

Торф и продукты его переработки

УДК 631.417

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ДИНАМИКА УГЛЕРОДА НА БОЛОТАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© Е.М. Волкова*, О.А. Леонова

Тульский государственный университет, пр. Ленина, 92, Тула, 300012,
Россия, convallaria@mail.ru

В статье обсуждаются результаты эксперимента по трансформации остатков разных видов растений в экологических условиях пойменного и водораздельного болот на севере Среднерусской возвышенности. Объектами исследования являлись *Menyanthes trifoliata*, *Filipendula ulmaria*, *Equisetum fluviatile*, *Carex acutiformis* и *Sphagnum fallax*. Показано, что интенсивность разложения растительных остатков зависит от их химического состава (зольность, соотношение C/N) и условий биотопа (аэрация, минерализация болотных вод). За 12 месяцев эксперимента наибольшие значения потери массы отмечены у вахты трехлистной и таволги вязолистной, минимальные – у сфагнового мха. В процессе разложения растительных остатков происходит изменение содержания углерода. При этом на пойменном болоте, характеризующимся сезонно-изменчивым гидрологическим режимом и богатым водно-минеральным питанием, при разложении растений отмечено снижение содержания углерода. На водораздельном болоте в условиях стабильного увлажнения и бедного минерального питания разложение растений сопровождается увеличением содержания углерода в ходе эксперимента. Запасы углерода в растительных образцах в ходе эксперимента снижались. Однако наиболее высокие значения запасов углерода сохранились в образцах растений на водораздельном болоте, что коррелирует с показателями содержания углерода в торфах и их активным вертикальным приростом. Проведенный эксперимент позволяет оценить вклад разных типов болот в депонирование углерода.

Ключевые слова: болотные экосистемы, условия биотопа, трансформация растительных остатков, запасы углерода.

Для цитирования: Волкова Е.М., Леонова О.А. Трансформация органического вещества и динамика углерода на болотах северной части Среднерусской возвышенности // Химия растительного сырья. 2025. №1. С. 303–310. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250114899>.

Введение

Болотные экосистемы играют важную роль в углеродном обмене с атмосферой, поскольку аккумулируют углерод не только в органическом веществе растений, но и в торфяных отложениях. Будучи «депо» углерода, болота оказывают существенное влияние на поддержание газового состава атмосферы [1–5].

Способность болот к аккумуляции углерода связана не столько с его накоплением в биомассе, сколько с низкой скоростью трансформации органического вещества отмерших растений, что способствует формированию торфяных отложений и вертикальному приросту залежей. Интенсивность трансформации растительных остатков зависит от химического состава растений-торфообразователей, а также от экологических условий, в которых протекает этот процесс [6, 7]. На болотах с разным гидрологическим режимом скорость разложения растительных остатков и прирост торфа отличаются. Изучение закономерностей торфообразовательного процесса в разных экологических условиях позволит разработать подходы к сохранению болот и поддержанию их депонирующей способности, что актуально при современных изменениях климата.

Маркерами трансформации органического вещества в системе «растительность – торф» являются показатели изменения массы и химического состава растительных остатков [8, 9]. Такие исследования активно проводились на болотах таежной зоны [6, 7, 10, 11], но практически отсутствуют для болотных экосистем, сформированных в зонах широколиственных лесов и лесостепи. Тем не менее внетаежные регионы, включая Среднерусскую возвышенность, характеризуются высоким типологическим разнообразием болот [12,

* Автор, с которым следует вести переписку.

13], что свидетельствует об отличиях в их функционировании и разном вкладе в углеродный обмен. Изучение динамики содержания и запасов углерода в процессе разложения отмерших растительных остатков позволит выявить отличия в интенсивности торфообразовательного процесса разных типов болот.

Цель работы – выявить динамику разложения растений-торфообразователей в разных экологических условиях болот северной части Среднерусской возвышенности и оценить интенсивность аккумуляции углерода в разных типах болот.

Экспериментальная часть

Заболоченность северной части Среднерусской возвышенности невысока (0.1%), но, несмотря на это, в регионе представлены разные типы болот, отличающиеся по геоморфологическому положению, условиям водно-минерального питания, характеру растительности и структуре торфяных отложений [12]. Объектами исследования являлись пойменное и водораздельное болота, на которых были организованы эксперименты по изучению трансформации отмерших растительных остатков.

Болото Подкосьюмово (53.668344° N, 38.587615° E) сформировано в притеррасной части поймы р. Непрядва (приток р. Дон) и занимает площадь 1.2 га. Растительность болота эвтрофного типа и представлена таволговым, осоковым, хвощовым и камышовым ценозами, поскольку в питании участвуют сильноминерализованные подземные воды [14]. Торфяные отложения имеют мощность 1.2 м, образованы осоковым, травяным, древесно-травяным и древесным низинными торфами.

Водораздельные болота региона сформированы в разных геолого-гидрологических условиях. Объектом данного исследования являлось сплавинное болото Главное (54.05667° N, 37.58927° E), сформированное в провале карстово-суффозионного происхождения и занимающее площадь 1 га. В структуре растительного покрова болота выделяются две части, что обусловлено отличиями в водно-минеральном питании. Окраинная часть подпитывается минерализованными грунтовыми и делювиальными водами, что является причиной формирования эвтрофных сообществ. Торфяная залежь в этой части болота имеет мощность 4.5 м, является низинной и образована травяными, травяно-сфагновыми, реже – древесными (по дну) торфами. Растительность центральной части болота образована мезо- и олиготрофными ценозами, поскольку в питании доминируют атмосферные осадки. Растительные сообщества развиваются на сплаvine мощностью 2 м, которая образована сфагновым и травяно-сфагновым переходными торфами [15, 16].

Для оценки интенсивности трансформации растительных остатков использовали метод закладки растительного материала в торф [8]. Для этого в августе 2022 г. на модельных болотах собраны растения из разных фитоценозов. На водораздельном болоте Главное были отобраны *Menyanthes trifoliata* (березово-вахтово-сфагновое сообщество по окрайке) и *Sphagnum fallax* (очеретниково-осоково-сфагновое сообщество на сплаvine). На пойменном болоте Подкосьюмово были отобраны *Carex acutiformis*, *Filipendula ulmaria*, *Equisetum fluviatile* из соответствующих ценозов. У растений срезали надземную часть, которую высушивали и взвешивали. Для эксперимента использовали навески по 5–10 г. Навески помещали в сетчатые пакеты из синтетического материала и в 4-кратной повторности закладывали в торфяную залежь болот на глубину 5–10 см. Эксперимент заложен 2 октября 2022 года.

На болоте Подкосьюмово образцы помещали в осоковый низинный торф с высокой степенью разложения (45%) и зольностью (54%). Содержание углерода в торфе составляет 13% [17]. Уровень болотных вод (УБВ) в точке эксперимента в летний период опускался до -40 см, pH=6.7–7.8, минерализация болотных вод – 425–690 мг/л. На болоте Главное образцы растений помещали в сфагновый переходный торф, характеризующийся низкой степенью разложения (5–10%) и зольностью (не более 20%), но высокой долей углерода (34%). УБВ не опускался ниже -10 см от поверхности болота, минерализация вод – 30–42 мг/л, pH=3.8–4.6.

Образцы изымали из торфов через 7 и 12 месяцев после начала эксперимента. Пакеты с образцами промывали проточной водой, затем содержимое вынимали из пакетов, высушивали и взвешивали. Определяли потерю массы образцов по разнице между исходной навеской и массой образца после эксперимента.

Для выявления динамики углерода в ходе эксперимента в исходных и экспериментальных (после экспозиции в торфе) растительных образцах определяли содержание органического вещества. Для этого в каждом образце определяли зольность (А, %) и содержание карбонатов (С, %) гравиметрическим методом [18, 19]. Долю органического вещества (ОВ, %) определяли как:

$$ОВ=100\% - А - С$$

Содержание органического углерода (Сорг, %) вычисляли, зная долю органического вещества в единице объема торфа и массовую долю углерода (ω), полученную с использованием CHNSO-анализатора LECO TruSpec Micro в Институте органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, по формуле:

$$\text{Сорг} = \text{ОВ} \times \omega$$

В растительных образцах (исходных и экспериментальных) определяли запасы углерода (гС/г), умножая содержание углерода на массу навески (m, г):

$$\text{Запасы С} = \text{Сорг} \times m/100\%.$$

Обсуждение результатов

Сравнение свойств торфов в поверхностных горизонтах модельных болот Подкосьюмово и Главное свидетельствует об отличиях в водно-минеральном режиме (УБВ, минерализация и pH болотных вод), что определяет активность микрофлоры и, как следствие, обеспечивает аккумуляцию разного количества углерода. В столь разных условиях трансформация отмерших растительных остатков протекает по-разному.

Изучение динамики разложения на разных типах болот показало, что наибольшая потеря массы характерна для таволги вязолистной в условиях пойменного болота Подкосьюмово (рис. 1). Это следует объяснять как особенностями анатомического строения (развитие паренхимных тканей) и химического состава таволги (табл. 1), так и условиями биотопа болота (см. выше). Совокупность перечисленных факторов формирует благоприятный субстрат и среду для жизнедеятельности микроорганизмов, которые активно разлагают таволгу. При этом за 7 месяцев эксперимента произошла наибольшая потеря массы образца (70.8%). За последующие 5 месяцев интенсивность разложения снизилась, но в итоге за 12 месяцев масса таволги уменьшилась на 74.5%.

Образцы вахты трехлистной были заложены на водораздельном сплавинном болоте Главное. Несмотря на низкую аэрацию и бедное водно-минеральное питание в центральной части болота, разложение вахты в сфагновом переходном торфе протекало активно и за 7 месяцев потеря массы составила 67.7%, а за 12 месяцев – 78% (рис. 1). Полученные результаты следует объяснять тем, что ткани вахты (табл. 1) активно использовали микроорганизмы даже при указанных выше условиях биотопа.

Разложение осоки заостренной и хвоща приречного в условиях пойменного болота Подкосьюмово имело иной характер изменчивости. Потеря массы образцов за 7 месяцев составила 26 и 32.8% соответственно (рис. 1). Это обусловлено развитием лигнифицированных тканей у осоки и высоким содержанием кремнезема у хвоща, что снижает активность микроорганизмов на ранних этапах трансформации. Для этих растений также характерно наиболее низкое значение массовой доли углерода – 40% у осоки и 34% у хвоща (табл. 1). Тем не менее высокое содержание зольных элементов обеспечило ускорение процесса разложения за последующие 5 месяцев. В результате потеря массы за 12 месяцев достигла у осоки 67.2%, а у хвоща – 91.9% (рис. 1). Как видно, в благоприятных условиях водно-минерального питания видовые особенности растений (строение тканей, химический состав) могут сдерживать разложение их остатков на ранних этапах трансформации.

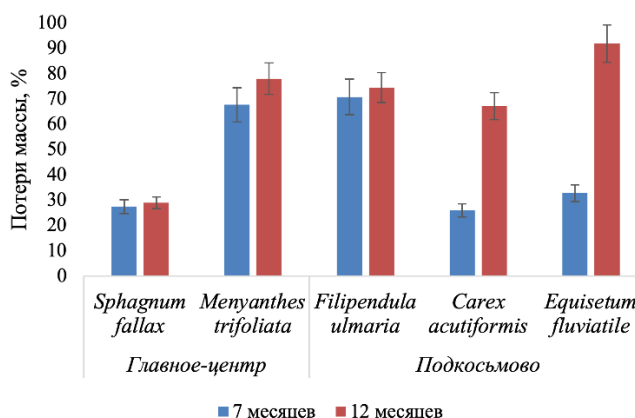


Рис. 1. Потери массы (%) при разложении растительного материала на болотах

Таблица 1. Исходный химический состав образцов растений

Виды растений	Химический состав растений			
	С, %масс.	N, %масс.	C/N	A, %
Сосудистые растения				
<i>Menyanthes trifoliata</i>	42.0±1	1.8±0.1	23.3	10.0±0.3
<i>Filipendula ulmaria</i>	43.0±1.1	0.8±0.3	53.7	5.8±0.1
<i>Carex acutiformis</i>	40.0±0.9	0.5±0.1	80.0	6.1±0.1
<i>Equisetum fluviatile</i>	34.0±1.2	1.4±0.2	24.3	17.8±1.2
Мохообразные				
<i>Sphagnum fallax</i>	42.0±1.1	1.1±0.1	38.2	2.4±0.1

Наиболее низкая интенсивность трансформации отмечена для образцов сфагнового мха *Sphagnum fallax*: потеря массы за 7 месяцев составила 27.5%, а за 12 месяцев – 29%. Такая «устойчивость» мхов к разложению обусловлена бедностью их химического состава (зольность 2.4% – табл. 1), что делает сфагновые мхи малоприспособленным субстратом для заселения микроорганизмами [20, 21].

Таким образом, интенсивность трансформации отмерших растительных остатков определяется, в первую очередь, особенностями химического состава растений. Это диагностирует показатель зольности исходных образцов, а также соотношение C/N [9, 22–24]. Наиболее низкие значения данного индекса свойственны интенсивно разлагающимся видам – вахте и хвощу, а максимальные – отмечены у осоки (табл. 1).

В процессе разложения отмерших растительных остатков происходит изменение содержания углерода (рис. 2). В исходных образцах данный показатель изменяется от 26.2% у хвоща приречного до 41% у сфагноума обманчивого. Показатели у вахты, таволги и хвоща занимают промежуточные значения (36–37%). За 7 месяцев эксперимента содержание углерода увеличилось у таволги на 0.5%, хвоща на 1.7% и у вахты на 2.1%, но уменьшилось у сфагнового мха на 1.2% и осоки на 5.2%. При этом за последующие 5 месяцев показатель приобретает иную тенденцию изменчивости: содержание углерода снижается у вахты, таволги и хвоща (на 0.8–6.4%), но возрастает у сфагноума (на 0.5%) и осоки (на 2.9%). Отличия в тенденции изменчивости содержания углерода отражают соотношение процессов минерализации и гумификации на разных этапах трансформации органического вещества.

В целом, за 12 месяцев экспозиции содержание углерода (по сравнению с исходными образцами) уменьшилось у осоки на 2.3%, таволги на 3.2% и хвоща на 4.7%, что свидетельствует о преобладании процессов минерализации в условиях пойменного болота Подкосьюмо. За указанный период на водораздельном сфагновом болоте Главное содержание углерода в вахте увеличилось на 1.3%, а у сфагноума – практически не изменилось, несмотря на потерю массы (рис. 2). Это означает, что в обводненных (слабоаэрируемых) условиях активно протекают процессы полимеризации и гумификации, что обеспечивает синтез сложных гуминовых веществ и увеличение доли углерода как у быстроразлагающихся (вахта), так и у медленно разлагающихся (сфагнум) видов. Как видно, динамика содержания углерода в процессе трансформации растительных остатков определяется условиями биотопа. Разложение растений в сфагновом переходном торфе водораздельного болота сопровождается аккумуляцией углерода, а в пойменном болоте (осоковый низинный торф) – его потерей.

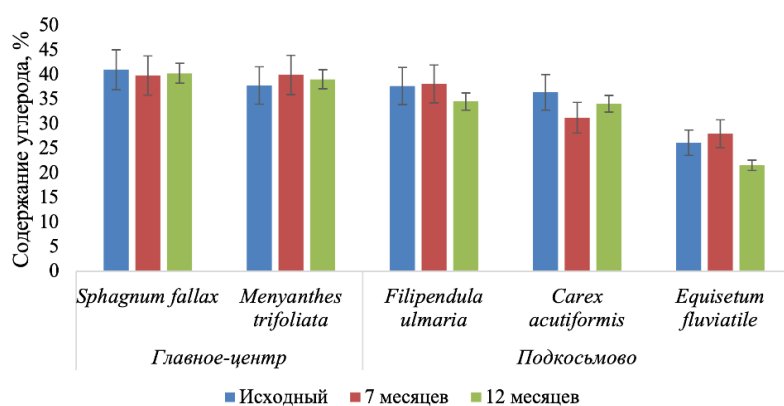


Рис. 2. Содержание углерода (%) и его динамика в процессе трансформации растительного материала

Для оценки количества углерода, поступившего в торфяную залежь в процессе разложения растительных образцов, определяли запасы углерода на всех этапах трансформации (табл. 2). Результаты показали, что через 7 месяцев у вахты и таволги запасы углерода существенно сократились по сравнению с исходными данными и составили 29.7–36.4%. Максимальная сохранность отмечена у сфагнома и хвоща – 68.3.4 и 73.1% соответственно. Высокий показатель сохраняется у осоки – 63.9%.

Через 12 месяцев эксперимента наибольший показатель запасов углерода отмечен у сфагнома – сохранность запасов углерода по сравнению с исходной навеской составила 70.7%, что обусловлено минимальной потерей массы и несущественной динамикой содержания углерода. У остальных образцов показатель значительно уменьшился: до 32.7% у осоки, до 23.6–23.7% у вахты и таволги, до 6.9% у хвоща.

Как видно, наиболее высокий запас углерода поступил в торфяную залежь сплавинного водораздельного болота Главное и основная роль в формировании запасов принадлежит сфагновому мху. На пойменном болоте Подкосьюмово вклад растений-торфообразователей в формирование запасов углерода торфяной залежи существенно ниже, при этом, максимальная доля запасов углерода отмечена у осоки заостренной.

Таблица 2. Динамика запасов углерода при трансформации растительных остатков разных видов растений

Болото	Вид растения	Исходный, гС/г	7 месяцев		12 месяцев	
			гС/г	%	гС/г	%
Главное-центр	<i>Sphagnum fallax</i>	4.1	2.8	68.3*	2.9	70.7
	<i>Menyanthes trifoliata</i>	1.1	0.4	36.4	2.6	23.6
Подкосьюмово	<i>Filipendula ulmaria</i>	3.7	1.1	29.7	8.8	23.7
	<i>Carex acutiformis</i>	3.6	2.3	63.9	1.1	32.7
	<i>Equisetum fluviatile</i>	2.6	1.9	73.1	1.8	6.9

*доля от исходной навески.

Заключение

Проведенные исследования показали, что разложение растительных остатков в разных экологических условиях болот протекает с разной интенсивностью, что обусловлено особенностями химического состава растений и гидролого-гидрохимическим режимом болотных биотопов. Высокое содержание зольных элементов, а также низкое соотношение C/N свойственны растениям, у которых за 12 месяцев эксперимента отмечена наибольшая потеря массы (вахта, хвощ). При этом разложение растений в бедных условиях водно-минерального питания сплавинного водораздельного болота Главное приводит к накоплению слабо разложившихся растительных остатков и увеличению содержания углерода в торфах. В условиях сезонно-изменчивого гидрологического режима пойменного болота Подкосьюмово происходит активное разложение отмерших растительных остатков, что сопровождается эмиссией углекислого газа [17]. В результате таких потерь поступление углерода в торф существенно снижается.

Полученные результаты коррелируют с ботаническим составом торфов поверхностных горизонтов и скоростью их вертикального прироста. Так, активное разложение растений в условиях пойменного болота Подкосьюмово и невысокое поступление запасов углерода из разлагающихся растений в торф обеспечивают низкую скорость вертикального прироста торфа – 0.2–0.5 мм/год [25]. При этом из всех анализируемых растений наиболее высокий показатель запаса углерода сохраняется у осоки заостренной, что связано со слабой трансформацией остатков вида. Это коррелирует с доминированием остатков осоки в торфе и формированием осокового торфа в поверхностных горизонтах залежи.

В обводненных условиях водораздельного болота Главное сфагновые мхи характеризуются низкой степенью трансформации и высокой сохранностью запасов углерода, что не только является причиной более высокого содержания углерода в торфах, но и обеспечивает формирование сфагновых торфов, характеризующихся активным вертикальным приростом (до 2.3 мм/год) [15, 26].

Проведенные исследования по динамике трансформации растительных остатков в экологических условиях разных типов болот северной части Среднерусской возвышенности свидетельствуют о различиях в интенсивности торфообразовательного процесса и, соответственно, разном вкладе болот в депонирование углерода.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-24-10054 «Оценка роли разных типов болот Среднерусской возвышенности в углеродном обмене с атмосферой как основа для создания карбонового полигона (на примере Тульской области)» и соглашения с комитетом Тульской области по науке и инноватике №10 от 11.04.2023 г.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Turunen J., Tomppo E., Tolonen K., Reinikainen A. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions // *Holocene*. 2002. Vol. 12. Pp. 69–80. <https://doi.org/10.1191/0959683602hl522rp>.
2. Ratcliffe J., Payne R.J. Palaeoecological studies as a source of peat depth data: A discussion and data compilation for Scotland // *Mires and Peat*. 2016. Vol. 18(13). Pp. 1–7.
3. Zhang H., Gallego-Sala A.V., Amesbury M.J., Charman D.J., Piilo S.R., Väiranta M.M. Inconsistent Response of Arctic Permafrost Peatland Carbon Accumulation to Warm Climate Phases // *Global Bio- geochemical Cycles*. 2018. Vol. 32. Pp. 1605–1620.
4. Залесов С.В. Роль болот в депонировании углерода // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. №7. С. 6–9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.033>.
5. Volkova E.M., Leonova O.A., Boikova O.I., Novenko E.Yu., Olchev A.V. Carbon accumulation dynamics of the Klukva peatland at the southern boundary of broad-leaved forest zone in European Russia // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1093. 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1093/1/012006>.
6. Головацкая Е.А., Никонова (Абзалимова) Л.Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2013. №3 (23). С. 137–151.
7. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // *Вестник ТГПУ*. 2009. №3 (81). С. 63–69.
8. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л., 1978. 176 с.
9. Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах // *Вестник ТГПУ*. 2012. №7 (122). С. 87–93.
10. Паршина Е.К. Деструкция растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2009. 23 с.
11. Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Курына 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.
12. Волкова Е.М. Болота Среднерусской возвышенности: генезис, структурно-функциональные особенности и природоохранное значение: Автореф. дис... докт. биол. наук. СПб, 2018. 46 с.
13. Волкова Е.М., Зацаринная Д.В. Типология и распространение болот на Среднерусской возвышенности // *Разнообразие растительного мира*. 2023. №3 (18). С. 30–43. <https://doi.org/10.22281/2686-9713-2023-3-30-43>.
14. Зацаринная Д.В., Волкова Е.М., Леонова О.А. Разнообразие растительности пойменных болот юго-восточной части Тульской области // *Известия ТулГУ. Естественные науки*. 2022. №1. С. 28–36.
15. Волкова Е.М. Пойменные болота северо-востока Среднерусской возвышенности // *Ботанический журнал*. 2011. Т. 96, №4. С. 503–514.
16. Зацаринная Д.В. Экологические особенности и растительность карстовых болот зоны широколиственных лесов (на примере Тульской области): дисс. ... канд. биол. наук. Москва, 2015. 173 с.
17. Леонова О.А., Бахмат И.В., Волкова Е.М. Динамика накопления углерода в генезисе пойменного болота и запас органического вещества в растительных сообществах // *Проблемы изучения и восстановления ландшафтов лесостепной зоны: историко-культурные и природные территории. Сборник научных статей*. Тула, 2023. Т. 5. С. 80–88.
18. ГОСТ 23740-2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ. М., 2017. 12 с.
19. ГОСТ 34467-2018. Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов. М., 2019. 12 с.
20. Никишин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. М., 1978. 368 с.
21. Волкова Е.М., Бойкова О.И., Хлытин Н.В. Изменение химического состава растений-торфообразователей в процессе разложения на карстово-суффозионных болотах Среднерусской возвышенности // *Химия растительного сырья*. 2020. №1. С. 283–292. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015222>.

22. Ефремова Т.Т. Структурообразование в торфяных почвах. Новосибирск, 1992. 191 с.
23. Белоусов М.В., Ахмеджанов Р.Р., Гостищева М.В., Юсубов М.С., Матвеев А.В. Исследование химических и токсических свойств гуминовых кислот низинного древесно-травяного торфа Томской области // Бюллетень сибирской медицины. 2009. №4 (2). С. 27–33.
24. Инишева Л.И., Маслов С.Г., Дементьева Т.В., Шайдак Л. Параметры биохимической устойчивости торфов // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1, №2(2). С. 6–16.
25. Novenko E.Yu., Volkova E.M. The Middle and Late Holocene Vegetation and Climate History of the Forest-steppe Ecotone Area in the Central Part of European Russia // Geographical Review of Japan Series B. 2015. Vol. 87(2). Pp. 91–98.
26. Волкова Е.М., Леонова О.А., Зацаринная Д.В. Развитие сплавинных карстовых болот на северо-востоке Среднерусской возвышенности и аккумуляция углерода в торфяных залежах // Ботанический журнал. 2023. Т. 108, №7. С. 656–669. <https://doi.org/10.31857/S0006813623070074>.

Поступила в редакцию 23 марта 2024 г.

Принята к публикации 22 октября 2024 г.

*Volkova Ye.M.**, *Leonova O.A.* THE TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER AND CARBON DYNAMICS IN THE MIRES OF THE NORTHERN PART OF THE MIDDLE-RUSSIAN UPLAND

Tula State University, Lenina av., 92, Tula, 300012, Russia, convallaria@mail.ru

The article discusses the results of an experiment on the transformation of different plant remains in the ecological conditions of floodplain and watershed mires which are located in the north of the Middle-Russian Upland. The objects of the study were *Menyanthes trifoliata*, *Filipendula ulmaria*, *Equisetum fluviatile*, *Carex acutiformis* and *Sphagnum fallax*. It is shown that the intensity of decomposition of plant residues depends on their chemical composition (ash content, C/N ratio) and biotope conditions (aeration, mineralization of mire waters). During the 12 months of the experiment, the highest values of mass loss were noted for *Menyanthes trifoliata* and *Filipendula ulmaria*, the minimum – in sphagnum moss. In the process of decomposition of plant residues, the carbon content is changing. At the same time, in a floodplain mire which is characterized by a seasonally variable hydrological regime and rich water and mineral nutrition, a decrease of carbon content was noted in plant residues. In the watershed mire, under conditions of stable moisture and poor mineral nutrition, the carbon content increases during the experiment. Carbon stocks in plant samples decreased during the experiment. However, the highest values of carbon reserves were preserved in plant samples at the watershed mire, which is correlates with carbon concentration in peat and their active vertical growth. The conducted experiment makes it possible to assess the contribution of different mire types to carbon deposition.

Keywords: mire ecosystems, biotope conditions, transformation of plant residues, carbon stocks.

For citing: Volkova Ye.M., Leonova O.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 1, pp. 303–310. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250114899>.

References

1. Turunen J., Tomppo E., Tolonen K., Reinikainen A. *Holocene*, 2002, vol. 12, pp. 69–80. <https://doi.org/10.1191/0959683602hl522rp>.
2. Ratcliffe J., Payne R.J. *Mires and Peat*, 2016, vol. 18(13), pp. 1–7.
3. Zhang H., Gallego-Sala A.V., Amesbury M.J., Charman D.J., Piilo S.R., Väiranta M.M. *Global Bio-geochemical Cycles*, 2018, vol. 32, pp. 1605–1620.
4. Zalesov S.V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2021, no. 7, pp. 6–9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.033>. (in Russ.).
5. Volkova E.M., Leonova O.A., Boikova O.I., Novenko E.Yu., Olchev A.V. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1093, 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1093/1/012006>.
6. Golovatskaya Ye.A., Nikonova (Abzalimova) L.G. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2013, no. 3 (23), pp. 137–151. (in Russ.).
7. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina Ye.K. *Vestnik TGPU*, 2009, no. 3 (81), pp. 63–69. (in Russ.).
8. Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., P'yavchenko N.I. *Dinamika organicheskogo veshchestva v protsesse torfoobrazovaniya*. [Dynamics of organic matter in the process of peat formation]. Leningrad, 1978, 176 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

9. Vishnyakova Ye.K., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P. *Vestnik TGPU*, 2012, no. 7 (122), pp. 87–93. (in Russ.).
10. Parshina Ye.K. *Destruktsiya rastitel'nogo veshchestva v bolotnykh ekosistemakh tayezhnoy i lesotundrovoi zon Zapadnoy Sibiri: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk.* [Destruction of plant matter in marsh ecosystems of the taiga and forest-tundra zones of Western Siberia: author's abstract. diss. ... candidate of biological sciences]. Tomsk, 2009, 23 p. (in Russ.).
11. Nikonova L.G., Golovatskaya Ye.A., Kur'ina I.V., Kurganova I.N. *Pochvovedeniye*, 2019, no. 9, pp. 1092–1103. (in Russ.).
12. Volkova Ye.M. *Bolota Srednerusskoy vozvyshennosti: genesis, strukturno-funktsional'nyye osobennosti i prirodokhrannoye znachenie: Avtoref. dis... dokt. biol. nauk.* [Swamps of the Central Russian Upland: genesis, structural and functional features and environmental significance: Abstract of thesis. Dis ... doct. Biol. Sciences]. St. Petersburg, 2018, 46 p. (in Russ.).
13. Volkova Ye.M., Zatsarinaya D.V. *Raznoobraziye rastitel'nogo mira*, 2023, no. 3 (18), pp. 30–43. <https://doi.org/10.22281/2686-9713-2023-3-30-43>. (in Russ.).
14. Zatsarinaya D.V., Volkova Ye.M., Leonova O.A. *Izvestiya TulGU. Yestestvennyye nauki*, 2022, no. 1, pp. 28–36. (in Russ.).
15. Volkova Ye.M. *Botanicheskiy zhurnal*, 2011, vol. 96, no. 4, pp. 503–514. (in Russ.).
16. Zatsarinaya D.V. *Ekologicheskiye osobennosti i rastitel'nost' karstovykh bolot zony shirokolistvennykh lesov (na primere Tul'skoy oblasti): diss. ... kand. biol. nauk.* [Ecological features and vegetation of karst bogs of the broad-leaved forest zone (on the example of the Tula region): diss. ... Cand. of Biological Sciences]. Moscow, 2015, 173 p. (in Russ.).
17. Leonova O.A., Bakhmat I.V., Volkova Ye.M. *Problemy izucheniya i vosstanovleniya landshtaftov lesostepnoy zony: istoriko-kul'turnyye i prirodnyye territorii. Sbornik nauchnykh statey.* [Problems of studying and restoring landscapes of the forest-steppe zone: historical, cultural and natural territories. Collection of scientific articles]. Tula, 2023, vol. 5, pp. 80–88. (in Russ.).
18. *GOST 23740-2016. Grunty. Metody opredeleniya sodержaniya organicheskikh veshchestv.* [GOST 23740-2016. Soils. Methods for determining the content of organic substances]. Moscow, 2017, 12 p. (in Russ.).
19. *GOST 34467-2018. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya sodержaniya karbonatov.* [GOST 34467-2018. Soils. Laboratory methods for determination of carbonate content]. Moscow, 2019, 12 p. (in Russ.).
20. Nikishin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy.* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1978, 368 p. (in Russ.).
21. Volkova Ye.M., Boykova O.I., Khlytin N.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 283–292. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015222>. (in Russ.).
22. Yefremova T.T. *Strukturoobrazovaniye v torfyanykh pochvakh.* [Structure formation in peat soils]. Novosibirsk, 1992, 191 p. (in Russ.).
23. Belousov M.V., Akhmedzhanov R.R., Gostishcheva M.V., Yusubov M.S., Matveyenko A.V. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2009, no. 4 (2), pp. 27–33. (in Russ.).
24. Inisheva L.I., Maslov S.G., Dement'yeva T.V., Shaydak L. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovaniye*, 2015, vol. 1, no. 2(2), pp. 6–16. (in Russ.).
25. Novenko E.Yu., Volkova E.M. *Geographical Review of Japan Series B*, 2015, vol. 87(2), pp. 91–98.
26. Volkova Ye.M., Leonova O.A., Zatsarinaya D.V. *Botanicheskiy zhurnal*, 2023, vol. 108, no. 7, pp. 656–669. <https://doi.org/10.31857/S0006813623070074>. (in Russ.).

Received March 23, 2024.

Accepted October 22, 2024

Сведения об авторах

Волкова Елена Михайловна – доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой биологии, convallaria@mail.ru

Леонова Ольга Андреевна – аспирант, ассистент кафедры биологии, convallaria@mail.ru

Information about authors

Volkova Elena Mikhailovna – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biology, convallaria@mail.ru

Leonova Olga Andreevna – Postgraduate Student, Assistant of the Department of Biology, convallaria@mail.ru