

Научная статья
УДК 631.445.12 (470.11)
doi: 10.17223/25421379/24/8

ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ НА ГРУППОВОЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВЕРХОВОГО ТОРФА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ



Валерия Геннадьевна Чибисова¹, Светлана Борисовна Селянина²,
Ольга Николаевна Ярыгина³, Тамара Игоревна Пономарева⁴,
Анастасия Константиновна Штанг⁵, Екатерина Ильинична Котова⁶

^{1, 2, 3, 4, 5} Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия

⁶ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

¹ leratarintseva@gmail.com

² gumin@fciarctic.ru

³ olga.yarigina@fciarctic.ru

⁴ ponomtamara@gmail.com

⁵ a_shtang@inbox.ru

⁶ ecopp@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты определения группового химического состава органического вещества верхового торфа на ненарушенных (естественных) и осушенном участках болотной системы на территории Европейского Севера России. Групповой состав определяли по аттестованной авторской методике, основанной на последовательном выделении компонентов торфа растворителями различной природы. Показано, что влияние осушения на групповой состав верхового торфа северных территорий незначительно.

Ключевые слова: торфяные болота, верховой торф, органическое вещество торфа, осушение, антропогенное воздействие, критерий Манна–Уитни

Источники финансирования: исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы № АААА-А18-118012390224-1 и РФФИ в рамках научных проектов № 20-35-90037 и 18-05-60151.

Для цитирования: Чибисова В.Г., Селянина С.Б., Ярыгина О.Н., Пономарева Т.И., Штанг А.К., Котова Е.И. Влияние осушения болот на групповой состав органического вещества верхового торфа Европейского Севера России // Геосферные исследования. 2022. № 3. С. 126–135. doi: 10.17223/25421379/24/8

Original article
doi: 10.17223/25421379/24/8

INFLUENCE OF BOG DRAINAGE ON THE GROUP COMPOSITION OF THE BOG PEAT OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

Valeriya G. Chibisova¹, Svetlana B. Selyanina², Olga N. Yarygina³, Tamara I. Ponomareva⁴,
Anastasiya K. Shtang⁵, Ekaterina I. Kotova⁶

^{1, 2, 3, 4, 5} N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the UB RAS, Arkhangelsk, Russia

⁶ Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia

¹ leratarintseva@gmail.com

² gumin@fciarctic.ru

³ olga.yarigina@fciarctic.ru

⁴ ponomtamara@gmail.com

⁵ a_shtang@inbox.ru

⁶ ecopp@yandex.ru

Abstract. The aim of the work was to study the group composition of peat deposits in the drained and undisturbed areas of bogs in the European North. The studies were carried out in the Primorsky district of the Arkhangelsk region on the territory of the Ilas bog system located 30 km from the Arkhangelsk in the northern taiga zone. The object of the study was bog peat sampled in the summer of 2020 from several sites of the Ilas bog system – drained and natural (undisturbed) areas. Laboratory studies

included determination of the type of peat, the degree of decomposition, moisture content, ash content and group chemical composition. The group composition of peat was determined according to the author's certified method based on the sequential isolation of peat components by solvents of various natures and their subsequent determination by the gravimetric method based on the residue.

In each investigated area of the bog the peat has a homogeneous plant composition – to its entire depth it is composed of sphagnum mosses with an admixture of cotton grass, shrubs and pine wood. The degree of decomposition of the upper horizons in all areas is low (less than 10 %). All peat samples are characterized by low ash content that is typical of bog peat. A slight increase of the ash content is observed with an increase in the depth of peat, which is quite logical, given the course of the processes of mineralization of organic matter. The content of water-soluble substances is low, slightly varies in the studied samples and practically does not change with the depth. The bituminous content of peat in the upper layers of natural and drained areas practically does not differ (3.3–4.4 %), but in the lower layer of the drained area it significantly increases and reaches 10 %. The content of biopolymers of humic nature also differs slightly for the upper layers (19.9–20.1 %) and increases in the lower layers of the drained area (up to 36.7 %). This trend is also observed for humic acids. The proportions of easily and difficult hydrolysable substances and lignin of the upper layers of the observed areas are comparable with each other while in peat with a higher degree of decomposition the proportion of easily and difficult hydrolysable substances decreases and the lignin content increases. All this results testifies rather to the intensification of transformation processes in the peat strata than to the effect of drainage. Thus, despite anthropogenic interference, the group composition of the organic part of peat of the same degree of decomposition of both natural and drained areas of the same bog system differs insignificantly which is statistically confirmed using the Mann-Whitney test.

Keywords: peat bog, peat group chemical composition, drainage, hydrological conditions, anthropogenic influence, Mann-Whitney test

Source of financing: The reported study was funded by the MSHE of Russia under the base of the project № AAAA–A18–118012390224–1 and RFBR according to the research projects № 20-35-90037 and № 18-05-60151.

For citation: Chibisova V.G., Selyanina S.B., Yarygina O.N., Ponomareva T.I., Shtang A.K., Kotova E.I. (2022) Influence of bog drainage on the group composition of the bog peat of the European North of Russia. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 3. pp. 126–135. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/24/8

Введение

Увеличение антропогенной нагрузки и глобальные климатические изменения стоят в настоящее время в числе важнейших вызовов. Для экосистем, находящихся в экстремальных климатических условиях, это имеет особое значение – уязвимая северная природа очень чутко реагирует на любые воздействия извне, будь то влияние человека или изменения природных факторов. Поэтому экологический мониторинг природных систем становится одной из главных задач при освоении северных территорий.

Торфяные болота широко распространены на севере России, причем большую часть занимают болота верхового типа [Единый государственный реестр..., 2014]. Осушение, как основной вид антропогенного воздействия на торфяно-болотные экосистемы, влечет за собой глубокие изменения биогеохимических и биологических циклов болот [Косов, 2007], приводит к быстрой «сработке» торфяной залежи, усилению окислительных процессов в торфяной толще [Walter et al., 2006].

Воздействие осушения на состояние торфяных болот привлекает внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей. Интерес вызывают особенности микробиологических процессов в осу-

шенной торфяной залежи [Xu et al., 2021], трансформация свойств и химического состава торфа и болотных вод [Семеновко, Каранкевич, 2011; Вомперский и др., 2017; Моторин, 2018; Haggis et al., 2020], изменения в составе битумной части торфа [Серебренникова и др., 2014], естественные процессы, происходящие при осушении и последующем восстановлении болот [Rocheffort, Lode, 2006; Войтехов, 2012].

В настоящее время мнения ученых по поводу устойчивости верховых болот к осушению неоднозначны. Однако многие исследователи отмечают не только крайне низкий лесоводственный эффект даже при интенсивном осушении верховых болот (увеличение продукции древостоя равно снижению продукции напочвенного покрова), но также сохранение олиготрофной растительности и олиготрофного типа обмена веществ в целом. Например, по данным [Войтехов, 2012], осушение верхового болота в Московской области сказалось лишь на территории до 20 м от канав, где за 25-летний период после осушения сосна выросла до 6–8 м, в то время как растительный покров большей части болота остался практически без изменений. Отметим, что влияние мелиорации на состояние олиготрофных болот северных территорий России, отличающихся суровым климатом, может быть более значительным. Не-

смотря на высокую заболоченность, а также наличие осушенных в прошлом торфяных болот, на территории Европейского Севера России такие исследования носят единичный характер.

Таким образом, изучение группового состава органического вещества торфяных отложений осушенных и ненарушенных участков болот Европейского Севера России (на примере Архангельской области) является актуальной задачей. Это позволит глубже проникнуть в процессы трансформации органического вещества северных болот и определить возможные последствия изменения климата и вмешательства человека.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в Приморском районе Архангельской области на территории Иласской болотной системы, расположенной в 30 км на юго-юго-западе от г. Архангельска в зоне северной тайги. Иласский болотный массив (ИБМ) относится к Прибеломорскому типу и является типичным для территории Европейского Севера России оли-

готрофным плосковыпуклым болотом. На территории массива расположен стационар Северного УГМС России – труднодоступная болотная станция «Брусовица», гидрометеорологические наблюдения на которой ведутся с 1941 г.

Объектами исследования служили образцы верхового торфа, отобранные летом 2020 г. с нескольких площадок ИБМ – осушенного ($64^{\circ}19'16''$ N, $40^{\circ}41'01''$ E) и двух естественных (ненарушенных) участков, находящихся на разном удалении от мелиорированной части болотного массива. Ненарушенная площадка 1 располагается на территории грядозеркового комплекса ИБМ на расстоянии около 3 км от осушительных канав ($64^{\circ}20'03''$ N, $40^{\circ}36'35''$ E), а площадка 3 – примерно в 300 м от осушительной сети ($64^{\circ}18'54''$ N, $40^{\circ}41'14''$ E). Осушение по окраинам болотного массива было проведено в 1969–1972 гг. методом открытого дренажа (среднее расстояние между канавами 100 м) с целью отведения избыточной влаги от дорожного полотна при строительстве трассы М8 – «Холмогоры». Общий вид системы болот и места отбора проб показаны на рис. 1.

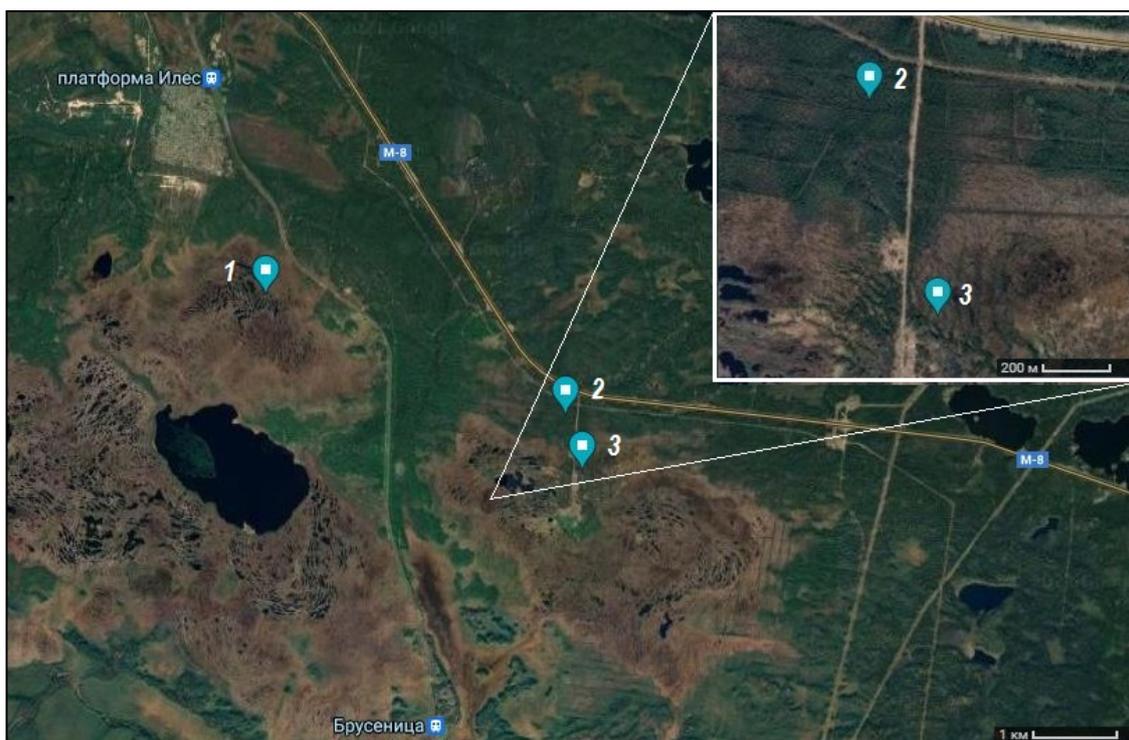


Рис. 1. Спутниковый снимок Иласской болотной системы и места отбора проб торфа

1 – ненарушенный участок; 2 – осушенный участок; 3 – ненарушенный участок

Fig. 1. Satellite image of the Ilas bog system and peat sampling sites

1 – undisturbed area; 2 – drained area; 3 – undisturbed area

Растительное сообщество ненарушенного участка 1 относится к сосново-кустарничково-сфагновому

типу. Древесный ярус представлен разреженным древостоем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* f.

Litwinovii) и (*Pinus sylvestris* f. *Wilkomii*) с сомкнутостью 0,3–0,4. Проективное покрытие кустарничкового яруса составляет 40–45 %, в состав яруса входят багульник болотный (*Ledum palustre* L.), морошка обыкновенная (*Rubus chamaemorus* L.), подбел (*Andromeda polifolia* L.), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), водяника черная (*Empetrum nigrum* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), три вида росянки (*Drosera rotundifolia* L., *Drosera anglica* Huds., *Drosera medium* Hayne), клюква мелкоплодная и болотная (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Oxycoccus palustre* (Hill) W.D.J. Koch), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.) и кассандра болотная (*Chamaedaphne caliculata* (L.) Moench). Мохово-лишайниковый покров имеет проективное покрытие до 70 % и представлен преимущественно сфагнумом бурым (*Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr.) и лишайниками рода *Cladonia*. Мощность естественной торфяной залежи более 4,0 м, подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень грунтовых вод в период летней межени (середина июля) достигал глубины 30 см. Общий вид участка представлен на рис. 2, а.

Пробные площади на ненарушенном участке 3, расположенном вблизи осушительной сети, закладывали в пределах ровной мелкокочковатой моховой фации, не имеющей выраженного микрорельефа. Данный участок представляет собой верховое сфагновое болото со средней мощностью торфяной залежи до 3,0 м и зарастанием сосной 20 %. Древес-

ный ярус располагается на грядах, а на моховой фации отсутствует. Как и на ненарушенном участке 1, основу растительного покрова составляют аналогичные виды сфагновых мхов. Травяно-кустарничковый ярус имеет небольшое проективное покрытие и сложен, в основном, ущицей (*Eriophorum vaginatum*), шейхцерией (*Scheuchzeria palustris*) и подбелом (*Andromeda polifolia*). Подстилающие породы – морена легкого и среднего механического состава. Уровень грунтовых вод в течение всего сезона исследований, даже в период летней межени, находился около дневной поверхности (рис. 2, с).

В растительном покрове осушенного участка доминируют кустарнички голубики (*Vaccinium uliginosum*), черники (*V. Myrtillus*) и багульника (*Ledum palustre*). Сфагновые мхи встречаются спорадически и приурочены к понижениям рельефа. Значителен процент проективного покрытия зеленых мхов, представленных видами плевроциум (*Pleurozium schreberi*), кукушкин лен обыкновенный (*Polytrichum commune*), дикранум волнистый (*Dicranum bergeri*) и дикранум многоножковый (*D. Polysetum*). Появляются лишайники рода *Cladonia*. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* с сомкнутостью 0,6. Подстилающие породы на участке представлены мореной среднего механического состава. Уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода изменялся в пределах 15–30 см. После обильных осадков осушительные каналы заполняются водой, профиль канав зарастает сфагновыми мхами (рис. 2, б). Мощность торфяной залежи не превышает 1,5 м.

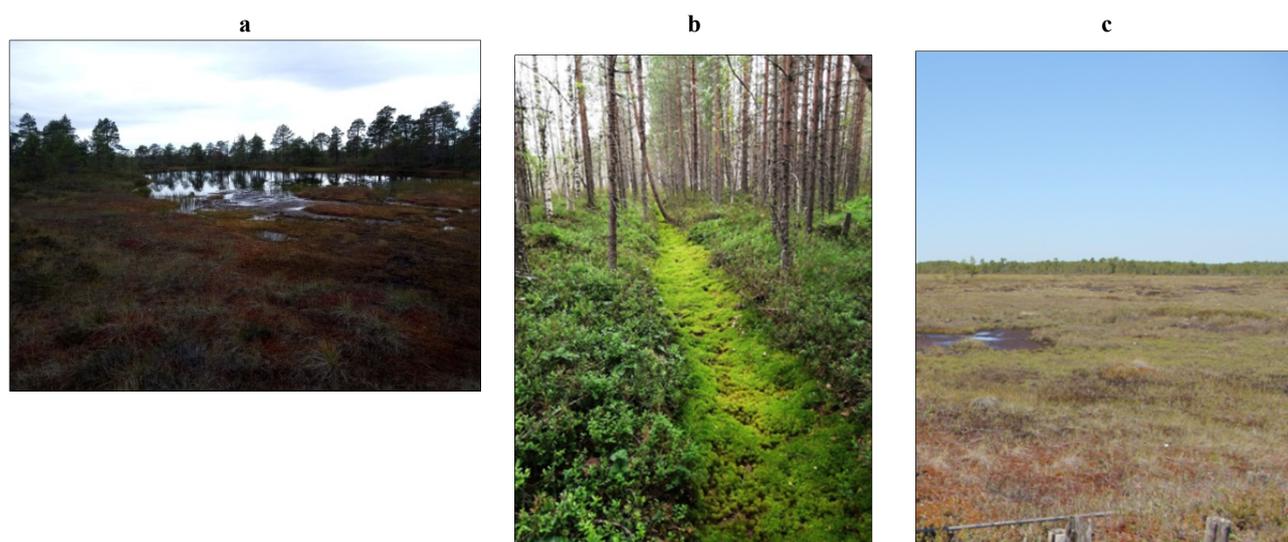


Рис. 2. Общий вид исследуемых участков Иласского болотного массива
а – ненарушенный участок 1; б – осушенный участок 2; с – ненарушенный участок 3

Fig. 2. General view of peat sampling sites of Ilas bog system
а – undisturbed area 1; б – drained area 2; с – undisturbed area 3

Отбор репрезентативных проб торфа проводили методом послойного бурения с применением торфяного бура из нержавеющей стали Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды) согласно [ГОСТ 17644-83, 1983]. Торф был визуально разделен на горизонты по глубине залегания, каждый из которых анализировали отдельно. Отобранные образцы раскладывали слоем в 3–4 см и сушили до воздушно-сухого состояния. Затем из торфа выбирали крупные неразложившиеся остатки растений и минеральные включения и просеивали на сите с размерами ячеек 2 мм. Фракционированный и не фракционированный торф хранили в герметично закрытой таре.

Лабораторные исследования включали определение вида торфа, степени разложения, влажности, зольности и группового химического состава органической части торфа. Влажность и зольность определяли по стандартным методикам [ГОСТ 11306-2013, 2013; ГОСТ 11305-2013, 2014]. Степень разложения торфа предварительно определяли визуально в полевых условиях [Лиштван, Король, 1975; Тюремнов, 1976], а затем уточняли микроскопическим методом, который заключается в определении относительной площади, занятой бесструктурной частью торфа, при рассмотрении тонкого разжиженного слоя материала на предметном стекле через микроскоп [ГОСТ, 2006]. Растительные остатки в торфе идентифицировали по [Носкова, 2016].

Групповой состав органического вещества определяли по аттестованной авторской методике, основанной на последовательном выделении компонентов торфа растворителями различной природы [Методика, 2017]. Экстрактивные вещества (битумы) выделяли из исходного торфа обработкой этоксиэтаном в аппарате Сокслета. Дальнейшая разборка торфа проводилась из дебитуминизированного образца с последовательным выделением компонентов: биополимеры гумусовой природы 0,1 н водным раствором гидроксида натрия, легкогидролизуемые соединения 5 %-м раствором соляной кислоты, трудногидролизуемые вещества и негидролизуемый остаток (лигнин Классона) – 80 %-м раствором серной кислоты. Содержание водорастворимых веществ определяли из отдельной навески исходного торфа экстракцией горячей водой. Расчет содержания групповых компонентов проводили весовым методом по остатку.

Для изучения различий в групповом составе органической части торфа трех участков были выбраны верхние горизонты ненарушенных участков (0–100 и 0–225 см) и профиль торфяной залежи осушенного участка, визуально разделенный на два горизонта (0–30 и 3–140 см). Эксперименты проводили в 4...10 параллельных опытах для каждой

точки, для анализа использовали воздушно-сухой торф (влажность варьировала в пределах 8,7–13,5 %). По результатам анализа рассчитывали средние значения содержания группы веществ в торфе (на абсолютно сухую массу) и стандартное отклонение. Известно, однако, что усредненные значения не всегда отражают наличие или отсутствие реальной разницы между показателями. Для подтверждения полученных результатов проведена статистическая оценка значимости различий с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни (Mann–Whitney test), который позволяет оценить различие между двумя независимыми малыми выборками с распределением, отличным от нормального [Бондаренко, 2016].

Ввиду того, что минимальное число опытов n для работы с критерием не должно быть меньше 3 (при минимальном значении опытов $n_1 = 3$ значение n_2 не должно быть меньше 5), для расчетов выбраны значения содержания битумов, гуминовых кислот, легкогидролизуемых веществ, лигнина, а также зольность. После вычисления эмпирического значения критерия, а также нахождения его табличного значения ($U_{кр}$) принимается решение о достоверности наблюдаемых различий: если $U_{расч} > U_{кр}$, различия не являются статистически достоверными и носят случайный характер; при $U_{расч} \leq U_{кр}$ различия достоверны, причем, чем меньше значение расчетного критерия, тем вероятнее достоверность. Значение $U_{кр}$ для уровня статистической значимости 5 % при заданной численности опытов определяется по справочной таблице. Расчет критерия проводили в Microsoft Excel по формуле (1):

$$U = n_x * n_y + \frac{n(n+1)}{2} - T, \quad (1)$$

где n_x и n_y – объемы выборок; n – объем выборки, имеющий большую ранговую сумму; T – большая сумма рангов из двух выборок x и y .

Результаты и их обсуждение

Из описания исследуемых участков и рис. 2 видно, что осушение значительно повлияло на состав растительных сообществ. В то время как основу растительного покрова ненарушенных участков составляют сфагновые мхи, на осушенном участке они встречаются только в местах скопления влаги (зарастание осушительных канав), а большая часть растительного покрова представлена кустарничками, зелеными мхами и сосной. Торф осушенного участка имеет более плотную структуру, что усложняет процесс бурения и пробоотбора. Так, вода с верхних горизонтов торфа отжимается с трудом, а с нижних – практически не отжимается.

В табл. 1 представлены результаты определения степени разложения и вида торфа для трех участков. Отметим, что на каждой исследуемой площадке торфяная залежь имеет однородный ботанический состав – на всю глубину она сложена сфагновыми мхами с примесью пушицы, кустарничков и древесины сосны.

Степень разложения верхних горизонтов на всех площадках низкая (не превышает 10 %), при этом на участке 3, близко расположенном к осушительной сети, практически отсутствуют видимые признаки гумификации. Мощность верхнего слаборазложившегося торфяного горизонта на исследованных площадках заметно различается – в естественных условиях он составляет значительную часть тела залежи (на участке 3 вплоть до 2,25 м), а после осу-

шения не превышает 30 см. Увеличение степени разложения в верхнем горизонте и уменьшение его мощности, по-видимому, связаны с повышением аэрации и усилением окислительных процессов в торфяной толще.

Результаты определения химического состава образцов приведены в табл. 2. Все исследуемые образцы отличаются низкой зольностью, свойственной верховому торфу. Некоторый рост показателя наблюдается с увеличением глубины залегания, что вполне логично, учитывая протекание процессов минерализации органического вещества. Содержание водорастворимых веществ невелико, практически не варьирует в исследованных образцах и не меняется по глубине залегания.

Таблица 1
Результаты определения степени разложения и вида торфа естественных и осушенного участков

Table 1
The type of peat samples and the degree of its decomposition of undisturbed and drained areas

Показатель	Естественный участок 1		Естественный участок 3		Осушенный участок	
	Глубина залегания, см					
	0–100	0–225	225–275	0–30	30–140	
Степень разложения торфа по ГОСТ, %*	5–10 (Н1)	0–5 (Н0)	25–30 (Н4)	5–10 (Н1)	20–25 (Н3)	
Вид торфа	Сфагновый	Сфагновый	Сосново-пушицевый	Сфагновый	Сосново-пушицевый	

Примечание. В круглых скобках указаны соответствующие ГОСТу [ГОСТ 28245-89, 2006] значения степени разложения по шкале [Von Post Humification Scale].

Note. The values of decomposition degree according to Von Post are shown in round brackets.

Таблица 2
Групповой химический состав образцов торфа ненарушенных и осушенного участков

Table 2
The group chemical composition of peat sampled from undisturbed and drained areas

Групповой состав*	Естественный участок 1		Естественный участок 3		Осушенный участок 2	
	Глубина залегания, см					
	0–100 (4)	0–225 (4)	0–30 (8)	30–140 (10)		
Зольность, % от а.с.м.	1,1 ± 0,3	1,6 ± 1,0	1,2 ± 0,2	1,9 ± 0,5		
Водорастворимые вещества, % от а.с.м.	1,3 ± 0,4	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,4	1,4 ± 0,4		
Битумы, % от а.с.м.	4,4 ± 0,1	3,3 ± 0,6	4,0 ± 0,4	10,0 ± 1,1		
Биополимеры гумусовой природы, % от а.с.м, в том числе:	20,1 ± 2,1	19,1 ± 3,2	19,9 ± 3,4	36,7 ± 7,3		
– гуминовые кислоты, %	14,2 ± 0,5	15,9 ± 0,8	14,6 ± 2,2	33,0 ± 6,9		
– фульвовые кислоты, %	5,9 ± 2,5	5,3 ± 1,0	5,3 ± 1,8	3,7 ± 0,7		
Легкогидролизуемые вещества, % от а.с.м.	40,3 ± 4,4	44,7 ± 1,0	45,7 ± 3,1	21,1 ± 8,1		
Трудногидролизуемые вещества, % от а.с.м.	13,1 ± 0,6	15,2 ± 2,0	12,1 ± 0,7	4,3 ± 1,6		
Лигнин, % от а.с.м.	22,0 ± 3,2	15,8 ± 1,0	18,3 ± 1,3	27,8 ± 1,8		

Примечание. В таблице приведены средние значения для 4...10 параллельных опытов со стандартным отклонением (количество опытов указано в круглых скобках).

Note. The average values for 4...10 replicates and an average deviation are shown in round brackets.

Битуминозность торфа верхних горизонтов естественных и осушенного участков практически не отличается (3,3–4,4 %), а вот в нижнем горизонте осушенного участка значительно повышается и достигает 10 %. Тенденция увеличения битуминозности торфа с глубиной залегания согласуется с наличием связи между количеством битумов и степенью разложения торфа, установленной ранее на примере районов с умеренно континентальным климатом [Белькевич, Голованов, Долидович, 1989]. Также различия в содержании битумов могут быть обусловлены как особенностями химического состава растительных сообществ, образующих слои торфа [Архипов, Маслов, 1998; Шинкеева, 2009; Латыш, 2017], так и спецификой биогеотрансформации органического вещества отдельных растений. Например, известно, что среди различных видов верхового торфа увеличение содержания битумной части происходит в ряду шейхцериево-сфагновый – пушицево-сфагновый – шейхцериевый – сосново-сфагновый – сосновый – пушицевый – сосново-пушицевый [Белькевич, Голованов, Долидович 1989].

Содержание биополимеров гумусовой природы, образующихся в результате биогеотрансформации компонентов растений-торфообразователей, незначительно отличается для верхних горизонтов трех точек (19,9–20,1 %) и увеличивается в нижнем горизонте осушенного участка (до 36,7 %), такая же тенденция прослеживается и для и гуминовых кислот (14,2–15,9 % для верхних горизонтов естественных участков и 33,0 % для нижнего горизонта осушенного участка). Скорее всего, эти различия обусловлены увеличением степени разложения глубоких слоев торфа осушенного участка.

Аналогично вышеописанным компонентам, доли легко- и трудногидролизующихся веществ и лигнина верхних горизонтов трех точек сопоставимы между собой, а в нижнем горизонте осушенного участка

наблюдаются отличия – в торфе более высокой степени разложения происходит снижение доли легко- и трудногидролизующихся веществ и повышение содержания лигнина. Это свидетельствует об усилении процессов трансформации биодоступных соединений с образованием термодинамически устойчивых структур – соединений полифенольной природы (гумусовых и лигноподобных веществ) [Козловская, Медведева, Пьявченко, 1978; Орлов, 1990].

Результаты статистической обработки показали, что, действительно, торф близкой степени разложения как естественных, так и осушенных участков не имеет достоверных отличий в групповом составе. Так, при сравнении значений критерия Манна–Уитни $U_{расч}$ для группового состава торфа естественных и осушенного участков с табличными значениями критерия было выявлено, что в большинстве случаев $U_{расч}$ превышает $U_{кр}$ (различия носят случайный характер). При этом расположение естественных участков относительно осушительной сети также не влияет на групповой состав торфа. Полученные результаты подтверждают мнение многих исследователей об устойчивости олиготрофных болот к осушению [Войтехов, 2012].

Заключение

Исследования естественных и осушенных участков Иласской болотной системы показали, что проведенная около 50 лет назад мелиорация значительно не повлияла на состав органической части торфа. Так, статистически значимых различий между групповым составом слоев торфа одинаковой степени разложения как на естественных, так и на осушенном участке не обнаружено, при этом влияние удаленности участка от осушительной сети также достоверно не подтверждено.

Список источников

- Архипов В.С., Маслов С.Г. Состав и свойства типичных торфов центральной части Западной Сибири // Химия растительного сырья. 1998. № 4. С. 9–16.
- Белькевич П.И., Голованов Н.Г., Долидович Е.Ф. Битумы торфа и бурого угля. Минск : Наука и техника, 1989. 127 с.
- Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований : учеб. пособие. СПб. : Из-во Политехнического университета, 2016. 125 с.
- Войтехов М.Я. Восстановление осушенных лесо-болотных угодий (на примере Дубненского лесо-болотного массива). Проблемы. Практика. Теория. М. : АПКИППРО, 2012. 200 с.
- Вомперский С.Э., Вомперская М.И., Глухова Т.В., Валяева Н.А. Трансформация торфянистого горизонта почв заболоченных лесов в южной тайге под влиянием поверхностного осушения // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1229–1237.
- ГОСТ 11305–2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги. М. : Стандартинформ, 2014. 10 с.
- ГОСТ 11306–2013. Торф и продукты его переработки Методы определения зольности. М. : Стандартинформ, 2013. 11 с.
- ГОСТ 17644–83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. М. : Изд-во стандартов, 1983. 9 с.
- ГОСТ 28245–89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М. : Стандартинформ, 2006. 7 с.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / А. Иванов, С. Шоба, В. Столбовой и др. М., 2014. 768 с.
- Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л. : Наука, 1978. 172 с.

- Косов В.И.** Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология. М., 2007. 452 с.
- Латыш И.М.** Групповой химический состав органического вещества верхового торфа среднетаежной зоны Западной Сибири на примере болотного массива «Мухрино» // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2017. Т. 8, № 2. С. 57–63.
- Лиштван И.И., Король Н.Т.** Основные свойства торфа и методы их определения. Минск : Наука и техника, 1975. 318 с.
- Методика** измерений группового химического состава торфа гравиметрическим методом № 88-16365-009-2017. Свид-во об аттестации выдано 06.12.2017. Номер госрегистрации «ФР.1.31.2018.29621» / С.Б. Селянина, Т.И. Пономарева, А.С. Орлов [и др.]. Архангельск, 2017. 20 с.
- Моторин А.С.** Влияние уровня грунтовых вод на состав органического вещества торфяных почв Северного Зауралья // Сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК». Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2018. С. 38–43.
- Носкова М.Г.** Полевой атлас-определитель сфагновых мхов. Тула : Аквариус, 2016. 112 с.
- Орлов Д.С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М. : Изд-во МГУ, 1990. 332 с.
- Семененко Н.Н., Каранкевич Е.В.** Трансформация химического состава торфяных почв под влиянием осушения и длительного сельскохозяйственного использования // Вестник Национальной Академии наук Беларуси. 2011. № 1. С. 45–50.
- Серебrenникова О.В., Стрельникова Е.Б., Преис Ю.И., Аверина Н.Г., Козел Н.В., Бамбалов Н.Н., Ракович В.А.** Состав экстрактивных веществ торфов осушенных и ненарушенных верховых болот Беларуси и Западной Сибири // Известия ТПУ. Химия и химические технологии. 2014. Т. 325, № 3. С. 31–45.
- Тюремнов С.Н.** Торфяные месторождения. М. : Недра, 1976. 488 с.
- Шинкеева Н.А., Маслов С.Г., Архипов В.С.** Характеристика группового состава органического вещества отдельных репрезентативных торфов таежной зоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2009. Вып. 3. С. 116–119.
- Harris L.I., Moore T.R., Roulet N.T., Pinsonneault A.J.** Limited effect of drainage on peat properties, porewater chemistry, and peat decomposition proxies in a boreal peatland // Biogeochemistry. 2020. V. 151. P. 43–62. <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00707-1>
- Rocheffort L., Lode E.** Restoration of Degraded Boreal Peatlands. Boreal Peatland Ecosystems. Ecological Studies (Analysis and Synthesis). 2006. V. 188. P. 381–423. doi: 10.1007/978-3-540-31913-9_17
- Walter K.M., Zimov S.A., Chanton J.P., Verbyla D., Chapin F.S.** Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming // Nature. 2006. V. 443. P. 71–75.
- Xu Z., Wang S., Wang Z., Dong Y., Zhang Y., Liu S., Li J.** Effect of drainage on microbial enzyme activities and communities dependent on depth in peatland soil // Biogeochemistry. 2021. doi: 10.1007/s10533-021-00828-1
- Von Post** Humification Scale. URL: <https://www.blacklandcentre.org/the-science/von-post-humification-scale/> (дата обращения: 15.09.2021).

References

- Arhipov V.S., Maslov S.G. *Sostav i svoystva tipichnyh torfov central'noj chasti Zapadnoj Sibiri* [Composition and properties of typical peat in central Western Siberia] // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 1998. No. 4. pp. 9–16. In Russian
- Bel'kevich P.I., Golovanov N.G., Dolidovich E.F. *Bitумы torfa i burogo uglya* [Peat and brown coal bitumens]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1989. 127 p. In Russian
- Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Statisticheskaya obrabotka materialov lesovodstvennyh issledovanij: Uchebnoe posobie* [Statistical processing of silvicultural research materials: Textbook]. St. Petersburg: Iz-vo Politekhnikeskogo universiteta, 2016. 125 p. In Russian
- Vojtekhov M.YA. *Vosstanovlenie osushennyh lesno-bolotnyh ugodij (na primere Dubnenskogo lesno-bolotnogo massiva) Problemy. Praktika. Teoriya* [Drained marshland restoration (case of Dubna wetland). Problems. Practice. Theory]. Moscow: APKiPPRO, 2012. 200 p. In Russian
- Vomperskii S.E., Vomperskaya M.I., Glukhova T.V., Valyaeva N.A. Transformation of peat horizon in swampy southern taiga forests under the impact of surface drainage // Eurasian Soil Science. 2017. V. 50. No. 10. pp. 1186–1194.
- GOST 11305–2013. Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya vlagi* [Peat and products of its processing. Moisture determination methods]. Moscow: Standartinform, 2014. 10 p. In Russian
- GOST 11306–2013. Torf i produkty ego pererabotki Metody opredeleniya zol'nosti* [Peat and products of its processing. Ash content determination methods]. Moscow: Standartinform, 2013. 11 p. In Russian
- GOST 17644 – 83. Torf. Metody otbora prob iz zalezhi i obrabotki ih dlya laboratornyh ispytaniy* [Peat. Methods of sampling from deposits and processing them for laboratory tests]. Moscow: Izd-vo standartov, 1983. 9 p. In Russian
- GOST 28245–89. Torf. Metody opredeleniya botanicheskogo sostava i stepeni razlozheniya* [Peat. The botanical composition and degree of decomposition determination methods]. Moscow: Standartinform, 2006. 7 p. In Russian
- Edimyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii. Versiya 1.0* [Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0] / A. Ivanov, S. SHoba, V. Stolbovoj i dr. Pochvennyj in-t im. V.V. Dokuchaeva Rossel'hozakademii. Moscow, 2014. 768 p. In Russian
- Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., P'yavchenko N.I. *Dinamika organicheskogo veshchestva v processe torfoobrazovaniya* [Dynamics of organic matter in the process of peat formation]. Leningrad: Nauka, 1978. 172 p. In Russian
- Kosov V.I. *Torf. Resursy, tekhnologii, geoekologiya* [Peat. Resources, technologies, geoecology]. Moscow, 2007. 452 p. In Russian
- Latysh I.M. *Grupповой himicheskij sostav organicheskogo veshchestva verhovogo torfa srednetaezhnoj zony Zapadnoj Sibiri na primere bolotnogo massiva «Muhрино»* [Group chemical composition of organic matter of high-moor peat in the middle taiga zone of Western Siberia (Mukhrino bog)] // Dinamika okruzhayushchej sredy i global'nye izmeneniya klimata. 2017. V. 8. No. 2. pp. 57–63. In Russian
- Lishtvan I. I., Korol' N.T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ih opredeleniya* [The main properties of peat and methods for their determination]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1975. 318 p. In Russian

Metodika izmerenij gruppovogo himicheskogo sostava torfa gravimetricheskimi metodami [Gravimetric method for the peat group chemical composition determination] № 88-16365-009-2017. Svid-vo ob attestacii vydano 06.12.2017. Nomer gosregistracii "FR.1.31.2018.29621" / S. B. Selyanina, T. I. Ponomareva, A. S. Orlov [i dr.]. Arhangel'sk, 2017. 20 p. In Russian

Motorin A.S. *Vliyanie urovnya gruntovykh vod na sostav organicheskogo veshchestva torfyanykh pochv Severnogo Zaural'ya* [Influence of the groundwater table on the organic composition of the peat soils of the North Ural] // *Sbornik statej II Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye nauchno-prakticheskie resheniya v APK»*. Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ya. 2018. pp. 38–43. In Russian

Noskova M.G. *Polevoj atlas-opredelitel' sfagnovykh mhov* [Field Atlas Detector of Sphagna Mosses]. Tula: Akvarius, 2016. 112 p. In Russian

Orlov D.S. *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikacii* [Humic acids of soils and the general theory of humification]. Moscow: Izd-vo MGU, 1990. 332 p. In Russian

Semenenko N.N., Karankevich E.V. *Transformaciya himicheskogo sostava torfyanykh pochv pod vliyaniem osusheniya i dlitel'nogo sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya* [Transformation of the chemical composition of peat soils under the influence of drainage and long-term agricultural use] // *Vesti Nacional'noj Akademii nauk Belarusi*. 2011. No. 1. pp. 45–50. In Russian

Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Prejs YU.I., Averina N.G., Kozel N.V., Bambalov N.N., Rakovich V.A. *Sostav ekstraktivnykh veshchestv torfov osushennykh i nenarushennykh verhovnykh bolot Belarusi i Zapadnoj Sibiri* [Composition of peat extractives of drained and undisturbed bogs of Belarus and Western Siberia] // *Izvestiya TPU. Himiya i himicheskie tekhnologii*. 2014. V. 325. No. 3. pp. 31–45. In Russian

Tyuremnov S.N. *Torfyanye mestorozhdeniya* [Peat bogs]. Moscow: Nedra, 1976. 488 p. In Russian

SHinkeeva N.A., Maslov S.G. Arhipov V.S. *Harakteristika gruppovogo sostava organicheskogo veshchestva ot del'nykh reprezentativnykh torfov taezhnoj zony Zapadnoj Sibiri* [Group composition of organic matter of peat from Western Siberia taiga zone] // *Vestnik TGPU*. 2009. V. 3. pp. 116–119. In Russian

Harris L.I., Moore T.R., Roulet N.T., Pinsonneault A. J. Limited effect of drainage on peat properties, porewater chemistry, and peat decomposition proxies in a boreal peatland // *Biogeochemistry*. 2020. V. 151. pp. 43–62. <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00707-1>

Rocheffort L., Lode E. Restoration of Degraded Boreal Peatlands. *Boreal Peatland Ecosystems. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. 2006. V. 188. pp. 381–423. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31913-9_17

Walter K.M., Zimov S.A., Chanton J.P., Verbyla D., Chapin F.S. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming // *Nature*. 2006. V. 443. pp. 71–75.

Xu Z., Wang S., Wang Z., Dong Y., Zhang Y., Liu S., Li J. Effect of drainage on microbial enzyme activities and communities dependent on depth in peatland soil // *Biogeochemistry*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00828-1>

Von Post Humification Scale. URL: <https://www.blacklandcentre.org/the-science/von-post-humification-scale/> (Date of accessed 15.09.2021)

Информация об авторах:

Чибисова В.Г., младший научный сотрудник, лаборатория болотных экосистем, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия.

E-mail: leratatarintseva@gmail.com

Селянина С.Б., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией болотных экосистем, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия.

E-mail: gumin@fciarctic.ru

Ярыгина О.Н., младший научный сотрудник, лаборатория болотных экосистем, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия.

E-mail: olga.yarigina@fciarctic.ru

Пonomарева Т.И., научный сотрудник, лаборатория болотных экосистем, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия.

E-mail: ponomtamera@gmail.com

Штанг А.К., младший научный сотрудник, лаборатория болотных экосистем, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия.

E-mail: a_shtang@inbox.ru

Котова Е.И., кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, директор Северо-Западного отделения Института океанологии РАН, Москва, Россия.

E-mail: esopp@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Chibisova V.G., Junior Researcher, Laboratory of wetland ecosystem, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of UB RAS, Arkhangelsk, Russia.

E-mail: leratatarintseva@gmail.com

Selyanina S.B., Cand. Sci. (Techn.), Leading Researcher, Head of laboratory of wetland ecosystem, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of UB RAS, Arkhangelsk, Russia.

E-mail: gumin@fciarctic.ru

Yarigina O.N., Junior Researcher, Laboratory of wetland ecosystem, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of UB RAS, Arkhangelsk, Russia.

E-mail: olga.yarigina@fciarctic.ru

Ponomareva T.I., Scientific Researcher, Laboratory of wetland ecosystem, of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of UB RAS, Arkhangelsk, Russia.

E-mail: ponomtamara@gmail.com

Shtang A.K., Junior Researcher, Laboratory of wetland ecosystem, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of UB RAS, Arkhangelsk, Russia.

E-mail: a_shtang@inbox.ru

Kotova E.I., Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, director of the North-Western Branch of the Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia.

E-mail: ecopp@yandex.ru

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.09.2021; одобрена после рецензирования 14.12.2021; принята к публикации 12.09.2022

The article was submitted 21.09.2021; approved after reviewing 14.12.2021; accepted for publication 12.09.2022