

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

Научная статья

УДК 528.88 (470.53)

doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-17-29

СКОРОСТЬ НАСТУПЛЕНИЯ БОЛОТНЫХ ГЕОСИСТЕМ НА СОСНЯК БЕЛОМОШНИК (НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШОГО КАМСКОГО БОЛОТА, ПРЕДУРАЛЬЕ)

Николай Николаевич Назаров^{1✉}, Сергей Владимирович Копытов², Ирина Фиргатовна Абдулманова³,
Анна Павловна Белоусова⁴, Ирина Викторовна Фролова⁵

^{1,2,3,4,5} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г.Пермь, Россия

¹nazarov@psu.ru[✉], Scopus Author ID: 7006059830, Author ID: 1236, SPIN-код: 6367-3382

²copytov@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0011-3748>, Scopus Author ID: 57189575504, ResearcherID: L-7872-2016, Author ID: 790110, SPIN-код: 8978-3356

³a.ir-flora@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6058-5176>, Scopus Author ID: 57502881000, ResearcherID: L-7872-2016, Author ID: 1110219, SPIN-код: 7288-7184

⁴uran399@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9201-4076>, Scopus Author ID: 57277965100, Author ID: 1030962, SPIN-код: 1306-0604

⁵irvik13@gmail.com, Scopus Author ID: 35326564300, Author ID: 148012, SPIN-код: 1434-3422

Аннотация. Изучение динамики верховых болот на севере Прикамья осуществлялось с использованием одновременных космических снимков Landsat с устойчивым снежным покровом. Использование преимущественно зимних снимков определялось необходимостью исключения влияния подстилающей поверхности (почвенного покрова, травяной и кустарничковой растительности) на спектральное изображение и фиксирования изменений только в древесном ярусе сосняков. Объединение двух ближних инфракрасных каналов позволило зафиксировать изменения состояний крон деревьев, которые произошли за 37 лет. Для мультитременного композита была проведена ручная (экспертная) классификация по спектральным признакам. Перемещение границ болотных фитоценозов вглубь сосняка беломошника наблюдается на расстоянии в среднем в 75–85 м, что соответствует скорости смещения критических условий для жизни сосны (образование сухостоя) – около 2 м/год. В ходе полевых работ на пробных площадях фиксировались масштабы угнетения древесной растительности и интенсивность наступления болота на смежные с ним геосистемы. В летний сезон 2022 г. проведено изучение состава фитоценозов также и в нижнем ярусе растительности в пограничной зоне южного «берега» Большого Камского болота. Смена сосново-пушицево-кустарничково-сфагнового фитоценоза на сосново-кустарничково-моховой, связанная с наступлением болота на лесные геосистемы, зафиксирована на расстоянии 135–165 м. Сделано предположение, что изменение состава фитоценозов, фиксируемое в нижнем ярусе растительного покрова «береговых» природных комплексов, по времени обгоняет процесс деградации древесных насаждений, но по скорости смещения границ в пространстве имеет практически те же значения – около 2 м/год.

Ключевые слова: дистанционные методы, Landsat, управляемая классификация, спектральные каналы, геоботанический профиль, Большое Камское болото, боковое расширение болот

Сведения о финансировании. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00276 (картографирование, обработка данных спутниковой съемки) и РНФ в рамках научного проекта № 22-77-00086 (полевые работы и обработка результатов геоботанической съемки).

Для цитирования: Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В. Скорость наступления болотных геосистем на сосняк беломошник (на примере большого Камского болота, Предуралья) // Географический вестник. 2023. № 1(64). С. 17–29. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-17-29.



Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-17-29

THE RATE OF BOG GEOSYSTEMS ADVANCING ON THE LICHEN PINE FOREST (A CASE STUDY OF THE BOLSHOYE KAMSKOYE BOG, CIS-URALS)

Nikolai N. Nazarov^{1,2,3,4,5}, Sergei V. Kopytov², Irina F. Abdulmanova³, Anna P. Belousova⁴, Irina V. Frolova⁵

^{1,2,3,4,5} Perm State University, Perm, Russia

¹nazarov@psu.ru, Scopus Author ID: 7006059830, Author ID: 1236, SPIN-код: 6367-3382

²kopytov@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0011-3748>, Scopus Author ID: 57189575504, ResearcherID: L-7872-2016, Author ID: 790110, SPIN-код: 8978-3356

³a.ir-flora@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6058-5176>, Scopus Author ID: 57502881000, ResearcherID: L-7872-2016, Author ID: 1110219, SPIN-код: 7288-7184

⁴uran399@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9201-4076>, Scopus Author ID: 57277965100, Author ID: 1030962, SPIN-код: 1306-0604

⁵irvik13@gmail.com, Scopus Author ID: 35326564300, Author ID: 148012, SPIN-код: 1434-3422

Abstract. The dynamics of raised bogs in the north of the Kama region were studied using multi-temporal Landsat satellite images with stable snow cover. The use of winter images was determined by the need to exclude the factor of the underlying surface (soil cover, grass and subshrub vegetation) from the spectral image and to fix changes only in the tree layer of pine forests. Manual (expert) classification of the multitemporal composite was carried out according to spectral features. The displacement of the boundaries of bog phytocenoses deep into the first terrace is observed at an average distance of 75–85 m, which corresponds to the rate of displacement of critical conditions for pine life (formation of dead wood) – about 2 m/year. In the course of field works on test sites, the extent of tree vegetation inhibition and the intensity of the bog's advance on adjacent geosystems were recorded. In the summer season of 2022, there was conducted a study of the composition of phytocenoses in the lower layer of vegetation in the border zone of the southern 'shore' of the Bolshoye Kamskoye Bog. The change of pine-cotton grass-subshrub-sphagnum phytocenosis to pine-subshrub-moss phytocenosis was recorded at a distance of 135–165 m when the bog invaded the forest geosystems. The main changes were recorded in the lower tier of vegetation. It is assumed that the change in the lower tier in time overtakes the process of the forest stand degradation, but in terms of the rate of boundaries displacement in space, it shows almost the same values – about 2 m/year.

Key words: remote sensing methods, Landsat, controlled classification, spectral bands, geobotanical profile, Bolshoe Kamskoe bog, lateral expansion of bogs

Funding. The reported study was funded by the RFBR, project No. 20-05-00276 (mapping, satellite imagery data processing), and the Russian Science Foundation, project No. 22-77-00086 (field works and processing of the geobotanical survey results).

For citation: Nazarov N.N., Kopytov S.V., Abdulmanova I.F., Belousova A.P., Frolova I.V. (2023). The rate of bog geosystems advancing on the lichen pine forest (a case study of the Bolshoye Kamskoye bog, Cis-Urals). *Geographical Bulletin*. No. 1(64). Pp. 17–29. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-17-29.

Введение

Изучение болот в период массового сокращения доли естественных (коренных) ландшафтов содействует сохранению биологического разнообразия и биосферного баланса Земли. Роль болот крайне важна в регулировании многих природных процессов, в накоплении пресной воды и ее внутригодовом перераспределении, в поддержании разнообразия водных и влаголюбивых растений и животных. Особое значение болота и торфяники имеют в глобальном углеродном цикле [28]. Известно, что биогенные формы рельефа на сегодняшний день хранят порядка 500 гигатонн углерода, что составляет значительную часть его глобального запаса [19; 25; 26; 30; 31].

Изучение динамики и развития болотных систем является одним из наиболее перспективных и востребованных направлений современного регионального ландшафтоведения. Как показывают результаты специальных исследований [6; 7], процесс расширения площади болот за счет смежных геосистем происходит с разной скоростью. Одним из определяющих факторов интенсивности процесса являются уклоны берегов болотной депрессии [14]. Специальные исследования интенсивности разрастания болота Ламмин-Суо (Ленинградская область) фиксировали, что диапазон средней интенсивности линейного разрастания болота в разные периоды голоцена составляет от 4,8 (период 1263–1870 гг.) до 17,8 (период 1871–1956 гг.) см/год [2]. Максимальная интенсивность разрастания болота (166,7 см/год) была отмечена в период 1956–1991 гг. на участке с нулевым уклоном поверхности прилегающего к болоту суходола. Аналогичные

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

исследования, проведенные на других верховых массивах Ленинградской и Новгородской областей, показали, что интенсивность заболачивания в голоцене составляла от 4,3 до 53 см/год, иногда достигая 107 см/год [7].

Высокая активность наступления болот на смежные территории фиксируется в Западной Сибири. По данным [3] скорости расширения внешних границ болотного массива здесь достигают 7–15 см/год. Отмечается, что в условиях благоприятного рельефа болота расползаются во все стороны. При этом размер заболачиваемых площадей ежегодно возрастает вследствие удлинения общей протяженности внешних границ болотных массивов [13].

Вопросам динамики бокового расширения («lateral expansion») болот в северных широтах в позднем плейстоцене и голоцене посвящены работы европейских и североамериканских исследователей. Объектами исследований выступают торфяники в Канаде, странах Скандинавского полуострова, на севере Германии, в Польше, Франции, Эстонии и Латвии [21; 22; 27]. Отмечается, что расширение площади болот временами происходило чрезвычайно быстро – до нескольких сотен гектаров за тысячелетие. Сравнение старых (1940–1970-х гг.) и новых аэрофотоснимков выявило уменьшение ширины краевых ложбин стока в грядово-мочажинных болотах на 33–63% в среднетаежных и на 16–42% в северотаежных ландшафтах по мере разрастания болотных сфагновых мхов в сторону суши. Установлено, что изменения, наблюдаемые по материалам спутниковой съемки в течение последних десятилетий, начали происходить начиная с конца малого ледникового периода между 1700–1850 гг. н.э. [20].

Переход от медленного вертикального к усиленному площадному накоплению торфа в голоцене был зарегистрирован после 5000 кал. лет назад по данным дендрохронологических исследований погребенной древесины в болотах Швеции [17] и Финляндии [23]. Для болота Лабель в канадском Квебеке рассчитанная скорость площадного разрастания составляла 11,8–15,2 см/год [29]. Установлено, что одной из причин горизонтального усиления болотообразования в этом регионе стали пожары, которые уменьшили или полностью уничтожили органический слой и способствовали господству сфагновых мхов в понижениях рельефа. Отмечалось также, что заболачивание привело к исчезновению некоторых хвойных пород, таких как *Abies balsamea* и *Pinus Banksiana* [24].

Основными методическими подходами, объединяющими большинство исследований, стали анализ данных дистанционного зондирования, заложение трансект с отбором кернов и получением серий радиоуглеродных дат, полученных из базального торфа и нижележащих органо-минеральных отложений. При этом отмечалось, что использование космо- и аэрофотосъемки сопряжено с рядом неопределенностей – на изображение могут влиять сезонные и годовые колебания условий увлажнения и растительности [18]. Для проверки выводов данных дистанционного зондирования привлекались исключительно стратиграфический анализ микрофоссилий в торфе и глубинно-возрастные модели. Стадийности развития растительных сообществ в краевой зоне болот внимание практически не уделялось.

Анализ результатов исследований отечественных и зарубежных географов и биологов продемонстрировал, что для понимания тенденции развития болотных геосистем в современных гидроклиматических условиях важную роль может сыграть изучение динамики видового состава и состояния растительных ассоциаций в краевой зоне болотного массива. В большинстве рассмотренных выше работ отмечаются усыхание и постепенная деградация древесной растительности, что обусловлено повышением уровня подземных вод. В значительно меньшей степени обсуждается процесс изменения состава растительных сообществ. Нет сведений, указывающих на то, с какой скоростью и на каком расстоянии

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

от кромки торфяного болота на минеральном субстрате происходит смена характера травяно-кустарничкового яруса с водно-болотного на лесной. Очевидно, что дальнейшее исследование в этой области в совокупности с достаточно уверенно фиксируемой деградацией древесной растительности может способствовать появлению новых возможностей прогнозирования расширения болотных массивов и, соответственно, определению мер по устранению возникающих негативных процессов.

Север Пермского Прикамья по развитию болотных геосистем является одним из наиболее представительных регионов Европейской части России. Здесь расширение площади торфяников определяет ведущий тренд развития природных ландшафтов, в котором с довольно большой скоростью происходит изменение соотношения консервативных, прогрессивных и реликтовых геосистем [12]. Относительно динамики развития болотных геосистем в Пермском Прикамье информации, необходимой для понимания общей направленности развития процесса в регионе, в настоящее время явно недостаточно. Ранее проведенные наблюдения за приростом мощности торфа и динамикой границ торфяных массивов не дают полного представления о пространственно-временных особенностях развития процесса в регионе и требуют расширения территории исследований и внедрения современных и, прежде всего, дистанционных методов наблюдения.

Объекты и методы исследований

В Пермском Прикамье изучение динамики и развития болотных геосистем вследствие разнообразия исходных задач отличалось масштабностью объектов исследования и детальностью покомпонентного анализа. Наиболее активно процессы болотообразования на сегодняшний день развиваются в северной части региона. В бассейне р. Южная Кельтма болота и заболоченные земли составляют 35%, в бассейнах рек Весляны и Косы – 20 и 15% соответственно. Большая часть крупных болотных массивов приурочена к котловинам выдувания, образовавшимся в позднем неоплейстоцене в результате дефляции. Плоский характер рельефа и слабая водопроницаемость глинистого элювия верхнепермских отложений, лежащего в подошве флювиогляциальных и аллювиально-озерных образований, а также большое количество атмосферных осадков (при слабой испаряемости) привели к интенсивному заболачиванию значительной части бассейна и долины верхней Камы [9; 12].

Особое место в Северном Прикамье относительно своих размеров и истории своего развития занимает Верхнекамская впадина, занятая Большим Камским болотом (рис. 1). Данное образование представляет собой озеровидное расширение длиной 60 км и шириной 25 км. Кама здесь прижата к высокому правому берегу этой котловины, где на сегодняшний день образует относительно прямолинейное русло. Днище котловины занято в основном озёрами (Бол. и Мал. Кумикуш, Новожилово, Чёлвинское и др.), а также олиготрофными грядово-мочажинными верховыми болотами. Относительная высота болот над урезом Камы составляет 3–5 м, абсолютная высота 130–131 м. Морфологически массив верхового болота соответствует первой надпойменной террасе Камы [10]. Растительность преимущественно представлена сосново-кустарничково-моховыми и пушицево-моховыми фитоценозами [5]. На песчаных гривах типичными являются боры-беломошники и сосняки лишайниково-зеленомошные.

По данным стационарных наблюдений, проведенных в этом регионе А.А. Генкелем в конце 30-х – начале 40-х гг. прошлого века, скорость вертикального прироста сфагновых мхов в среднем составляла 1,5 см в год, изменяясь в зависимости от увлажненности отдельных частей болотного массива в пределах 0,5–2,5 см/год [1]. Близкие к ним значения скорости по косвенным признакам были определены в процессе изучения влияния верховых болот на прилегающие к ним сосновые леса (левый берег Камы ниже устья р. Косы) в 80-е гг. прошлого столетия. Наблюдения показали, что пологие «берега» болота, представленные склонами речных песчаных кос, которые веерообразно вдаются в болотные массивы,

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

в современных условиях «съедаются» со скоростью до 0,5 м/год [11]. Фронтальное расширение в периферийных частях болотных массивов фиксировалось по наличию усохших зрелых сосняков. Мощность мха выше корневой шейки погибших деревьев на момент проведения обследования составляла 20–50 см.

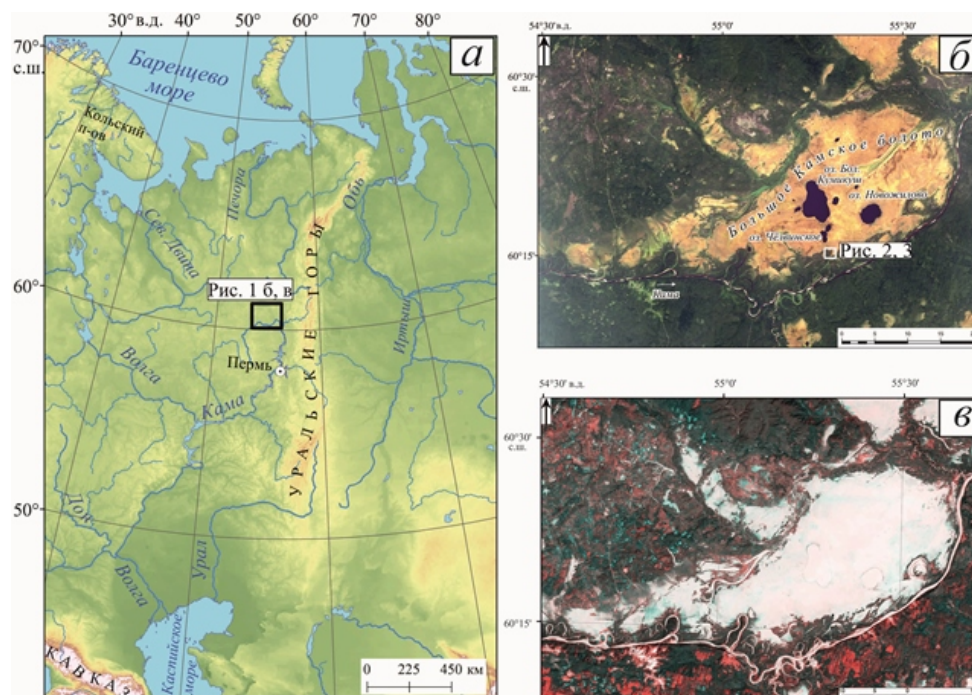


Рис. 1. Район исследования: а – географическое положение; б – RGB-синтез снимка Landsat-8 OLI; в – мультитременной композит (NIR-канал 26.02.1985 г. и 09.02.2022 г.)

Fig. 1. Study area: а – geographical location; б – RGB synthesis of the Landsat-8 OLI image; в – multi-temporal composite (NIR band 26 Feb 1985 and 09 Feb 2022)

С целью изучения динамики развития болотных геосистем с использованием данных разновременных космических съемок проведено исследование скорости и масштабов угнетения древесной растительности в процессе наступления болота на смежные с ним геосистемы. Для осуществления измерений скорости продвижения болотных фаций вглубь лесных урочищ были использованы архивные и современные данные программы спутниковой съемки Landsat (табл. 1).

Таблица 1

Использованные космические снимки и их пространственное разрешение
 Space images used and their spatial resolution

Съемочная система	Дата съемки	Пространственное разрешение
Landsat-5 MSS	26.02.1985	30
Landsat-8 OLI	07.07.2021	30
Landsat-8 OLI	09.02.2022	30

Известно, что наиболее чувствительными к развитию процесса угнетения растительного покрова выступают спектральные яркости в диапазоне NIR (1,56–1,66 мкм) [16]. Особенно чувствителен данный диапазон к изменению влажности, содержащейся в зеленой массе растений. Для исключения влияния подстилающей поверхности (почвенного покрова, травяной и кустарничковой растительности) на спектральное изображение космоснимка и фиксирование изменений только в верхнем древесном ярусе растительности были использованы снимки с устойчивым снежным покровом в пределах сосняков. Объединение двух ближних инфракрасных каналов позволило зафиксировать изменения состояний крон деревьев, которые произошли за 37 лет.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

Мультивременной композит, полученный в результате совмещения разновременных данных, был подвергнут классификации (рис. 1, в, 2). В данном случае проведена ручная (экспертная) классификация по спектральным признакам. Территории, на которых произошло угнетение древесной растительности (замещение здоровых деревьев сухостоем), имеют характерный голубой оттенок. Наличие красного оттенка указывает на развитие прироста зеленой массы деревьев при сохранении местоположения границ болотных и лесных фаций.

Угнетения состояния сосны (сокращение зеленой массы в кроне дерева) и образования сухостоя нашли подтверждение и в процессе проведения наземных исследований. В летний сезон 2022 г. проведено полевое обследование мысовидного участка в пограничной зоне южного «берега» Большого Камского болота ($60^{\circ}16'24''$ с.ш. $55^{\circ}19'20''$ в.д.) (рис. 3).

Полевое геоботаническое описание проводилось по профилю, заложенному в направлении с северо-востока на юго-запад по стандартной методике [8; 15]. Работы предварялись анализом карт масштаба 1:25000, цифровой модели рельефа ArcticDEM. Трансекта шириной 10 м и протяженностью 1200 м пересекла грядово-мочажинное болото и песчаные валики надпойменной террасы р. Камы. Описание растительности было проведено на 5 пробных площадях (ПП) площадью 100 м^2 каждая.

При выборе места ПП учитывался ряд условий [4]. ПП1 заложена в гидроморфных условиях грядово-мочажинного рельефа, без видимых признаков поверхностного стока, на удалении от минеральных островов. ПП2 и ПП3 заложены в переходных условиях болото-суша для фиксации стадийности изменения

растительности с высоким пространственным разрешением. ПП4 и ПП5 заложены в неозлювиальных местоположениях надпойменной террасы. Средняя крутизна ПП2, ПП3, ПП4 и ПП5 составила 1,3, 3,1, 1,5 и $2,5^{\circ}$ соответственно.

На всех участках характер растительности фиксировался путем описания древесно-кустарникового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов. Границы участков были нанесены на карту, положение площадок и их абсолютная высота в поле фиксировались с помощью ГНСС и БПЛА-съемки.

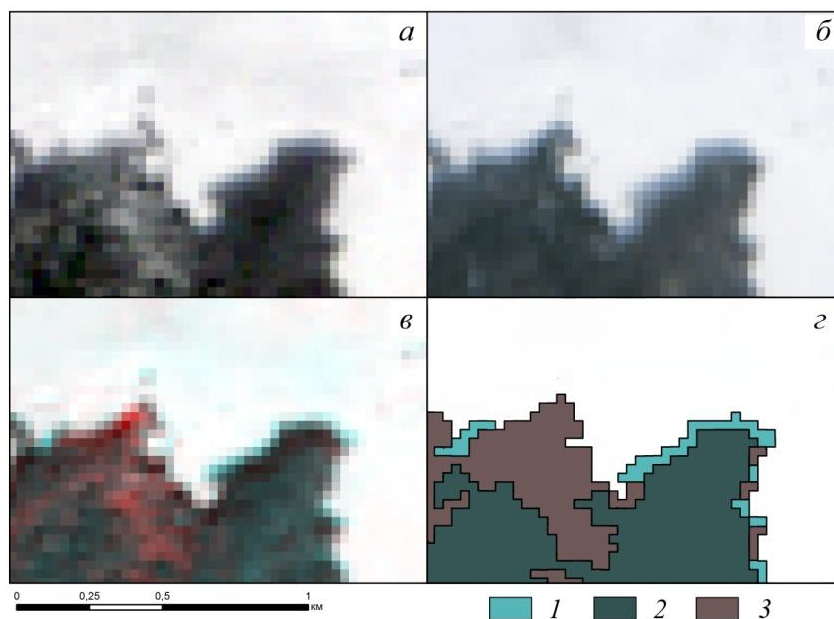


Рис. 2. Космические снимки на ключевой участок:

a – Landsat-5 от 26.02.1985 г., *б* – Landsat-8 от 09.02.2022 г.,

в – мультивременной композит (NIR-канал 26.02.1985 г. и 09.02.2022 г.),

г – результат классификации, демонстрирующий изменение растительного покрова.

Условные обозначения: 1 – площади, на которых произошло уменьшение зеленой массы крон деревьев; 2 – участки леса, оставшиеся без изменений;

3 – площади, на которых произошло увеличение зеленой массы крон деревьев

Fig. 2. Space images for the key area: *a* – Landsat-5 26 Feb 1985; *б* – Landsat-8 09 Feb 2022, *в* – multi-temporal composite (NIR band 26 Feb 1985 and 02 Feb 2022),

г – the classification result that demonstrates a change in land cover.

Legend: 1 – areas where was a decrease in the green mass of tree crowns;

2 – forest areas that remained unchanged; 3 – areas where was an increase in the green mass of tree crowns

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

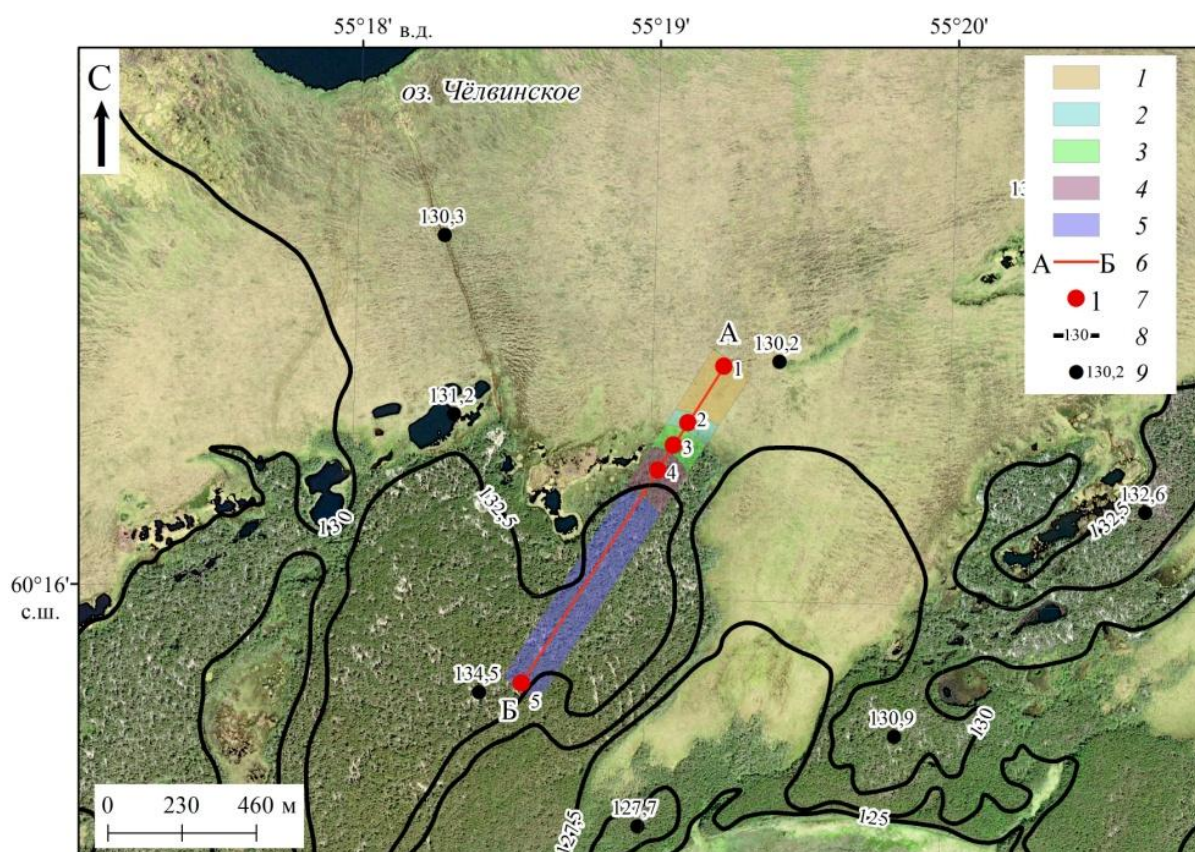


Рис. 3. Фрагмент геоботанической карты и расположение профиля. Растительные сообщества: 1 – шейхцериево-кустарничково-сфагновое, 2 – сосново-пушицево-кустарничково-сфагновое, 3 – сосново-кустарничково-моховое, 4 – сосново-бруснично-зеленомошное, 5 – сосняк беломошник; 6 – расположение геоботанического профиля, 7 – пробные площадки, 8 – изолинии высот, 9 – абсолютные отметки высот

Fig. 3. A geobotanical map fragment and the profile location. Plant communities: 1 – scheuchzeria-subshrub-sphagnum, 2 – pine-cotton grass-subshrub-sphagnum, 3 – pine-subshrub-moss, 4 – pine-cowberry-green moss, 5 – white moss pine forest; 6 – location of the geobotanical profile, 7 – sample sites, 8 – contour lines of heights, 9 – absolute height marks

Результаты исследований

По результатам классификации в пределах ключевого участка было зафиксировано сокращение площади здорового лесного покрова на территории 0,81 га (рис. 2, з). Смещение границ болотных фаций вглубь лесных геосистем составило в среднем 75–85 м, что указывает на то, что скорость изменения критических условий для жизни сосны вглубь материка в результате переувлажнения почвы и экспансии болотной растительности составляет около 2 м/год. Наиболее активно наступление болота происходило на пологих берегах и практически не меняло своих границ на крутосклонных участках, представленных золовыми буграми или древними речными косами.

Растительность мочажины (ПП1) представлена шейхцериево-кустарничково-сфагновым сообществом (рис. 4). Какие-либо деревья и кустарники отсутствуют. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает шейхцерия болотная (*Scheuchzeria palustris* L.). В меньшем количестве представлены пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), осока вздутая (*Carex rostrata* Stokes) и типичные болотные кустарнички – мирт болотный (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), подбел многолистный (*Andromeda polifolia* L.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.). Сфагновые мхи образуют сплошной покров.

На площадке описания растительности, заложенной в месте начала контакта болота с лесом (ПП2), представлено сосново-пушицево-кустарничково-сфагновое сообщество (рис. 5). Древостой из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) практически полностью отмер. Средняя высота высохших деревьев 10 м. По кромке древесной группы на границе

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

с открытым сфагновым болотом произрастают немногочисленные экземпляры сосны болотной формы (*Pinus sylvestris* f. *litwinowi*) высотой до 3–4 м. Кустарники отсутствуют. Выраженным доминантом травяно-кустарничкового яруса является пушица влагалищная. Между кочками пушицы произрастают кустарнички – мирт болотный, подбел многолистный, голубика (*Vaccinium uliginosum* L.). Багульник болотный (*Ledum palustre* L.) произрастает небольшими группами на слабовыраженных буграх вокруг деревьев.

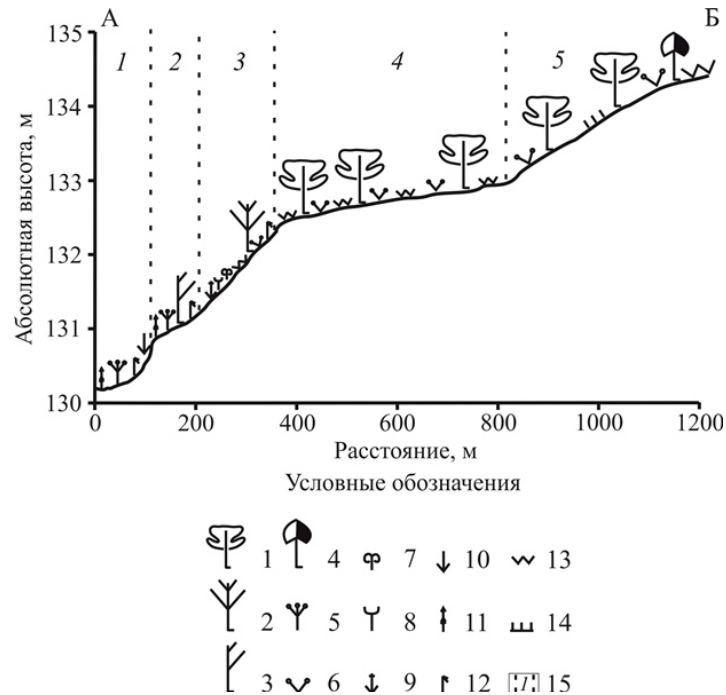


Рис. 4. Геоботанический профиль по линии А–Б (расположение профиля см. на рис. 3). Условные обозначения: 1 – неизменный сосновый древостой, 2 – значительно угнетенный сосновый древостой, 3 – отмирающий сосновый древостой, 4 – береза повислая, 5 – болотные кустарнички (мирт болотный, подбел многолистный, клюква болотная), 6 – брусника, 7 – щучка дернистая, 8 – вейник наземный, 9 – камыш лесной, 10 – осока вздутая, 11 – сфагновые мхи, 12 – пушица влагалищная, 13 – бриевые мхи, 14 – кладония, 15 – растительные сообщества (названия см. на рис. 3)

Fig. 4. A–B oriented geobotanical profile (see the profile location in Fig. 3). Legend: 1 – unchanged pine forest, 2 – significantly oppressed pine forest, 3 – dying pine forest, 4 – *Betula pendula* Roth, 5 – bog subshrubs (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Andromeda polifolia* L., *Oxycoccus palustris* Pers.), 6 – *Vaccinium vitis-idaea* L., 7 – *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. s.l., 8 – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, 9 – *Scirpus sylvaticus* L., 10 – *Carex rostrata* Stokes, 11 – sphagnum mosses, 12 – *Eriophorum vaginatum* L., 13 – brie mosses, 14 – *Cladonia*, 15 – plant communities (see names in Fig. 3)

Следующая площадка описания заложена в месте, где характер травяно-кустарничкового яруса меняется с болотного на лесной (ППЗ). Здесь представлено сосново-кустарничково-моховое сообщество. Древесный ярус из сосны лесной значительно ослаблен. Около 20% деревьев общего числа стволов высохли, часть из них повалилась. Средняя высота деревьев 10–12 м. В заболоченных небольших по площади понижениях произрастают единичные экземпляры сосны формы Литвинова. На небольших возвышенностях сосна образует обильный, но ослабленный подрост высотой до 50 см. Молодые сосны несколько искривлены, часть хвои высохла. Травяно-кустарничковый покров на возвышенных сухих участках представлен брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.), багульником, вейником наземным (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), моховой покров – бриевые мхи. В наиболее сырых местах растительный покров образуют только сфагновые мхи. На переходных участках произрастает пушица влагалищная, встречаются также щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. s.l.) и небольшие пятна камыша лесного (*Scirpus sylvaticus* L.), осоки.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

Выше границы распространения болотной растительности представлено сосново-бруснично-зеленомошное сообщество (ПП4). Древесный ярус из сосны ослаблен, его средняя высота 14 м. Подрост редок, кустарники отсутствуют. Травяно-кустарничковый ярус образует в основном брусника, моховой покров – зеленые лесные мхи. Небольшими пятнами произрастают кладонии.

ПП5 заложена в сосняке беломошном, не затронутом процессами заболачивания. В древостое кроме сосны лесной единично встречается береза повислая (*Betula pendula* Roth). Средняя высота деревьев 15 м. Около 5% деревьев общего числа стволов повалены. Подрост сосны единичен. Кустарники отсутствуют. Напочвенный покров, характеризующийся проективным покрытием, 70–80% образуют кладонии. Небольшими пятнами среди них произрастают зеленые лесные мхи и лесные кустарнички – брусника, черника (*Vaccinium myrtillus* L.). Единичны травянистые растения.



Рис. 5. Сосново-пушицево-кустарничково-сфагновое сообщество: а – снимок с БПЛА (красной линией показан участок отмирания соснового древостоя), б – зона контакта болота с лесом (фото С.В. Копытова, 2021)

Fig. 5. Pine-cotton grass-subshrub-sphagnum community: а – an unmanned aerial vehicle image (the red line shows the dying area of the pine stand), б – the contact zone of the bog with the forest (photo by S.V. Kopytov, 2021)

Обсуждение результатов

Рассматривая общую направленность смены состава растительных сообществ по мере удаления от кромки торфяного болота в направлении лесных геосистем, необходимо отметить присутствие в составе травяно-кустарничкового яруса первых двух ПП исключительно представителей водно-болотной группы растений (табл. 2). На ПП2 в отличие от ПП1 выраженным доминантом становится пушица влагилицная, пропадают из состава сообщества шейхцерия болотная и осока вздутая, но при этом в целом остается неизменным характер участия болотных кустарничков. На ПП3, где также, как и на первых двух ПП присутствуют представители водно-болотной группы растений, наблюдается разбавление ее видами, относящимися к нитрофильной и боровой эколого-ценотическим группам. В более увлажненных местах появляется камыш лесной, а на сухих элементах бугристой поверхности – брусника. ПП4 и ПП5, расположенные на более высоких отметках рельефа первой надпойменной террасы (на 3–4 м выше уровня торфяника), в основном представлены уже видами, относящимися к боровой и бореальной эколого-ценотическим группам. В них напочвенный покров образуют преимущественно бриевые мхи, лишайники, брусника, черника.

По длине профиля изменение состояния древесной растительности, преимущественно состоящей из сосны, характеризуется практически полной ее гибелью (состояние сухостоя) в пределах сосново-пушицево-кустарничково-сфагнового фитоценоза (ПП2). Угнетение древостоя сосново-кустарничково-мохового фитоценоза (ПП3) несколько менее выражено. Проявление признаков данного процесса усиливается или ослабевает в зависимости от характера микрорельефа, относительные отметки которого колеблются в пределах 1,0–1,5 м. Частичное подсыхание хвои у зрелых деревьев и ослабление подроста наиболее четко проявляются в межрядовых понижениях и других отрицательных формах микрорельефа.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

Таблица 2

Участие видов растений различных эколого-ценотических групп, образующих проективное покрытие свыше 1 % при формировании травяно-кустарничкового яруса на пробных площадях
 Participation of plant species of various ecological and cenotic groups forming a projective cover of more than 1% in the formation of a herb-subshrub layer on test sites

Вид растений	Пробные площади				
	1	2	3	4	5
Шейхерия болотная	Wt	–	–	–	–
Осока вздутая	Wt	–	–	–	–
Клюква болотная	Wt	–	–	–	–
Мирт болотный	Wt	Wt	–	–	–
Подбел многолистный	Wt	Wt	–	–	–
Пушица влагалищная	Wt	Wt	Wt	–	–
Голубика	–	Wt	Wt	–	–
Багульник болотный	–	Wt	Wt	–	–
Брусника	–	–	Pn	Pn	Pn
Вейник наземный	–	–	Pn	–	–
Щучка дернистая	–	–	Nt	–	–
Камыш лесной	–	–	Nt	–	–
Черника	–	–	–	Br	Br

Примечание: эколого-ценотические группы: Br – бореальная; Pn – боровая; Nt – нитрофильная; Wt – водно-болотная.
 Note: ecological- cenotic groups: Br, boreal; Pn – pine; Nt, nitrophilic; Wt, wetland.

Учитывая ширину второго и третьего фитоценозов на геоботанической схеме исследуемого участка, представленных, соответственно, сосново-пушицево-кустарничково-сфагновым (75–85 м) и сосново-кустарничково-моховым (60–80 м) сообществами, зону воздействия болота на сосняк беломошник можно оценить в 135–165 м. При этом скорость наступления болота на склон котловины крутизной 3,1° можно оценить только по динамике сосново-пушицево-кустарничково-сфагнового фитоценоза – около 2 м/год. Косвенным показателем продвижения водно-болотной растительности вглубь лесных геосистем, полученным в виде мультитременного композита, стало смещение границ геосистем, в которых происходило полное или значительное сокращение зеленой массы в кронах сосны. Можно предположить, что скорость изменения границ сообществ, состоящих из видов различных эколого-ценотических групп, располагающихся на более высоких отметках рельефа и связанных своим развитием с повышением уровня грунтовых вод, также близка значениям около 2 м/год.

Заключение

Таким образом, можно констатировать, что применение дистанционных методов при изучении лесных и болотных геосистем, сегодня становится действенным приемом в установлении скорости и направленности их развития. Наибольший эффект при дешифрировании космических снимков достигается при использовании разновременных комбинаций инфракрасных спектральных каналов. Перемещение границ болотных фаций вглубь лесных геосистем по данным космической съемки в среднем составило 75–85 м, что соответствует скорости смещения критических условий для жизни сосны (образование сухостоя) около 2 м/год. Смена сосново-пушицево-кустарничково-сфагнового фитоценоза на сосново-кустарничково-моховой, связанная с наступлением болота, составила 135–165 м. По всей видимости, изменение состава фитоценозов, фиксируемое в нижних ярусах растительного покрова лесных геосистем, по времени обгоняет процесс деградации древостоя, но по скорости смещения границ в пространстве также составляет около 2 м/год.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

Список источников

1. Генкель А.А. Болота Пермской области // Биogeография и краеведение // Учен. зап. Перм. ун-та. 1974. Т. 131. Вып. 2. С. 4–85.
2. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо) / под ред. С. М. Новикова, В. И. Батуева. СПб.: Свое издательство, 2019. 448 с.
3. Глебов Ф.З., Джансеитов К.К. О скорости заболачивания Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. 1983. № 3. С. 144–147.
4. Жучкова В.К., Раковская Э.М. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Академия, 2004. 368 с.
5. Игошина К.Н. Растительность Верхне-Камского округа // Труды Перм. биол. науч.-исслед. ин-та. 1930. Т. 3. Вып. 2. С. 73–175.
6. Иванов К.Е. Основы гидрологии болот лесной зоны. Л.: Гидрометеоздат, 1957. 500 с.
7. Кузьмин Г.Ф. Болота и их использование. СПб.: Изд-во НИИ торфяной промышленности, 1993. Вып. 70. 140 с.
8. Лавренко Е.М., Корчагин А.А. Полевая геоботаника. Т. 3. Заложение экологических профилей и пробных площадей. М.: Наука, 1964. 530 с.
9. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Использование данных дистанционного зондирования в изучении перестроек речной сети (на примере верхней Камы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 105–117. doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-105-117.
10. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Реконструкция этапов развития Кельтминской ложбины по геоморфологическим данным (Предуралье) // География и природные ресурсы. 2019. №3. С. 154–164. doi: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-3(154-164).
11. Назаров Н.Н. Современный экзогенный морфогенез ландшафтов тасжного Предуралья и Урала (западный склон): дис.... докт. геогр. наук. СПб., 1996. 433 с.
12. Назаров Н.Н., Фролова И.В. Возраст и современное развитие ландшафтов Камско-Кельтминской низменности (бассейн верхней Камы) // Вестник Московского ун-та. География. Сер. 5. 2022. № 5. С. 41–51.
13. Нейштатт М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 39–47.
14. Сукачев В.Н. Избранные труды в трех томах / под ред. Е.М. Лавренко. Т. 2: Проблемы болотоведения, палеоботаники и палеогеографии. Л.: Наука, 1973. 352 с.
15. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
16. Терехин Э.А. Применение данных спутниковой съемки для анализа многолетних изменений в лесах Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 70–80.
17. Edvardsson J., Poska A., Van der Putten N., Rundgren M., Linderson H., Hammarlund D. Late-Holocene expansion of a south Swedish peatland and its impact on marginal ecosystems: Evidence from dendrochronology, peat stratigraphy and palaeobotanical data // The Holocene. 2014. Vol. 24(4). pp. 466–476. doi: 10.1177/0959683613520255.
18. Dribault Y., Chokmani K., Bernier M. Monitoring Seasonal Hydrological Dynamics of Minerotrophic Peatlands Using Multi-Date GeoEye-1 Very High Resolution Imagery and Object-Based Classification // Remote Sensing. 2012. Vol. 4(7). pp. 1887–1912. doi: 10.3390/rs4071887.
19. Gorham E. Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming // Ecological Applications. 1991. Vol. 1. pp. 182–195. doi: 10.2307/1941811.
20. Granlund L., Vesakoski V., Sallinen A., Kolari T.H.M., Wolff F., Tahvanainen T. Recent Lateral Expansion of Sphagnum Bogs Over Central Fen Areas of Boreal Aapa Mire Complexes // Ecosystems. 2022. Vol. 25. pp. 1455–1475. doi: 10.1007/s10021-021-00726-5.
21. Kolari T.H.M., Korpelainen P., Kumpula T., Tahvanainen T. Accelerated vegetation succession but no hydrological change in a boreal fen during 20 years of recent climate change // Ecol Evol. 2021. Vol. 11. pp. 7602–7621. doi: 10.1002/ece3.7592.
22. Kolari T.H.M., Sallinen A., Wolff F. Ongoing Fen–Bog Transition in a Boreal Aapa Mire Inferred from Repeated Field Sampling, Aerial Images, and Landsat Data // Ecosystems. 2022. Vol. 25. pp. 1166–1188. doi: 10.1007/s10021-021-00708-7.
23. Korhola A. Radiocarbon Evidence for Rates of Lateral Expansion in Raised Mires in Southern Finland // Quaternary Research. 1994. Vol. 42(3). pp. 299–307. doi: 10.1006/qres.1994.1080.
24. Le Stum-Boivin É., Magnan G., Garneau M., Fenton N., Grondin P., Bergeron Y. Spatiotemporal evolution of paludification associated with autogenic and allogenic factors in the black spruce–moss boreal forest of Québec, Canada // Quaternary Research. 2018. Vol. 91(2). pp. 650–664. doi: 10.1017/qua.2018.101.
25. Loisel J., van Bellen S., Pelletier L., Talbot J., Hugelius G., Karran D., Yu Z., Nichols J., Holmquist J. Insights and issues with estimating northern peatland carbon stocks and fluxes since the Last Glacial Maximum // Earth-Science Reviews. 2017. Vol. 165. pp. 59–80. doi: 10.1016/j.earscirev.2016.12.001.
26. Loisel J., Yu Z., Beilman D.W., Camill P., Alm J., Amesbury M.J., Anderson D., Andersson S., Bochicchio C., Barber K., Belyea L. R., Bunbury J., Chambers F. M., Charman D.J., De Vleeschouwer F., Fialkiewicz-Koziel B., Finkelstein S.A., Galka M., Garneau M., Zhou W. A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation // The Holocene. 2014. Vol. 24(9). pp. 1028–1042. doi: 10.1177/0959683614538073.
27. Maukila M. Holocene lateral expansion, peat growth and carbon accumulation on Haukkasuo, a raised bog in southeastern Finland // Boreas. 1997. Vol. 26. pp. 1–14. doi: 10.1111/j.1502-3885.1997.tb00647.x.
28. Pilon L.-M., Garneau M., van Bellen S., Lamothe M. Multiproxy analysis of inception and development of the Lac-à-la-Tortue peatland complex, St Lawrence Lowlands, eastern Canada // Boreas. 2018. Vol. 47. pp. 1084–1101. doi: 10.1111/bor.12337.
29. Schaffhauser A., Payette S., Garneau M., Robert É.C. Soil paludification and Sphagnum bog initiation: the influence of indurated podzolic soil and fire // Boreas. 2017. Vol. 46. pp. 428–441. doi: 10.1111/bor.12200.
30. Sheng Y., Smith L.C., MacDonald G.M., Kremenetski K.V., Frey K.E., Velichko A.A., Lee M., Beilman D.W., Dubinin P. A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool // Global Biogeochem. Cycles. 2004. Vol. 18. GB3004. doi: 10.1029/2003GB002190.
31. Yu Z., Loisel J., Brosseau D.P., Beilman D.W., Hunt S.J. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum // Geophys. Res. Lett. 2010. Vol. 37. L13402. doi: 10.1029/2010GL043584.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

References

1. Genkel, A.A. (1974), Marshes of Perm region. *Uchenye zapiski Biogeografiya i kraevedenie*, vol. 131, no. 2, pp. 4–85.
2. *Gidrometeorologicheskij rezhim i vodnyj balans verkhovykh bolot Severo-Zapada Rossii (na primere bolota Lammin-Suo)* (2019), Izd. Svoe izdatel'stvo, St. Petersburg, Russia.
3. Glebov, F.Z., Dzhanseitov, K.K. (1983), On the rate of swamping of the West Siberian Plain, *Geography and Natural Resources*, no. 3, pp. 144–147.
4. Zhuchkova, V.K. Rakovskaya, E.M. (2004), *Metody kompleksnykh fiziko-geograficheskikh issledovaniy* [Methods of complex physical geography research], Izd. Akademija, Moscow, Russia.
5. Igoshina, K.N. (1930), Vegetation of the Upper Kama region. *Trudy Perm. biolog. nauch.-issled. in-ta*, vol. 3, no. 2, pp. 73–175.
6. Ivanov, K.E. (1957), *Osnovy gidrologii bolot lesnoj zony*, Izd. Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
7. Kuzmin, G.F. (1993), *Bolota i ih ispol'zovanie* [Swamps and their uses], Izd. NII torfjanoy promyshlennosti, St. Petersburg, Russia.
8. Lavrenko, E.M., Korchagin, A.A. (1964), *Polevaya geobotanika. T. 3. Zalozhenie jekologicheskikh profilej i probnykh ploshhadej* [Field geobotany. V. 3. Establishment of ecological profiles and trial sites], Izd. Nauka, Moscow, USSR.
9. Nazarov, N.N., Kopytov, S.V. (2019), The use of remote sensing data in the study of river network reorganization (by example of the Upper Kama). *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, vol. 16, no. 1, pp. 105–117. doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-105-117.
10. Nazarov, N.N., Kopytov, S.V. (2019), Reconstructing the evolution stages of the Kel'tma hollow from geomorphological data (Pre-Ural region). *Geography and Natural Resources*, no. 3, pp. 154–164. doi: 10.21782/GIPRO206-1619-2019-3(154-164).
11. Nazarov, N.N. (1996), *Sovremennyy jekzogennyj morfogenez landshaftov taezhnogo Predural'ja i Urala (zapadnyj sklon): dis. dokt. geogr. nauk* [Modern exogenous morphogenesis of landscapes of the taiga Cis-Urals and the Urals (Western slope): Thesis of Doc. geogr. Sciences], St. Petersburg, Russia.
12. Nazarov, N.N., Frolova, I.F. (2022), Age and recent evolution of landscape elements of the Kama-Keltma lowland (the Upper Kama River basin). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, no. 5, pp. 41–51.
13. Neishtadt, M.I. (1977), Occurrence and rate of development of the swamping process. *Scientific prerequisites for the development of swamps in Western Siberia*, Izd. Nauka, Moscow, USSR, pp. 39–47.
14. Sukachev, V.N. (1973), *Izbrannye trudy v treh tomah. T. 2: Problemy bolotovedenija, paleobotaniki i paleogeografii* [Selected works in three volumes. Vol. 2: Problems of swamp science, paleobotany and paleogeography], Izd. Nauka, Leningrad, USSR.
15. Sukachev, V.N., Zonn, S.V. (1961), *Metodicheskie ukazaniya k izucheniju tipov lesa*, Izd. Akademii Nauk USSR, Moscow, USSR.
16. Terekhin, E.A. (2013), Using remote sensing data for the analysis of long-term changes in the forests of the Belgorod region. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, vol. 10, no. 2, pp. 70–80.
17. Edvardsson, J., Poska, A., Van der Putten, N., Rundgren, M., Linderson, H., Hammarlund, D. (2014), Late-Holocene expansion of a south Swedish peatland and its impact on marginal ecosystems: Evidence from dendrochronology, peat stratigraphy and palaeobotanical data. *The Holocene*, vol. 24, no. 4, pp. 466–476. doi: 10.1177/0959683613520255.
18. Dribault, Y., Chokmani, K., Bernier, M. (2012), Monitoring Seasonal Hydrological Dynamics of Minerotrophic Peatlands Using Multi-Date GeoEye-1 Very High Resolution Imagery and Object-Based Classification. *Remote Sensing*, vol. 4, no. 7, pp. 1887–1912. doi: 10.3390/rs4071887.
19. Gorham, E. (1991), Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, vol. 1, pp. 182–195. doi: 10.2307/1941811
20. Granlund, L., Vesakoski, V., Sallinen, A., Kolari, T.H.M., Wolff, F., Tahvanainen, T. (2022), Recent Lateral Expansion of Sphagnum Bogs Over Central Fen Areas of Boreal Aapa Mire Complexes. *Ecosystems*, vol. 25, pp. 1455–1475. doi: 10.1007/s10021-021-00726-5.
21. Kolari, T.H.M., Korpelainen, P., Kumpula, T., Tahvanainen, T. (2021), Accelerated vegetation succession but no hydrological change in a boreal fen during 20 years of recent climate change. *Ecol. Evol.*, vol. 11, pp. 7602–7621. doi: 10.1002/ece3.7592.
22. Kolari, T.H.M., Sallinen, A., Wolff, F. (2022), Ongoing Fen–Bog Transition in a Boreal Aapa Mire Inferred from Repeated Field Sampling, Aerial Images, and Landsat Data. *Ecosystems*, Vol. 25, pp. 1166–1188. doi: 10.1007/s10021-021-00708-7.
23. Korhola, A. (1994), Radiocarbon Evidence for Rates of Lateral Expansion in Raised Mires in Southern Finland. *Quaternary Research*, vol. 42, no. 3, pp. 299–307. doi: 10.1006/qres.1994.1080.
24. Le Stum-Boivin, É, Magnan, G., Garneau, M., Fenton, N., Grondin, P., Bergeron, Y. (2018), Spatiotemporal evolution of paludification associated with autogenic and allogenic factors in the black spruce–moss boreal forest of Québec, Canada. *Quaternary Research*, vol. 91, no. 2, pp. 650–664. doi: 10.1017/qua.2018.101.
25. Loisel, J., van Bellen, S., Pelletier, L., Talbot, J., Hugelius, G., Karran, D., Yu Z., Nichols, J., Holmquist, J. (2017), Insights and issues with estimating northern peatland carbon stocks and fluxes since the Last Glacial Maximum. *Earth-Science Reviews*, vol. 165, pp. 59–80. doi: 10.1016/j.earscirev.2016.12.001.
26. Loisel, J., Yu Z., Beilman, D.W., Camill, P., Alm, J., Amesbury, M.J., Anderson, D., Andersson, S., Bochicchio, C., Barber, K., Belyea, L. R., Bunbury, J., Chambers, F. M., Charman, D.J., De Vleeschouwer, F., Fialkiewicz-Kozielec, B., Finkelstein, S.A., Galka, M., Garneau, M., Zhou, W. (2014), A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. *The Holocene*, vol. 24, no. 9, pp. 1028–1042. doi: 10.1177/0959683614538073.
27. Maukila, M. (1997), Holocene lateral expansion, peat growth and carbon accumulation on Haukkasuo, a raised bog in southeastern Finland. *Boreas*, vol. 26, pp. 1–14. doi: 10.1111/j.1502-3885.1997.tb00647.x.
28. Pilote, L.-M., Garneau, M., van Bellen, S., Lamothe, M. (2018), Multiproxy analysis of inception and development of the Lac-à-la-Tortue peatland complex, St Lawrence Lowlands, eastern Canada. *Boreas*, vol. 47, pp. 1084–1101. doi: 10.1111/bor.12337.
29. Schaffhauser, A., Payette, S., Garneau, M., Robert, É.C. (2017), Soil paludification and Sphagnum bog initiation: the influence of indurated podzolic soil and fire. *Boreas*, vol. 46, pp. 428–441. doi: 10.1111/bor.12200.
30. Sheng, Y., Smith, L.C., MacDonald, G.M., Kremenetski, K.V., Frey, K.E., Velichko, A.A., Lee, M., Beilman, D.W., Dubinin, P. (2004), A high-resolution GIS-based inventory of the West Siberian peat carbon pool. *Global Biogeochem. Cycles*, vol. 18, GB3004. doi: 10.1029/2003GB002190.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Назаров Н.Н., Копытов С.В., Абдулманова И.Ф., Белоусова А.П., Фролова И.В.

31. Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D.P., Beilman, D.W., Hunt, S.J. (2010), Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 37, L13402, doi: 10.1029/2010GL043584.

Статья поступила в редакцию: 25.01.2023; одобрена после рецензирования: 17.02.2023; принята к опубликованию: 06.03.2023.

The article was submitted: 25 January 2023; approved after review: 17 February 2023; accepted for publication: 6 March 2023.

Информация об авторах

Information about the authors

Николай Николаевич Назаров

доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет;

614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: nazarov@psu.ru

Nikolai N. Nazarov

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Сергей Владимирович Копытов

кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет;

614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: kopytov@psu.ru

Sergei V. Kopytov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Ирина Фиргатовна Абдулманова

магистрант кафедры биогеоценологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет;

614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: a.ir-flora@mail.ru

Irina F. Abdulmanova

Master's Degree Student, Department of Biogeocenology and Environmental Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Анна Павловна Белоусова

кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет;

614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: uran399@mail.ru

Anna P. Belousova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Ирина Викторовна Фролова

кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет;

614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: irvik13@gmail.com

Irina V. Frolova

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Вклад авторов

Назаров Н.Н. – идея статьи, написание статьи.

Копытов С.В. – идея статьи, обработка, анализ и визуализация полевых данных, написание статьи.

Абдулманова И.Ф. – обработка и анализ полевых данных, написание статьи.

Белоусова А.П. – обработка, анализ и визуализация данных спутниковой съемки, написание статьи.

Фролова И.В. – редактирование статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Nikolai N. Nazarov – the idea of the article; writing of the article.

Sergei V. Kopytov – collection, processing and visualization of field data; writing of the article.

Irina F. Abdulmanova – collection and processing of field data; writing of the article.

Anna P. Belousova – collection, processing and visualization of remote sensing data; writing of the article.

Irina V. Frolova – editing of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.