology and Management*. 2008a. Vol. 16. P. 139–153. DOI: [10.1007/s11273-007-9061-7](https://doi.org/10.1007/s11273-007-9061-7)
44. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Peregon A.M., Parshina E.K. Biological productivity of bogs in the middle taiga subzone of Western Siberia // *Russian Journal of Ecology*. 2008b. Vol. 39. № 7. P. 466–474. DOI: [10.1134/S1067413608070023](https://doi.org/10.1134/S1067413608070023)
45. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K., Koronatova N.G., Stepanova V.A., Kolesnychenko L.G., Khovalyga A.O., Peregon A.M. Plant Organic Matter in Palsa and Khasyreï Type Mires: Direct Observations in West Siberian Sub-Arctic // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. 1612. DOI: [10.3390/atmos12121612](https://doi.org/10.3390/atmos12121612)
46. Naumov A.V., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. Network environment analysis of a model of carbon flows in a peat bog and fen // *Mires and Peat*. 2020. Vol. 26. Article 24. DOI: [10.19189/Map.2019.OMB.StA.1790](https://doi.org/10.19189/Map.2019.OMB.StA.1790)
47. Rydin H., Jørgensen J.K. *The biology of peatlands*. Oxford: Oxford University Press. 2013. 398 p.
48. Vishnyakova E.K., Mironycheva-Tokareva N.P. *Moss decomposition in Western Siberian mires // Mosses: ecology, life cycle and significance*. New York: Nova Science Publishres Inc., 2018. P. 217–241.

Поступила в редакцию 14.02.2022

Принята 11.03.2022

Опубликована 18.03.2022

Сведения об авторе:

Коронатова Наталья Геннадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); koronatova@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

**REVIEW OF STUDIES OF PRODUCTION AND DESTRUCTION PROCESSES IN THE MIRES OF WEST SIBERIA: METHODS AND RESULTS**

© 2022 N. G. Koronatova

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

The review discusses the results of research of production and destruction processes involved in the carbon cycle, which were carried out by the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences the bog and palsa complexes of West Siberia. Some characteristic of the carbon cycle in mires, the methods used, and the geographical coverage of the investigations are described. Based on the published results, specific patterns of changes in phytomass, its primary production and destruction along the latitudinal gradient are characterized, and the productivity of bogs and other biogeocenoses of the region is compared.

Key words: primary production; destruction; phytomass; carbon cycle; bog; palsa; West Siberia

How to cite: Koronatova N.G. Review of studies of production and destruction processes in the mires of West Siberia: methods and results // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(2). e170. DOI: [10.31251/pos.v5i2.170](https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.170) (in Russian with an English abstract).

REFERENCES

1. Begak D.A. About the growth of peatlands, *Torfyanae delo*, 1927, No. 11, p. 300–306. (in Russian)
2. Vishnyakova E.K., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P. Decomposition dynamics of plants of bogs (data: Vasyugan bog), *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2012, No. 7 (122), p. 87–93. (in Russian)
3. Volkova I.I., Volkov I.V., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Kirpotina L.V., Zemtsov V.A., Kolmakova M.V., Kouraev A.V., Zakharova E.A., Kirpotin S.N. High-land Eshtykyol lake-mire system, mountain Altai, *Tomsk State University Journal of Biology*, 2010, Vol. 1 (9), p. 118–137. (in Russian)
4. Golovatskaya E.A. Biological productivity of oligotrophic and eutrophic mires in the southern taiga of Western Siberia, *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2009, V. 2, No. 1, p. 38–53. (in Russian)
5. Efremov S.P., Efremova T.T. Structure and productivity of *Sphagnum* communities in mires of Western Siberia, *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2000, No. 5, p. 615–626. (in Russian)
6. Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., Pyavchenko N.I. *Dynamics of organic matter in the process of peat formation*. Leningrad: Nauka, 1978, 176 p. (in Russian)
7. Kopoteva T.A., Kosykh N.P. Dwarf-shrub-Sphagnum mires in taiga zone: comparison of phytomass structure and productivity, *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, No. 2, p. 301–307. DOI: [10.1134/S1995425511020159](https://doi.org/10.1134/S1995425511020159)
8. Koronatova N.G. Investigation of peat decomposition in bogs by method of dry and wet samples incubation, *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 2010, V. 1, No. 1, p. 65–71. (in Russian)
9. Koronatova N.G., Shibareva S.V. Change of peat mass during decomposition in mires of Poland and West Siberia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2010, Vol. 3, No. 3, p. 312–317. DOI: [10.1134/S1995425510030094](https://doi.org/10.1134/S1995425510030094)
10. Kosykh N.P. Biology productivity of bog in forest-steppe, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2009, No. 3 (81), p. 87–90. (in Russian)
11. Kosykh N.P., Koronatova N.G. Phytomass and primary production of mire ecosystems in Surgut Polesie, *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 2010, No. 2, p. 79–84. (in Russian)
12. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Granath G. Effect of Temperature and Precipitation on Linear Increment of *Sphagnum fuscum* and *S. magellanicum* in Western Siberia, *Russian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 48, No. 3, p. 173–181. DOI: [10.1134/S1067413617030080](https://doi.org/10.1134/S1067413617030080)
13. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Lapshina E.D., Filippova N.V., Vishnyakova E.K., Stepanova V.A. Linear growth and production of *Sphagnum* mosses in the middle taiga zone of West Siberia, *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 2017, Vol. 8, No. 1 (15), p. 3–13. DOI: [10.17816/edgcc813-13](https://doi.org/10.17816/edgcc813-13) (in Russian)
14. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Stepanova V.A. Vegetation and productivity of mire ecosystems in the reserve "Yuganskiy", *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 2018, Vol. 9, No. 1, p. 53–61. DOI: [10.17816/edgcc8950](https://doi.org/10.17816/edgcc8950) (in Russian)
15. Kosykh N.P., Makhatkov I.D. The structure of plant matter in the forest-mire ecosystems of the middle taiga of Western Siberia, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2008, No. 4 (78), p. 77–80. (in Russian)
16. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Bleuten V. Productivity of mires of the southern taiga of Western Siberia, *Tomsk State University Journal of Biology*, 2003, Supplement No. 7, p. 142–152. (in Russian)

17. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Kirpotina L.V. Productivity of fen in Gorno-Altai, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2010, No. 3 (93), p. 87–91. (in Russian)
18. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina E.K. Biological productivity of forest-tundra mires in Western Siberia, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2008, No. 4 (78), p. 53–57. (in Russian)
19. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina E.K. Phytomass, production and decomposition of plant matter in oligotrophic bogs of the middle taiga Western Siberia, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2009, No. 3 (81), p. 63–69. (in Russian)
20. Lyapunov A.A., Titlyanova A.A. Systematic approach to the study of exchange processes in biogeocoenosis, *Botanicheskii Zhurnal*, 1974, Vol. 59, No. 8, p. 1081–1092. (in Russian)
21. Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K., Koronatova N.G., Stepanova V.A., Saib E.A., Pokrovskij O.S. Vegetation and plant matter of raised bogs in forest-steppe zone in the south of Western Siberia, *Vestnik of the Orenburg State University*, 2017, No. 3 (203), p. 73–77. (in Russian)
22. Naumov A.V. *Soil Respiration: constituents, ecological functions, geographical patterns*. Novosibirsk: SB RAS Publishing House, 2009, 208 p. (in Russian)
23. Naumov A.V. *Peat mineralization in mire ecosystems (approaches, models, experiment)*. In: Carbon Balance of Western Siberian mires in the Context of Climate Change: Proc. of the Intern. Conf. (Khanty-Mansiysk, June 19-29, 2017). E.D. Lapshina, N.P. Mironycheva-Tokareva (eds). Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2017, p. 88–90. (in Russian)
24. Naumov A.V. Carbon dioxide and methane in soils and atmosphere of mire ecosystems of Western Siberia, *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2002, Vol. 9, No. 2, p. 313–318. (in Russian)
25. Naumov A.V. *Carbon budget and emission of greenhouse gases in mire ecosystems of the forest-steppe zone (Western Siberia)*. In: New Methods and Results of Landscape Studies in Europe, Central Asia and Siberia. V.G. Sychev, L. Muller (eds). Moscow: Publishing House of Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2018, Vol. 1, p. 278–282. (in Russian)
26. Naumov A.V., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina E.K. Carbon balance in the peat bog ecosystems of Western Siberia, *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2007, Vol. 14, No. 5, p. 771–781. (in Russian)
27. Naumov A.V., Kosykh N.P., Parshina E.K., Artymuk S.Yu. Forest-steppe raised bogs, their condition and monitoring, *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2009, No. 2, p. 521–529. (in Russian)
28. Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Kur'ina I.V., Kurganova I.N. Decomposition rate of peat-forming plants in oligotrophic bogs of the southern taiga subzone of Western Siberia: assessment of the effect of water table level and peat deposit temperature, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, No. 9, p. 1101–1111. DOI: [10.1134/S1064229319090060](https://doi.org/10.1134/S1064229319090060)
29. *Productivity of grass ecosystems: Handbook* / Compiled by: Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Moscow: OOO Publishing House MBA, 2020, 100 p. (in Russian)
30. Rodin L.E., Bazilevich N.I. *Dynamics of organic matter and the biological cycle of ash elements and nitrogen in the main types of vegetation on the globe*. Moscow-Leningrad: Nauka, 1965, 251 p. (in Russian)
31. Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Guidelines for the study of dynamics and biological cycle in phytocenoses*. Leningrad: Nauka, 1967, 145 p. (in Russian)
32. Russkikh I.V., Strel'nikova E.B., Serebrennikova O.V., Voistinova E.S., Kharanzhevskaya Y.A. Identification of hydrocarbons in the waters of raised bogs in the southern taiga of Western Siberia, *Geochemistry International*, 2020, Vol. 58, No. 4, p. 447–455. DOI: [10.1134/S0016702920040072](https://doi.org/10.1134/S0016702920040072)
33. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V., Kharanzhevskaya Yu.A., Voistinova E.S. Seasonal dynamics of distribution of organic compounds in bog waters of the southern taiga (Western Siberia), *Chemistry for Sustainable Development*, 2019, Vol. 27 (1), p. 53–60. DOI: [10.15372/CSD20190110](https://doi.org/10.15372/CSD20190110)
34. Titlyanova A.A. *Biological carbon cycle in grass biocenoses*. Novosibirsk: Nauka. Siberian branch, 1977, 222 p. (in Russian)
35. Titlyanova A.A., Afanasev N.A., Naumova N.B. et al. *Succession and biological cycle*. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 1993, 157 p. (in Russian)
36. Titlyanova A.A., Bazilevich N.I., Snytko V.A. et al. *Biological productivity of grass ecosystems*. Novosibirsk: Nauka. Siberian branch, 1988, 134 p. (in Russian)
37. Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P. *Below ground organs of plants in grassland ecosystems*. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 1996, 128 p. (in Russian)
38. Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. Mire plants growth, *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2000, Vol. 7, No. 5, p. 653–658. (in Russian)
39. Titlyanova A.A., Tesarzhova M. *Biological cycle modes*. Novosibirsk: Nauka. Siberian branch, 1991, 150 p. (in Russian)
40. Bengtsson F., Rydin H., Baltzer J.L., Bragazza L., Bu Zh.-J., Caporn S.J.M., Dorrepaa E., Flatberg K. I., Galanina O., Galka M., Ganeva A., Goia I., Goncharova N., Hajek M., Haraguchi A., Harris L.I., Humphreys E., Jiroušek M., Kajukalo K., Karofeld E., Koronatova N.G., Kosykh N. P., Laine A.M., Lamentowicz M., Lapshina E., Limpens J., Linkosalmi M., Ma J.-Z., Mauritz M., Mitchell E.A.D., Munir T.M., Natali S.M., Natcheva R., Payne R.J., Philippov D.A., Rice S.K., Robinson S., Robroek B.J.M., Rochefort L., Singer D., Stenøien H.K., Tuittila E.-S.,

- Vellak K., Waddington J.M., and Granath G. Environmental drivers of *Sphagnum* growth in mires across the Holarctic region, *Journal of Ecology*, 2021, Vol. 109 (1), p. 417–431. DOI: [10.1111/1365-2745.13499](https://doi.org/10.1111/1365-2745.13499)
41. Clymo R.S. The growth of *Sphagnum*: methods of measurement, *Journal of Ecology*, 1970, Vol. 58(1), p. 13–50.
42. Granath, G., Rydin, H., Baltzer, J. L., Bengtsson, F., Boncek, N., Bragazza, L., Bu, Z.-J., Caporn, S. J. M., Dorrepaal, E., Galanina, O., Galka, M., Geneva, A., Gillikin, D. P., Goia, I., Goncharova, N., Hájek, M., Haraguchi, A., Harris, L. I., Humphreys, E., Jiroušek, M., Kajukalo, K., Karofeld, E., Koronatova, N. G., Kosykh, N. P., Lamentowicz, M., Lapshina, E., Limpens, J., Linkosalmi, M., Ma, J.-Z., Mauritz, M., Munir, T. M., Natali, S. M., Natcheva, R., Noskova, M., Payne, R. J., Pilkington, K., Robinson, S., Robroek, B. J. M., Rochefort, L., Singer, D., Stenøien, H. K., Tuittila, E.-S., Vellak, K., Verheyden, A., Waddington, J. M., and Rice, S. K. Environmental and taxonomic controls of carbon and oxygen stable isotope composition in *Sphagnum* across broad climatic and geographic ranges, *Biogeosciences*, 2018, Vol. 15, p. 5189–5202. DOI: [10.5194/bg-15-5189-2018](https://doi.org/10.5194/bg-15-5189-2018)
43. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia, *Wetlands Ecology and Management*, 2008a, Vol. 16, p. 139–153. DOI: [10.1007/s11273-007-9061-7](https://doi.org/10.1007/s11273-007-9061-7)
44. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Peregon A.M., Parshina E.K. Biological productivity of bogs in the middle taiga subzone of Western Siberia, *Russian Journal of Ecology*, 2008 б, V. 39, No 7, p. 466–474. DOI: [10.1134/S1067413608070023](https://doi.org/10.1134/S1067413608070023)
45. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K., Koronatova N.G., Stepanova V.A., Kolesnychenko L.G., Khovalyg A.O., Peregon A.M. Plant Organic Matter in Palsa and Khasyreï Type Mires: Direct Observations in West Siberian Sub-Arctic, *Atmosphere*, 2021, Vol. 12, 1612. DOI: [10.3390/atmos12121612](https://doi.org/10.3390/atmos12121612)
46. Naumov A.V., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. Network environment analysis of a model of carbon flows in a peat bog and fen, *Mires and Peat*, 2020, Vol. 26, Article 24. DOI: [10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1790](https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1790)
47. Rydin H., Jeglum J.K. *The biology of peatlands*. Oxford: Oxford University Press, 2013, 398 p.
48. Vishnyakova E.K., Mironycheva-Tokareva N.P. *Moss decomposition in Western Siberian mires*. In: Mosses: ecology, life cycle and significance. New York: Nova Science Publishers Inc., 2018, p. 217–241.

Received 14 February 2022

Accepted 11 March 2022

Published 18 March 2022

About the author:

Koronatova Natalia Gennadevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); koronatova@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)