

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ
РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ПЕРИОДИЧНОСТИ
ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ СЕБЕЖСКОГО ПООЗЕРЬЯД. А. КУПРИЯНОВ^{1), 2)}, Н. М. ПИСАРЧУК³⁾, А. Е. ШАТУНОВ¹⁾, К. А. БОРОДИНА¹⁾¹⁾Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия²⁾Институт археологии РАН, ул. Дмитрия Ульянова, 19, 117292, г. Москва, Россия³⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты изучения отложений нового разреза болота Шкреды на ключевом участке в пределах Национального парка «Себежский». Ключевой участок представляет собой типичные для Себежского Поозерья геосистемы. Реконструированы эволюция растительного покрова и периодичность лесных пожаров Себежского Поозерья, а также факторы, обуславливавшие смены растительного покрова и пожарных режимов в пределах ключевого участка. Аналогичные исследования для изучаемой территории ранее не проводились. В основе реконструкции лежат данные анализа физико-химических свойств болотных отложений (анализ потерь при прокаливании и гумификации, спорово-пыльцевой и антракологический анализ, ботанический анализ торфа). Относительно небольшой размер выбранного для исследования болота обусловлен индикаторной способностью малых болот отражать локальные смены растительного покрова из-за аккумуляции пыльцы и макроскопических частиц с территории радиусом 1,5–2,5 км от края болота. На основании изменений в составе спектров выделено восемь пыльцевых зон, объединенных в три фазы развития растительности. Данные фазы коррелируют с результатами анализа концентрации макроскопических частиц угля, потерь при прокаливании, оптической плотности, а также с результатами кластерного анализа. Выделенные фазы эволюции растительного покрова соотносятся с изменениями активности лесных пожаров. Фаза I отличается преобладанием хвойно-широколиственных лесов с участием березы и частыми лесными пожарами, обусловленными в первую очередь теплыми и сухими климатическими условиями. Фаза II характеризуется распространением хвойно-широколиственных лесов с участием термофильных

Образец цитирования:

Куприянов ДА, Писарчук НМ, Шатунов АЕ, Бородина КА. Реконструкция эволюции растительного покрова и периодичности лесных пожаров Себежского Поозерья. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2023;1:71–82.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2023-1-71-82>

For citation:

Kupriyanov DA, Pisarchuk NM, Shatunov AE, Borodina KA. Reconstruction of the evolution of the vegetation cover and the frequency of forest fires of the Sebez Poozerie. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2023; 1:71–82. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2023-1-71-82>

Авторы:

Дмитрий Александрович Куприянов – инженер кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета¹⁾, младший научный сотрудник лаборатории контекстуальной антропологии²⁾.

Наталья Михайловна Писарчук – старший преподаватель кафедры физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики.

Антон Евгеньевич Шатунов – магистрант кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета. Научный руководитель – Д. А. Куприянов.

Ксения Андреевна Бородина – магистрант кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета. Научный руководитель – Д. А. Куприянов.

Authors:

Dmitry A. Kupriyanov, engineer at the department of physical geography and landscape studies, faculty of geography^a, and junior researcher at the laboratory of contextual anthropology^b.

dmitriykupriyanov1994@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1441-4039>

Natalia M. Pisarchuk, senior lecturer at the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography and geoinformatics.

pisarchuk@bsu.by
<https://orcid.org/0000-0003-3747-9628>

Anton E. Shatunov, master's degree student at the department of physical geography and landscape studies, faculty of geography.

toxavilli@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7660-6944>

Ksenia A. Borodina, master's degree student at the department of physical geography and landscape studies, faculty of geography.

karina2180@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6962-5701>

элементов при минимальном воздействии пирогенного фактора в условиях более влажного климата. Фаза III выделяется господством березово-сосновых лесов и активным развитием процессов заболачивания с участием лесных пожаров. Трансформация растительного покрова в фазе III была вызвана как климатическими причинами, так и антропогенным воздействием, а лесные пожары имели смешанный генезис в условиях начала активного преобразования природной среды человеком.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ; антракологический анализ; гумификация торфа; потери при прокаливании; болотные отложения; изменения климата; трансформация растительного покрова; лесные пожары.

Благодарность. Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта 20-55-04003 и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта X21PM-043.

RECONSTRUCTION OF THE EVOLUTION OF THE VEGETATION COVER AND THE FREQUENCY OF FOREST FIRES OF THE SEBEZH POOZERIE

D. A. KUPRIYANOV^{a,b}, N. M. PISARCHUK^c, A. E. SHATUNOV^a, K. A. BORODINA^a

^aLomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

^bInstitute of Archeology, Russian Academy of Sciences,
19 Dmitriia Ulianova Street, Moscow 117292, Russia

^cBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: N. M. Pisarchuk (pisarchuk@bsu.by)

The results of the study of sediments of the new section of the Shkredy Bog in the key area within the National Park «Sebezhsky» are presented. This key area represents typical geosystems for the Sebezh Poozerie. The evolution of the vegetation cover and the frequency of forest fires in the Sebezh Poozerie, as well as the factors that caused changes in the vegetation cover and fire regimes within the key area, were reconstructed. Similar studies have not been conducted for the studied area before. The reconstruction is based on the data of analysing the physico-chemical properties of bog sediments (loss on ignition and humification analysis, spore-pollen and anthracological analysis, botanical analysis of peat). The relatively small size of the bog chosen for the study is due to the indicator ability of small bogs to reflect local changes in vegetation cover due to the accumulation of pollen and macroscopic charcoal particles from the territory with a radius of 1.5–2.5 km from the edge of the bog. Based on the changes in the composition of the pollen spectra, eight pollen zones were identified, united into three phases of vegetation development. These phases are correlated with the results of the analysis of macrocharcoal particles, loss on ignition, optical density, and are also supported by cluster analysis. The identified phases of vegetation cover evolution are correlated with changes in forest fire activity. Phase I is characterised by the predominance of coniferous-broadleaf forests with significant birch participation and frequent forest fires caused primarily by warm and dry climatic conditions. Phase II is characterised by the spread of coniferous-broadleaf forests with significant participation of thermophilic species with minimal the impact of the pyrogenic factor in a wetter climate. Phase III is characterised by the dominance of birch-pine forests and the active development of waterlogging processes with the significant participation of forest fires. The transformation of vegetation cover in phase III is caused by both climatic causes and anthropogenic impact, and forest fires had a mixed genesis in the conditions of the beginning of the active transformation of the natural environment by human impact.

Keywords: spore-pollen analysis; anthropological analysis; peat humification; loss of ignition; peat bogs; climate change; vegetation history; forest fires.

Acknowledgements. The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research within the framework of the project 20-55-04003 and Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research within the framework of the project X21PM-043.

Введение

Болотные комплексы, наряду с озерными отложениями, выступают в качестве одного из важнейших палеоархивов природной среды. За счет специфических анаэробных условий в торфяной залежи не только накапливаются остатки растений-торфообразователей, но и сохраняется материал, поступающий с окружающей болото территории (споры и пыльца растений, древесный уголь и различные неорганические вещества). Исследования стратиграфии болотных комплексов способствуют реконструкции процессов, происходивших на прилегающей к болоту территории, а сопоставление разнонаправленных видов ана-

лиза болотных отложений позволяет с высокой долей вероятности идентифицировать эти процессы. В условиях современных глобальных климатических изменений и возрастающего антропогенного пресса на экосистемы особую актуальность приобретает изучение процессов трансформации окружающей среды в прошлом. Интерес представляет установление роли климатического и антропогенного факторов, а также фактора лесных пожаров в трансформации экосистем. Анализ факторов изменчивости этих процессов в прошлом и механизмов их воздействия на болотные комплексы приобретает все большее значение в контексте охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Одним из важнейших методов реконструкции истории окружающей среды по данным изучения болотных отложений является спорово-пыльцевой анализ, который способствует восстановлению хронологии процесса смены растительного покрова в пределах прилегающей к исследуемому палеоархиву территории. Антракологический анализ (анализ концентрации макроскопических частиц угля в торфяной залежи) позволяет выявить периоды воздействия лесных пожаров на изучаемый ландшафт [1], а визуальный анализ прослоев угля в торфе дает возможность установить периоды, когда лесной пожар затронул не только прилегающее к болоту пространство, но и само болото [2; 3]. Показатель гумификации торфа, в свою очередь, выступает в качестве надежного индикатора климатических условий на момент формирования торфяной залежи [4].

Основная цель данного исследования – выявление взаимосвязи между эволюцией растительного покрова и периодичностью лесных пожаров в Себежском Поозерье. В качестве модельного объекта выбрано болото Шкреды, расположенное в пределах Себежского Поозерья на территории Национального парка «Себежский» (Псковская область, Россия). Территория, окружающая болотный комплекс, характеризуется песчаной литогенной основой, что способствует высокой чувствительности растительного покрова к различным нарушениям (в первую очередь к лесным пожарам) за счет влияния на него эдафического фактора [5], а расположение на границе озерной террасы и озовой гряды содействует аккумуляции разнокачественного материала в торфяной залежи.

Материалы и методы исследования

Территория исследования. Изучаемая территория расположена в пределах Национального парка «Себежский». С физико-географической точки зрения она относится к Белорусско-Валдайскому Поозерью и в соответствии со схемой физико-географического районирования [6] располагается на стыке Прибалтийской и Северо-Белорусской ландшафтных провинций лесной области Восточно-Европейской равнины. Согласно схеме ландшафтного районирования А. Г. Исаченко [7] представленная территория находится в зоне бореальных ландшафтов, переходных к суббореальным ландшафтам, на стыке низменных озерно-ледниковых песчаных и супесчаных равнин с холмисто-моренными возвышенностями в области валдайского оледенения. По данным автоматической метеостанции Национального парка «Себежский», территория характеризуется умеренным, умеренно континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха равняется $+4,5^{\circ}\text{C}$. В июле средняя температура составляет $+17^{\circ}\text{C}$, а в январе она достигает -8°C . Осадков выпадает 600–700 мм в год. Рельеф территории сформировался во время отхода валдайского ледника от краевых образований вепсовской стадии к крестецкой. Он характеризуется как волнисто-котловинный, осложненный отдельными моренными холмами, камами и озами [8]. В качестве литогенной основы преобладают водно-ледниковые пески с гравием и галькой, моренные суглинки с прослоями песка и щебня [9]. Заболоченность является относительно небольшой и для территории национального парка составляет около 8 %.

Болото Шкреды (рис. 1) расположено на террасе оз. Нечерица, относящегося к бассейну р. Западной Двины, на стыке флювиогляциальной и озерно-ледниковой равнин с преобладанием песков в качестве литогенной основы. В растительном покрове доминируют сосняки-зеленомошники, характерные для подобных ландшафтов [10]. Однако в целом степень разнообразия растительного покрова представляется относительно высокой: для территории Национального парка «Себежский» описано 860 видов высших сосудистых растений [11].

Изученный комплекс представляет собой типичное мезотрофное болото овальной формы площадью 2,4 га. Относительно небольшой размер выбранного для исследования болота обусловлен индикаторной способностью малых болот отражать локальные смены растительного покрова из-за аккумуляции пылцы и макроскопических частиц с территории радиусом 1,5–2,5 км от края болота [12; 13]. Аналогичная ситуация характерна и для области поступления макроскопических частиц угля [1].

Древесный ярус растительного покрова изучаемого болота представлен видом *Pinus sylvestris* L. с незначительным участием вида *Betula pubescens* Ehrh. Кустарничковый ярус образован видами *Ledum palustre* L. и *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. В травяном ярусе преобладает вид *Eriophorum vaginatum* L. Большая часть болота покрыта мхами рода *Sphagnum*.

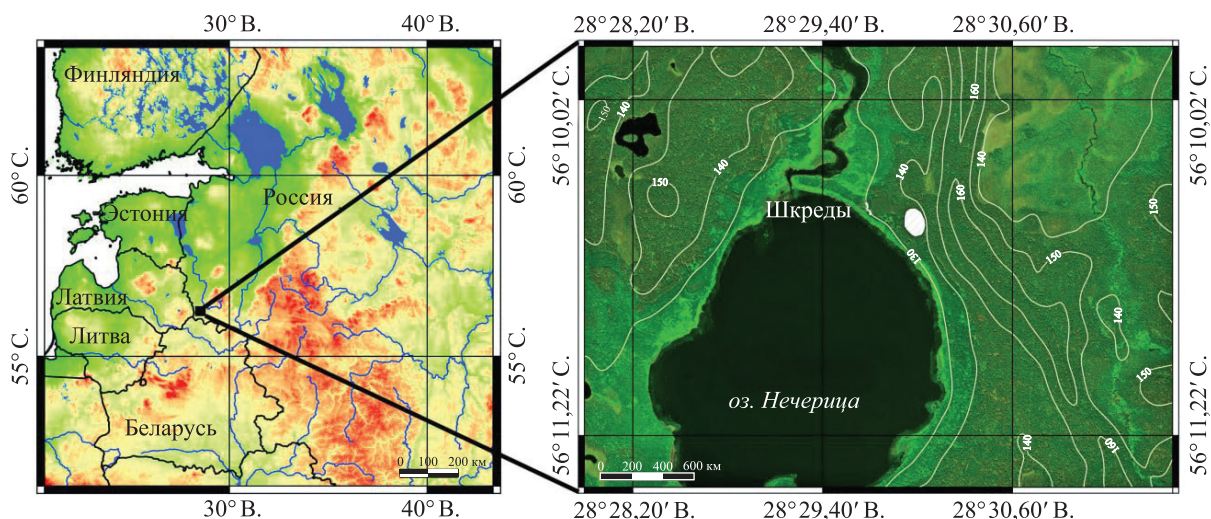


Рис. 1. Расположение болота Шкреды.

Использован космический снимок съемочной системы *GeoEye-1* с пространственным разрешением 1,65 м. Горизонтالي сформированы на основе цифровой модели рельефа SRTM и проведены через каждые 10 м

Fig. 1. Location of Shkredy Bog.

A satellite image of the *GeoEye-1* survey system with a spatial resolution of 1.65 m was used. The contour lines were formed on the basis of the SRTM digital elevation model and were drawn every 10 m

Отбор образцов был произведен в ходе полевых работ, которые проводились в августе 2020 г. Образцы отбирались в точке с максимальной мощностью торфяных отложений (56° 10' 46,17" с. ш., 28° 29' 50,80" в. д.). Бурение осуществлялось торфяным буром Сукачёва Peat Sampler (*Eijkelkamp*, Нидерланды) с диаметром пробоотборника 5 см и длиной 50 см, позволяющим отбирать керны ненарушенного торфа и других отложений до глубины более 10 м.

В результате бурения были вскрыты в общей сложности 520 см отложений, из которых верхние 335 см представлены торфом, подстилаемым 180 см озерных отложений (гиттия). Нижние 5 см отобранной колонки представляют собой органоминеральную смесь со значительным содержанием средне- и крупнозернистого песка флювиогляциального или озерного происхождения. Непосредственно в ходе полевых работ определен предварительный ботанический состав торфяной залежи и проведена фотофиксация угольных прослоев в торфе.

Полученные керны болотных отложений и гиттии были разрезаны через каждые 5 см для анализа потерь при прокаливании и гумификации торфа и через каждый 1 см для анализа концентрации макроскопических частиц угля. Также равномерно из полученной колонки для спорово-пыльцевого анализа были отобраны образцы торфа и гиттии. Для анализа ботанического состава торфа образцы отбирались через каждые 15 см.

Спорово-пыльцевой анализ. Основным методом при изучении болотных отложений являлся спорово-пыльцевой анализ. Спорово-пыльцевые препараты были получены из 26 образцов объемом 2 см³, отобранных через каждые 5–6 см. Лабораторная обработка образцов проводилась по стандартной методике [14] на кафедре физической географии и ландшафтоведения географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Определение пыльцы и спор по разрезу происходило на кафедре физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и выполнялось под микроскопом «Микмед-1» (АО «ЛОМО», Россия) с применением цифровой видеокамеры M35 Base (*Levenhuk*, США). Для определения пыльцевых зерен использовались атласы и пособия Л. А. Куприяновой и других исследователей [15–17] и монография Я. К. Еловичевой [18]. Количество спорово-пыльцевого материала в препарате составляло не менее 500 зерен. Процентное содержание пыльцы рассчитывалось от общей суммы пыльцы древесных, кустарниковых, кустарничковых растений (AP), травянистых, водно-болотных растений (NAP) и споровых растений (Spores):

$$AP + NAP + Spores = 100.$$

Обработка данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы выполнялись с помощью пакета *rioja* в программной среде *R* [19].

Анализ концентрации макроскопических частиц угля. Реконструкции истории лесных пожаров на локальном уровне основаны на анализе концентрации частиц древесного угля и карбонизированных остатков трав, листьев и иголок хвойных деревьев, имеющих линейные размеры более 100–200 мкм,

в озерных и болотных отложениях [1; 20]. Концентрация частиц угля именно такой размерности становится индикатором лесных пожаров, происходивших на расстоянии до 20 км (с максимальной релевантностью до 2–3 км) от изучаемого палеоархива [1]. Механизм поступления макроскопических частиц угля в природный палеоархив схож с механизмом аккумуляции пылицы и спор. Он основан на переносе и выпадении частиц из атмосферы в результате конвективных атмосферных процессов, происходящих в момент теплового воздействия лесных пожаров [21].

Следует сказать, что анализ концентрации макроскопических частиц угля в торфах и озерных отложениях базировался на стандартной методике [22]. Свежий образец объемом 1 см³ отбеливался в 100–120 мл водного раствора NaOCl 10 % концентрации в течение 1 сут и более. Материал органического происхождения отбеливался, но растительные остатки, подвергшиеся воздействию огня и высоких температур, сохраняли свой цвет. Также отбеливанию подвергалась большая часть неорганического материала. В дальнейшем образец промывался дистиллированной водой через сито с размером ячеек 125 мкм и изучался в чашке Петри под биноклем SMZ-171 (*Motic*, Китай) при увеличении в 25–40 раз.

Анализ потерь при прокаливании. Анализ потерь при прокаливании показывает долю сгоревшей органической массы от общей изначальной массы образца. Данный метод выступает в качестве индикатора нарушения напочвенного покрова территории, окружающей озерную или болотную котловину, последующего смыва или ветрового переноса неорганического вещества в торфяник [23]. Нарушения напочвенного покрова могут быть вызваны сильными лесными пожарами или распашкой, что вынуждает интерпретировать результаты применения данного метода только при условии использования других палеоэкологических методов. Данный вид анализа выполнялся по стандартной методике [24] со сжиганием образцов в керамических тиглях в муфельной печи при температуре 550 °С в течение 5 ч.

Ботанический анализ и анализ гумификации торфа. Ботанический анализ макроостатков в торфе проводился с помощью микроскопа Leica M80 (*Leica Microsystems*, Швейцария) с увеличением в 40–50 раз. Определение таксономической принадлежности растительных остатков осуществлялось по атласам [25; 26]. Виды торфа указывались по классификации Тюремнова [27]. В полевых условиях в процессе бурения была определена степень разложения торфа по шкале фон Поста [28].

Анализ гумификации торфа служит дополнительным показателем степени разложения торфяной массы. В свою очередь, степень разложения торфа отражает климатический сигнал в виде изменения гидрологического режима в верхнем слое торфяной залежи [4]. Данный показатель зависит от гидрологических условий болота в период торфонакопления и напрямую коррелирует с климатическими условиями: чем суше и теплее климат, тем меньше влаги содержится в торфяной толще и тем слабее проявляются анаэробные свойства торфа. Это способствует увеличению степени разложения торфа и, соответственно, его гумификации [29]. Определение значений данного показателя производилось по стандартной методике [23] и было основано на количественном подсчете способности экстрагированных раствором NaOH гуминовых кислот пропускать световой поток. Образец торфа высушивался при температуре 50 °С, из него отбиралась навеска 0,2 г и размельчалась в агатовой ступке. Затем образец помещался в 8 % раствор NaOH объемом 100 мл и нагревался при температуре 50 °С в течение 1 ч. В дальнейшем раствор разбавлялся дистиллированной водой до объема 200 мл и фильтровался через бумажный фильтр Whatman No. 1 (*Whatman*, Великобритания). Получившийся фильтрат измерялся с помощью спектрофотометра КФК-3-01 (ОАО «ЗОМЗ», Россия) с длиной волны 540 нм. При измерении использовался средний показатель оптической плотности потока при трехкратной повторности измерения. Для достоверного сопоставления образцов с низким содержанием органического вещества полученные значения были скорректированы в соответствии с результатами анализа потерь при прокаливании с помощью следующего соотношения:

$$D' = \frac{D}{LOI},$$

где D' – значения оптической плотности потока с учетом поправки на потери при прокаливании; D – значения оптической плотности потока; LOI – значения потерь при прокаливании. Для выделения трендов и минимизации ошибок измерения и пробоподготовки при выполнении анализа проводилось сглаживание графика с использованием статистической функции простой скользящей средней.

Результаты и их обсуждение

Сопоставление полученных результатов анализа свойств торфяной залежи с данными спорово-пыльцевого анализа позволяет выделить несколько этапов развития растительного покрова на территории, непосредственно прилегающей к изучаемому палеоархиву (рис. 2). На основании изменений в составе спектров выделено восемь пыльцевых зон.

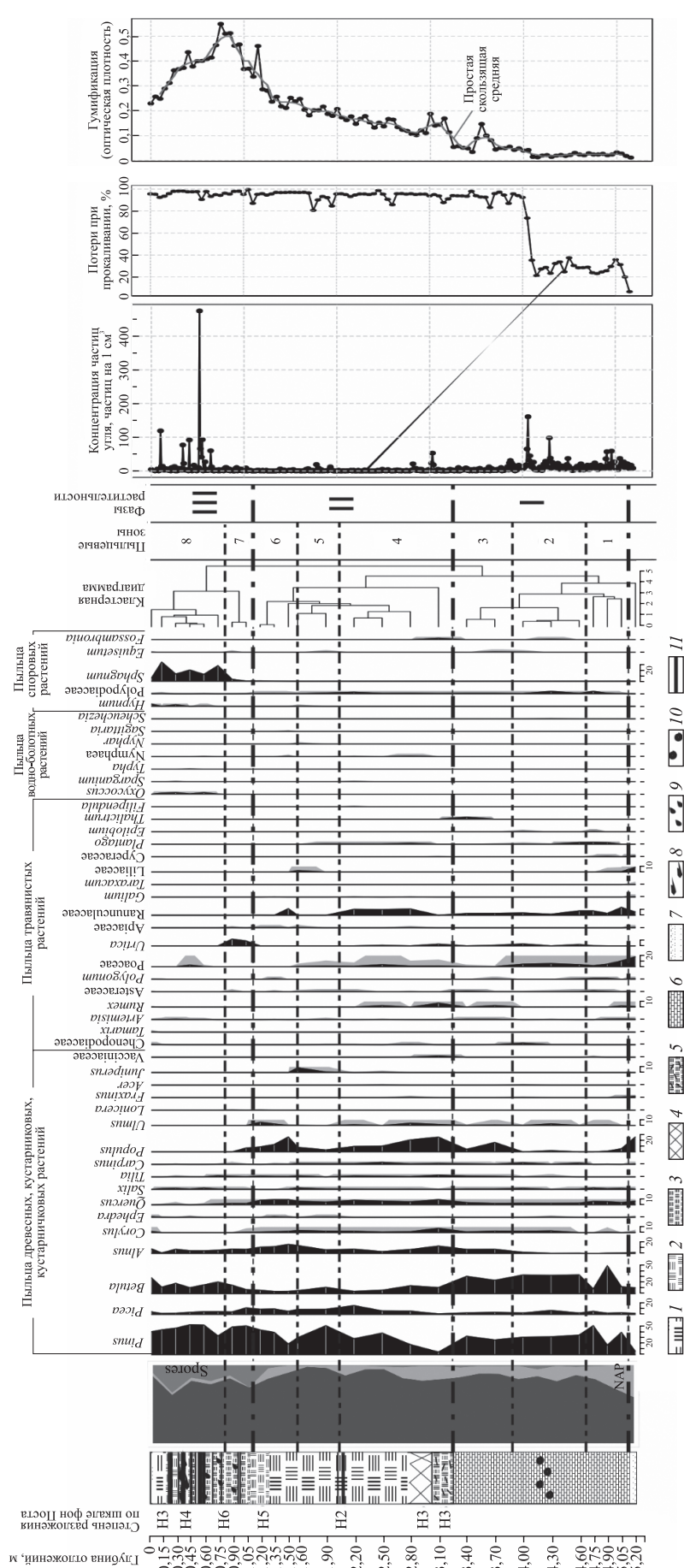


Рис. 2. Отложения болота Шкреды:

- 1 – сфагновый переходный торф; 2 – древесно-сфагновый переходный торф;
 3 – травяно-сфагновый переходный торф; 4 – травяной (вейниково-осоковый) низинный торф;
 5 – гипновый низинный торф; 6 – гиттия; 7 – песок; 8 – прослой древесины;
 9 – включения остатков трав; 10 – включения раковин брюхоногих моллюсков;
 11 – угольные прослой

Fig. 2. Sediments of the Shkredy Bog:

- 1 – sphagnum transitional peat; 2 – woody-sphagnum transitional peat;
 3 – grass-sphagnum transitional peat; 4 – herbal (reed grass-sedge) lowland peat;
 5 – hypnum lowland peat; 6 – gyttia; 7 – sand; 8 – interlayers of wood;
 9 – inclusions of herb residues; 10 – inclusions of gastropod shells; 11 – coal layers

Пыльцевая зона 1 (5,20–4,65 м) характеризуется высоким содержанием пыльцы травянистых растений (до 40 %). Среди NAP господствует пыльца представителей семейств *Ranunculaceae* (20 %) и *Roaceae* (18 %), присутствует пыльца растений родов *Polygonum*, *Rumex* и *Artemisia*, а также семейства *Syraceae*. Доля пыльцы древесных пород составляет 60 %, причем преобладает пыльца представителей рода *Betula* (50 %). Из деревьев встречается пыльца растений родов *Quercus* и *Populus*, из кустарников – пыльца представителей родов *Corylus* и *Salix*, из спор – пыльца растений семейства *Polypodiaceae*. Отложения образованы гиттией, характеризующейся потерями при прокаливании в диапазоне от 5 % на глубинах 5,15–5,20 м до 22–38 % в вышележащих горизонтах, что говорит о преобладании неорганического вещества в составе отложений. Значения гумификации (оптической плотности потока) также очень малы, они колеблются от 0,01 до 0,03 ед. Концентрация макроскопических частиц угля находится в диапазоне от 8 до 57 частиц на 1 см³ (при средних значениях 15 частиц на 1 см³) с ярко выраженными пиками на глубинах 4,96 и 4,91 м. Однако при визуальном анализе прослой угля не были выделены.

В пылевой зоне 2 (4,65–3,90 м) доля древесных пород увеличивается до 85 %. Значительно чаще встречается пыльца растений родов *Pinus* (40 %) и *Betula* (30 %). Относительно предыдущей зоны немного снижается содержание пыльцы представителей рода *Quercus* при увеличении доли пыльцы растений рода *Corylus* и появлении пыльцы представителей родов *Carpinus* и *Ulmus*. Содержание пыльцы перечисленных широколиственных древесных растений не превышает 15 %. Среди трав снижается доля пыльцы представителей семейств *Roaceae* (до 10 %) и *Ranunculaceae* (до 7 %), появляется пыльца растений семейства *Chenopodiaceae*. Из спор встречается пыльца представителей семейства *Polypodiaceae* (прежний уровень концентрации относительно предыдущей зоны) и рода *Fossambroia*. Отложения образованы гиттией, при этом анализ потерь при прокаливании показал стремительный рост значений (с 21 до 92–96 %) в верхней части зоны. Это свидетельствует о резкой смене седиментационных условий (вероятно, о переходе от открытого озерного водоема к закрытому небольшому озеру болотного типа), сопровождавшейся сокращением числа поступающего неорганического материала и резким увеличением количества привносимых органических веществ. Значения гумификации остаются аналогичными показателям оптической плотности потока в предыдущей зоне. Значения средней концентрации макроскопических частиц угля также являются схожими с соответствующими показателями в предыдущей зоне (16 частиц на 1 см³), при этом наблюдаются ярко выраженные пики концентрации макроскопических частиц угля на глубинах 4,29 и 4,05–4,07 м со значениями до 98 и 161 частицы на 1 см³ соответственно. Второй пик концентрации совпадает во времени со сменой седиментационных условий.

Пыльцевая зона 3 (3,90–3,25 м) отличается возрастанием доли древесных растений (до 90 %) за счет появления пыльцы представителей родов *Alnus* и *Populus* (по 20 %). Содержание пыльцы растений рода *Pinus* составляет 35 %, рода *Picea* – 5 %, что меньше, чем в предыдущих зонах. Доля пыльцы представителей родов *Quercus* и *Corylus* находится на уровне пылевой зоны 2. В составе трав появляется пыльца растений рода *Thalictrum*, которая не была зафиксирована в других зонах. Среди выделенных пылевых зон здесь содержание спор является минимальным и не превышает 5 %. Отложения также представлены органической гиттией. Средние значения концентрации макроскопических частиц угля снижаются до 4 частиц на 1 см³. Значения гумификации несколько возрастают и колеблются в диапазоне от 0,02 до 0,15 ед. с минимальными значениями на глубине 3,45 м и максимальными значениями на глубине 3,55 м. Значения потерь при прокаливании остаются стабильно высокими и варьируются в диапазоне от 83 % на глубине 3,85 м до 97 % на глубине 3,75 м. В целом отдельные понижения потерь при прокаливании (ниже 90 %) соответствуют резкому увеличению концентрации макроскопических частиц угля (в 2–3 раза) относительно средних значений.

В пылевой зоне 4 (3,25–2,0 м) снижается содержание пыльцы растений рода *Betula* (до 10 %), возрастает концентрация пыльцы представителей родов *Picea* (до 20 % в верхней части зоны), *Quercus* (10 %), *Populus* (30 %, первый пик концентрации), *Ulmus* (9 %, первый пик концентрации) и *Carpinus*, а также появляется пыльца растений рода *Tilia* и семейства *Vacciniaceae*. Для зоны характерно устойчивое высокое содержание пыльцы представителей семейства *Ranunculaceae* (10 %). Из сопутствующей пыльцы трав встречается пыльца растений семейства *Roaceae*, родов *Rumex*, *Urtica* и *Plantago*. Появляется пыльца водно-болотных растений родов *Nymphaea* и *Sparganium*. Среди спор в начале зоны отмечается незначительное содержание пыльцы представителей рода *Fossambroia*, которая к концу зоны выпадает из спектра и уступает место пыльце представителей семейства *Polypodiaceae*. В нижней части зоны отложения образованы гипновыми и травяными низинными торфами, сменяющимися переходными сфагновыми торфами. Средняя концентрация макроскопических частиц угля снижается до 2 частиц на 1 см³ с резким увеличением до 53 частиц на 1 см³ на глубинах 3,02–3,05 м и до 21 частицы на 1 см³ на глубине 2,82 м. Угольные прослойки визуально не выделены. Значения потерь при прокаливании остаются стабильно высокими (от 94 до 98 %) с незначительным спадом (до 84 %) на глубинах 2,60–2,65 м. Значения гумификации по-прежнему являются низкими и колеблются в пределах 0,1–0,2 ед. с четким плавным трендом на повышение. Отмечается связь между отдельными значениями

гумификации и показателями концентрации макроскопических частиц угля, но при этом аналогичной связи с результатами анализа потерь при прокаливании не наблюдается.

В пылевой зоне 5 (2,0–1,55 м) содержится максимальное количество пыльцы растений рода *Pinus* (55 %), а также встречается пыльца представителей рода *Juniperus*, уникальная для выделенной зоны, при прежних уровнях содержания пыльцы широколиственных и мелколиственных древесных растений. Относительно выше- и нижележащих зон данная зона характеризуется наличием пыльцы растений рода *Salix*. Среди NAP (минимальная концентрация по всему разрезу (3 %)) из спектра выпадает пыльца отмеченных выше травянистых растений и появляется пыльца представителей семейства *Liliaceae*. Из спор присутствует пыльца растений семейства *Polypodiaceae* (прежние значения концентрации относительно предыдущей зоны), появляется пыльца представителей рода *Equisetum* (до 2 %). Как и в предыдущей зоне, отложения образованы сфагновыми переходными торфами. В данной палеозоне значения средней концентрации макроскопических частиц угля и потерь при прокаливании остаются на том же уровне с резкими увеличениями концентрации на глубинах 1,93 и 1,79 м, которым соответствуют видимые угольные прослои в торфе. Значения гумификации сохраняют плавный тренд на повышение (от 0,18 до 0,25 ед.). Также наблюдается корреляция между отдельными резкими увеличениями содержания макроскопических частиц угля и снижениями значений потерь при прокаливании и гумификации.

В пылевой зоне 6 (1,55–1,10 м) снижается содержание пыльцы растений рода *Pinus* (до 45 %), сохраняются прежние значения концентрации пыльцы представителей родов *Picea* и *Betula*, возрастает доля пыльцы растений родов *Alnus* и *Quercus*, наблюдаются вторые пики содержания пыльцы представителей родов *Populus* и *Ulmus*, появляется пыльца растений рода *Ephedra*, а также сокращается концентрация пыльцы представителей рода *Corylus*. Пыльцы травянистых растений, в основном растений семейства *Ranunculaceae* с участием представителей семейства *Asteraceae* и рода *Polygonum*, содержится до 25 %. Встречается пыльца водно-болотных растений родов *Nymphaea*, *Nyphar* и *Sagittaria*. Концентрация пыльцы спор является незначительной и увеличивается к концу зоны за счет присутствия пыльцы представителей семейства *Polypodiaceae* и появления в спектрах пыльцы растений рода *Sphagnum*. Отложения образованы сфагновыми и древесно-сфагновыми переходными торфами. Средняя концентрация макроскопических частиц угля падает до значения менее 1 частицы на 1 см³, отдельные пики концентрации не наблюдаются. Также не встречаются угольные прослои. Значения потерь при прокаливании находятся в диапазоне от 95 до 97 %, за исключением образца, извлеченного с глубин 1,10–1,15 м (значения потерь при прокаливании снижаются до 87 %). Значения гумификации увеличиваются от 0,21 до 0,46 ед. Глубина максимального значения совпадает с глубиной минимальных значений потерь при прокаливании.

Пылевая зона 7 (1,10–0,80 м) отличается резкой сменой общего состава: концентрация AP составляет 70 %, NAP – 2 %, Spores – 28 %. Из древесных растений высокие значения имеет пыльца представителей рода *Pinus* (до 50 %), тогда как содержание пыльцы растений рода *Alnus* снижается до 7 %, представителей родов *Picea* и *Populus* – до 5 % и растений рода *Quercus* – до 2 %, выпадает из спектра пыльца представителей рода *Ulmus*. Среди NAP пика достигает доля пыльцы растений рода *Urtica*. Среди спор плавно возрастает содержание пыльцы представителей рода *Sphagnum* (до 15 %). Отложения образованы древесно-сфагновыми и травяно-сфагновыми переходными торфами. Средняя концентрация макроскопических частиц угля возрастает до 3 частиц на 1 см³, но значения потерь при прокаливании остаются высокими (96–99 %), что соответствует торфам верхового типа. Отдельные резкие увеличения концентрации макроскопических частиц угля до 10 частиц на 1 см³ коррелируют с визуально различимыми угольными прослоями. Показатели гумификации достигают максимальных значений для всей литологической колонки (0,36–0,51 ед.), что говорит о высокой степени разложения торфяной массы.

Пылевая зона 8 (0,80–0 м) соответствует верхней части разреза. Для нее характерно возрастание концентрации пыльцы спор (до 35 %), преимущественно рода *Sphagnum*. В верхней части зоны появляется пыльца представителей рода *Hypnum*. Концентрация пыльцы растений рода *Betula* возрастает до 20 %, тогда как содержание пыльцы представителей рода *Picea* снижается до 3 %. Вновь появляется пыльца растений рода *Salix*. Из травянистых растений встречается пыльца представителей семейства *Roaceae* и рода *Artemisia*, а в верхней части зоны – пыльца растений семейства *Chenopodiaceae* и рода *Polygonum*. На протяжении всей зоны присутствует пыльца представителей рода *Oxycoccus* (до 4 %). Отложения также образованы сфагновыми торфами. Средние значения концентрации макроскопических частиц угля в торфе резко возрастают до 18 частиц на 1 см³, при этом отмечаются значительные пики концентрации на глубинах 0,65; 0,52–0,56; 0,42; 0,35 и 0,10–0,12 м, которым соответствуют визуально видимые прослои угля в торфе. Значения потерь при прокаливании колеблются в диапазоне от 90 до 98 %, но отдельные понижения значений в целом коррелируют с самыми значительными пиками концентрации макроскопических частиц угля. Это говорит о том, что зафиксированный поток выпавшего на поверхность торфяника угля сопровождался синхронным привнесением в болотную котловину неорганического вещества в результате пожаров в непосредственной близости от болота.

Согласно полученным результатам в спорово-пыльцевых спектрах изученного разреза преобладает пыльца деревьев и кустарников (60–98 %), в основном родов *Pinus*, *Picea*, *Betula*, *Alnus* и *Populus*. Пыльца широколиственных древесных растений родов *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* и *Carpinus* присутствует в небольшом количестве (3–10 %), преимущественно в центральной части разреза. Концентрация травянистых растений достигает наибольших значений в нижней части разреза (до 30 %). Основными из них являются представители семейств *Roaceae*, *Ranunculaceae* и *Chenopodiaceae*, а также родов *Urtica*, *Rumex*, *Polygonum* и др. Среди спор главным образом в верхней части разреза (до 35 %) широко распространена пыльца растений семейства *Polypodiaceae* и родов *Sphagnum*, *Hypnum*.

Выделенные пыльцевые зоны соответствуют трем фазам развития растительности (см. рис. 2). Фаза I характеризуется преобладанием хвойно-широколиственных лесов с участием березы в древостое. Высокая концентрация макроскопических частиц угля (и сопутствующие им колебания значений потерь при прокаливании) в отложениях фазы свидетельствует о большой роли лесных пожаров в формировании растительных сообществ. Вероятно, именно обилие лесных пожаров могло способствовать участию березы в древостоях. При стратиграфии отложений аналогичные фазы развития растительности были зафиксированы в разрезах «Освея», «Лозовики» [30] и «Межужол» [31] на севере Беларуси, «Старосельский мох» на юге Валдайской возвышенности [32], «Кокоревское» в пределах Полистово-Ловатской болотной системы [33], а также (но с несколько меньшим участием широколиственных пород) на юго-востоке Латвии [34]. Аналогичная корреляция между содержанием пыльцевых спектров и концентрацией макроскопических частиц угля в отложениях выявлена в разрезе «Кривецкий мох» на северо-западе Валдайской возвышенности [35].

В фазе II по-прежнему сохранялись хвойно-широколиственные леса с более значительным участием термофильных элементов в составе древесного яруса. Показатели концентрации макроскопических частиц угля и потерь при прокаливании свидетельствуют о том, что пирогенное воздействие на экосистемы было эпизодическим и не приводило к коренным сменам растительных сообществ. Вместе с тем показатель гумификации указывает на низкую степень разложения торфа. Это является косвенным индикатором относительно влажных климатических условий, которые благоприятствуют участию термофильных элементов в составе растительных сообществ и не способствуют возникновению лесных пожаров. Также о влажных условиях свидетельствует появление в спектрах пыльцы водно-болотных растений, что может говорить об увеличении обводненности территории. Усиление роли широколиственных пород в составе древостоя характерно практически для всех разрезов изучаемого региона в пределах временного интервала 9000–7500 календарных лет назад и примыкающих к нему районов [30–34]. Почти идентичная корреляция палинологических данных с низкими показателями концентрации макроскопических частиц в торфе и гумификации зафиксирована в разрезе «Кривецкий мох» на северо-западе Валдайской возвышенности [35].

Фаза III характеризуется преобладанием березово-сосновых лесов с повсеместным развитием процессов заболачивания лесных геосистем, о чем свидетельствует появление в спектрах пыльцы растений рода *Sphagnum* в больших количествах. На протяжении всей фазы характерными были частые лесные пожары, сопровождающиеся незначительным притоком неорганического вещества в болотную котловину. Анализ гумификации торфа свидетельствует о том, что относительно сухие климатические условия были свойственны в первую очередь первым двум третьим фазы, а для последней трети фазы климатические условия отличались меньшей тепло- и влагообеспеченностью (вероятно, данный этап соответствует малому ледниковому периоду [32; 36]). Вместе с тем активность лесных пожаров сохранялась на том же уровне, что косвенно говорит о высокой пирогенной активности в экосистемах. Это объясняется как естественным климатическим фактором, так и антропогенным прессом. В целом такая ситуация характерна для большинства ландшафтов с песчаной литогенной основой (как более чувствительных к пожарам) центральной части Восточно-Европейской равнины [37; 38]. Аналогичная картина синхронного снижения доли пыльцы растений рода *Picea* и увеличения содержания пыльцы представителей рода *Betula* в пыльцевых спектрах отмечена и для болота Освея [30]. Эта смена интерпретируется как иссушение климата. В случае разреза «Шкреды» данный факт подтверждается результатами анализа гумификации торфа, где показан резкий рост степени разложения торфа, вызванного, вероятно, снижением уровня болотных вод.

Косвенно об этом свидетельствует усиление роли пыльцы антропогенных индикаторов [39] (роды *Artemisia*, *Urtica*, *Rumex*, семейство *Roaceae*). В целом схожие процессы трансформации растительного покрова и появления пыльцы антропогенных индикаторов выявлены практически во всех разрезах изучаемого региона и прилегающих к нему районов [30–34], в том числе не только по палинологическим данным, но и по данным гумификации и антракологического анализа [35].

Отдельно стоит обратить внимание на корреляцию визуально отмеченных угольных прослоев с результатами анализа макроскопических частиц угля. Отмеченные в торфяной залежи угольные прослои в целом совпадают с пиками концентрации макроскопических частиц угля, однако мощность угольного

прослой в большинстве случаев не коррелирует с абсолютными значениями концентрации макроскопических частиц угля. В нижней части литологической колонки, представленной озерными отложениями (гиттией), угольные прослои визуально не выделены, но антракологический анализ показывает значительные концентрации макроскопических частиц угля, что еще раз подтверждает ненадежность метода визуальной фиксации угольных прослоев [40].

Заключение

Проведенные исследования показали, что периодичность лесных пожаров и эволюция растительного покрова на территории Себежского Поозерья взаимосвязаны. Выделены три фазы развития растительности. Фаза I отличается преобладанием хвойно-широколиственных лесов с участием березы и частыми лесными пожарами, обусловленными естественными причинами. Фаза II характеризуется распространением хвойно-широколиственных лесов с присутствием термофильных элементов при минимальном воздействии пирогенного фактора. Фаза III выделяется господством березово-сосновых лесов и развитием процессов заболачивания с участием лесных пожаров. Трансформация растительного покрова в фазе III была вызвана как климатическими причинами, так и антропогенным воздействием, а лесные пожары имели смешанный генезис.

Библиографические ссылки

1. Conedera M, Tinner W, Neff C, Meurer M, Dickens AF, Krebs P. Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews*. 2009;28(5):555–576. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.11.005.
2. Pitänen A, Tolonen K, Jungner H. A basin-based approach to the long-term history of forest fires as determined from peat strata. *The Holocene*. 2001;11(5):599–605. DOI: 10.1191/095968301680223558.
3. Громцев АН. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук; 2008. 226 с.
4. Chambers FM, Booth RK, de Vleeschouwer F, Lamentowicz M, le Roux G, Mauquoy D, et al. Development and refinement proxy-climate indicators from peats. *Quaternary International*. 2012;268:21–33. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.04.039.
5. Фурьев ВВ. Роль пожаров в процессе лесообразования. Курбатский НП, Бузыкин АИ, редакторы. Новосибирск: Наука; 1996. 251 с.
6. Гвоздецкий НА, редактор. Физико-географическое районирование СССР. Москва: Издательство Московского университета; 1968. 576 с.
7. Исаченко АГ. Ландшафты СССР. Ленинград: Издательство Ленинградского университета; 1985. 320 с.
8. Матвеев АВ, редактор. Палеогеография кайнозоя Беларуси. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2002. 228 с.
9. Гембель АВ, Машкова ГВ, Никитин НД. Природа районов Псковской области. Маляревский ВК, редактор. Ленинград: [б. и.]; 1971. 406 с.
10. Иванов ИА, Спасов ВП, Иванов АИ. Почвы Псковской области и их сельскохозяйственное использование. Великие Луки: [б. и.]; 1998. 272 с.
11. Конечная ГЮ. Видовой список сосудистых растений. Национальный парк «Себежский». В: Мусатов ВЮ, Фетисов СА, редакторы. Псковские особо охраняемые природные территории федерального значения. Выпуск 1. Псков: Издательство Псковского областного центра народного творчества; 2005. с. 244–264.
12. Prentice IC. Pollen representation, source area, and basin size: toward a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research*. 1985;23(1):76–86. DOI: 10.1016/0033-5894(85)90073-0.
13. Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation. *Holocene*. 2007;17(2):229–241. DOI: 10.1177/0959683607075837.
14. Гричук ВП. Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа. В: Рихтер ГД, редактор. Проблемы физической географии. Выпуск 8. Москва: Издательство Академии наук СССР; 1940. с. 53–58.
15. Куприянова ЛА, Алешина ЛА. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Том 1. Ленинград: Наука; 1972. 170 с.
16. Куприянова ЛА, Алешина ЛА. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Том 2. Ленинград: Наука; 1972. 183 с.
17. Бобров АЕ, Куприянова ЛА, Литвинцева МВ, Тарасевич ВФ. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Куприянова ЛА, редактор. Ленинград: Наука; 1983. 208 с.
18. Еловичева ЯК. Растительные микрофоссилии плейстоцена и голоцена Беларуси. Минск: БГУ; 2005. 282 с.
19. Juggins S. *Rioja: analysis of quaternary science data, R package version (0.9-15.1)* [Internet]. 2017 [2018 January 4]. 58 p. Available from: <https://cran.r-hub.io/web/packages/rioja/rioja.pdf>.
20. Whitlock C, Bartlein PJ. Holocene fire activity as a record of past environmental change. *Developments in Quaternary Science*. 2003;1:479–490. DOI: 10.1016/S1571-0866(03)01022-4.
21. Clear JL, Molinari C, Bradshaw RH. Holocene fire in Fennoscandia and Denmark. *International Journal of Wildland Fire*. 2014;23(6):781–789. DOI: 10.1071/WF13188.
22. Mooney S, Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat*. 2011;7:1–18.
23. Chambers FM, Beilman DW, 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. *Mires and Peat*. 2010;7:1–10.

24. Dean W. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sediment Research*. 1974;44:242–248. DOI: 10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D.
25. Кац НЯ, Кац СВ, Скобеева ЕИ. *Атлас растительных остатков в торфах*. Москва: Недра; 1977. 371 с.
26. Домбровская ФВ, Коренева ММ, Тюремнов СН. *Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе*. Тюремнов СН, редактор. Москва: Госэнергиздат; 1959. 90 с.
27. Тюремнов СН. *Торфяные месторождения*. Оленин АС, редактор. Москва: Недра; 1976. 487 с.
28. von Post L. Sveriges Geologiska Unders öknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. *Svenska mosskul-turföreningens tidskrift*. 1922;1:1–27.
29. Payne RJ, Blackford JJ. Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska. *Mires and Peat*. 2008;3:1–11.
30. Зерницкая ВП, Матвеев АВ, Ракович ВА, Колосов ИЛ. Позднеледниковая и голоценовая история развития Освейского водно-болотного комплекса на севере Беларуси. *Лімасфера*. 2019;50:26–41.
31. Зерницкая ВП, Новенко ЕЮ. Реконструкция климата Беларуси в позднеледниковье и голоцене. *Наука и инновации*. 2016;9:21–24.
32. Новенко ЕЮ. *Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов*. Москва: Геос; 2016. 227 с.
33. Nosova MB, Novenko EY, Severova EE, Volkova OA. Vegetation and climate changes within and around the Polistovo-Lo-vatskaya mire system (Pskov Oblast, north-western Russia) during the past 10,500 years. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2019;28(2):123–140. DOI: 10.1007/s00334-018-0693-8.
34. Heikkilä M, Seppä H. Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: a pollen-based summer temperature recon-struction and regional comparison. *Boreas*. 2010;39(4):705–719. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2010.00164.x.
35. Mazei Y, Tsyganov A, Bobrovsky M, Mazei N, Kupriyanov D, Gaika M, et al. Peatland development, vegetation history, cli-mate change and human activity in Valdai Uplands (central European Russia) during the Holocene: a multi-proxy palaeoecological study. *Diversity*. 2020;12(12):462. DOI: 10.3390/d12120462.
36. Хотинский НА. *Голоцен Северной Евразии: опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития раститель-ности и климата*. Москва: Наука; 1977. 199 с.
37. Novenko E, Tsyganov A, Volkova E, Kupriyanov DA, Mironenko IV, Babeshko KV, et al. Mid- and Late Holocene vegetation dynamics and fire history in the boreal forest of European Russia: a case study from Meshchera Lowlands. *Palaeogeography, Palaeo-climatology, Palaeoecology*. 2016;459:570–584. DOI: 10.1016/J.PALAEO.2016.08.004.
38. Куприянов ДА, Новенко ЕЮ. Реконструкция истории лесных пожаров в южной части Мордовского заповедника в го-лоцене по данным анализа макроскопических частиц угля в торфе. В: Ручин АБ, редактор. *Труды Мордовского государствен-ного природного заповедника имени П. Г. Смидовича. Выпуск 26*. Саранск: Мордовский государственный природный заповед-ник им. П. Г. Смидовича; 2021. с. 176–192.
39. Носова МБ, Новенко ЕЮ, Зерницкая ВП, Дюжова КВ. Палинологическая индикация антропогенных изменений рас-тительности восточно-европейских хвойно-широколиственных лесов в голоцене. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2014;4:72–84.
40. Ohlson M, Korbøl A, Økland RH. The macroscopic charcoal record in forested boreal peatlands in southeast Norway. *The Ho-locene*. 2006;16(5):731–741. DOI: 10.1191/0959683606hl955rp.

References

1. Conedera M, Tinner W, Neff C, Meurer M, Dickens AF, Krebs P. Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and rele-vance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews*. 2009;28(5):555–576. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.11.005.
2. Pitänen A, Tolonen K, Jungner H. A basin-based approach to the long-term history of forest fires as determined from peat strata. *The Holocene*. 2001;11(5):599–605. DOI: 10.1191/095968301680223558.
3. Gromtsev AN. *Osnovy landshaftnoi ekologii evropeiskikh taezhnykh lesov Rossii* [Fundamentals of landscape ecology of Euro-pean taiga forests in Russia]. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences; 2008. 226 p. Russian.
4. Chambers FM, Booth RK, de Vleeschouwer F, Lamentowicz M, le Roux G, Mauquoy D, et al. Development and refinement proxy-climate indicators from peats. *Quaternary International*. 2012;268:21–33. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.04.039.
5. Furyaev VV. *Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya* [The role of fires in the process of forest formation]. Kurbatskii NP, Buzykin AI, editors. Novosibirsk: Nauka; 1996. 251 p. Russian.
6. Gvozdetzkii NA, editor. *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie SSSR* [Physico-geographical zoning of the USSR]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1968. 576 p. Russian.
7. Isachenko AG. *Landshafty SSSR* [USSR landscapes]. Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta; 1985. 320 p. Rus-sian.
8. Matveev AV, editor. *Paleogeografiya kainozoya Belarusi* [Paleogeography of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences National Academy of Sciences of Belarus; 2002. 228 p. Russian.
9. Gembel' AV, Mashkova GV, Nikitin ND. *Priroda raionov Pskovskoi oblasti* [The nature of the districts of the Pskov region]. Malyarevskii VK, editor. Leningrad: [s. n.]; 1971. 406 p. Russian.
10. Ivanov IA, Spasov VP, Ivanov AI. *Pochvy Pskovskoi oblasti i ikh sel'skokhozyaistvennoe ispol'zovanie* [Soils of the Pskov region and their agricultural use]. Velikiye Luki: [s. n.]; 1998. 272 p. Russian.
11. Konechnaya GYu. [Species list of vascular plants. Sebezshsky National Park]. In: Musatov VYu, Fetisov SA, editors. *Pskovskie osobo okhranyaemye prirodnye territorii federal'nogo znacheniya. Vypusk 1* [Pskov specially protected natural territories of federal significance. Volume 1]. Pskov: Izdatel'stvo Pskovskogo oblastnogo tsentra narodnogo tvorchestva; 2005. p. 244–264. Russian.
12. Prentice IC. Pollen representation, source area, and basin size: toward a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research*. 1985;23(1):76–86. DOI: 10.1016/0033-5894(85)90073-0.
13. Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation. *Holo-cene*. 2007;17(2):229–241. DOI: 10.1177/0959683607075837.

14. Grichuk VP. [Methodology for processing sedimentary rocks poor in organic residues for the purposes of pollen analysis]. In: Rikhter GD, editor. *Problemy fizicheskoi geografii. Vypusk 8* [Problems of physical geography. Volume 8]. Moscow: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR; 1940. p. 53–58. Russian.
15. Kupriyanova LA, Aleshina LA. *Pyl'tsa i spory rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR. Tom 1* [Pollen and spores of plants of the flora of the European part of the USSR. Volume 1]. Leningrad: Nauka; 1972. 170 p. Russian.
16. Kupriyanova LA, Aleshina LA. *Pyl'tsa dvudol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR. Tom 2* [Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. Volume 2]. Leningrad: Nauka; 1972. 183 p. Russian.
17. Bobrov AE, Kupriyanova LA, Litvintseva MV, Tarasevich VF. *Spory paprotnikoobraznykh i pyl'tsa golosemennykh i odnodol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR* [Spores of ferns and pollen of gymnosperms and monocots of the flora of the European part of the USSR]. Kupriyanova LA, editor. Leningrad: Nauka; 1983. 208 p. Russian.
18. Elovicheva YaK. *Rastitel'nye mikrofosfilii pleistotsena i golotsena Belarusi* [Plant microfossils of the Pleistocene and Holocene of Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2005. 282 p. Russian.
19. Juggins S. *Rioja: analysis of quaternary science data, R package version (0.9-15.1)* [Internet]. 2017 [2018 January 4]. 58 p. Available from: <https://cran.r-hub.io/web/packages/rioja/rioja.pdf>.
20. Whitlock C, Bartlein PJ. Holocene fire activity as a record of past environmental change. *Developments in Quaternary Science*. 2003;1:479–490. DOI: 10.1016/S1571-0866(03)01022-4.
21. Clear JL, Molinari C, Bradshaw RH. Holocene fire in Fennoscandia and Denmark. *International Journal of Wildland Fire*. 2014;23(6):781–789. DOI: 10.1071/WF13188.
22. Mooney S, Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat*. 2011;7:1–18.
23. Chambers FM, Beilman DW, 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. *Mires and Peat*. 2010;7:1–10.
24. Dean W. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sediment Research*. 1974;44:242–248. DOI: 10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D.
25. Kats NYa, Kats SV, Skobeeva EI. *Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfakh* [Atlas of plant residues in peat]. Moscow: Nedra; 1977. 371 p. Russian.
26. Dombrovskaya FV, Koreneva MM, Tyuremnov SN. *Atlas rastitel'nykh ostatkov, vstrechaemykh v torfe* [Atlas of plant remains found in peat]. Tyuremnov SN, editor. Moscow: Gosenergoizdat; 1959. 90 p. Russian.
27. Tyuremnov SN. *Torfyanye mestorozhdeniya* [Peat deposits]. Olenin AS, editor. Moscow: Nedra; 1976. 487 p. Russian.
28. von Post L. Sveriges Geologiska Unders öknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. *Svenska mosskul-turföreningens tidskrift*. 1922;1:1–27.
29. Payne RJ, Blackford JJ. Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska. *Mires and Peat*. 2008;3:1–11.
30. Zernitskaya VP, Matveev AV, Rakovich VA, Kolosov IL. Lateglacial and Holocene history of the development of the Osveya wetland complex in the north of Belarus. *Lithosphere*. 2019;50:26–41. Russian.
31. Zernitskaya VP, Novenko EYu. Reconstruction of Belarus climate in the Late Glacial and Holocene periods. *The Science and Innovations*. 2016;9:21–24. Russian.
32. Novenko EYu. *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Tsentral'noi i Vostochnoi Evropy v pozdnem pleistotsene i golotsene v mezhdnukovykh i perekhodnykh etapakh klimaticheskikh makrotsiklov* [Changes in vegetation and climate in Central and Eastern Europe in the Late Pleistocene and Holocene in the interglacial and transitional stages of climatic macrocycles]. Moscow: Geos; 2016. 227 p. Russian.
33. Nosova MB, Novenko EY, Severova EE, Volkova OA. Vegetation and climate changes within and around the Polistovo-Lo-vatskaya mire system (Pskov Oblast, north-western Russia) during the past 10,500 years. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2019;28(2):123–140. DOI: 10.1007/s00334-018-0693-8.
34. Heikkilä M, Seppä H. Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: a pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison. *Boreas*. 2010;39(4):705–719. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2010.00164.x.
35. Mazei Y, Tsyganov A, Bobrovsky M, Mazei N, Kupriyanov D, Galka M, et al. Peatland development, vegetation history, climate change and human activity in Valdai Uplands (central European Russia) during the Holocene: a multi-proxy palaeoecological study. *Diversity*. 2020;12(12):462. DOI: 10.3390/d12120462.
36. Khotinskii NA. *Golotsen Severnoi Evrazii: opyt transkontinental'noi korrelyatsii etapov razvitiya rastitel'nosti i klimata* [Holocene of Northern Eurasia: experience of transcontinental correlation of stages of vegetation and climate development]. Moscow: Nauka; 1977. 199 p. Russian.
37. Novenko E, Tsyganov A, Volkova E, Kupriyanov DA, Mironenko IV, Babeshko KV, et al. Mid- and Late Holocene vegetation dynamics and fire history in the boreal forest of European Russia: a case study from Meshchera Lowlands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2016;459:570–584. DOI: 10.1016/J.PALAEO.2016.08.004.
38. Kupriyanov DA, Novenko EYu. Reconstruction of the Holocene forest fires history in the southern part of the Mordovian State Natural Reserve based on the macrocharcoal analysis of the peat. In: Ruchin AB, editor. *Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve. Volume 26*. Saransk: Mordovia State Nature Reserve; 2021. p. 176–192. Russian.
39. Nosova MB, Novenko EYu, Zernitskaya VP, Djuzhova KV. Palynological indication of anthropogenic plant cover changes in the Eastern-European coniferous-broadleaf forests in the Late Holocene. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2014;4:72–84. Russian.
40. Ohlson M, Korbøl A, Økland RH. The macroscopic charcoal record in forested boreal peatlands in southeast Norway. *The Holocene*. 2006;16(5):731–741. DOI: 10.1191/0959683606h1955rp.

Получена 09.05.2022 / исправлена 22.10.2022 / принята 13.03.2023.
Received 09.05.2022 / revised 22.10.2022 / accepted 13.03.2023.