

УДК 574.4:550.84

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.258>

Запасы фитомассы и деструкция растений-торфообразователей на начальных этапах разложения в условиях ненарушенных и постпирогенных торфяников Западной Сибири

© 2024 Л. Г. Никонова , Д. А. Калашникова , Е. А. Головацкая , Г. В. Симонова 

ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический проспект, 10/3, г. Томск, 634055, Россия. E-mail: nikonovalilig@gmail.com

Цель исследования. Оценка запасов фитомассы и скорости разложения органического вещества растений-торфообразователей в условиях торфяных залежей ненарушенных и постпирогенных торфяников на начальных этапах деструкции.

Место и время проведения. Исследования проведены в мае-сентябре 2022 г. на двух олиготрофных болотах – Бакчарском (стационар «Васюганье», ИМКЭС СО РАН) и Иксинском, являющихся северо-восточными отрогами Большого Васюганского болота и расположенных в Бакчарском и Шегарском районах Томской области.

Методы. Запасы растительного вещества определяли укосным методом. Выделяли следующие фракции: живая фитомасса (однолетняя и многолетняя фотосинтезирующая фитомасса – зеленые части трав, листья кустарничков, мох), многолетняя нефотосинтезирующая фитомасса (стебли кустарничков, корни трав и кустарничков) и мертвая фитомасса – мортмасса (опад, моховой очес, ветошь). Скорость разложения растительных остатков оценивали методом закладки растений в торф (отдельно *Chamaedaphne calyculata* и *Sphagnum fuscum*, а также смешанный образец, состоящий из 60% *S. fuscum* и 40% *Ch. calyculata*). В исходных образцах и после разложения определяли зольность методом сухого озоления, содержание общего углерода и азота, а также изотопный состав углерода и азота при помощи изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage.

Основные результаты. Краткосрочное исследование, проведенное во время вегетационного периода в условиях ненарушенного (Естественный рям) и подверженного пирогенному воздействию (Гарь) фитоценозов показало, что за счет значительного количества мортмассы (2402 г/м²) Естественный рям обладает запасом органического вещества, превышающим таковой в условиях Гари в 1,7 раз. В среднем потеря 59% органического вещества от общих потерь за вегетационный период приходится на первый месяц. Как в условиях Гари, так и в условиях Естественного рьяма минимальные потери органического вещества свойственны *Sphagnum fuscum* (3,1 и 3,5%); для остальных образцов условия Гари были более благоприятны для разложения на начальных этапах деструкции. Смешанный образец по потерям массы занимает промежуточное положение между своими отдельными компонентами. Потери углерода хорошо коррелируют с потерями массы как в течение 1 месяца деструкции ($r=0,87$), так и за 4 месяца ($r=0,96$). В отличие от углерода, на начальных этапах деструкции азот накапливался в Смешанном образце (как через один, так и через четыре месяца).

Заключение. При меньших запасах фитомассы на участках постпирогенной сукцессии, более активные деструкционные процессы на начальных этапах разложения органического вещества растительных остатков происходят именно в этих условиях. Показано влияние постпирогенной сукцессии на скорость разложения органического вещества растительных остатков *Chamaedaphne calyculata* и смеси остатков *S. fuscum* и *Ch. calyculata*. В течение первого месяца деструкции происходило наиболее интенсивное разложение опада. В условиях горелого болота наблюдался более интенсивный вынос азота из всех растительных остатков и накопление зольных элементов в образцах *Sphagnum fuscum*. Смешивание компонентов опада оказывало влияние как на скорость, так и на динамику разложения. Изотопный состав углерода и азота начинал изменяться уже на начальных этапах деструкции: происходило обогащение тяжелыми изотопами ¹⁵N и ¹³C. Данное исследование подчеркивает важность изучения процессов разложения растительного опада на начальных этапах и учета компонентного состава при анализе процессов трансформации органического вещества.

Ключевые слова: торфяные олиготрофные почвы; гистосоли; *Sphagnum fuscum*; *Chamaedaphne calyculata*; деструкция органического вещества; изотопный состав азота и углерода ($\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$); постпирогенные торфяники.

Цитирование: Никонова Л.Г., Калашникова Д.А., Головацкая Е.А., Симонова Г.В. Запасы фитомассы и деструкция растений торфообразователей на начальных этапах разложения в условиях ненарушенных и постпирогенных торфяников Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 2. e258. DOI: [10.31251/pos.v7i2.258](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.258)

ВВЕДЕНИЕ

Постоянство биологических систем напрямую зависит от круговорота углерода, особую роль в поддержании которого играют болотные экосистемы. Одной из ключевых особенностей болот является их способность накапливать углерод в виде торфа за счет медленной скорости трансформации органического вещества. Мировые запасы углерода, накопленные в торфе, превышают количество углерода, хранящегося в растительности, и по размеру сопоставимы с текущим запасом углерода в атмосфере (Turetsky et al., 2015). В любых экосистемах для формирования фитомассы растениям необходим углекислый газ; в дальнейшем, после отмирания, растительные остатки подвергаются минерализации, окисленный углерод снова возвращается в атмосферу. Таким образом, продукционно-деструкционные процессы являются основными и важнейшими процессами на нашей планете (Титлянова и др., 2023). Активное накопление углерода происходит в течение вегетационного периода в результате прироста растительной массы (Fortuniak, Rawlak, 2014). Показателем скорости накопления органического углерода растительностью является чистая первичная продукция. Величина продуктивности зависит от видового состава фитоценоза, гидрологических и климатических условий (Базилевич, 1993). Главными факторами, оказывающими влияние на скорость разложения органического вещества, являются условия среды, химический состав самих растений-торфообразователей и активность микроорганизмов (Денисенков, 2000). Наиболее интенсивно деструкция органического вещества протекает в летнее время года, когда уровень болотных вод понижается и атмосферный кислород свободно проникает в верхние горизонты торфяной толщи. В зимний период наблюдается ослабление процессов разложения, связанное с понижением активности микроорганизмов (Козловская и др., 1978; Миронычева-Токарева и др., 2013; Головацкая, Никонова, 2017). Наибольшие потери массы в процессе разложения органического вещества растительного опада в торфяных залежах происходят именно на первых стадиях (Коронатова, 2010; Вишнякова и др., 2012; Peltoniemi et al., 2012; Filippova, Glagolev, 2018), т.к. микроорганизмы в первую очередь разрушают легкодоступные компоненты, содержание которых со временем убывает и скорость разложения снижается (Боч, Мазинг, 1979). На начальных этапах деструкции наибольшее влияние на скорость разложения оказывают климатические условия (температура и влажность), однако со временем особенности самих растений играют все более значимую роль (Никонова et al., 2023). Сам растительный опад можно распределить по стойкости на 2 группы: (1) быстроразлагающиеся растительные остатки – не фиксирующиеся в ботаническом составе органического слоя болотных почв (листья *Chamaedaphne calyculata*, *Menyanthes trifoliata*, разнотравье); (2) стабильные растительные остатки – постоянно фиксирующиеся в ботаническом составе торфа (все фракции большинства кустарничков, узлы кущения, корни и корневища трав, относящихся к родам *Carex*, *Scheuchzeria*, *Eriophorum*, все сфагновые мхи) (Козловская и др., 1978; Вишнякова и др., 2012; Никонова и др., 2019; Berg, 2014).

Современные климатические изменения могут привести к ускорению процесса разложения органического вещества и, как следствие, к уменьшению мировых запасов торфа (Hogg et al., 1992). Пожары также способны повлиять на запасы углерода в торфе и скорость его выделения в атмосферу как за счет самого процесса горения, так и косвенно, за счет ускорения процесса деструкции самого торфа и растительных остатков в процессе постпирогенной сукцессии (Sommers et al., 2014). В связи с этим целью данной работы являлась оценка скорости разложения органического вещества растений-торфообразователей в условиях торфяных залежей ненарушенных и постпирогенных торфяников на начальных этапах деструкции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в болотных фитоценозах, относящихся к северо-восточным отрогам Васюганского болота, расположенных в Бакчарском и Шегарском районах Томской области: относительно ненарушенный сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз болота «Бакчарское» – Естественный рям (56°52'31,7" с.ш., 82°48'27,3" в.д.) и сосново-березово-пушицево-сфагновый фитоценоз болота «Иксинское» с явно выраженными следами пирогенного воздействия – Гарь (56°52'03,4" с.ш., 83°11'52,1" в.д.) (Никонова и др., 2023). Изучаемые участки расположены в подзоне южной тайги Западной Сибири и характеризуются континентальным климатом. Средняя годовая температура составляет 0,50 °С, годовое количество осадков 497 мм за 1991–2020 годы. Средние температуры воздуха января и июля составляют –18,8 и +18,2 °С, соответственно (ВНИИГМИ-МЦД, meteo.ru). Выбранные точки исследования обладают рядом уникальных характеристик, которые могут оказать значительное влияние на процесс трансформации органического вещества. С 1970-х

годов на этих болотах функционирует мелиоративная сеть каналов, в результате чего на территории болот произошли кардинальные изменения природной среды, в частности, осушение значительных участков болот, что стало причиной массовых лесных и торфяных пожаров (Базанов и др., 2002). Естественный рям, представляет собой типичный для олиготрофных болот фитоценоз; находится на водораздельном плато в междуречье рек Бакчар и Икса, близко к осушительной сети, но за ее пределами. Следы осушения проявляются в виде подсыхания краевых зон, расположенных в достаточной отдаленности от точек исследования, в связи с этим рям может считаться относительно ненарушенным. Глубина торфяной залежи Естественного рьяма достигает 320 см, а плотность верхних слоев торфа (0-10 см) – 34,8 кг/м³. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* L., высота деревьев составляет 2–3 метра (проективное покрытие около 50%), кустарничковый ярус хорошо развит и состоит преимущественно из *Ledum palustre* L. и *Chamaedaphne calyculata* Moench. Среди мхов абсолютным доминантом является *Sphagnum fuscum* Klinggr, травы встречаются редко, в основном *Eriophorum vaginatum* и *Rubus chamaemorus*. Иксинское болото расположено в междуречье рек Икса и Шегарка; в 1998 году на его осушенном участке произошло выгорание значительной территории, в результате чего был полностью уничтожен растительный покров с приповерхностной толщи торфа на болотах, а также почвенный покров в заболоченных и автоморфных лесах (Базанов и др., 2002). В ранних исследованиях, до пожара, территория Иксинского болота, выбранная нами для изучения, упоминается как верховое болото (Кудрявцев, 1969; Храмов, Валуцкий, 1977; Трифонова и др., 2010). На данный момент, Гарь характеризуется несколько иным фитоценотическим разнообразием. Древесный ярус сильно разрежен и образован главным образом подростом *Pinus sylvestris*, однако встречаются отдельные редкостоящие березы *Betula pubescens* высотой до 15 м. Кустарнички встречаются крайне редко. Хорошо выражен травянистый ярус, образованный многочисленными кочками *Carex limosa* и *Eriophorum vaginatum*. Моховой ярус представлен многообразием сфагновых мхов, изредка встречаются бриевые мхи, в частности, *Polytrichum commune*. Глубина торфяной залежи достигает 90 см, верхние слои (0-10 см) торфа имеют плотность 33,2 кг/м³. На территории изучаемого участка повсюду встречаются следы пожара: поваленные деревья, обгорелая кора уцелевших деревьев. Судя по всему, данный участок был подвержен в большей степени пожару, чем вышеописанный. Результаты предыдущего исследования (Никонова и др., 2019) показали, что температура торфяной залежи в исследуемых фитоценозах, также отличается. Условия на Естественном рьяме оказались более прохладными, по сравнению с Гарью (на +1,5 и +1,7 °С в мае и июне, соответственно). Также, в работе (Никонова, Головацкая, 2020) отмечалось, что участок Гарь является более обводненным в период вегетации, чем Естественный рям, уровень болотных вод –24 см и –30 см, соответственно. Согласно показателю рН болотных вод, реакция среды в исследуемых фитоценозах кислая: в Естественном рьяме 4,05, а в Гари – 4,65.

Исследование включало оценку запасов фитомассы и мортмассы напочвенного покрова в период максимального ее развития (конец июля – начало августа) укосным методом (Косых и др., 2003; Kosykh et al., 2008). Для этого растительное вещество собирали с площадок размером 50×50 см в трехкратной повторности. Растительное вещество разбирали по фракциям в соответствии с возрастом и функциональными особенностями: живая фитомасса (однолетняя и многолетняя фотосинтезирующая фитомасса – зеленые части трав, листья кустарничков, мох), многолетняя нефотосинтезирующая фитомасса (стебли кустарничков, корни трав и кустарничков) и мертвая фитомасса – мортмасса (опад, моховой очес, ветошь). Границу очеса и живой части мха определяли визуально по изменению цвета сфагновых мхов. Моховой очес – это отмершие части мхов, еще сохраняющие связь с живой частью растений, а ветошь – отмершие части трав, еще не потерявшие связь с растением (в основном наличие ветоши характерно для осок, пушиц). Опавшим считали отмершие части трав и кустарничков. Опавшим собирали с поверхности площадок 50×50 см после того, как срезали кустарнички и травы, и перед тем, как вырезали монолит для оценки запасов корней и мохового очеса. С каждой площадки отбирали монолиты площадью 10×10 см и глубиной 20 см. Разобранное по фракциям растительное вещество высушивали при температуре 80 °С и взвешивали. Единицей измерения запасов фитомассы является г/м².

Определение скорости разложения растительного опада проводили методом закладки растений в торф (Козловская и др., 1978). Исследовали скорость деструкции основных растений-торфообразователей олиготрофных болот Западной Сибири: листья кустарничка *Chamaedaphne calyculata* Moench., очес мха *Sphagnum fuscum* Klinggr. Растительные образцы для исследования собирали на Естественном рьяме Бакчарского болота. Кроме отдельных видов растений, приготавливали Смешанный образец, представляющий смесь исследуемых растений в соответствии с

долей каждого вида в растительном опаде наиболее типичного естественного фитоценоза, состоящий из *S. fuscum* (60%) и *Ch. calyculata* (40%). В лабораторных условиях собранные растения высушивали до воздушно-сухого веса и раскладывали в мешочки из синтетического материала по 15 г. Приготовленный растительный материал закладывали в торфяную залежь в мае, на глубину 10 см от поверхности в трехкратной повторности. Образцы с растительным материалом извлекали в июне и сентябре (через 1 и 4 месяца после начала эксперимента). В образцах определяли убыль массы растительного вещества весовым методом.

Скорость разложения рассчитывали как процент потери массы через 1 и 4 месяца по следующей формуле:

$$\text{Потери массы(\%)} = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100, \quad (1)$$

где W_0 – вес исходного образца (г), W_t – вес образца через 1 и 4 месяца (г).

В исходных образцах и образцах после эксперимента, с целью получения количественных характеристик потерь макроэлементов, была определена зольность методом сухого озоления (Дурынина, Егоров, 1998). Анализ содержания общего азота и общего углерода, а также изотопного состава углерода и азота проводился при помощи изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage (приборы предоставлены центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН).

Изотопный состав углерода и азота определялся методом масс-спектрометрии изотопных отношений легких элементов (Лебедев, 2013). Все образцы гомогенизировали, после чего навеску образца помещали в оловянные капсулы (олово высокой степени чистоты). Оптимальная масса навески образца для изотопного анализа углерода составляла 450–500 мкг, для изотопного анализа азота – 1400–1700 мкг. Запакованные в капсулы образцы помещались в автосамплер элементного анализатора Flash 2000. Капсула попадала в окислительный реактор, нагретый до 1020 °С и заполненный Cr_2O_3 и гранулами Co_3O_4 , сжигалась в потоке газа-носителя (гелий, 250 мл/мин) с одновременно поданным чистым кислородом (180 мл/мин). Полученные продукты окисления (CO_2 , N_xO_y) поступали в восстановительный реактор, где оксиды азота восстанавливались до N_2 . Для удаления воды использовали ловушку с перхлоратом магния. Углекислый газ и азот (N_2) по капилляру попадал в масс-спектрометр DELTA V Advantage через систему газораспределения Conflo II.

Изотопный состав определяли по формуле:

$$\delta^n X = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right] \times 1000, \quad (2)$$

где $^n X$ – изотопы ^{13}C и ^{15}N (‰); R_{sample} – отношение тяжелого изотопа к легкому в исследуемом образце; R_{standard} – отношение тяжелого изотопа к легкому в стандарте.

Лабораторные рабочие газы сравнения (CO_2 , N_2) калибровали по международным стандартным образцам МАГАТЭ: для CO_2 – IAEA-CH-3 Cellulose ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -24,72 \pm 0,04$ ‰); для N_2 – IAEA-600 Caffeine ($\delta^{15}\text{N}_{\text{airN}_2} = 1,0 \pm 0,2$ ‰). Среднеквадратическое отклонение измерений для трех повторностей анализируемых образцов не превышало для углерода 0,2‰, для азота 0,6‰.

Потери углерода, азота и зольных элементов рассчитывали, как процент от исходного содержания:

$$\text{Потери элемента(\%)} = \frac{X_0 - X_t}{X_0} \times 100, \quad (3)$$

где X_0 – исходное содержание элемента (мг/г), X_t – содержание элемента через 1 и 4 месяца (мг/г).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка продуктивности фитоценозов показала максимальные запасы растительного вещества в условиях Естественного рьяма – $3519 \pm 214,8$ г/м², в условиях Гари – $2097 \pm 181,9$ г/м² (рис. 1). Следует отметить неравное соотношение вклада фотосинтезирующей и нефотосинтезирующей частей растений в общие запасы фитомассы в зависимости от фитоценоза. Запасы фотосинтезирующей фитомассы включают в себя запасы зеленых частей трав, мхов, кустарничков. По результатам наших исследований доля фотосинтезирующей массы растений близка в условиях Естественного рьяма и Гари ($603 \pm 46,4$ и $601 \pm 13,9$ г/м², соответственно). При этом максимальный вклад в

фотосинтезирующую фитомассу вносят зеленые части мхов (в среднем 89 % от всей фотосинтезирующей фитомассы). В условиях Естественного рья преобладает фотосинтезирующая фитомасса, а в условиях Гари – нефотосинтезирующая. Среди нефотосинтезирующей фитомассы, к которой относятся стебли, корни трав и кустарничков, в растительном покрове Гари значительно преобладают корни трав и кустарничков в отличие от Естественного рья. Согласно литературным данным (Дашкевич, Смоляк, 1993), после осушения и пожаров характерно угнетение роста сфагновых мхов и распространение осоковых и травяных ассоциаций, что отражается в запасах органического вещества не только фитомассы, но и мортмассы.

Согласно исследованиям Н.П. Миронычевой-Токаревой с соавторами (2013), доля мортмассы может составлять 50–80% от общей массы растительного вещества экосистемы и является важным показателем при изучении вопросов депонирования углерода. Мортмассу образуют отмершие части растений, такие как опад, ветошь трав и моховой очес. В наших исследованиях на долю мортмассы приходится 19–68% от общей массы растений фитоценозов (без учета древесного яруса), при этом максимальный вклад вносит моховой очес (88% от общей мортмассы). За счет большого количества мортмассы общая масса органического вещества в условиях Естественного рья превышает общую массу растительного вещества Гари в 1,7 раз. Возможно, это обуславливается значительным повреждением торфяной залежи при пирогенном воздействии в условиях Гари (рис. 1).

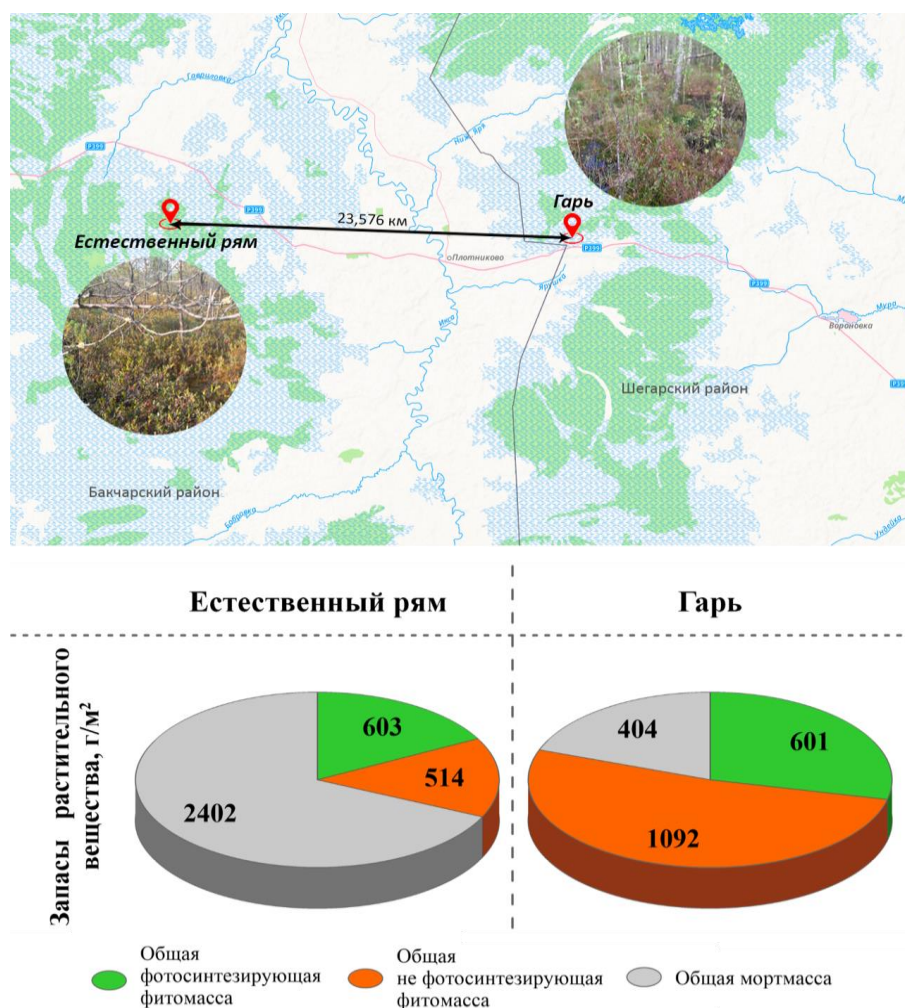


Рисунок 1. Запасы растительного вещества фитоценозов (г/м²): ненарушенного (Естественный рям) и подверженного постпирогенной сукцессии (Гарь).

Исходя из исследований (Вишнякова и др., 2012; Prescott, 2010; Berg, 2014; Nikonova et al., 2023), болотная растительность обладает уникальными особенностями, определяющими как скорость, так и динамику разложения.

Исследуемые растения по химическому составу (табл. 1) значительно отличаются друг от друга – самым высоким содержанием углерода, азота, зольных элементов и наименьшим

соотношением C/N характеризуются листья *Ch. calyculata*. Очес *S. fuscum* обладает менее благоприятным для деятельности микроорганизмов химическим составом: наименьшим содержанием углерода и азота, высоким соотношением C/N и низкой зольностью. Смешанный образец по химическому составу занимает промежуточное положение между его отдельными компонентами, но обладает достаточно высоким соотношением C/N, что также может замедлять активность микроорганизмов-деструкторов.

Таблица 1

Исходный химический состав растений-торфообразователей (среднее±стандартное отклонение)

Растение	Зольность, %	C, %	N, %	C/N
<i>Ch. calyculata</i>	2,5±0,2	53,3±0,1	1,9±0,3	28
<i>S. fuscum</i>	1,8±0,1	45,1±0,1	0,7±0,3	65
Смешанный образец	1,9±0,2	51,5±0,1	1,0±0,3	51

По полученным результатам краткосрочного исследования за 4 месяца разложения, потери массы в условиях Естественного яра колеблются от 3,1 до 21,0%, в условиях Гари от 3,5 до 34,3% (рис. 2). За первый месяц деструкции происходит наиболее активный вынос органического вещества. Так, в условиях Естественного яра теряется в среднем 51% от общих потерь за 4 месяца, а в условиях Гари – 68%; особенно активное разложение зафиксировано для очеса мха – 75% от общих потерь за 4 месяца происходит именно в первый месяц деструкции. С попаданием свежего опада в торфяную залежь возможен всплеск активности микроорганизмов и, следовательно, интенсивное разложение органического вещества на ранних стадиях деструкции за счет разложения наиболее доступных компонентов (Добровольская, 2013). Также, гидротермические условия Гари оказывают, в основном, положительное влияние на процесс разложения на начальных этапах деструкции (потери массы в среднем на 3,9 и 5,1% выше, чем в условиях Естественного яра за 1 и 4 месяца, соответственно). Например, за 4 месяца для *Ch. calyculata* потери массы на 13,3%, а для Смешанного образца – на 1,7% выше по сравнению с разложением в Естественном яре. Однако разница в потерях *S. fuscum* в условиях Гари и Естественного яра незначительна, потери массы на гари всего на 0,4% выше.

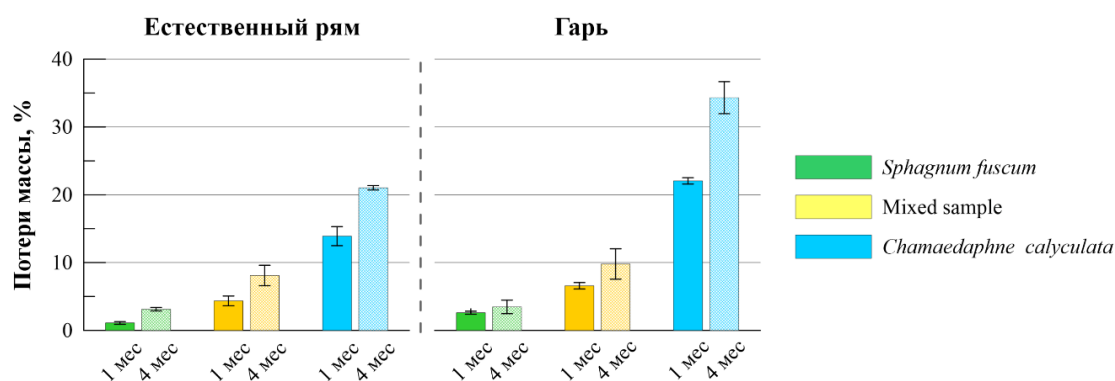


Рисунок 2. Потери массы опада растений-торфообразователей в торфяной залежи Естественного яра и Горелого яра (Гарь) за 1 и 4 месяца, % от исходной массы. Здесь и на рис. 3 представлены среднее арифметическое значение (столбик) и стандартное отклонение (вертикальная планка погрешности).

Среди исследуемых образцов наибольшая скорость разложения на начальных этапах, как и предполагалось исходя из химического состава растительного опада, выявлена для *Ch. calyculata* (21,0 и 34,3% в Естественном яре и Гари, соответственно). Гораздо медленнее процесс разложения протекает в образцах *S. fuscum* (3,1 и 3,5% в условиях Естественного яра и Гари, соответственно). Разложение Смешанного образца вызывает особый интерес; по потерям массы он занимает промежуточное положение между *S. fuscum* и *Ch. calyculata*, при этом в условиях Естественного яра характеризуется меньшими потерями массы (4,4 и 8,1% потерь массы за 1 и 4 месяца, соответственно). В модельных исследованиях (Nikonova et al., 2023) в строго контролируемых условиях, при разложении Смешанного образца на начальных этапах также наблюдались потери

массы, превышающие потери его отдельных компонентов, однако в дальнейшем, как и в наших исследованиях, Смешанный образец по потерям занимал промежуточное положение.

В ходе деструкции происходит изменение зольности, содержания общего углерода и азота, так как именно эти элементы являются ключевыми для микроорганизмов (Frost et al., 2005). Потери углерода хорошо коррелируют с потерями массы как в течение 1-го месяца деструкции ($r=0,87$), так и за 4 месяца ($r=0,96$). Уже на начальной стадии разложения (1-ый месяц) для всех исследуемых образцов наблюдается вынос углерода, достигающий в среднем 21,5%; к 4 месяцам вынос углерода значительно увеличивается и варьирует от 19,1 до 45,8%, при этом наибольшие изменения содержания углерода характерны для *Ch. calyculata* (39,3 и 45,8% в Естественном ряме и в Гари, соответственно). Минимальные потери характерны для очеса *S. fuscum*, при этом, как и потери массы, потери углерода в Гари и Естественном ряме близки (19,1 и 19,5%, соответственно). Смешанный образец, как в течение первого месяца, так и к концу эксперимента по потерям углерода занимает промежуточное положение (рис. 3).

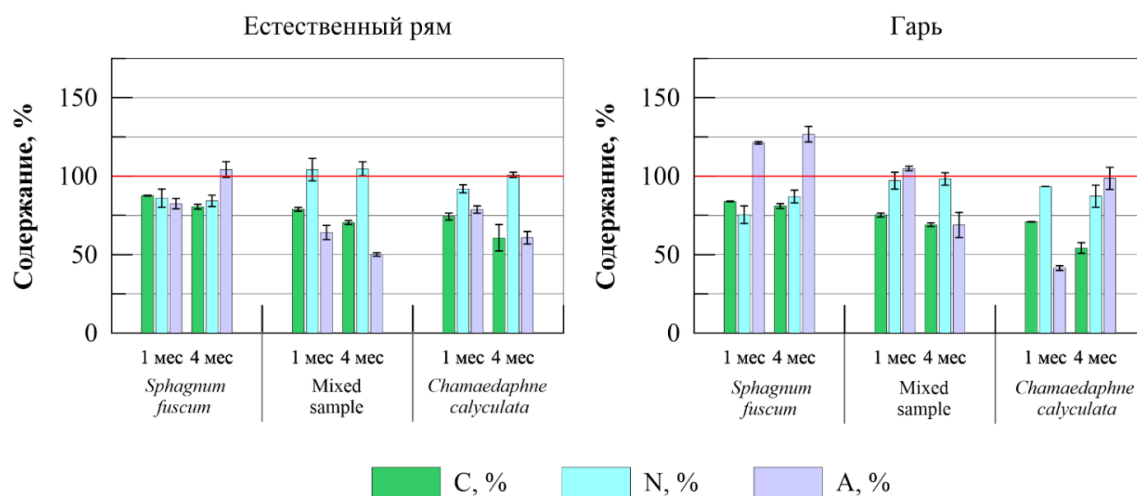


Рисунок 3. Изменение содержания общих углерода (С) и азота (N), зольности (А) в растительных остатках при разложении в торфяной залежи Естественного ряма и Горелого ряма (Гарь) за 1 и 4 месяца (по отношению к исходному количеству, %).

На начальном этапе деструкции динамика содержания азота вызывает особый интерес. За первый месяц во всех образцах, за исключением Смешанного, происходит вынос азота от 2,9 до 24,6%. При этом, в условиях Гари потери азота в среднем в 2 раза превышают потери в Естественном ряме. К 4 месяцам равномерный вынос азота из растительных остатков наблюдается лишь для *S. fuscum* в условиях Естественного ряма (потери азота достигают 15,8% от исходного значения) и *Ch. calyculata* в условиях Гари (потери азота достигают 12,8 % от исходного значения). Как в условиях Естественного ряма, так и в условиях Гари наиболее активный вынос азота характерен для *S. fuscum* (15,8 и 13,1% от исходного значения в Естественном ряме и в Гари, соответственно). В Смешанном образце в Естественном ряме, как за 1 месяц, так и за 4 месяца разложения происходит накопление азота. В процессе деструкции в растительных остатках может происходить как потеря, так и накопление азота (Козловская и др., 1978; Базилевич, Титлянова, 2008; Trentbath, Diggle, 1998). Для остальных образцов к 4-му месяцу деструкции происходит некоторый рост содержания азота, не превышающий исходного значения. Н.И. Базилевич и А.А. Титлянова (2008) отмечают, что на начальных этапах деструкции может наблюдаться, помимо минерализации, повышение концентрации азота в субстрате за счет разложения безазотистых соединений, азотфиксации и потребления азота гифами грибов из почвы. Освобождение минерального азота начинается лишь после достижения в подвергнувшемся деструкции материале предельной концентрации азота (Berg, Staaf, 1981; Trentbath, Diggle, 1998). В дальнейшем, в растениях, подвергающихся значительной минерализации, содержание азота начинает убывать. В то же время, согласно С.Г. Прокушкину с соавторами (2014), иммобилизация азота не всегда сопровождается усилением минерализации; возможно, это связано с наличием или синтезом труднорастворимых азотсодержащих веществ, что и способствует замедлению процесса минерализации.

В связи с неравнозначным изменением содержания углерода и азота в процессе деструкции происходит изменение такого важного показателя, как соотношения C/N. Согласно полученным

результатам, для всех образцов, кроме *S. fuscum*, происходит снижение значения уже в 1-ом месяце разложения. В дальнейшем наблюдается снижение этого показателя для всех изучаемых образцов. Снижение соотношения C/N указывает на последующую интенсификацию деструкционных процессов (Раковский, Пигулевская, 1978; Базилевич, Титлянова, 2008).

Важное влияние на динамику и скорость разложения оказывает зольность. В естественных условиях происходит снижение зольности в течение первого месяца разложения (рис. 3). В Смешанном образце и *S. fuscum* в условиях Гари происходит накопление зольных элементов. При этом накопление зольных элементов в течение первого месяца разложения в очесе *S. fuscum* превышало накопление в Смешанном образце в 5 раз (значение зольности увеличилось на 20,9 и 4,8%, соответственно). К 4-м месяцам деструкции в Смешанном образце происходит снижение содержания зольных элементов как в условиях Естественного рьяма, так и в условиях Гари. К 4-му месяцу деструкции фиксируется рост зольности в очесе *S. fuscum*, как в Естественном рьяме, так и в Гари, при этом постпирогенные условия способствуют более интенсивному накоплению зольных элементов. Известно, способность к биоаккумуляции у мхов намного выше, чем у других растений, ввиду уникальности их физиологии и морфологии (Никонов, 1955; Косых, Коронатова, 2010; Ляпина, 2015; Говоруха, 2017).

Очевидно, что изменение соотношения стабильных изотопов углерода и азота свидетельствует о биохимических процессах в экосистемах и влиянии окружающей среды на эти процессы (Тиунов, 2007; Robinson, 2001; Leavitt et al., 2008). Исходные образцы растений обладали низкими значениями изотопного состава углерода и азота, при этом очес *S. fuscum* отличался наиболее низкими значениями величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ (табл. 2). В результате наших исследований выявлено, что в ходе даже краткосрочной деструкции изотопный состав углерода и азота претерпевает изменение, причем фракционирование углерода происходит менее активно, в отличие от изменения изотопного состава азота. Изотопный состав углерода *Chamaedaphne calyculata*, как для 1-го месяца, так и за 4 месяца эксперимента, изменяется незначительно (в пределах погрешности измерения), при этом влияние условий места закладки образца (постпирогенный или ненарушенный участок) на изменение величины $\delta^{13}\text{C}$ не выявлено. Наиболее явные изменения изотопного состава углерода замечены для *Sphagnum fuscum*. В течение 1-го месяца эксперимента изотопный состав углерода изменяется более чем на 1‰ как в условиях Гари, так и в условиях Естественного рьяма, причем обогащение тяжелым изотопом углерода ^{13}C в условиях Естественного рьяма происходит немного быстрее, чем в постпирогенных условиях. К четвертому месяцу эксперимента изменение величины $\delta^{13}\text{C}$ *Sphagnum fuscum* становится незначительным. Для Смешанного образца в течение 1-го месяца процесса трансформации наблюдается тенденция к обогащению легким изотопом ^{12}C , однако к 4-му месяцу значение величины $\delta^{13}\text{C}$ возвращается к своему начальному значению.

Таблица 2

Изменение изотопного состава углерода и азота при разложении в торфяной залежи Естественного рьяма (Естественный) и Горелого рьяма (Гарь) за 1 и 4 месяца (среднее \pm стандартное отклонение)

Растение	Место закладки	$\delta^{13}\text{C}$, ‰			$\delta^{15}\text{N}$, ‰		
		исходный	ч/з 1 месяц	ч/з 4 месяца	исходный	ч/з 1 месяц	ч/з 4 месяца
1	Естественный	-30,3 \pm 0,2	-30,1 \pm 0,1	-30,1 \pm 0,5	-6,4 \pm 0,4	-6,4 \pm 0,1	-5,4 \pm 0,2
	Гарь		-30,1 \pm 0,1	-29,9 \pm 1,2		-6,6 \pm 0,4	-3,3 \pm 1,8
2	Естественный	-31,2 \pm 0,2	-29,5 \pm 0,2	-29,6 \pm 0,1	-11,7 \pm 0,4	-7,0 \pm 0,2	-7,5 \pm 1,4
	Гарь		-30,0 \pm 0,3	-29,9 \pm 0,3		-9,1 \pm 1,2	-5,6 \pm 0,3
3	Естественный	-29,5 \pm 0,3	-29,9 \pm 0,2	-29,4 \pm 0,2	-9,6 \pm 0,5	-7,1 \pm 0,1	-5,6 \pm 0,1
	Гарь		-30,1 \pm 0,3	-29,7 \pm 0,1		-7,4 \pm 0,1	-4,0 \pm 1,4

Примечание.

1 – *Chamaedaphne calyculata*; 2 – *Sphagnum fuscum*; 3 – Смешанный образец.

Обогащение тяжелым изотопом азота ^{15}N в процессе деструкции, а также влияние условий участков закладки наблюдается для всех растений. В течение первого месяца величина $\delta^{15}\text{N}$ для *Chamaedaphne calyculata* изменилась незначительно, однако к четвертому месяцу изменение составило 1‰ для естественных условий и более 2‰ для Гари. Очес *Sphagnum fuscum* и Смешанный образец уже в первый месяц деструкции показали изменение изотопного состава азота более чем на 2‰ относительно исходных значений. Для Смешанного образца влияние условий мест закладки образцов в течение первого месяца менее заметно – величина $\delta^{15}\text{N}$ для двух участков изменилась

примерно одинаково. Однако к четвертому месяцу трансформации величина $\delta^{15}\text{N}$ в условиях Гари выше величины $\delta^{15}\text{N}$ Смешанного образца в естественных условиях. Для очеса *Sphagnum fuscum* влияние условий мест закладки более явно: в течение первого месяца в естественных условиях величина $\delta^{15}\text{N}$ выше, чем величина $\delta^{15}\text{N}$ в условиях Гари, однако к четвертому месяцу ситуация меняется на противоположную.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что за счет значительного количества мортмассы (2402 г/м^2) Естественный рям обладает запасом органического вещества, превышающим таковой в условиях Гари в 1,7 раз. При меньшем вкладе в продукцию фитоценоза условия постпирогенной сукцессии способствуют более активным деструкционным процессам (потери массы за 4 месяца разложения в условиях Гари – от 3,5 до 34,3%). Максимальная скорость разложения достигается в первый месяц деструкции, как в условиях ненарушенного, так и горелого болота (в среднем 59% от общих потерь за вегетационный период приходится на первый месяц деструкции). Наиболее явное влияние постпирогенной сукцессии на скорость разложения органического вещества наблюдается для растительных остатков *Chamaedaphne calyculata* и Смешанного образца. Как в условиях Естественного рьяма, так и в условиях Гари минимальные потери органического вещества свойственны *Sphagnum fuscum*. Смешивание компонентов опада оказывает влияние на скорость разложения: Смешанный образец по потерям массы занимает промежуточное положение между своими отдельными компонентами.

Потери углерода хорошо коррелируют с потерями массы как в течение первого месяца деструкции ($r=0,87$), так и за четыре месяца ($r=0,96$). В отличие от углерода, азот на начальных этапах деструкции иммобилизуется в Естественном рьяме в Смешанном образце как через один месяц, так и через четыре месяца. В условиях Гари на начальных этапах деструкции в образцах *Sphagnum fuscum* происходит значительное накопление зольных элементов. Изотопный состав углерода и азота начинает изменяться при деструкции уже на начальных этапах, происходит обогащение тяжелыми изотопами ^{13}C и ^{15}N . Данное исследование подчеркивает важность изучения процессов разложения растительного опада на начальных этапах и учета компонентного состава при изучении процессов трансформации органического вещества в экосистемах.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научных тем: «Развитие системы мониторинга и комплексного анализа пулов и потоков парниковых газов болотных и лесных экосистем Западной Сибири», рег. № 122111400002-2, «Закономерности изменения и взаимодействия основных компонентов климатической системы Азиатской территории России», рег. № 121031300154-1.

ЛИТЕРАТУРА

- Базанов В.А., Егоров Б.А., Лыготин В.А., Скугарев А.А. Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья Икса-Шегарка) // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / М.В. Кабанова (отв. ред.). Томск: Институт атмосферной оптики СО РАН, 2002. С. 190–196.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах / А.А. Тишков (отв. ред.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.
- Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. Москва: Наука, 1993. 295 с.
- Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. Ленинград: Наука, 1979. 188 с.
- Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. № 7 (122). С. 88–93.
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 23.03.2023).
- Говоруха В.В. Использование мхов для оценки загрязнения окружающей среды ртутью // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. Том I / Томский политехнический университет (Томск, 3–7 апреля 2017 г.). Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. С. 720–722.

- Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации сфагновых мхов в торфяной почве олиготрофных болот // Почвоведение. 2017. № 5. С. 603–613. <https://doi.org/10.7868/80032180X17030030>
- Дашкевич Е.А., Смоляк Л.П. Закономерности сукцессионных процессов на осушенных болотах // Труды Белорусского государственного технологического университета (Труды БГТУ). №1. Лесное хозяйство. 1993. С. 92–96. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/53594> (дата обращения 10.03.2024).
- Денисенков В.П. Основы болотоведения. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2000. 224 с.
- Добровольская Т.Г. Функционирование микробных комплексов верховых торфяников – анализ причин медленной деструкции торфа / И.Ю. Чернова (отв. ред.) Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 131 с.
- Дурынина Е.П., Егоров В.С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений. Москва: МГУ, 1998. 113 с.
- Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Ленинград: Наука ЛО, 1978. 172 с.
- Коронатова Н.Г. Исследование разложения торфа в болотах методом инкубации сухих и влажных образцов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Том 1. № 1. С. 77–84.
- Косых Н.П., Коронатова Н.Г. Запасы общей фитомассы и чистая первичная продукция болотных экосистем Сургутского Полесья // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Том 1. № 2. С. 77–84.
- Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Блейтен В. Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2003. № 7. С. 142–152.
- Кудрявцев В.Л. Осушение болот в Томской области для сельского хозяйства // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 1969. Т. 178. С. 41–45.
- Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды. Москва: Техносфера, 2013. 632 с.
- Ляпина Е.Е. Геоэкологические особенности ртутной нагрузки на территорию Томской области по данным биомониторинговых исследований // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–2. С. 272.
- Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Вишнякова Е.К. Продукционно-деструкционные процессы в болотных экосистемах Васюганья // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2013. Том 4. № 1. С. 1–9.
- Никонов М.Н. Происхождение и состав золы торфов лесной зоны // Труды института леса АН СССР. 1955. Том 26. С. 135–152.
- Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Курьина И.В., Курганова И.Н. Скорость разложения растений-торфообразователей в олиготрофных болотах южно-таежной подзоны Западной Сибири: оценка влияния уровня болотных вод и температуры торфяной залежи // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1092–1103. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19090065>
- Никонова Л.Г., Головацкая Е.А. Оценка скорости разложения растений-торфообразователей в осушенных и пирогенных торфяниках // Envigomis-2020: избранные труды Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Томск, (Томск, 07–11 сентября 2020 г.). Томск: Томский центр научно-технической информации, 2020. С. 227–230.
- Никонова Л.Г., Калашникова Д.А., Головацкая Е.А., Симонова Г.В. Деструкция растений-торфообразователей на начальных этапах разложения в условиях ненарушенных и постпирогенных торфяников Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 790–794. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Прокушкин С.Г., Прокушкин А.С., Сорокин Н.Д. Интенсивность разложения отдельных компонентов фитодетрита в листовничниках криолитозоны средней Сибири // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2014. № 1. С. 76–85. <https://doi.org/10.7868/S0002332914010093>
- Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. Москва: Недра, 1978. 231 с.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В., Варакина З.В. Закономерности изменения величин чистой первичной продукции в евразийских степях // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. №2. e210. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.210>

- Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2007. № 4. С. 475–489.
- Трифонова Н.А., Здвижков М.А., Прейс Ю.И. Химический и микробиологический состав вод вторичных озер Иксинского болота (Южная тайга, Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2010. Том 317. № 1. С. 143–148.
- Храмов А.А., Валуцкий В.И. Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1977. 219 с.
- Berg B. Decomposition patterns for foliar litter: A theory for influencing factors // Soil Biology and Biochemistry. 2014. Vol. 78. P. 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.005>
- Berg B., Staaf H. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter // Ecological Bulletins. 1981. No. 33. P. 163–178.
- Filippova N.V., Glagolev M.V. Short-term standard litter decomposition across three different ecosystems in middle taiga zone of West Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 138. 5th International field symposium "West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present" and the International conference "Carbon Balance of Western Siberian Mires in the Context of Climate Change" (Khanty-Mansiysk, 19–29 June, 2017). P. 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012004>
- Fortuniak K., Pawlak W. Preliminary results of net ecosystem exchange of greenhouse gases (CO₂, CH₄, H₂O) at wetland of Biebrza National Park, Poland // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Четвёртого Международного полевого симпозиума (Новосибирск, 04–17 августа 2014 г.) / Под редакцией А.А. Титляновой и М.И. Дергачевой. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2014. С. 141–143.
- Frost P.C., Evans-White M.A., Finkel Z.V., Jensen T.C., Matzek V. Are you what you eat? Physiological constraints on organismal stoichiometry in an elementally imbalanced world // Oikos. 2005. Vol. 109. No. 1. P. 18–28. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.14049.x>
- Hogg E.H., Lieffers V.J., Wein R.W. Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fir // Ecological Applications. 1992. Vol. 2. No. 3. P. 298–306. <https://doi.org/10.2307/1941863>
- Kosykh N.P., Koronotova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems // Wetlands ecology and management. 2008. Vol. 16. P. 139–153. <https://doi.org/10.1007/s11273-007-9061-7>
- Leavitt S.W., Chase T.N., Rajagopalan B., Lee E., Lawrence P.J. Southwestern U.S. tree-ring carbon isotope indices as a possible proxy for reconstruction of greenness of vegetation // Geophysical Research Letters. 2008. Vol. 35. No. 12. <https://doi.org/10.1029/2008GL033894>
- Nikonova L., Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Rogova O., Golovatskaya E. Impact of Temperature and Moisture on the Decomposition of Peat-Forming Plants: Results of a Two-Year Incubation Experiment // Forests. 2023. Vol. 14. No. 12. P. 2355. <https://doi.org/10.3390/f14122355>
- Peltoniemi K., Strakova P., Fritze H., Iraizoz P.A., Pennanen T., Laiho R. How water-level drawdown modified litter-decomposing fungal and actinobacterial communities in boreal peatlands // Soil Biology and Biochemistry. 2012. Vol. 51. P. 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.013>
- Prescott C. Litter decomposition: What controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? // Biogeochemistry. 2010. Vol. 101. P. 133–149. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9439-0>
- Robinson D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle // Trends in ecology & evolution. 2001. Vol. 16. No. 3. P. 153–162. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)02098-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)02098-X)
- Sommers W.T., Loehman R.A., Hardy C.C. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Science overview and knowledge needs // Forest Ecology and Management. 2014. Vol. 317. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.014>
- Trentbath B.R., Diggle A.J. An interpretative model of carbon and nitrogen transformation applied to a residue incubation experiment // Australian journal of agricultural research. 1998. Vol. 49. No. 3. P. 537–554. <https://doi.org/10.1071/A97094>
- Turetsky M.R., Benscoter B., Page S., Rein G., Van Der Werf G.R., Watts A. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss // Nature Geoscience. 2015. Vol. 8. No. 1. P. 11–14.

Поступила в редакцию 20.03.2024

Принята 29.04.2024

Опубликована 13.05.2024

Сведения об авторах:

Никонова Лилия Гарифулловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга углеродного баланса наземных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); nikonovalilig@gmail.com

Калашникова Дарья Андреевна – кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории мониторинга углеродного баланса наземных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); terrezaprk@mail.ru

Головацкая Евгения Александровна – доктор биологических наук, профессор РАН, директор ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); golovatskayaea@gmail.com

Симонова Галина Владимировна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоинформационных технологий ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); galina_simonova@inbox.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License

Phytomass reserves and degradation of peat-forming plants at the first stages of decomposition in natural and post-pyrogenic peatlands of West Siberia

© 2024 L. G. Nikonova , D. A. Kalashnikova , E. A. Golovatskaya , G. V. Simonova 

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia, E-mail: nikonovalilig@gmail.com

The aim of the study. Assessment of the phytomass stocks and decomposition rate of peat-forming plants' residues in peat deposits of natural and post-pyrogenic peatlands at the initial stages of decomposition.

Location and time of the study. The study was carried out in 2022 (May-September) at two oligotrophic bog sites: "Bakcharskoye" (field station "Vasyuganye", IMCES SB RAS) and "Iksinskoye", which are located in the north eastern spurs of the Great Vasyugan mire in the Bakcharsky and Shegarsky districts of the Tomsk region, Russia.

Methods. The phytomass stocks were determined by the cutting method. The following fractions were separated: living phytomass (annual and perennial photosynthetic phytomass, i.e. green parts of grasses, shrubs leaves, mosses); perennial non-photosynthetic phytomass, i.e. shrubs stems, roots of grasses and shrubs; and dead phytomass (mortmass), i.e. litter, moss litter, standing dead phytomass. The decomposition rate of plant residues was determined by the method of litter bags placement in peat (*Chamaedaphne calyculata*, *Sphagnum fuscum*, Mixed sample consisting of 60% *S. fuscum* and 40% *Ch. calyculata*). In the initial and decomposed samples, the ash content was determined by the dry combustion method. The total carbon and nitrogen content, as well as the carbon and nitrogen isotopic composition, were determined using a DELTA V Advantage isotope ratio mass spectrometer.

Results. This short-term study conducted during the growing season in conditions of undisturbed (Natural Ryam) and post-pyrogenic (Gar) phytocenoses showed that due to a significant amount of mortmass (2402 g/m²) Natural Ryam had organic matter stock exceeding that in the Gar by 1.7 times. On average, 59% of organic matter loss from the total losses during the growing season occurred in the first month. In both Gar and Natural Ryam conditions, minimal losses of organic matter were characteristic for *Sphagnum fuscum* (3.1 and 3.5% respectively). For the remaining samples the Gar conditions were more favorable for the degradation at the initial stages of decomposition. The Mixed sample occupied an intermediate position between its individual components in terms of mass losses. Carbon losses correlated well with mass losses both over 1 month of degradation ($r=0.87$) and over 4 months ($r=0.96$). In contrast to carbon, nitrogen accumulated in the Mixed sample at the initial stages of degradation, both after 1 month and 4 months.

Conclusions. With smaller phytomass stocks in areas of post-pyrogenic succession, more active decay at the initial stages of organic matter decomposition occurs exactly under these conditions. The impact of post-pyrogenic succession on the rate of organic matter decomposition of *Chamaedaphne calyculata* plant residues and the Mixed sample was demonstrated. The most intensive decomposition of litter occurred during the first month of degradation. Additionally, in the conditions of a burnt bog, a more intense release of nitrogen from all plant residues and accumulation of ash elements in *Sphagnum fuscum* samples were observed. The mixing of

litter components influenced both the rate and dynamics of decomposition. The carbon and nitrogen isotopic composition began to change during the initial stages of decomposition, leading to enrichment with heavier isotopes ^{15}N and ^{13}C . This research emphasizes the importance of studying the processes of plant litter decomposition at the initial stages and considering the plant residue composition when studying the processes of organic matter transformation.

Keywords: peat oligotrophic soils; Histosols; *Sphagnum fuscum*; *Chamaedaphne calyculata*; organic matter decomposition; nitrogen and carbon isotopic composition ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$); post-pyrogenic peatlands.

How to cite: Nikonova L.G., Kalashnikova D.A., Golovatskaya E.A., Simonova G.V. Phytomass reserves and degradation of peat-forming plants at the first stages of decomposition in natural and post-pyrogenic peatlands of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 6(X). e258 (in Russian with English abstract). DOI: [10.31251/pos.v7i2.258](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.258)

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation by the Projects "Development of a system for monitoring and integrated analysis of pools and flows of greenhouse gases in wetland and forest ecosystems of West Siberia" (No. 122111400002-2), and "Regularities of change and interaction of the main components of the climatic system of the Asian territory of Russia" (No. 121031300154-1).

REFERENCES

- Bazanov V.A., Egorov B.A., L'gotin V.A., Skugarev A.A. Modern spatial dynamics of the Great Vasyugan Mire (the case of the Iksa-Shegarka interfluve). In book: *The Great Vasyugan Mire Current status and development processes* / M.V. Kabanov (ed.). Tomsk: Institute of Atmospheric Optics SB RAN, 2002. P. 190–196. (in Russian).
- Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. Biotic turnover of five continents: element exchange processes in terrestrial natural ecosystems / A.A. Tishkov (ed.). Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2008. 381 p. (in Russian).
- Bazilevich N.I. Biological stability of the ecosystem of Northern Eurasia. Moscow: Nauka Publ., 1993. 295 p. (in Russian).
- Boch M.S., Mazing V.V. *Ecosystems of marshes of the USSR*. Leningrad: Nauka Publ., 1979. 188 p. (in Russian).
- 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. P. 88–93. (in Russian).
- Russian Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI – WDC). URL: <http://meteo.ru/> (accessed on 23.03.2023). (in Russian).
- Govorukha V.V. Use of mosses for assessment of environmental pollution by mercury. In book: *Problems of Geology and Subsurface Development. Proceedings of the 21th International Scientific Symposium of students, Postgraduates and young Scientists devoted to the 130th Anniversary of birth of M. Kuchin. Part I* / Tomsk Polytechnic University (Tomsk, 3–7 April, 2017). Tomsk: Polytechnic University Publishing House, 2017. P. 720–722. (in Russian).
- Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. The influence of the bog water level on the transformation of sphagnum mosses in peat soils of oligotrophic bogs. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 5. P. 580–588. <https://doi.org/10.1134/S1064229317030036>
- Dashkevich E.A., Smolyak L.P. Patterns of successional processes on the drained bogs. *Proceedings of Belarusian State Technological University (Proceedings of BSTU)*. No. 1. Forestry. 1993. P. 92–96. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/53594> (accessed on 10.03.2024). (in Belarus).
- Denisenkov V.P. *Basics of Swamp Science*. St. Petersburg: St. Petersburg University Publ., 2000. 224 p. (in Russian).
- Dobrovolskaya T.G., Golovchenko A.V., Zvyagintsev D.G. Functions of Microbial Complexes of the High-Moor Peatbogs: Reasons for Slow Peat Destruction / I.Y. Chernov (ed.). Moscow: KMK Publ., 2013. 131 p. (in Russian).
- Durygina E.P., Egorov V.S. *Agrochemical analysis of soils, plants, fertilizers*. Moscow: MSU Publ., 1998. 113 p. (in Russian).
- Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., Piavchenko N.I. Dynamics of organic matter in the process of peat formation. Leningrad: Nauka LO Publ., 1978. 172 p. (in Russian).
- Koronatova N.G. Investigation of peat decomposition in bogs by method of dry and wet samples incubation. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2010. Vol. 1. No. 1. P. 77–84. (in Russian).
- Kosykh N.P., Koronatova N.G. Phytomass and primary production of mire ecosystems in Surgut Polesie. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2010. Vol. 1. No. 2. P. 77–84. (in Russian).

- Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Bleyten V. Productivity of peatlands in South taiga of West Siberia. *Tomsk State University Journal*. 2003. No. 7. P. 142–152. (in Russian).
- Kudryavtsev V.L. Draining of marshes in the Tomsk region for agriculture. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 1969. Vol. 178. P. 41–45. (in Russian).
- Lebedev A.T. *Mass Spectrometry for the Analysis of the Environment*. Moscow: Tekhnosfer Publ., 2013. 632 p. (in Russian).
- Lyapina E.E. Geocological features of mercury load of the territory of the Tomsk region according to biomonitoring research. *Modern problems of science and education*. 2015. Vol. 1–2. P. 272. (in Russian).
- Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnykova E.K. Production and destruction processes in peatland ecosystems of Vasyugan region. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2013. Vol. 4. No. 1. P. 1–9. (in Russian).
- Nikonova M.N. Origin and composition of forest zone peat ashes. *Proceedings of the Institute of Forestry of the USSR Academy of Sciences*. 1955. Vol. 26. P. 135–152. (in Russian).
- 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. <https://doi.org/10.1134/S1064229319090060>
- Nikonova L.G., Golovatskaya E.A. Estimate of the decomposition rate of peat-forming plants in drained and pyrogenic peatlands. In book: *Enviromis-2020. Selected Proceedings of the International Conference and School of Young Scientists on Measurements, Modeling and Information Systems for Environmental Studies*. Tomsk, (Tomsk, 07–11 September, 2020). Tomsk: Tomsk Center for Scientific and Technical Information, 2020. P. 227–230. (in Russian).
- Nikonova L.G., Kalashnikova D.A., Golovatskaya E.A., Simonova G.V. Degradation of peat-forming plants at the first stages of decomposition in natural and post-pyrogenic peatlands of Western Siberia. In book: *Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023)*. Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 790–794. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Prokushkin S.G., Prokushkin A.S., Sorokin N.D. The intensity of phytodetrite decomposition in larch forest of the permafrost zone in Central Siberia. *Biology Bulletin*. 2014. Vol. 41. No. 1. P. 89–97. <https://doi.org/10.1134/S1062359014010075>
- Rakovskiy V.E., Pigulevskaya L.V. *Chemistry and genesis of peat*. Moscow: Nedra Publ., 1978. 231 p. (in Russian).
- Titlyanova A.A., Shibareva S.V., Varakina Z.V. Patterns of net primary production changes in eurasian steppes. *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e210. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.210>
- Tiunov A.V. Stable isotopes of carbon and nitrogen in soil ecological studies. *Biology Bulletin*. 2007. Vol. 34. P. 395–407. <https://doi.org/10.1134/S1062359007040127>
- Trifonova N.A., Zdvizhkov M.A., Preis Y.I. Chemical and microbiological composition of water in secondary lakes of the Iksinsky bog (Southern taiga, Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2010. Vol. 317. No. 1. P. 143–148. (in Russian).
- Khramov A.A., Valutskii V.I. *Forest and swamp plant communities of the Eastern Vasyugan land*. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1977. 222 p. (in Russian).
- Berg B. Decomposition patterns for foliar litter: A theory for influencing factors. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 78. P. 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.005>
- Berg B., Staaf H. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. *Ecological Bulletins*. 1981. No. 33. P. 163–178.
- Filippova N.V., Glagolev M.V. Short-term standard litter decomposition across three different ecosystems in middle taiga zone of West Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 138. 5th International field symposium "West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present" and the International conference "Carbon Balance of Western Siberian Mires in the Context of Climate Change" (Khanty-Mansiysk, 19–29 June, 2017). P. 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012004>
- Fortuniak K., Pawlak W. Preliminary results of net ecosystem exchange of greenhouse gases (CO₂, CH₄, H₂O) at wetland of Biebrza National Park, Poland. In book: *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present. Proceedings of the Fourth International Field Symposium (Novosibirsk, 04–17 August, 2014) / Edited by A.A. Titlyanova and M.I. Dergacheva*. Tomsk: National Research Tomsk State University, 2014. C. 141–143.

- Frost P.C., Evans-White M.A., Finkel Z.V., Jensen T.C., Matzek V. Are you what you eat? Physiological constraints on organismal stoichiometry in an elementally imbalanced world. *Oikos*. 2005. Vol. 109. No. 1. P. 18–28. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.14049.x>
- Hogg E.H., Lieffers V.J., Wein R.W. Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fire. *Ecological Applications*. 1992. Vol. 2. No. 3. P. 298–306. <https://doi.org/10.2307/1941863>
- 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. *Wetlands ecology and management*. 2008. Vol. 16. P. 139–153. <https://doi.org/10.1007/s11273-007-9061-7>
- Leavitt S.W., Chase T.N., Rajagopalan B., Lee E., Lawrence P.J. Southwestern U.S. tree-ring carbon isotope indices as a possible proxy for reconstruction of greenness of vegetation. *Geophysical Research Letters*. 2008. Vol. 35. No. 12. <https://doi.org/10.1029/2008GL033894>
- Nikonova L., Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Rogova O., Golovatskaya E. Impact of Temperature and Moisture on the Decomposition of Peat-Forming Plants: Results of a Two-Year Incubation Experiment. *Forests*. 2023. Vol. 14. No. 12. P. 2355. <https://doi.org/10.3390/f14122355>
- Peltoniemi K., Strakova P., Fritze H., Iraizoz P.A., Pennanen T., Laiho R. How water-level drawdown modified litter-decomposing fungal and actinobacterial communities in boreal peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. Vol. 51. P. 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.013>
- Prescott C. Litter decomposition: What controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry*. 2010. Vol. 101. P. 133–149. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9439-0>
- Robinson D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. *Trends in ecology & evolution*. 2001. Vol. 16. No. 3. P. 153–162. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)02098-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)02098-X)
- Sommers W.T., Loehman R.A., Hardy C.C. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Science overview and knowledge needs. *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 317. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.014>
- Trentbath B.R., Diggle A.J. An interpretative model of carbon and nitrogen transformation applied to a residue incubation experiment. *Australian journal of agricultural research*. 1998. Vol. 49. No. 3. P. 537–554. <https://doi.org/10.1071/A97094>
- Turetsky M.R., Benscoter B., Page S., Rein G., Van Der Werf G.R., Watts A. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. No. 1. P. 11–14.

Received 20 March 2024

Accepted 29 April 2024

Published 13 May 2024

About the authors:

Liliya G. Nikonova – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory for Monitoring the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems, Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); nikonovalilig@gmail.com

Daria A. Kalashnikova – Candidate of Chemical Sciences, Junior Researcher in the Laboratory for Monitoring the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); terrezapr@mail.ru

Evgeniya A. Golovatskaya – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Director, Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); golovatskayaea@gmail.com

Galina V. Simonova – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Bioinformation Technologies, Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); galina_simonova@inbox.ru

The authors read and approved the final manuscript



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