

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.312.2+571.16

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ БОЛОТ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Анна Алексеевна Синюткина¹, Юлия Александровна Харанжевская², Людмила Павловна Гашкова³,
Екатерина Сергеевна Иванова⁴, Марина Евгеньевна Кириллова⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского
федерального научного центра агробиотехнологий РАН, г. Томск, Россия

¹ ankalaeva@yandex.ru, ResearcherID: E-8020-2014, Scopus Author ID: 56946911900, РИНЦ Author ID: 633163

² kharan@yandex.ru, ResearcherID: J-6772-2013, Scopus Author ID: 36995712000, РИНЦ Author ID: 162733

³ gashkova-lp@rambler.ru, ResearcherID: M-7651-2014, Scopus Author ID: 57194219406, РИНЦ Author ID: 747354

⁴ ivanova_e_s@bk.ru, РИНЦ Author ID: 750227

⁵ kirillovame1965@mail.ru, РИНЦ Author ID: 1020103

Аннотация. Проведена комплексная оценка состояния осушенных и частично выработанных в 1970–1980 гг. болот Томской области на примере трех ключевых участков (Таган, Каргалинское, Поротниковское). Выполнены оценки состояния и динамики растительного покрова, трансформации водно-физических свойств торфяной залежи, химического состава торфа и болотных вод. Использованы данные полевых и лабораторных исследований, проведенных в 2023 г., разновременных космических снимков и архивных карт. В результате исследования выявлено, что на всех исследуемых болотах отмечена высокая степень трансформации растительного покрова, происходящая как на участках болот, непосредственно подверженных осушению и добыче торфа, так и на прилегающих частях болот за пределами осушительной сети, выраженная в увеличении облесенности болот, замещении болотных видов на лесные и луговые. Выработанные участки представляют собой брошенные земли, покрытые открытой водной поверхностью (карьеры экскаваторной добычи торфа) или занятые зарослями деревьев и кустарников на остаточном слое торфа с низкой влажностью, и поэтому характеризуются высокой пожарной опасностью. Исключение составляет болото Таган, где на одном из выработанных участков в настоящее время происходит интенсивная дачная застройка. Трансформация верхних слоев торфяной залежи проявляется в увеличении зольности, плотности, степени разложения и снижения влажности. Современная аккумуляция торфа отмечена только на естественной точке Поротниковского болота. В результате снижения уровня болотных вод отмечается рост концентраций $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ в торфе, повышение содержания $Fe_{обш}$, NH_4^+ и снижение NO_3^- , $С_{орг}$ в болотных водах, что является результатом минерализации верхних слоев торфяной залежи.

Ключевые слова: добыча торфа, осушение болот, торфяное месторождение, водно-физические свойства торфа, химический состав торфа, болотные воды

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания Сибирского научно-исследовательского института агрокультуры и торфа (№ FNUU-2024-0002), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Для цитирования: Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е. Современное состояние антропогенно нарушенных болот юга Томской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 6–19. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi 10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

THE CURRENT STATE OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED MIRES IN THE SOUTH OF THE TOMSK REGION

Anna A. Sinyutkina¹, Yulia A. Kharanzhevskaya², Lyudmila P. Gashkova³, Ekaterina S. Ivanova⁴,
Marina E. Kirillova⁵



© 2025 Эта работа Синюткиной А.А., Харанжевской Ю.А., Гашковой Л.П., Ивановой Е.С., Кирилловой М.Е. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1, 2, 3, 4, 5 Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia

¹ ankalaeva@yandex.ru, ResearcherID: E-8020-2014, Scopus Author ID: 56946911900, RSCI Author ID: 633163

² kharan@yandex.ru, ResearcherID: J-6772-2013, Scopus Author ID: 36995712000, RSCI Author ID: 162733

³ gashkova-lp@rambler.ru, ResearcherID: M-7651-2014, Scopus Author ID: 57194219406, RSCI Author ID: 747354

⁴ ivanova_e_s@bk.ru, RSCI Author ID: 750227

⁵ kirillovame1965@mail.ru, RSCI Author ID: 1020103

Abstract. The condition of drained and partially worked-out in 1970-1980 mires of the Tomsk region was comprehensively assessed using the example of three key sites (Tagan, Kargalinskoye, Porotnikovskoye). We evaluated the state and dynamics of vegetation cover, transformation of the hydrophysical properties of peat deposits, and the chemical composition of peat and mire waters. Data from field and laboratory studies conducted in 2023, multi-time satellite images, and archival maps were used. The research has revealed a high degree of vegetation transformation in all of the studied sites, occurring in mire areas directly exposed to drainage and peat extraction as well as in adjacent parts of mires outside the drainage network, and expressed in increasing afforestation of mires, replacement of mire species with forest and meadow ones. The worked-out areas are abandoned lands covered with an open water surface (peat excavation pits) or occupied by thickets of trees and shrubs on a residual layer of peat with low water content, which are therefore characterized by a high fire hazard. An exception is the Tagan mire, where intensive suburban development is currently taking place on one of the worked-out sites. The transformation of the upper layers of the peat deposit is manifested in an increase in ash content, density, and degree of decomposition, and a decrease in water content. The modern accumulation of peat is noted only at the pristine plot of the Porotnikovsky mire. As a result of the decrease in the level of mire waters, there is noted an increase in N-NH_4^+ and N-NO_3^- concentrations in peat, an increase in Fe_{total} and NH_4^+ content, and a decrease in NO_3^- and C_{org} in mire waters, which is the result of mineralization of the upper layers of the peat deposit.

Keywords: peat extraction, drainage of mires, peatland, hydrophysical peat properties, chemistry of peat, mire waters

Funding. The research was carried out as part of state assignment of the Siberian Research Institute of Agriculture and Peat No. FNUU-2021-0004, funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Sinyutkina, A.A., Kharanzhevskaya, Yu.A., Gashkova, L.P., Ivanova, E.S., Kirillova, M.E. (2025). The current state of anthropogenically disturbed mires in the south of the Tomsk region. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 6–19. doi:10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

Введение

В естественном состоянии болота являются ценными ресурсами, выполняющими множество экосистемных функций, включая регулирование климата посредством связывания и накопления углерода и формирование местообитаний для флоры и фауны [30]. Использование болот для целей лесного и сельского хозяйства, добычи торфа требует их предварительного осушения, что является основной причиной деградации этих экосистем [34, 36]. Снижение уровня болотных вод и уничтожение естественного растительного покрова приводит к коренному изменению структуры и физических свойств торфяной залежи, ускоренной деградации торфа вследствие быстрого биохимического разложения органического вещества [25, 28]. Кроме того, неэффективное использование осушенных и выработанных болот способствует их зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, что усиливает степень их пожароопасности [19, 25]. Существует несколько путей эксплуатации ранее осушенных болот: восстановление путем вторичного заболачивания [21], использование для добычи торфа с последующей рекультивацией, создание лугопастбищных агроценозов при небольшой реконструкции мелиоративных систем [1], создание плантаций ягодных растений (брусники, клюквы, голубики и др.) [17, 21]. При выборе направления дальнейшей деятельности на ранее осушенных территориях необходимо прогнозировать экологическую обстановку с учетом рационального землепользования [21]. Обязательным условием продуктивного и рационального использования нарушенных болот является их всесторонняя оценка и инвентаризация с учетом произошедших за прошлые годы изменений площадей, запасов, состояний [23].

На территории Российской Федерации оценки состояния и динамики антропогенно нарушенных болот, в том числе с использованием методов геоинформационного картографирования, проведены на территориях некоторых областей европейской части [3, 14, 16, 18–20, 22, 24], в то время как информация о современном состоянии осушенных и частично выработанных болот на территории Западной Сибири, в частности в Томской области, практически отсутствует. Некоторые более ранние данные по выработанным болотам Томской области представлены в монографии [15].

Использование болот Томской области для добычи торфа началось в 1960-х гг. и продолжалось до начала 1990-х гг. Механизированная добыча торфа проводилась на 64 болотах, в основном относящихся к низинному типу и расположенных в поймах и на террасах рек. За весь период площадь болот, нарушенных в результате торфоразработок, оценивается в 62,4 км² [15]. Добыча торфа осуществлялась главным образом неспециализированными организациями для нужд сельского хозяйства, поэтому ее последствия были непредсказуемыми и отличались между болотами. Максимальные объемы добычи были достигнуты к 1988 г. и составляли 2,8 млн т/год. В то время добыча велась на 39 месторождениях. В 1990-е гг. нарушенные после осушения и торфоразработок

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

болота были брошены, мероприятия по рекультивации практически не проводились [2, 27]. На протяжении более чем 30 лет здесь проходили неконтролируемые процессы зарастания, трансформации физических и химических свойств остаточной торфяной залежи на выработанных участках и на прилегающих к ним территориях в результате косвенного влияния осушительной сети.

Оценки современного состояния ранее используемых для добычи торфа болот Томской области отсутствуют, что и стало целью данного исследования. Задачи исследования: 1) оценить состояние и динамику растительного покрова на основе материалов полевых исследований и геоинформационного картографирования с использованием разновременных спутниковых данных; 2) провести анализ водно-физических свойств торфа для определения тренда торфонакопления/деградации торфяной залежи; 3) изучить особенности химического состава торфов и болотных вод.

Объекты исследований

Объектами исследования являются три ключевые участка на осушенных и частично выработанных в 1970–1980 гг. болотах, расположенные в юго-восточной части Западной Сибири в пределах Томской области (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения объектов исследования:

1 – болото Таган; 2 – Каргалинское болото; 3 – Поротниковское болото

Fig. 1. The study area: 1 – Tagan mire; 2 – Kargalinskoe mire; 3 – Porotnikovskoe mire

Территория исследования относится к подзонам южной тайги (Поротниковское болото) и подтайги (Каргалинское болото и болото Таган). Климат континентальный, среднегодовая температура воздуха за период 1960–2022 гг. по данным метеостанции в с. Бакчар (южная тайга) составляет 0,02 °С, в Томске (подтайга) – 0,66 °С, количество осадков изменяется в пределах 534–598 мм [4]. Территория южной тайги отличается высокой заболоченностью, достигающей 54 %. Здесь преобладают верховые болота на междуречных равнинах и низинные и переходные в поймах и на террасах рек. Заболоченность подтайги составляет 16 %, здесь наиболее распространены низинные и переходные болота. Антропогенно нарушенные болота расположены преимущественно в южной части области [26].

Болото Таган расположено в Томском районе Томской области в окрестностях с. Тахтамышцево на первой надпойменной террасе р. Томи и в ложбине древнего стока на Обь-Томском междуречье. Общая площадь болота составляет 63,1 км², ключевой участок охватывает северную часть болота площадью 18,7 км². Осушение проведено сетью открытых каналов в 1960-х гг. на площади 1,3 км², расстояние между каналами – 50–100 м. Водоприемником является р. Черная.

Каргалинское болото расположено в Шегарском районе Томской области на второй надпойменной террасе р. Оби. Общая площадь болота составляет 0,87 км², из которой осушение проведено на площади 0,22 км², на большей части осушенного участка осуществлялась добыча торфа. Осушение проводилось сетью открытых каналов в конце 1970-х – начале 1980-х гг., расстояние между каналами – 35–50 м. Водоприемником является р. Мундрова.

Болото Поротниковское расположено в Бакчарском районе Томской области на первой надпойменной террасе р. Бакчар. Болото частично осушено. Общая площадь болота составляет 7 км², в том числе осушенная и выработанная часть – 1,2 км². Осушение было проведено сетью открытых каналов в 1980-х гг. Расстояние между каналами – 40 м, водоприемником является р. Бакчар.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

Материалы и методы

Полевые исследования на ключевых участках проведены в 2023 г. Точки полевых исследований выбраны при визуальном дешифрировании космических снимков высокого пространственного разрешения (менее 10 м/пикс), находящихся в открытом доступе на картографических онлайн-сервисах (Yandex-карты, SASPlanet и др.). Точки полевых исследований располагались в наиболее распространенных геосистемах для исследуемого болота и охватывали участки естественных болот, условно естественных болот, находящиеся за пределами осушительной сети, но подверженные косвенному влиянию осушения, а также осушенные и выработанные участки (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика точек полевых исследований
Characteristics of field research plots

Болото	Таган		Каргалинское			Поротниковское	
Фитоценоз	Березово-сосновый травяной	Травяной	Елово-березовый травяной	Березовый	Травяной	Березово-кедрово- сосновый кустар- ничковый разно- травно-сфагновый	Сосново-березовый крапивный
Антропогенная нагрузка*	2	3	2	3	3	1	3
УБВ, см	-150	**	-37	**	**	-24	**
Мощность торфа, см	300	40–50	300	0–50	0–50	190	100
Проективное покрытие/сомкнутость крон %							
<i>Pinus sylvestris</i> L.	65	–	–	–	–	25	10
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	2	–	1	–	–	5	–
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	3	–	10	10	–	–	–
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	15	–	50	60	–	5	20
<i>Padus avium</i> Mill.	2	–	–	–	–	–	–
<i>Rubus idaeus</i> L.	2	–	–	–	–	–	–
<i>Ribes nigrum</i> L.	–	–	15	–	–	–	–
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	–	–	–	–	–	30	–
<i>Salix</i> L.	–	5	–	–	–	–	–
<i>Urtica dioica</i> L.	80	20	–	–	50	–	95
<i>Pteridium pinetorum</i> C.N.Page & R.R.Mill	5	–	–	–	–	–	–
<i>Poaceae</i>	5	30	–	–	–	30	–
<i>Vicia</i> L.	–	20	–	–	–	–	–
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	–	20	–	–	–	–	–
<i>Rhododendron tomentosum</i> (Stokes) Harmaja	–	–	–	–	–	10	–
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	–	–	–	–	–	10	–
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	–	–	40	–	50	–	–
<i>Dryopteris</i> Adans.	–	–	30	–	–	–	–
<i>Carex</i> L.	–	–	30	–	–	5	–
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	–	–	5	–	–	–	–
<i>Comarum palustre</i> L.	–	–	–	–	–	20	–
<i>Bryidae</i>	–	–	5	–	–	10	–
<i>Sphagnum angustifolium</i> (Rus-sow) C.E.O.Jensen	–	–	–	–	–	30	–
<i>Sphagnum warnstorffii</i> Russow	–	–	–	–	–	15	–

*1 – естественное болото; 2 – условно естественное болото, косвенное влияние осушения; 3 – выработанный участок.

** ниже торфяной залежи

Полевые исследования включали: 1) геоботанические описания с указанием видов растений всех ярусов, проективного покрытия каждого вида и высоты растений; 2) определение общей мощности торфяной залежи и мощности слоев по видам и типам торфа на всех точках. В соответствии с выделенными слоями проведен отбор образцов торфа для лабораторного анализа водно-физических и химических свойств торфа на точках, расположенных вне участков добычи торфа – на естественной точке Поротниковского болота и условно естественных точках на болотах Каргалинское и Таган. Шаг отбора составил 10–25 см до глубины 50 см и 50 см в нижележащих слоях; 3) измерение

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

уровня болотных вод (УБВ); 4) отбор проб болотных вод с применением скважинного пробоотборника из прозрачного ПВХ высокой плотности Solinst 428. Сразу после отбора определялась температура воды и неустойчивые компоненты. Определение растворенного O_2 в болотных водах проводилось с использованием оксиметра HI 9146-04 фирмы HANNA Instruments (Германия). Величину pH измеряли с помощью полевого прибора pH-200 фирмы HM Digital (Южная Корея), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) – при использовании ORP-200 фирмы HM Digital (Южная Корея). Электропроводность (ЕС) болотных вод измеряли с применением кондуктометра HI8733 фирмы HANNA Instruments (Германия).

Химический анализ болотных вод выполнен с применением аттестованных методик в Лабораторно-аналитическом центре Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа – филиале Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН. Концентрацию HCO_3^- , Cl^- в воде устанавливали титриметрическим методом, $Fe_{общ}$, NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} – спектрофотометрическим методом (Specol-1300, Analytik Jena AG, Германия), концентрацию ионов K^+ , Na^+ – методом пламенной фотометрии (ПФА-378, Россия). Минерализацию вод оценивали по сумме ионов. Содержание $C_{орг}$ в болотных водах определяли в соответствии с СТП 0493925-008-93.

Оценка особенностей химического состава торфа включала вычисление содержания CaO , MgO [12], NO_3^- [8], NH_4^+ [7], Fe_2O_3 [11], K_2O [10], P_2O_5 [9], органического вещества (фотометрическим методом). Оценка трансформации химического состава торфяной залежи на ключевых участках проведена относительно полученных ранее данных для естественного древесно-кустарничково-мохового низинного болота на террасе р. Бакчар.

Лабораторное определение водно-физических свойств торфа выполнено в соответствии с ГОСТ 11305-2013 [5] (определение влажности торфа), ГОСТ 11306-2013 [6] (определение зольности торфа), ГОСТ 28245-89 [13] (определение степени разложения и ботанического состава торфа); плотность – по соотношению массы образца к его объему; объем образца – при замораживании исходных образцов ненарушенной структуры [32].

Проведено геоинформационное картографирование состояния и динамики ключевых участков на основе данных современных и архивных данных дистанционного зондирования (Landsat 1976 и 2023 гг.), а также материалов полевых исследований.

Результаты исследования и обсуждение

Антропогенная трансформация и современное состояние растительного покрова ключевых участков

По данным архивных спутниковых данных Landsat (1976 г.), растительный покров на большей части **болота Таган** в пределах ключевого участка (16,4 км²) был представлен травяным сообществом с редкими деревьями, окраинные части были заняты древесными сообществами (2,1 км²). Болото имело два изолированных контура, разделенных заболоченным лесом. В настоящее время в результате высокой интенсивности антропогенной нагрузки произошли следующие изменения (рис. 2). По результатам визуального дешифрирования разновременных спутниковых данных было отмечено увеличение высоты и плотности древесного яруса на болоте за пределами осушительной сети (условно естественный участок болота). Увеличение облесенности болота более выражено вдоль его границ. Площадь древесных фитоценозов увеличилась с 2,1 до 3,6 км². Кроме того, произошла смена болотных видов на лесные в составе кустарникового и травяного ярусов, деградация мохового яруса.

В современном растительном покрове условно естественного участка в составе древесного яруса преобладает *Pinus sylvestris* высотой 15–20 м в хорошем состоянии. В подросте встречаются *P. sylvestris*, *P. sibirica*, *Picea obovata*, *Populus tremula*. В травяном ярусе доминирует *Urtica dioica*, моховой ярус отсутствует (табл. 1). Под влиянием осушения и освоения территории, сопровождающихся вырубками, произошла смена заболоченного леса на суходольные участки, частично занятые луговой, кустарниковой и древесной растительностью. Добыча торфа, строительство насыпных дорог, препятствующие стоку с болота, в центральной части ключевого участка привели к формированию участков с открытой водной поверхностью, зарослями кустарников, к гибели древесного яруса в зоне затопления. В северной части болота на площади 0,9 км² в 1960–1970 гг. проведено осушение и добыча торфа. В настоящее время на этой территории происходит строительство дачных домов в рамках организации садового некоммерческого товарищества. Здесь сохранилась осушительная сеть, вдоль которой проложены дороги. Полосы вдоль каналов заняты древесной растительностью из сосны и березы. Между каналами преобладают травяные сообщества, представленные луговыми видами с отдельными ивами (табл. 1).

На большей части **Каргалинского болота** (0,59 км²) до антропогенной нагрузки растительный покров был представлен травяным сообществом с редкими деревьями, окраинные части были заняты древесными сообществами (рис. 3). В настоящее время поверхность и растительный покров выработанной части характеризуются высокой неоднородностью и мелкоконтурностью растительных сообществ. Чередуются участки со взрослым древесным ярусом из *Betula pubescens* высотой 15–18 м, участки, занятые подростом *Picea obovata*, открытые участки с травяной растительностью (*Urtica dioica*, *Filipendula ulmaria*) и участки с открытой водной поверхностью. Уровень болотных вод составил –37 см. Отмечено обсыхание условно естественной части болота в сравнении с состоянием 1976 г., выраженное в зарастании древесной растительностью и замещением болотных видов на лесные в травяном и кустарниковом ярусах, что, вероятно, произошло за счет влияния осушительной сети в северной части болота и углубления ручья вдоль западной границы болота, по которому производится сток с осушительной сети. Доминантом древесного яруса с общей сомкнутостью крон 60 % является *B. pubescens* высотой около 18 м. В ярусе подроста отмечены *Pinus sylvestris*, *P. obovata*. Кустарниковый ярус с проективным

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

покрытием 15 % образован *Ribes nigrum*. Доминантом травяного яруса с общим проективным покрытием 80 % является *Filipendula ulmaria*, в понижениях микрорельефа встречаются осоки (табл. 1).

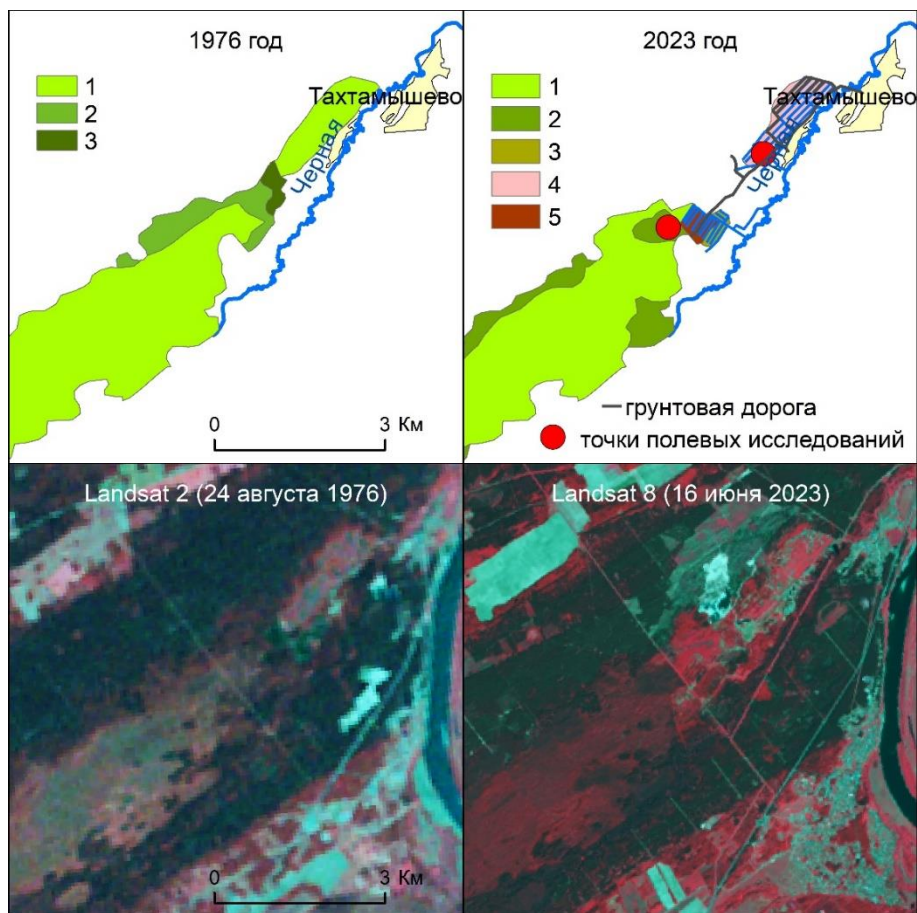


Рис. 2. Карты и космические снимки Landsat ключевого участка болота Таган:

1976 г.: 1 – травяное низинное болото с отдельными деревьями;

2 – древесное низинное болото; 3 – заболоченный лес;

2023 г.: 1 – древесно-травяное низинное болото; 2 – древесное низинное болото;

3 – осушенный участок с древесной и кустарниковой растительностью; 4 – земли строящегося садового некоммерческого товарищества на выработанном участке болота;

5 – выработанный участок болота с древесной,

кустарниково-травяной растительностью и открытыми водными поверхностями

Fig. 2. Maps and Landsat imagery of the Tagan mire key site:

1976: 1 – grass fen with single trees; 2 – swamp; 3 – swamp forest;

2023: 1 – wood-grass fen; 2 – swamp; 3 – drained site with trees and shrubs; 4 – gardens on the drained and peat-extracted site. 5 – peat-extracted site with trees, shrubs, grasses, and open water surfaces

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

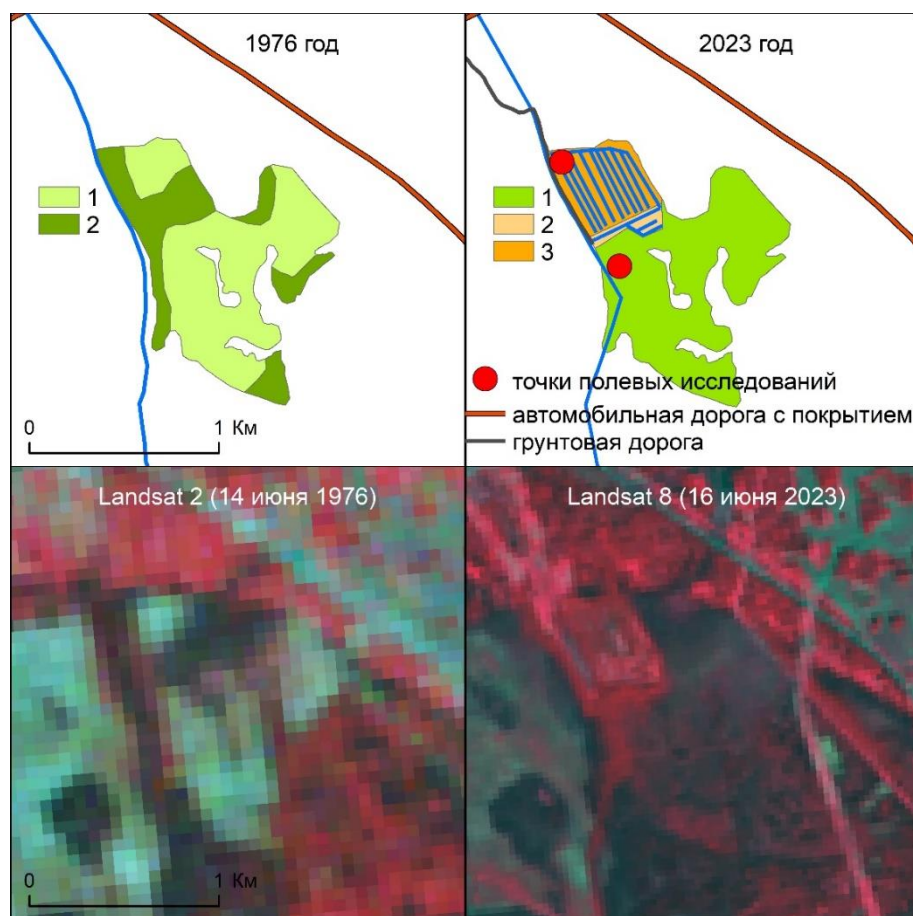


Рис. 3. Карты и космические снимки Landsat ключевого участка болота Каргалинского:
 1976 г.: 1 – травяное низинное болото с отдельными деревьями; 2 – древесное низинное болото;
 2023 г.: 1 – елово-березовое травяное низинное болото; 2 – осушенное елово-березовое травяное
 низинное болото; 3 – выработанный участок болота с древесной, травяной растительностью
 и открытыми водными поверхностями

Fig. 3. Maps and Landsat imagery of the Kargalinskoe mire key site:
 1976: 1 – grass fen with single trees; 2 – swamp;
 2023: 1 – fir-birch grass fen; 2 – fir-birch grass drained mire; 3 – peat-extracted site with trees, grasses,
 and open water surfaces

На **Поротниковском болоте** растительный покров центральной части до осушения был представлен древесно-моховым фитоценозом с деревьями высотой менее 5 м. В результате осушения и частичной добычи торфа произошло разрастание древесного яруса из *Betula pubescens* и *Pinus sylvestris* с увеличением высоты до 15 м в восточной части осушенного участка. Осушительная сеть здесь продолжает функционировать, что проявляется в низком уровне болотных вод (ниже торфяной залежи) и хорошем состоянии древесного яруса. В западной части было проведено сведение древесной растительности с последующей добычей торфа. В настоящее время этот участок представляет собой затопленное понижение с травяной и ивовой растительностью (рис. 4). Растительный покров естественной части представлен березово-кедрово-сосновым кустарничковым разнотравно-сфагновым фитоценозом по видовому составу с доминированием типичных болотных видов. Доминантом древесного яруса высотой 7–12 м и сомкнутостью крон 30–40 % является *P. sylvestris*. Проективное покрытие кустарничковым ярусом из *Chamaedaphne calyculata* и *Rhododendron tomentosum* составляет 40 %. В травяном ярусе распространены *Calamagrostis* sp., *Comarum palustre*. В моховом ярусе преобладают сфагновые мхи (табл. 1).

Таким образом, снижение уровня болотных вод на исследуемых болотах до –37 см и глубже способствовало деградации болотной растительности. Схожие результаты были получены при исследовании антропогенно нарушенных низинных болот Беларуси [28], где было отмечено, что снижение уровня болотных вод до 21–40 см с амплитудой колебаний 45–100 см является критическим для роста болотной растительности и способствует смене болотных видов на луговые.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

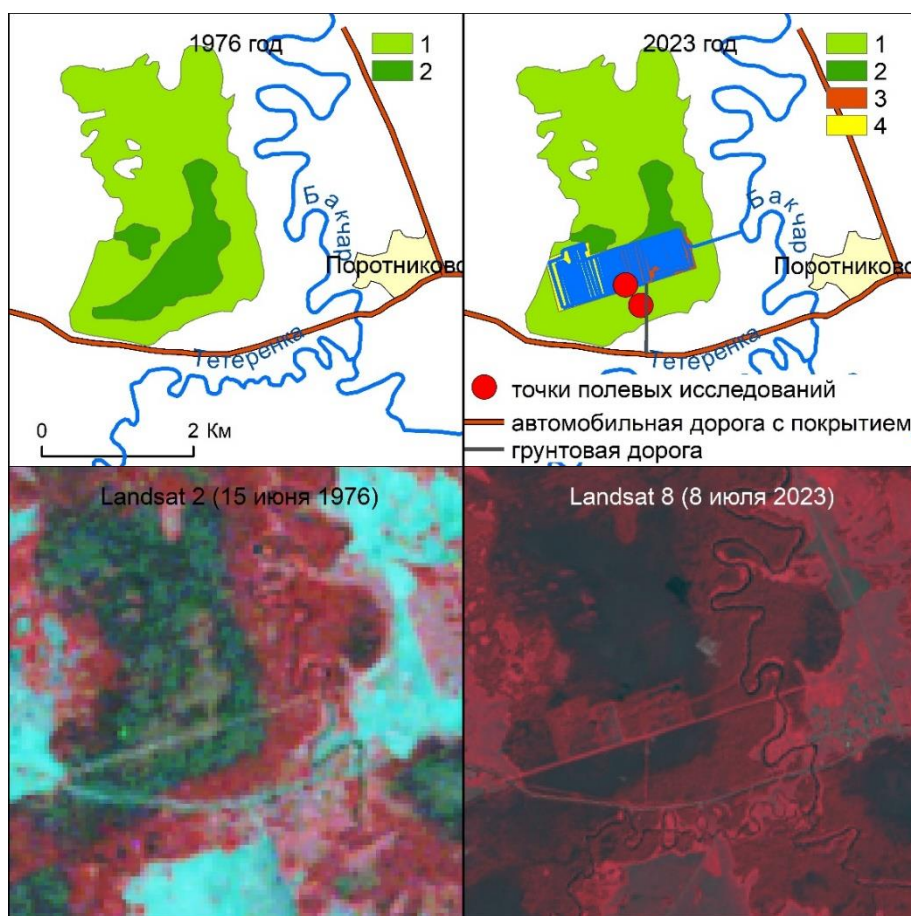


Рис. 4. Карты и космические снимки Landsat ключевого участка болота Поротниковское: 1976, 2023 гг.: 1 – березово-кедрово-сосновое кустарничковое разнотравно-сфагновое переходное болото; 2 – древесно-моховое переходное болото; 3 – выработанный участок болота с сосново-березовой крапивной растительностью; 4 – выработанный участок болота с ивово-травяной растительностью

Fig. 4. Maps and Landsat imagery of the Porotnikovskoe mire key site:
 1976, 2023: 1 – birch-pine, dwarf shrub, grass-sphagnum mesotrophic mire; 2 – wood-moss mesotrophic mire;
 3 – peat-extracted site with pine, birch, and nettle; 4 – peat-extracted site with willows and grasses

Водно-физические свойства торфа

Торфяная залежь на точках за пределами осушительной сети на всех ключевых участках имеет схожее строение и сложена древесным, древесно-травяным, травяно-гипновым и травяным видами торфа, за исключением верхнего горизонта на Поротниковском болоте, образованного древесно-сфагновым торфом (рис. 5). Средняя влажность по глубине изменяется в пределах 86,6–89,5 %. На болоте Таган для верхнего слоя до глубины 25 см характерно экстремальное снижение влажности до 63–69 %, что ниже на 20 % в сравнении со средними значениями, характерными для древесного и древесно-травяного низинного торфа [29]. Менее значимое снижение влажности (до 80,2 %) отмечено на Каргалинском болоте, а на Поротниковском болоте верхний слой, наоборот, характеризуется высокой влажностью (92,1 %). В нижележащих слоях на всех болотах происходит стабилизация значений на уровне 85–90 %, что соответствует или на 2–3 % ниже в сравнении с типичными значениями для травяного и травяно-гипнового низинных торфов (рис. 6) [29].

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

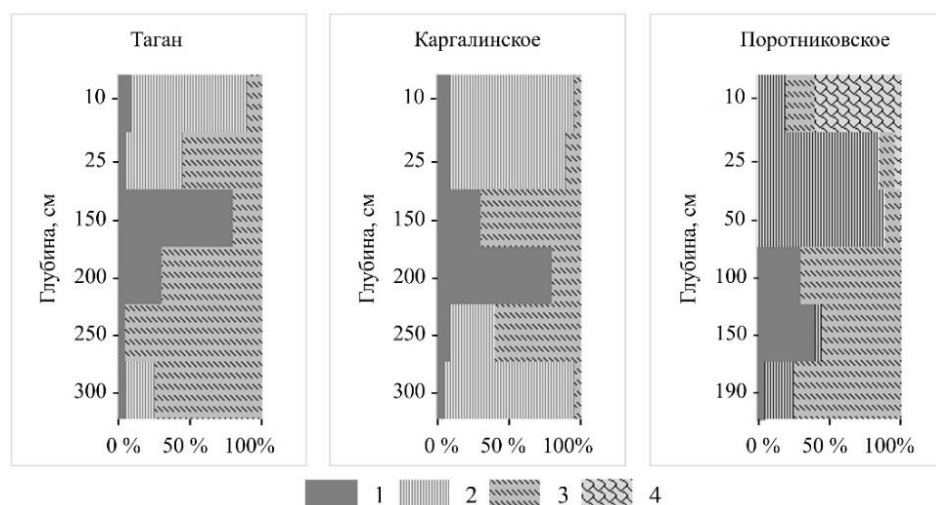


Рис. 5. Ботанический состав торфа:

1 – гипновые мхи; 2 – древесные остатки; 3 – травяные остатки; 4 – сфагновые мхи

Fig. 5. Botanical composition of peat:

1 – bryidae; 2 – wood; 3 – herb; 4 – sphagnum

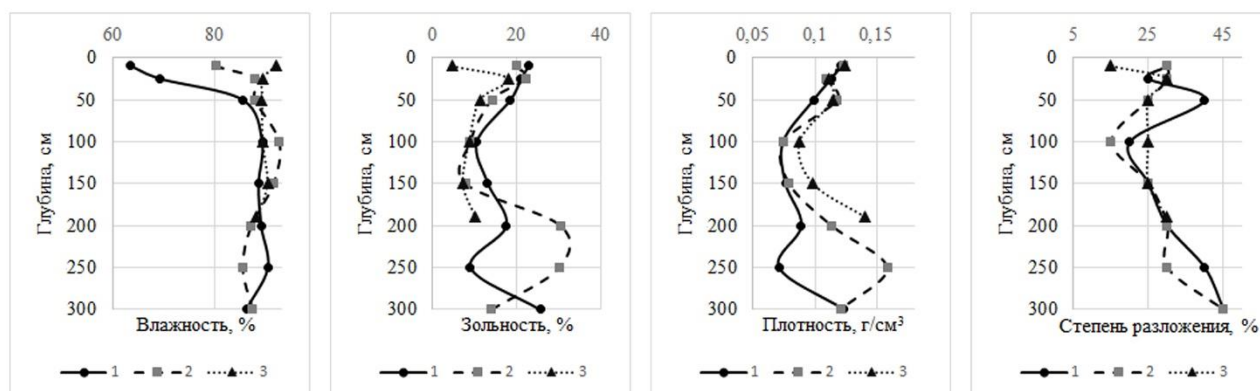


Рис. 6. Водно-физические свойства торфяной залежи:

1 – болото Таган; 2 – Каргалинское болото; 3 – Поротниковское болото

Fig. 6. Water and physical properties of peat deposits:

1 – Tagan mire; 2 – Kargalinskoe mire; 3 – Porotnikovskoe mire

Болота Таган и Каргалинское характеризуются высокой зольностью, средние значения по глубине составляют 15,9 и 18,1 % соответственно. На Поротниковском болоте среднее значение – 9,3 %. Наблюдаются колебания значений по глубине, определяющиеся ботаническим составом торфа, тем не менее на болоте Таган зольность во всех слоях оказалась выше значений, характерных для представленных видов торфа, на 2–5 % (рис. 6) [29]. При исследовании нарушенных болот Беларуси также было отмечено увеличение зольности с 3–17 до 6–35 % и снижение влажности в верхнем слое (0–25 см) с 73–92 до 56–89 %, что объясняется процессами минерализации органического вещества [28]. На болотах Таган и Каргалинское максимальные значения плотности характерны для верхних горизонтов торфяной залежи, где она составляет 0,11–0,12 г/см³, в нижележащих слоях плотность снижается до 0,07–0,08 г/см³ (рис. 6). В верхнем слое также происходит увеличение степени разложения в сравнении с нижележащими слоями в среднем на 5 %. На Поротниковском болоте плотность изменяется в пределах 0,09–0,14 г/см³ и определяется ботаническим составом торфа. Таким образом, увеличение плотности и степени разложения в верхних слоях залежи осушенных болот может быть связано как с особенностями ботанического состава торфа (большая доля древесных остатков), так и с просадкой торфяной залежи вследствие низкого уровня болотных вод. Вероятно, увеличение доли древесных остатков в верхних слоях торфяной залежи на сухих болотах объясняется быстрым разложением травяных остатков в условиях критически низкой влажности торфа, что также было отмечено на верховом болоте в Финляндии [31].

Особенности химического состава торфа и болотных вод

Химический состав торфяной залежи объясняется естественными процессами торфонакопления и антропогенными факторами. Содержание CaO, MgO, Fe₂O₃ в торфе связано с выклиниванием высокоминерализованных подземных вод и подтоплением паводковыми водами на ранних стадиях развития болот. Максимальным

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

содержанием СаО и MgO характеризуется Каргалинское болото, максимальное содержание Fe_2O_3 отмечено на болоте Таган (табл. 2). В целом содержание элементов оказалось сопоставимо или ниже значений на естественном низинном болоте, где содержание СаО в торфе составило 103167–107959 мг/кг, MgO – 15354–16543 мг/кг, Fe_2O_3 – 17506–43937 мг/кг. Концентрации СаО, MgO, Fe_2O_3 в торфе существенно превышают содержание этих компонентов в подстилающих породах, что свидетельствует о том, что болота являются геохимическими барьерами и элементы аккумулируются в торфяной залежи. Содержание P_2O_5 различается между болотами в 30 раз и определяется составом поступающих грунтовых вод. Максимальное содержание, достигающее 70489 мг/кг, отмечено на болоте Таган на глубине 150–200 см. На болотах Каргалинское и Поротниковское содержание P_2O_5 ниже и близко к естественному болоту (2345 мг/кг).

В условиях снижения уровней болотных вод в торфе отмечается рост концентраций N-NH₄, N-NO₃, что отражает процессы деградации торфяной залежи. На всех болотах отмечены высокие значения N-NH₄ и N-NO₃. Содержание N-NH₄ в среднем в 1,7–2,3 раза, N-NO₃ в 2,4–4 раза выше в сравнении с естественным болотом на террасе р. Бакчар. Среднее по глубине содержание углерода $\text{C}_{\text{орг}}$ соответствует значению на естественном болоте (41,8 %). В верхних слоях торфяной залежи (0–25) на болотах Таган и Каргалинское происходит снижение значений до 32,5–36,0 %, что отражает процесс деградации торфяной залежи в этом слое. На Поротниковском болоте снижение содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ в верхнем слое не происходит. Содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ составляет 46,7 %, что даже выше в сравнении с верхним слоем на естественном болоте (43,1 %) (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание химических веществ в торфе ключевых участков, мг/кг

Mean content of chemicals in peat of key sites, mg/kg

Точка отбора проб	СаО	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	C _{орг} , %
Таган	38560	11935	74	26241	31282	3936	98	42
Каргалинское	123415	14460	97	2307	24113	2245	67	42
Поротниковское	34846	9372	247	864	15718	2555	64	45

Анализ данных по химическому составу болотных вод показал, что проба на естественной точке Поротниковского болота характеризуется содержанием химических веществ, весьма близким к естественным низинным болотам района исследований [33]. В качестве отличий следует отметить только повышение концентраций SO_4^{2-} до 11,3 мг/л, Na⁺ до 8,30 мг/л. Проба, отобранная на участке торфодобычи на Поротниковском болоте, в сравнении с естественным характеризуется повышенным содержанием (в 1,3–3,5 раза) в водах K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Fe_{общ}, NH₄⁺, CO₂ и общего содержания ионов. Наоборот, в водах естественного участка отмечаются более высокие концентрации $\text{C}_{\text{орг}}$ (96,2 мг/л) и, как следствие, снижение величины pH вод, а также повышенное содержание SO_4^{2-} , NO₃⁻, Na⁺, Cl⁻, что может быть связано с поступлением элементов путем дальнего аэрозольного переноса в результате природных пожаров, которые были отмечены в начале летнего периода 2023 г. В пробе с условно естественной точки Каргалинского болота присутствуют более высокие содержания K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO_4^{2-} , а содержание HCO₃⁻ и общая минерализация вод в пробах Каргалинского и с участка торфодобычи на Поротниковском болоте сопоставимы. В водах формируется переходная окислительно-восстановительная обстановка от 12 до –100 мВ.

Болотные воды исследуемых ключевых участков болот имеют типичный химический состав, характерный для низинных болот речных долин региона, который формируется под влиянием выклинивания высоко-минерализованных подземных вод, что определяет повышение в водах pH, концентраций Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Fe_{общ}, HCO₃⁻ и общей минерализации вод. Под влиянием торфодобычи и, как следствие, снижения уровней болотных вод в пробе с Поротниковского болота отмечено в сравнении с естественным участком повышение содержания в водах Fe_{общ}, NH₄⁺ и, наоборот, наблюдается снижение NO₃⁻, $\text{C}_{\text{орг}}$, что является результатом минерализации верхних слоев торфяной залежи.

Заключение

В результате исследования отмечено, что смена растительного покрова и свойств торфяной залежи происходит не только на участках болот, непосредственно подверженных антропогенной нагрузке, но и на прилегающих территориях за пределами осушительной сети, что было присуще болотам Таган и Каргалинское. Здесь происходит увеличение облесенности болот, замещение болотных видов на лесные и луговые в кустарниковом и травяном ярусах. В верхних горизонтах торфяной залежи до глубины 25 см отмечено снижение влажности, увеличение зольности, плотности торфа и степени разложения торфа. Анализ водно-физических свойств торфа показал, что на болотах Таган и Каргалинское происходит деградация торфяной залежи даже на участках за пределами осушительной сети и добычи торфа. На естественной точке Поротниковского болота наличие сфагновых мхов как в составе современного фитоценоза, так и в ботаническом составе верхнего слоя торфяной залежи сви-

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.*

детельствует о процессах современной аккумуляции торфа. На всех болотах в пределах осушенной части происходит деградация остаточного слоя торфа, что является следствием активизации процессов аэробного разложения при низких уровнях болотных вод [31]. В результате снижения уровня болотных вод отмечается рост концентраций $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ в торфе, повышение содержания $Fe_{общ}$, NH_4^+ и снижение NO_3^- , $C_{орг}$ в болотных водах, что является результатом минерализации верхних слоев торфяной залежи.

Библиографический список

1. Анисимова Т.Ю., Лученок Л.Н. Проблематика эффективного использования осушенных торфяников в России и Беларуси: теоретические и практические основы // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 4. С. 78–84. DOI: 10.26105/AE.2018.4.33.017
2. Бернатонис П.В., Боярко Г.Ю., Бернатонис В.К. Эффективность разработки торфяных месторождений Томской области в современных условиях // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 344. С. 195–199.
3. Бричёва С.С., Магасов В.М., Шилов П.М. Георадар в геоэкологических исследованиях при искусственном обводнении торфяников // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 3. С. 76–83.
4. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394.
5. ГОСТ 11305-2013 Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги. М.: Стандартинформ, 2014. 8 с.
6. ГОСТ 11306-2013 Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ, 2014. 6 с.
7. ГОСТ 27894.3-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения аммиачного азота. 1988. 11 с.
8. ГОСТ 27894.4-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения нитратного азота. 1988. 13 с.
9. ГОСТ 27894.5-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора. 1988. 8 с.
10. ГОСТ 27894.6-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм калия. 1988. 5 с.
11. ГОСТ 27894.7-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм железа. 1988. 7 с.
12. ГОСТ 27894.12-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменного кальция и обменного магния. 1988. 7 с.
13. ГОСТ 28245-89 Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. 2-е изд. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
14. Ильясов Д.В., Сирин А.А., Макарова Л.Ю., Букин А.В., Кораблина Н.Е. ГИС-картографирование торфяных болот и антропогенно измененных торфяников Рязанской области // Вестник РГАТУ. 2019. № 1 (41). С. 30–38.
15. Инишева Л.И., Аристархова В.Е., Порохина Е.В., Боровкова А.Ф. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2007. 225 с.
16. Курбатова И.Е., Верещака Т.В., Иванова А.А. Космический мониторинг трансформации болотных ландшафтов в условиях антропогенных воздействий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 4. С. 216–227. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227
17. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В., Куликова Е.И., Тяк Г.В., Курлович Т.В. Повышение эффективности многоцелевого лесопользования на выработанных торфяниках // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 91–102. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-91-102
18. Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А. Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым изображениям // Исследование земли из космоса. 2011. № 5. С. 80–88.
19. Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А. Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. № 3. С. 76–84. DOI: 10.7868/S0205961417020051
20. Медведева М.А., Макаров Д.А., Сирин А.А. Применимость различных спектральных индексов на основе спутниковых данных для оценки площадей торфяных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 5. С. 157–166. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-157-166
21. Москаленко Н.В., Булко Н.И., Толкачёва Н.В., Машков И.А., Серенкова В.А. К вопросу о состоянии мелиорированных земель, находящихся в составе лесного фонда // Вестник гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика. Социология. Биология. 2020. Т. 10, № 1. С. 125–132.
22. Муравьева Л.В., Сидорова Е.В. Создание базы данных нарушенных болот Тверской области // Вестник ТвГУ. Серия География и геоэкология. 2016. № 1. С. 27–33.
23. Навоша Ю.Ю., Тановицкая Н.И. Оценка состояния торфяных месторождений на основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (на примере Брестской области) // Природопользование. 2019. № 2. С. 168–176.
24. Панов В.В., Женихов Ю.Н. Структура и учет пожароопасных торфяников Тверской области // Труды Инсторфа. 2021. № 24 (77). С. 26–33.
25. Ракович В.А. Экологические последствия промышленной эксплуатации нарушенных торфяных месторождений Брестской области и возможности их реабилитации // Природопользование. 2021. № 2. С. 31–37. DOI: 10.47612/2079-3928-2021-2-31-37
26. Синюткина А.А. Ландшафтное картографирование болот Томской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. 2017. № 2. С. 21–28.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

27. Синюткина А.А., Малолетко А.А., Беленко А.А., Гашкова Л.П., Харанжевская Ю.А. Оценка современного состояния перспективных для освоения участков торфяных месторождений Томской области // Достижения науки и техники АПК. 2014. Т. 28, № 12. С. 72–75.
28. Тановицкая Н.И., Ратникова О.Н. Методика оценки нарушенности торфяных месторождений // Природопользование. 2017. № 31. С. 94–104.
29. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487 с.
30. Bonn A., Reed M.S., Evans C.D., Joosten H., Bain C., Farmer J., Emmer I., Couwenberg J., Moxey A., Artz R., Tanneberger F., von Unger M., Smyth M.-A., Birnie D. Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration // Ecosystem Services. 2014. No. 9. P. 54–65. DOI: 10.1016/j.ecoser.2014.06.011
31. Brouns K., Verhoeven J.T.A., Hefting M.M. Short period of oxygenation releases latch on peat decomposition // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 481. P. 61–68. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.030
32. Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // Mire Peat. 2011. Vol. 7. P. 1–10.
33. Kharanzhevskaya Yu.A., Voistinova E.S., Sinyutkina A.A. Spatial and temporal variations in mire surface water chemistry as a function of geology, atmospheric circulation and zonal features in the south-eastern part of Western Siberia // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 733. 139343. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139343
34. Minayeva T.Yu., Bragg O.M., Sirin A.A. Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity // Mire and Peat. 2017. Vol. 19 (1). P. 1–36. 10.19189/MaP.2013.OMB.150. DOI: 10.19189/MaP.2013.OMB.150
35. Straková P., Penttilä T., Laine J., Raija Laiho R. Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition: Consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands // Global Change Biology. 2012. Vol. 18. P. 322–335. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02503.x
36. Williamson J., Rowe E., Reed D., Ruffino L., Jones P., Dolan R., Buckingham H., Norris D., Astbury S., Evans C.D. Historical peat loss explains limited short term response of drained blanket bogs to rewetting // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 188. P. 278–286. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.018

References

1. Anisimova T.Yu., Luchanok L.N. (2018) Problems of effective use of drained peatlands in Russia and Belarus: theoretical and practical basis, Agrochemistry and ecology problems, no. 4, pp. 78–84. doi: 10.26105/AE.2018.4.33.017
2. Bernatonis P.V., Boyarko G.Yu., Bernatonis V.K. (2011) Efficiency of peat production (Tomsk region) in present-day conditions, Tomsk state university journal, no. 344, pp. 195–199.
3. Bricheva S.S., Matasov V.M., Shilov P.M. (2017) Ground penetrating radar (GPR) as a part of integrated landscape studies on peatlands, Geoekologiya. Inzheneraya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya, no. 3, pp. 76–83.
4. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. Description of the data array of monthly precipitation amounts at Russian stations. Certificate of state registration of the database no 2015620394.
5. GOST 11305-2013 Peat and products of its processing. Methods for determining moisture content. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 8 p.
6. GOST 11306-2013 Peat and products of its processing. Methods for determining ash content. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 6 p.
7. GOST 27894.3-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of ammonia nitrogen, 1988. 11 p.
8. GOST 27894.4-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of nitrate nitrogen, 1988. 13 p.
9. GOST 27894.5-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of mobile forms of phosphorus, 1988. 8 p.
10. GOST 27894.6-88 Peat and products of its processing for agriculture. Method for determination of mobile forms of potassium, 1988. 5 p.
11. GOST 27894.7-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of mobile forms of iron, 1988. 7 p.
12. GOST 27894.12-88 Peat and products of its processing for agriculture. Method for determination of exchangeable calcium and magnesium, 1988. 7 p.
13. GOST 28245-89 Peat. Methods for determining the Botanical composition and degree of decomposition. 2nd ed. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 7 p.
14. Il'yasov D.V., Sirin A.A., Makarova L.Yu., Bukin A.V., Korablina N.E. (2019) GIS mapping of natural and human-disturbed peatlands in Ryazan oblast, Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, no. 1(41), pp. 30–38.
15. Inisheva L.I., Aristarkhova V.E., Porokhina E.V., Borovkova A.F. (2007) Cutaway peat deposits, their characteristics and functioning, Tomsk, Russia.
16. Kurbatova I.E., Vereshchaka T.V., Ivanova A.A. (2021) Space monitoring bog landscape transformation under anthropogenic impact conditions, Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa, vol. 18, no. 4, pp. 216–227. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227.
17. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V., Kulikova E.I., Tyak G.V., Kurlovich T.V. (2022) Improving the efficiency of multipurpose forest management of depleted peatlands, Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal, no. 3, pp. 91–102. doi: 10.37482/0536-1036-2022-3-91-102.
18. Medvedeva M.A., Vozbranaya A.E., Bartalev S.A., Sirin A.A. (2011) Multispectral remote sensing for assessing changes on abandoned peat extraction lands, Issledovanie Zemli iz kosmosa, no. 5, pp. 80–88.
19. Medvedeva M.A., Vozbranaya A.E., Sirin A.A., Maslov A.A. (2017) Capabilities of multispectral remote sensing data in assessment of the status of abandoned fire hazardous and rewetting peat extraction lands, Issledovanie Zemli iz kosmosa, no. 3, pp. 76–84.
20. Medvedeva M.A., Makarov D.A., Sirin A.A. (2020) Applicability of different spectral indexes based on satellite data for peat fire area estimation, Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, vol. 17, no. 15, pp. 157–166. doi: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-157-166

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.*

21. Moskalenko N.V., Bulko N.I., Tolkacheva N.V., Mashkov I.A., Serenkova V.A. (2020) To the question of the state of reclaimed land as part of the forest fund, *Vesnik of Yanka Kupala State university of Grodno. Series 5. Economics. Sociology. Biology*, vol. 10, no. 1, pp. 125–132.
22. Muraviova L.V., Sidorova E.V. (2016) Creating a database of disturbed bogs of Tver region, *Herald of Tver state university. Series: geography and geocology*, no.1, pp. 27–33.
23. Navosha Yu.Yu., Tanavitskaya N.I. (2019) Assessment of peatlands on the basis of interpretation of satellite images of ultrahigh resolution (on the example of the Brest region), *Nature management*, no. 2, pp. 168–176.
24. Panov V.V., Jenikhov Yu.N. (2021) Structure and accounting of fire-hazardous peatlands of the Tver region, *Proceedings of Instorf*, no. 24(77), pp. 26–33.
25. Rakovitch V.A. (2021) Environmental consequences of the industrial operation of the disturbed peat deposits of Brest region and the possibilities of their rehabilitation, *Nature management*, no. 2, pp. 31–37. doi: 10.47612/2079-3928-2021-2-31-37.
26. Sinyutkina A.A. (2017) Landscape mapping of bogs in the Tomsk region, *Proceedings of Voronezh state university. Series: Geography. Geocology*, no. 2, pp. 21–28.
27. Sinyutkina A.A., Maloletko A.A., Belenko A.A., Gashkova L.P., Kharanzhevskaya Y.A (2014) Assessments of the current state of the peatlands prospective areas for their wise use in Tomsk region, *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*, vol. 28, no. 12, pp. 72–75.
28. Tanovitskaya N.T., Ratnikova O.N. (2017) The assessment methodology categories of the disturbance of peat deposits, *Nature management*, no. 31, pp. 94–104.
29. Tyuremnov S.N. (1976) *Peatlands*, Moskva, Russia.
30. Bonn A., Reed, M.S., Evans, C.D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A., Artz, R., Tanneberger, F., von Unger, M., Smyth, M.-A., Birnie, D. (2014) Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration, *Ecosystem Services*, no. 9, pp. 54–65. doi: 10.1016/j.ecoser.2014.06.011.
31. Brouns K., Verhoeven J.T.A., Hefting M.M. (2014) Short period of oxygenation releases latch on peat decomposition, *Science of the Total Environment*, vol. 481, pp. 61–68. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.030.
32. Chambers, F.M., Beilman, D.W., Yu, Z. (2011) Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics, *Mire Peat*, vol. 7, pp. 1–10.
33. Kharanzhevskaya Yu.A., Voistinova E.S., Sinyutkina A.A. (2020) Spatial and temporal variations in mire surface water chemistry as a function of geology, atmospheric circulation and zonal features in the south-eastern part of Western Siberia, *Science of the Total Environment*, vol. 733, 139343. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139343.
34. Minayeva T.Yu., Bragg, O.M., Sirin, A.A. (2017) Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity, *Mire and Peat*. vol. 19 (1), p. 1–36. doi: 10.19189/Map.2013. OMB.150.
35. Straková P., Penttilä T., Laine J., Rajia Laiho R. (2012) Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition: Consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands, *Global Change Biology*, vol. 18, pp. 322–335. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02503.x.
36. Williamson J., Rowe, E., Reed, D., Ruffino, L., Jones, P., Dolan, R., Buckingham, H., Norris, D., Astbury, S., Evans, C.D. (2017) Historical peat loss explains limited short term response of drained blanket bogs to rewetting, *Journal of Environmental Management*, vol. 188, pp. 278–286. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.018.

Статья поступила в редакцию: 09.07.24, одобрена после рецензирования: 11.11.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 9 July 2024; approved after review: 11 November 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Анна Алексеевна Синюткина

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: ankalaeva@yandex.ru

Юлия Александровна Харанжевская

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: kharan@yandex.ru

Information about the authors

Anna A. Sinyutkina

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Yulia A. Kharanzhevskaya

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

Людмила Павловна Гашкова

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Lyudmila P. Gashkova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Екатерина Сергеевна Иванова

научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: ivanova_e_s@bk.ru

Ekaterina S. Ivanova

Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Марина Евгеньевна Кириллова

старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: kirillovame1965@mail.ru

Marina E. Kirillova

Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Вклад авторов

Синюткина А.А. – проведение полевых и лабораторных работ, геоинформационное картографирование, анализ данных, подготовка рукописи статьи и рисунков.

Харанжевская Ю.А. – проведение полевых и лабораторных работ, анализ данных, подготовка рукописи статьи.

Гашкова Л.П. – проведение лабораторных работ, анализ данных.

Иванова Е.С. – проведение лабораторных работ, анализ данных.

Кириллова М.Е. – проведение лабораторных работ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Anna A. Sinyutkina – field and laboratory research; GIS mapping; data analysis; preparation of the manuscript and figures.

Yulia A. Kharanzhevskaya – field and laboratory research; data analysis; preparation of the manuscript.

Lyudmila P. Gashkova – laboratory research; data analysis.

Ekaterina S. Ivanova – laboratory research; data analysis.

Marina E. Kirillova – laboratory research.

The authors declare no conflict of interest.