

УДК 551.89

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА В СРЕДНЕМ И ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

Н. М. ПИСАРЧУК¹⁾, Е. Ю. НОВЕНКО²⁾, Д. Н. КОЗЛОВ²⁾, П. М. ШИЛОВ²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
ул. Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия

Представлены результаты изучения нового разреза на ключевом участке в Центральном-Лесном государственном природном биосферном заповеднике. Отмечены результаты исследования взаимосвязи между изменением климата в среднем и позднем голоцене и развитием ельника сфагново-черничного (*Picetum myrtilloso-sphagnosum*) – типичной геосистемы для подзоны южной тайги на Восточно-Европейской равнине. На основе данных спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования торфяных отложений восстановлена история смен растительных сообществ и климатических изменений, а также оценена интенсивность процессов заболачивания.

Ключевые слова: голоцен; спорово-пыльцевой анализ; ельник сфагново-черничный; Центральном-Лесной государственный заповедник.

Благодарность. Исследования выполнены за счет проекта Российского научного фонда № 16-17-10045.

RECONSTRUCTION OF VEGETATION AND CLIMATE OF THE CENTER FOREST STATE RESERVE IN THE MIDDLE AND LATE HOLOCENE

N. M. PISARCHUK^a, E. Y. NOVENKO^b, D. N. KOZLOV^b, P. M. SHILOV^b

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bLomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
Corresponding author: N. M. Pisarchuk (pisarchuk@bsu.by)

The results of the study of a new section at a key site in the Central Forest State Natural Biosphere Reserve are presented. The results of the study of the relationship between climate change in the Middle and Late Holocene and

Образец цитирования:

Писарчук Н. М., Новенко Е. Ю., Козлов Д. Н., Шилов П. М. Реконструкция растительности и климата Центральном-Лесного заповедника в среднем и позднем голоцене // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 1. С. 64–75.

For citation:

Pisarchuk N. M., Novenko E. Y., Kozlov D. N., Shilov P. M. Reconstruction of vegetation and climate of the Center Forest state reserve in the Middle and Late Holocene. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2018. No. 1. P. 64–75 (in Russ.).

Авторы:

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

Елена Юрьена Новенко – доктор географических наук; ведущий научный сотрудник кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета; старший научный сотрудник лаборатории эволюционной географии Института географии РАН.

Даниил Николаевич Козлов – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета.

Павел Михайлович Шилов – аспирант кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета. Научный руководитель – Д. Н. Козлов.

Authors:

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

pisarchuk@bsu.by

Elena Y. Novenko, doctor of science (geography); leading researcher at the department of physical geography and landscape science, faculty of geography; senior researcher at the laboratory of evolutionary geography, Institute of geography, Russian Academy of Sciences.

lenanov@mail.ru

Daniil N. Kozlov, PhD (geography), docent; associate professor at the department of physical geography and landscape science, faculty of geography.

daniilkozlov@gmail.com

Pavel M. Shilov, postgraduate student at the department of physical geography and landscape science, faculty of geography.

pavelshilovv@yandex.ru

the development of the sphagnum-bilberry spruce forest (*Picetum myrtilloso-sphagnosum*), a typical geosystem for the southern taiga subzone in the East European Plain, are noted. Based on data from spore-pollen analysis and radiocarbon dating of peat deposits, the history of changes in plant communities and climate changes has been restored, and the intensity of bogging processes has been estimated.

Key words: Holocene; pollen analysis; peat accumulation rate; spruce forest; the Central Forest State Reserve.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (grant No. 16-17-10045).

Введение

Изучение отложений Центрально-Лесного заповедника имеет обширную историю. Накопленный опыт и полученные подробные палеоботанические и радиоуглеродные данные позволили подойти к решению важной и актуальной задачи палеогеографических исследований – ретроспективному анализу взаимосвязи климатических изменений, динамики и функционирования лесных и болотных геосистем. Данная научная проблема связана с пониманием некоторых механизмов глобальных климатических изменений, а именно роли торфяных болот и заболоченных лесов как резервного блока углерода в регуляции биогеохимических процессов [1–3]. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата [4], начиная с конца XIX в. средняя температура на Земле увеличилась почти на 1 °С. Принято считать, что эти изменения связаны прежде всего с воздействием антропогенных факторов, приводящих к увеличению содержания парниковых газов в атмосфере. Совершенно очевидно, что исследования скорости заболачивания лесных геосистем в среднем и позднем голоцене, включающем периоды как похолоданий, так и потеплений, необходимы для надежных оценок естественных стоков и источников углерода.

В качестве модельной территории для исследований роли климатического фактора в развитии заболоченных лесов был выбран Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник (ЦЛГПБЗ), расположенный на юге Валдайской возвышенности. Природные комплексы заповедника типичны для южнотаежной подзоны и служат эталоном для обширной области моренного рельефа центральной части Восточно-Европейской равнины. Здесь сохранился уникальный для бореальных лесов Европы исторически сложившийся комплекс южнотаежных ельников [5]. Вследствие слаборасчлененного рельефа и особенностей гидротермического режима территории заболоченные леса здесь широко распространены. Представленные результаты являются исследованиями взаимосвязи между изменением климата в среднем и позднем голоцене (реконструированным при помощи спорово-пыльцевого анализа) и развитием ельника сфагново-черничного; истории смен лесообразующих пород деревьев и процессов заболачивания. Ельник сфагново-черничный – типичная геосистема для подзоны южной тайги Восточно-Европейской равнины, потому проведенные на локальном уровне исследования имеют региональное значение для анализа изменений растительности и скорости торфонакопления на обширных территориях. В большинстве работ, посвященных процессам болотообразования в различных регионах [2; 6–9], рассматриваются крупные болотные системы, в то время как развитие небольших лесных болот и заболоченных лесов остается малоизученным. Однако заболоченные леса в силу своего широкого распространения являются важной составляющей резервуара органического углерода биосферы [10].

Материалы и методы исследований

Исследования были проведены в ельнике сфагново-черничном, расположенном в ядре Центрально-Лесного заповедника (юго-западная часть Валдайской возвышенности) на склоне моренной гряды в пределах выположенного ступенеобразного участка шириной около 600 м. Мощность торфа в пределах изученного участка составляет 20–85 см (рис. 1).

Рельеф заповедника – слабовсхолмленная водораздельная равнина со сглаженными формами и абсолютными отметками высоты 240–270 м над уровнем моря. Территория заповедника находится в области умеренно континентального климата. Средняя многолетняя температура в январе составляет –9 °С, в июле она достигает +17 °С, среднегодовая температура равняется +4 °С, осадков выпадет 700 мм/год (по данным метеостанции в пос. Заповедный [11]).

В современной структуре растительного покрова заповедника доминируют еловые леса (40 %), представленные целостным, относительно ненарушенным массивом. Кроме еловых лесов, коренными формациями являются сосновые леса сфагновой классификационной группы (10 %) и черноольховые леса (1 %), произрастающие в логах, долинах ручьев и рек. Производные леса из березы пушистой, осины и, реже, ольхи серой занимают около 43 % всей территории [12]. В почвенном покрове присутствуют подзолистые, болотно-подзолистые и дерново-подзолистые почвы.

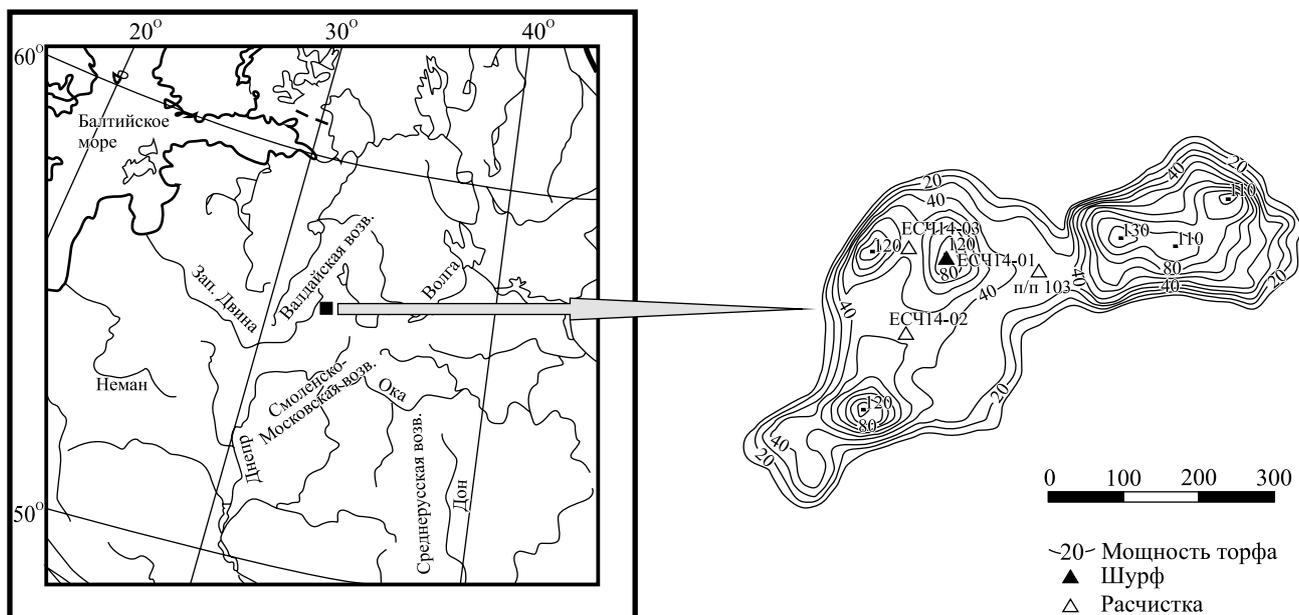


Рис. 1. Положение изучаемой территории и мощность торфяной залежи на ключевом участке
 Fig. 1. Location of the study area. Thickness of peat within the sample plot

Топографическая съемка ключевого участка исследований с детальными примерами глубины торфяной залежи была проведена в ходе полевых работ в 2013 г. На основе этих материалов была составлена карта мощности торфа (см. рис. 1). Отбор образцов на спорово-пыльцевой анализ, определение зольности торфа и радиоуглеродное датирование были выполнены во время полевых и аналитических работ в 2014 г. из шурфа, заложенного в одном из наиболее глубоких участков торфяной залежи. Для оценки скорости линейного прироста торфа были изучены дополнительные небольшие шурфы в пределах ельника сфагново-черничного и отобраны образцы для определения возраста подошвы торфяных отложений.

Образцы для анализа зольности торфа были отобраны из шурфа с интервалом 2 см. Зольность определена методом сухого озоления при температуре 450 °С. Для спорово-пыльцевого анализа торфяной залежи был отобран монолит мощностью 90 см. Образцы на спорово-пыльцевой анализ были отобраны через 1 см. Лабораторная обработка проведена по стандартной методике в Институте географии РАН (ИГ РАН) [13]. Определение пыльцы и спор по разрезу проведено на географическом факультете БГУ. Обработку данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы выполнили с помощью программ *TILIA* и *TILIA-Graph* [14]. Датирование образцов было проведено в Центре коллективного пользования «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН. Для ельника сфагново-черничного получено восемь радиоуглеродных дат (см. таблицу). Калибровка радиоуглеродных дат была проведена в программе *Calib7.1* при помощи калибровочной кривой *IntCal13* [15]. Для калибровки образцов с высокой активностью, отобранных из верхних горизонтов торфа, была применена программа *CaliBomb* [16]. Модель роста отложений (рис. 2) и расчеты скорости накопления торфа были выполнены при помощи программы *Bchron* [17].

Для сопоставления полученных палинологических данных с климатическими условиями территории ЦЛГПБЗ в голоцене были использованы палеоклиматические реконструкции, выполненные методом лучших аналогов по палинологическим данным разреза болота Старосельский мох [18], расположенного в охранной зоне заповедника на расстоянии около 5 км от изученного разреза.

Результаты исследований и их обсуждение

При анализе и интерпретации палинологических данных крайне важен размер территории, с которой пыльца и споры поступают в изучаемые отложения. Моделирование релевантной области поступления пыльцы (*relevant source area of pollen*) в озеро или болото, проведенное группой исследователей [19] в лесистой местности Финляндии, южной Швеции и Прибалтики, показало, что в водоеме небольших размеров (менее 1 га) основное количество пыльцы поступает с территории, имеющей радиус 1,5–2,5 км. Таким образом, спорово-пыльцевые спектры, сформировавшиеся в небольшом заболоченном понижении под кронами деревьев, дают информацию преимущественно о локальной растительности и содержат данные об истории лесного массива, непосредственно окружающего исследуемое пони-

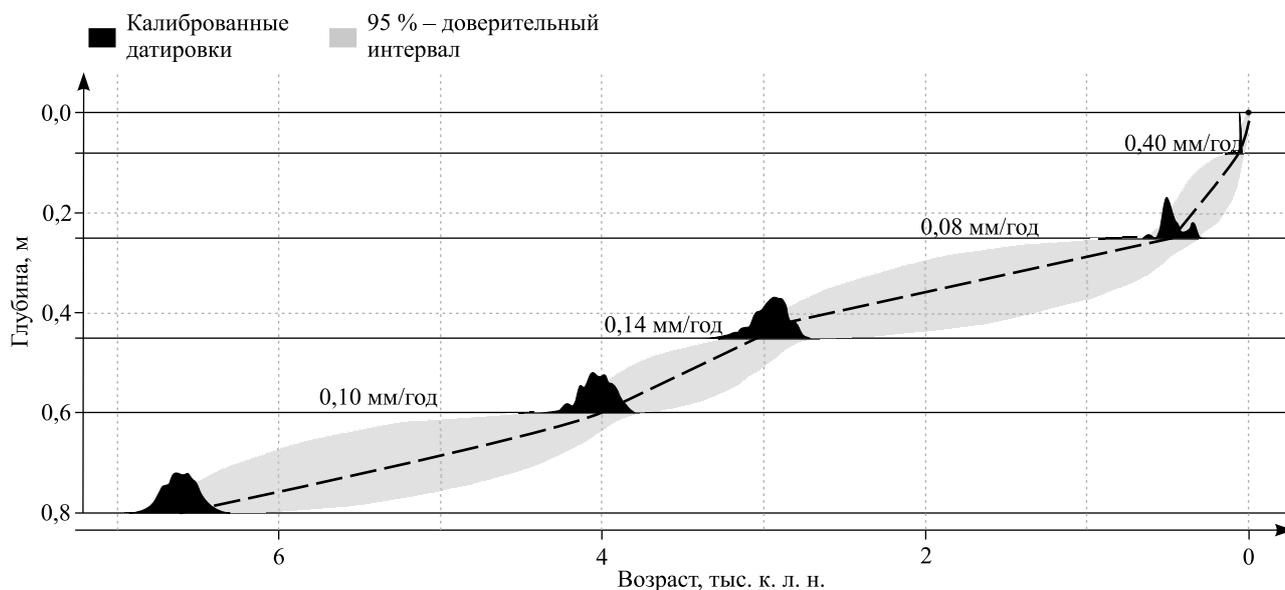


Рис. 2. Модель роста отложений и скорости накопления торфа для разреза «Ельник сфагново-черничный» (ЕСЧ14-01)

Fig. 2. Age-depth model and the rate of peat accumulation for the peat section *Picetum myrtilloso-sphagnosum* (ЕСЧ14-01)

жение. Результаты специальных методических исследований Е. Ю. Новенко и соавторов [20] по изучению соотношения состава спорово-пыльцевых спектров ЦЛГПБЗ и окружающей растительности, основанные на данных 60 поверхностных проб из различных местообитаний, позволяют достоверно реконструировать различные типы лесов заповедника.

Радиоуглеродные датировки в разрезах в ельнике сфагново-черничном

Radiocarbon dating in the sections in *Picetum myrtilloso-sphagnosum*

Лабораторный номер, ИГ РАН	Глубина, см	Датируемые отложения	Возраст, лет назад	Калиброванный возраст, к. л. н.
Расчистка ЕСЧ1				
4721	8–9	Торф	125,07 % ± 2,63 % (современная активность)	cal AD 1955 (вероятность 1.000)
4722	24–25	Торф	440 ± 60	447 (371–523)
4723	44–45	Торф	2830 ± 70	2965 (2871–3059)
4724	59–60	Торф	3690 ± 70	4037 (3938–4136)
4726	84–85	Гиттия	5810 ± 80	6616 (6520–6712)
Расчистка ЕСЧ2				
4727	24–25	Торф	990 ± 60	890 (822–955)
Расчистка ЕСЧ3				
4728	14–15	Торф	134 ± 2,91 % (современная активность)	–
4729	34–35	Торф	1030 ± 60	940 (860–1019)
Постоянная пробная площадь 103 в ельнике сфагново-черничном				
4590	38–40	Торф	1680 ± 70	1600 (1527–1677)

В спорово-пыльцевой диаграмме разреза «Ельник сфагново-черничный» на основании изменений в составе спектров и концентрации пыльцы и спор было выделено семь пыльцевых зон (рис. 3, 4).

Пыльцевая зона 1 (85–88 см) характеризуется высокими содержанием и концентрацией пыльцы древесных пород (до 80 %). Содержание пыльцы березы составляет 50 %, доля пыльцы сосны – до 25 %. На эту зону приходится пик как процентного содержания, так и концентрации пыльцы ольхи. Встречается пыльца таких широколиственных пород, как липа и дуб. Из кустарниковых растений высокие

показатели отмечены для лещины; встречается пыльца *Euonymus*. В группе травянистых растений (содержание пыльцы – до 20 %) ведущими компонентами являются *Poaceae* и *Artemisia*. Встречается пыльца *Brassicaceae*. Обращает на себя внимание значительное содержание спор, главным образом *Polypodiaceae*, отмечено наличие *Pteridium*.

В пыльцевой зоне 2 (70–84 см) наблюдается увеличение доли пыльцы древесных пород до 98 %. Характерно абсолютное доминирование пыльцы березы (до 90 %). Содержание пыльцы ели на прежнем уровне (до 20 % в средней части зоны), участие пыльцы сосны снижается до нескольких процентов. Доля пыльцы *Corylus* становится менее 10 %. Из группы NAP в небольшом количестве отмечена пыльца *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Ranunculaceae*. Содержание спор незначительно.

Пыльцевая зона 3 (42–69 см) характеризуется увеличением доли и особенно концентрации пыльцы широколиственных пород (*Tilia*, *Quercus*, *Ulmus*). Отмечены единичные пыльцевые зерна *Carpinus*. Доля пыльцы сосны возрастает до 20 %. Отмечена тенденция к увеличению доли пыльцы ели в спектрах к верхней части зоны (30–50 %), пыльцы ольхи в верхней части зоны (до 20 %), орешника (до 10 %), появляется пыльца ивы и свидины (*Thelecrania cf. sanguinea*). Группа NAP представлена пылью разнотравья: *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Ranunculaceae*, *Ericaceae*. Спорадически присутствует пыльца злаков и осок. Отмечено наличие пыльцы *Ephedra*, *Cichoreaceae*, *Rosaceae*, *Caryophyllaceae*. Зафиксировано появление в спектрах пыльцы водных растений – *Typha latifolia*, *Nymphaeae*, *Nuphar*. Содержание спор не превышает 10 % (*Sphagnum*, *Polypodiaceae*, *Equisetum*, *Pteridium*).

В пыльцевой зоне 4 (32–40 см) отмечается пик содержания пыльцы ели (до 55 %) и ольхи (до 20 %). Снижается доля сосны и березы. Состав отмеченных травянистых растений более разнообразен, чем в предыдущей зоне. Значительно участие *Artemisia*, *Ericaceae* и *Cyperaceae*.

Для пыльцевой зоны 5 (20–31 см) характерны пик содержания пыльцы березы (до 60 %), уменьшение доли пыльцы ели (до 20 %) и неизменные показатели для пыльцы сосны. Снижается содержание и особенно концентрация пыльцы широколиственных пород. Пыльца ольхи и ивы удерживается на прежнем уровне, доля пыльцы лещины возрастает до 20 %. Из группы травянистых растений высока концентрация пыльцы *Ericaceae*, чуть ниже – *Artemisia*. Отмечена пыльца *Apiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Humulus lupulus*. Содержание спор незначительно.

В пыльцевой зоне 6 (9–21 см) отмечается снижение содержания пыльцы сосны (до 10 %) и березы (до 50 %), пиковое содержание пыльцы ели (60 %). Содержание и концентрация пыльцы широколиственных пород и кустарников аналогичны пыльцевой зоне 4. Доля пыльцы *Alnus* возрастает до 20 %. В группе травянистых растений по содержанию и концентрации пыльцы доминируют *Poaceae*, значительно участие пыльцы *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*, *Polygonaceae*, *Ericaceae*. Отмечена пыльца *Centaurea cyanus*, *Plantago*, *Cichoreaceae*, *Rubiaceae*, *Campanulaceae*. Из пыльцы водных растений встречена *Nymphaeae*, из спор редко – *Sphagnum*.

Пыльцевая зона 7 (0–8 см) соответствует верхней части разреза. Доля AP в спектрах выше 95 %, преобладает пыльца березы (свыше 80 %). Несколько возросло содержание пыльцы сосны на фоне снижения доли пыльцы ели. Тенденция к уменьшению показателей наметилась и у пыльцы ольхи. Группа травянистых растений немногочисленна: *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*. Отмечена пыльца *Urtica*.

Согласно полученным результатам в спорово-пыльцевых спектрах изученного разреза преобладает пыльца деревьев и кустарников (98–95 %), ведущими компонентами являются пыльца березы, ели, сосны и ольхи. Пыльца широколиственных пород (*Tilia*, *Quercus*, *Ulmus*, *Acer*, *Carpinus*) и лещины присутствует в небольшом количестве (3–5 %), но в верхней части разреза (20–0 см) их содержание сокращается вплоть до полного выпадения из спектров. Группа трав немногочисленна. Отмечена пыльца *Poaceae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Ranunculaceae*, *Ericaceae* и некоторых других широко распространенных семейств. В спектрах выявлены споры семейства *Polypodiaceae*, а также родов *Sphagnum*, *Equisetum* и вида *Pteridium*. Максимального обилия споры папоротников семейства *Polypodiaceae* достигают в нижних образцах (88–82 см), где их содержание превышает 300 % по отношению к сумме пыльцы древесных и травянистых растений.

Выделенные пыльцевые зоны соответствуют пяти основным фазам развития растительности (см. рис. 3). Это позволяет рассмотреть историю смен растительных сообществ ключевого участка, развитие процесса заболачивания и их связь с климатическими изменениями начиная с 7000 календарных лет назад (к. л. н.) – поздней фазы атлантического периода голоцена. В период 6700–6600 к. л. н. в условиях более теплого и сухого климата на ключевом участке, в настоящее время занятом ельником сфагново-черничным, были распространены смешанные хвойно-широколиственные папоротниковые леса с участием ольхи и лещины. Потепление климата и увеличение количества осадков около 6600 к. л. н. послужили импульсом для начала процесса заболачивания наиболее пониженных элементов рельефа. В течение периода 6600–5360 к. л. н. среднегодовые температуры составляли 5–6 °С, что на 1–2 °С выше современных значений. Количество осадков изменялось от 600 до 700 мм/год. На окружающей территории в этот временной интервал произрастали смешанные хвойно-широколиственные леса с большим

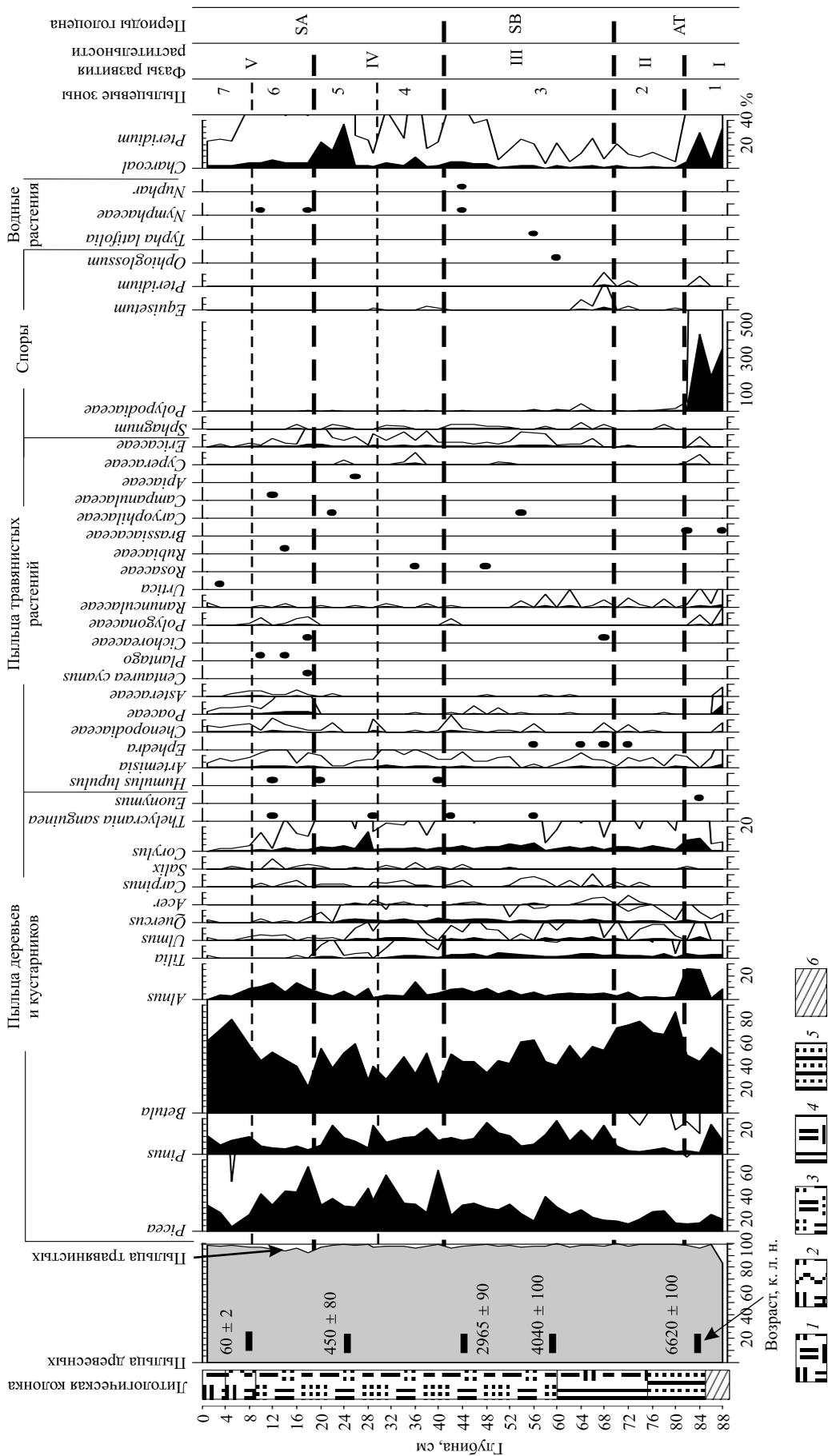


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза «Ельник сфагново-черничный» (ЕСЧ14-01):
 1 – торф плохо разложившийся, светло-коричневый; 2 – торф средне разложившийся, с включением многочисленных корней, коричневый;
 3 – торф хорошо разложившийся, темно-коричневый до черного; 4 – торф хорошо разложившийся, коричневый;
 5 – торф ослинистый, плотный, черный; 6 – суглинок средний, коричневый

Fig. 3. Pollen diagram for the peat section *Picetum myrtilloso-sphagnosum* (ЕСЧ14-01):
 1 – peat unhumidified, light brown; 2 – peat moderately humified with a lot of roots, brown; 3 – peat well humified, dark brown to black;
 4 – peat well humified, brown; 5 – peat with clay, dense, black; 6 – silt with clay, brown

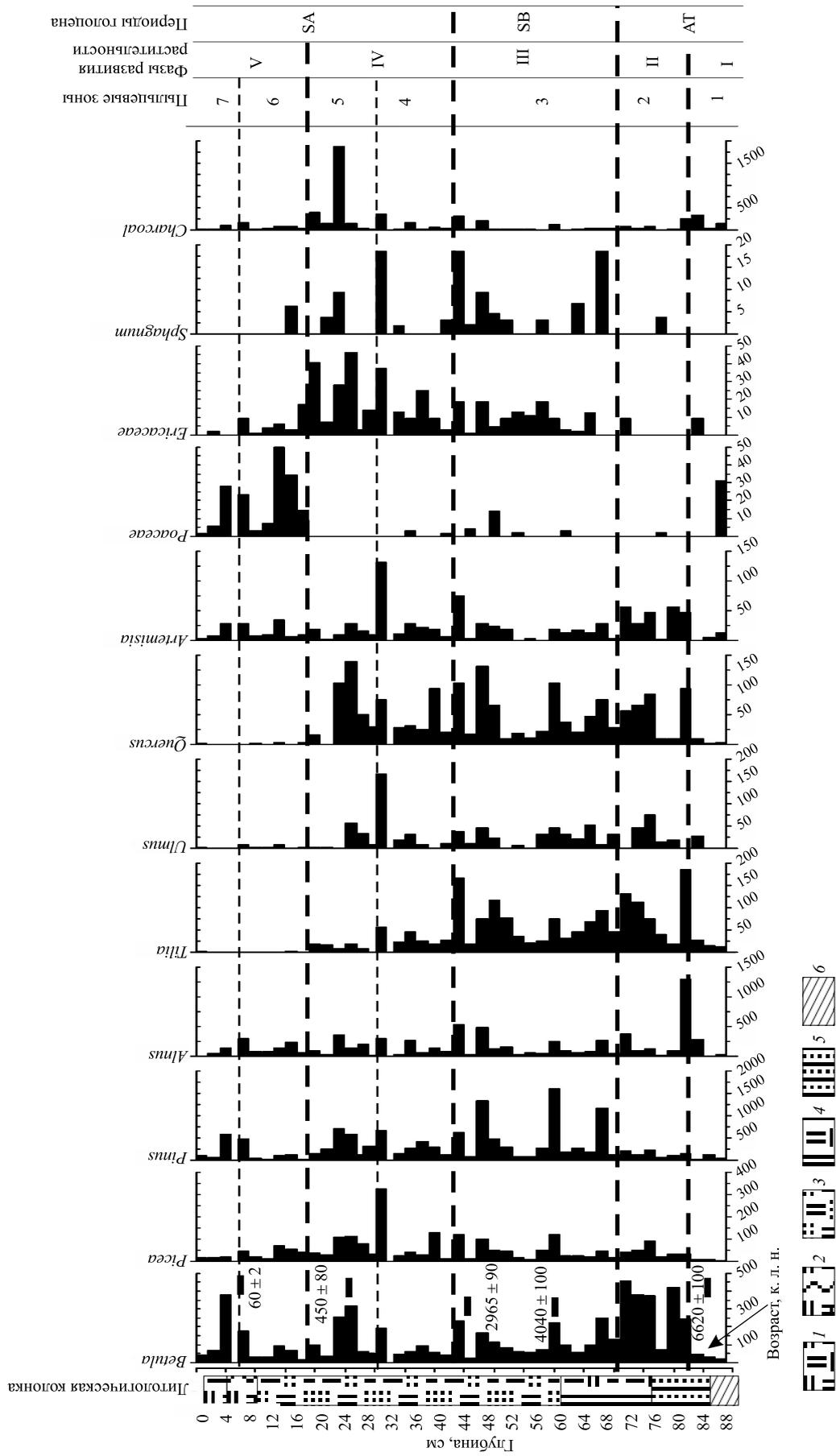


Рис. 4. Диаграмма концентрации пыльцы разреза «Ельник сфагново-черничный» (ЕСЧ14-01).
Обозначения для литологической колонки см. на рис. 3

Fig. 4. Pollen concentration diagram for the peat section *Piceum myrtilloso-sphagnosum* (ЕСЧ14-01).
Legend for the lithological column see on fig. 3

участием березы. Несмотря на подавляющее процентное содержание пыльцы березы в спектре, основываясь на данных современных поверхностных проб с территории заповедника, можно предположить значительное наличие ели и широколиственных пород в древостое. Характерной чертой для рецентных спорово-пыльцевых спектров всех типов ельников явилась заниженная доля пыльцы ели (*Picea*, в среднем 15–18 %), хотя ее содержание в древостое достигает 90 % и более [20]. Количество пыльцы таких таксонов, как сосна, береза и ольха, ветроопыляемых растений с высокой пыльцевой продуктивностью, в спектрах практически всегда завышено по отношению к незначительному содержанию этих пород в составе окружающей растительности. Содержание пыльцы широколиственных пород в современных спектрах существенно занижено по отношению к их участию в лесных насаждениях. Однако в спорово-пыльцевых спектрах ельников неморальной доля широколиственных пород всегда выше (до 2–3 %), чем в остальных типах ельников (менее 1 %), что может служить диагностическим признаком этих ельников для интерпретации спектров. Таким образом, присутствие пыльцы широколиственных пород в ископаемых спектрах в пределах 10–15 % может свидетельствовать о существенной их роли в лесных массивах.

Климатические условия суббореального периода голоцена характеризовались высокой изменчивостью. Выделяется несколько фаз похолоданий, когда среднегодовая температура была близка к современным значениям или чуть ниже (5100–4700 к. л. н.; 4100–3900 к. л. н.; 3500–3300 к. л. н.), и фаз потеплений, когда среднегодовая температура была на 1 °C выше, чем в настоящее время (4700–4100 к. л. н.; 3900–3500 к. л. н.; 3300–2900 к. л. н.). На рассматриваемой территории по-прежнему сохранялись хвойно-широколиственные леса. Количество осадков изменялось от 700 до 800 мм/год при потеплении климата. Спорово-пыльцевые спектры, соответствующие фазам потепления, отличаются увеличением доли пыльцы широколиственных пород (*Tilia*, *Quercus*, *Ulmus*), появляется пыльца граба (единично). Для спектров, сформировавшихся в фазы похолоданий, характерно увеличение процентного соотношения пыльцы ели (30–50 %). В целом для всего периода наблюдается тенденция роста содержания пыльцы ели в спектрах, что, очевидно, является отражением экспансии ели на территории Восточно-Европейской равнины в суббореале, отмеченном в многочисленных разрезах [21–23]. В небольших депрессиях рельефа на ключевом участке продолжал накапливаться торф, хотя скорость торфонакопления оставалась относительно низкой. Снижение интенсивности болотообразования в суббореальном периоде и падение скорости роста торфа отмечены в болотах Западной Сибири и севера европейской части России на основании большого фактического материала [6]. Очевидно, снижение скорости торфонакопления на нашем ключевом участке является проявлением макрорегиональных климатических изменений. Появление в спектрах пыльцы водных растений (*Typha latifolia*, *Nymphaeae*, *Nuphar*), пыльцы осок, а также спор *Sphagnum* указывает на то, что в понижении рельефа, где расположен изученный нами разрез, существовал небольшой мелкий водоем, который в некоторые периоды пересыхал и развивался как низинное болото.

В начале субатлантического периода (около 2900 к. л. н.) значения температуры и количество осадков снизились до современных значений, затем в период 2500–1600 к. л. н. среднегодовые температуры немного возросли (до 4,5–5,0 °C), количество осадков было близко к 700 мм/год. В лесных сообществах возрастает участие ели, отмечается пик содержания ее пыльцы в спектрах (до 55 %), увеличивается наличие пыльцы ольхи (до 20 %). Скорость накопления торфа снижается, и, как показывают определения зольности, увеличивается содержание органического вещества в нем. Формируется горизонт хорошо разложившегося низинного торфа. Благоприятные условия для накопления такого типа торфа могли сложиться в относительно теплый и сухой летний период, когда возрастает интенсивность разложения растительных остатков. Начиная с 1600 к. л. н. скорость накопления торфа возрастает до 0,25 см/год, начинается процесс расширения площади болот за пределы локальных понижений рельефа.

Согласно выполненным палеоклиматическим реконструкциям в поздней фазе суббореального периода голоцена выделяются два существенных похолодания, когда среднегодовые температуры упали до 2 °C, что сопровождалось увеличением количества осадков (1200–1100 и 800–400 к. л. н.). Более позднее похолодание можно сопоставить с понижением температуры в течение малого ледникового периода (МЛП) [24]. Разделявшее их потепление и уменьшение количества осадков можно соотнести со временем Средневекового климатического оптимума (СКО). В холодные фазы увеличивалось количество ели в древостоях, при потеплении широколиственные породы восстановили свои позиции. В спорово-пыльцевых спектрах отложений, сформировавшихся во время СКО, содержание пыльцы широколиственных пород и лещины максимально за весь рассматриваемый период (до 20 %).

Рост увлажнения климата при похолодании во время МЛП и уменьшение испарения, возможно, способствовали развитию процесса заболачивания лесных геосистем. Как показывают полученные радиоуглеродные даты подошвы торфяных отложений на участках, разделяющих понижения рельефа, начало формирования единого заболоченного лесного массива относится ко времени около 800 к. л. н. Участие широколиственных пород начало снижаться, роль ели возросла. На месте широколиственного леса начал формироваться заболоченный ельник.

В позднем голоцене в спорово-пыльцевых спектрах повсеместно по Восточно-Европейской равнине начали проявляться признаки антропогенной трансформации растительности. Но территория ЦЛГПБЗ, удаленная от крупных рек и торговых путей, долгое время оставалась не затронутой хозяйственной деятельностью человека. Резкое увеличение концентрации микрочастиц угля в торфе, имеющем возраст около 450–400 к. л. н., уменьшение доли ели и широколиственных пород в общей массе флоры и возрастание роли березы указывают на нарушения в растительности, связанные, возможно, с подсекой и расчисткой площадей под пашню. Состав и соотношение компонентов спорово-пыльцевых спектров свидетельствуют о том, что такие изменения не затрагивали ключевой участок, но происходили в его окрестностях. Коренные изменения в растительности, связанные с действием антропогенного фактора, произошли на территории заповедника около 300 лет назад. В спектрах продолжает сокращаться участие ели, пыльца широколиственных пород полностью выпадает из спорово-пыльцевых спектров. Доля пыльцы трав возрастает, увеличивается флористическое разнообразие представителей этой группы. Растет доля пыльцы *Poaceae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*, *Polygonaceae*. Отмечена пыльца растений – антропогенных индикаторов: *Centaurea cyanus*, *Plantago*, *Cichoreaceae*, *Rubiaceae*. Растительный покров заповедника, возможно, приобрел черты мозаичности, когда наряду с первичными еловыми лесами распространились вторичные березовые древостои, луга и сельскохозяйственные угодья. Заметное увеличение зольности торфа изученного разреза может свидетельствовать об увеличении поступления минеральных частиц в результате нарушения почвенного покрова.

Рассматриваемая торфяная залежь характеризуется высоким содержанием органического вещества (рис. 5). Зольность постепенно понижается от 7 % в основании разреза до 3 % в его средней части, в интервале глубин 45–25 см (3000–500 к. л. н.). В верхней части разреза (20–5 см, последние 400 лет) зафиксировано увеличение зольности торфа до 6,6 %, что может быть связано с интенсивным поступлением минеральных частиц в торф.

Драматические изменения скорости накопления торфа соответствуют времени последних 450–500 лет. Согласно полученным данным скорость торфонакопления возросла в 5 раз (до 0,44 мм/год), активизировался процесс площадного заболачивания лесных массивов заповедника. Полученные ранее радиоуглеродные даты основания горизонтов торфа в двух точках в ельниках сфагновых в заповедном ядре ЦЛГПБЗ, расположенных на пологих склонах моренной гряды, свидетельствуют о переходе суходольных ельников в сфагновые около 300 лет назад [25]. В первой точке дата, взятая на глубине 10–12 см, имеет возраст 270 ± 60 лет (ИГ РАН, номер образца 3538). Во второй точке подошва торфяного горизонта расположена на глубине 11–13 см и имеет дату 310 ± 70 лет назад (ИГ РАН, номер образца 3539).

Возможно, увлажнение климата, а затем и рост теплообеспеченности при выходе климатической системы из МЛП создали благоприятные условия для торфонакопления. И как показывают полученные данные, потепление в XX в. также стимулировало этот процесс.

Детальное исследование мощности торфа в ельнике сфагново-черничном показало, что в рельефе кровли минерального дна торфяной залежи хорошо выражены 3 депрессии шириной 70–100 м и глубиной до 100 см. Эти понижения могут быть связаны с исходной морфоскульптурой рельефа подстилающих пород или иметь эрозионное происхождение. Депрессии перехватывают сток со склона моренной гряды, что в совокупности с небольшими уклонами поверхности обуславливает развитие заболачивания. Как показывает радиоуглеродная датировка подошвы торфа в одной из таких депрессий, выбранной нами для детального изучения, заболачивание рассматриваемого участка началось 6620 ± 100 к. л. н. В конце атлантического периода и суббореальном периоде голоцена скорость торфонакопления составляла 0,10–0,14 мм/год. В начале субатлантического периода (после 2900 к. л. н.) скорость торфонакопления понизилась до 0,08 мм/год. Полученные оценки значительно ниже средних значений торфонакопления в голоцене для южной тайги европейской территории России и Карелии [1; 3], где скорость вертикального прироста составляла 0,55–0,85 мм/год.

Расчеты показали, что в течение последних 500 лет скорость торфонакопления на рассматриваемом нами участке возросла до 0,44 мм/год. Время формирования верхнего горизонта слабо разложившегося торфа (глубина достигает 0–9 см) составляет около 60 лет, однако наличие в верхних нескольких сантиметрах большого количества неразложившихся растительных остатков делает оцениваемую скорость накопления торфа в этом горизонте завышенной.

Датирование подошвы торфяного слоя в дополнительных расчистках показало, что на протяжении долгого периода времени (примерно с 6600 до 900 к. л. н.) лесной массив не был заболочен и накопление торфа локализовалось только в небольших по площади понижениях рельефа. Датировка основания горизонта торфа на глубине 40 см (1600 ± 90 к. л. н.) указывает на возрастание скорости вертикального роста торфа до 0,25 см/год и расширение площади заболоченного леса. Определения возраста начала накопления торфа в расчистках на неглубоких «перемычках» между понижениями рельефа показали, что формирование заболоченного ельника как единого массива началось около 900 к. л. н.

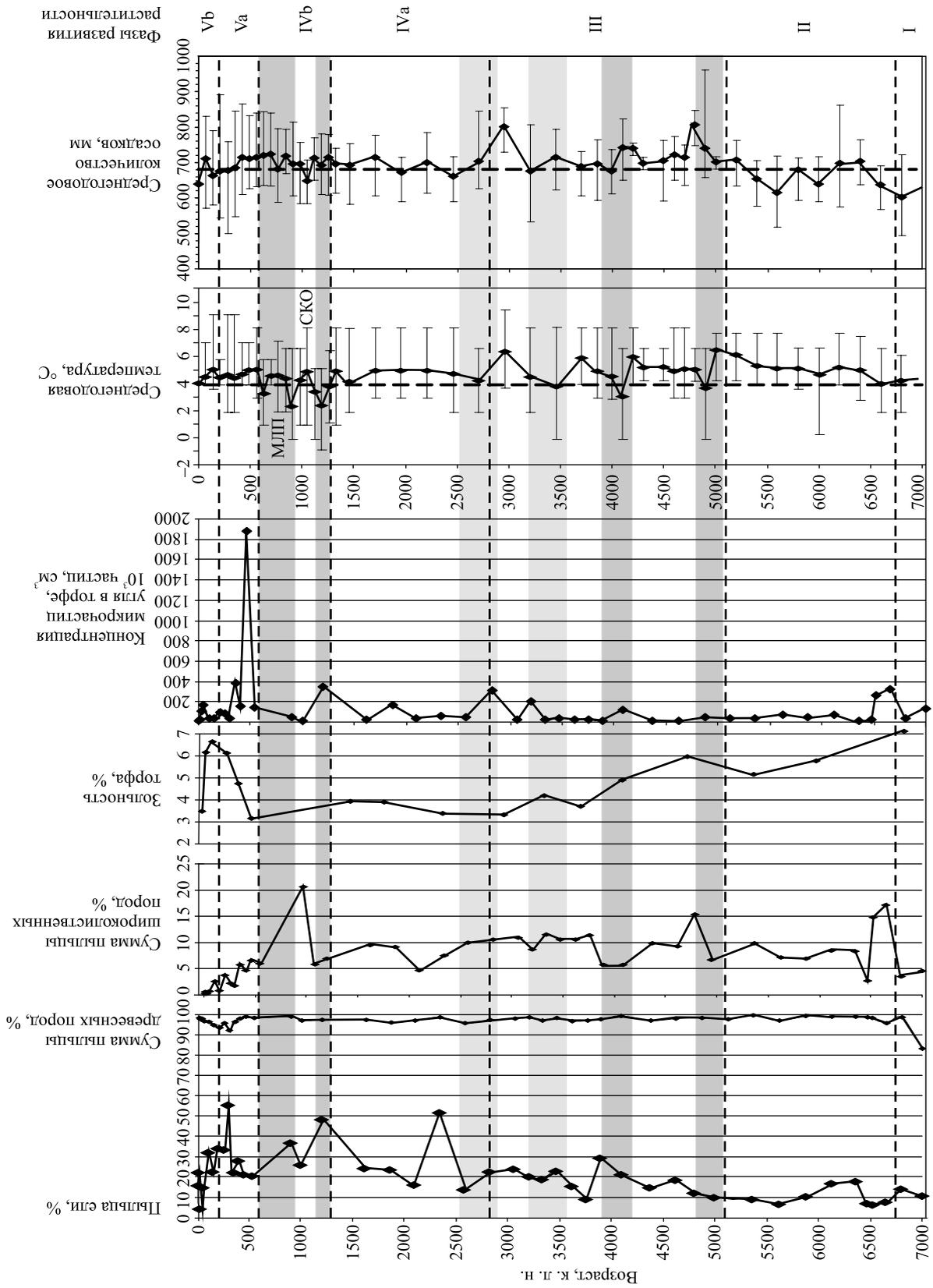


Рис. 5. Сопоставление результатов спорово-пыльцевого анализа, определенных зольности торфа в изученном разрезе и климатических реконструкций для ЦЛПТБЗ.

Серым цветом отмечены интервалы похолодания климата

Fig. 5. Comparison of the results of pollen analysis and ignition loss values of peat from the studied peat section with climatic reconstructions for the territory of CFSNBR. Gray color indicates the periods of climate cooling

Выводы

Выполненный ретроспективный анализ развития лесной геосистемы ельника сфагново-черничного и процессов болотообразования позволил сделать следующие выводы.

1. В среднем и позднем голоцене на месте современного ельника сфагново-черничного произрастал елово-широколиственный лес (7000–2900 к. л. н.), а затем – широколиственно-еловый лес (2900–800 к. л. н.). Несмотря на значительные колебания температур и количества осадков во вторую половину голоцена, эти сообщества долгое время сохранялись на изучаемой территории. Начало процесса заболачивания лесного массива и начало формирования сфагнового ельника относятся к рубежу около 800 к. л. н. и, возможно, связаны с увлажнением и похолоданием климата в течение МЛП.

2. Скорость накопления торфа в небольшой депрессии рельефа изменялась в пределах 0,08–0,14 мм/год. Резкое увеличение скорости вертикального роста торфа установлено для последних 500 лет, когда скорость торфонакопления возросла в 5 раз и составила 0,44 мм/год. Увеличение скорости накопления торфа может быть объяснено климатическими причинами, и ожидаемые изменения климата текущего столетия, возможно, будут способствовать дальнейшему развитию процесса болотообразования.

Библиографические ссылки

1. *Вомперский С. Э., Цыганова О. П., Ковалев А. Г. и др.* Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // Глобальные изменения природной среды и климата. М., 1999. С. 124–145.
2. *Вомперский С. Э.* Влияние современного климата на болотообразование и гидроресомелиорацию // Структура и функции лесов Европейской России. М., 2009. С. 31–51.
3. *Инишева Л. И., Кобак К. И., Турчинович И. Е.* Развитие процесса заболачивания и скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 60–68.
4. *Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., et al. (eds).* Climate Change 2013: The Physical Science Basis : Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge ; New York, 2013.
5. Факторы регуляции экосистем еловых лесов / ред. В. Г. Карпова. Л. : Наука, 1983.
6. *Инишева Л. И., Березина Н. А.* Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине // Вестн. Том. гос. ун-та. 2013. № 366. С. 172–179.
7. *Елина Г. А., Токарев П. Н.* Закономерности аккумуляции органики и углерода в болотных экосистемах Карелии // Тр. Карел. науч. центра Рос. акад. наук. Сер.: Биогеография. 2010. Вып. 10, № 1. С. 34–51.
8. *Паромов С. В., Савичев О. Г.* Гидрологические аспекты образования болот в таежной зоне Западной Сибири // Изв. Том. политехн. ун-та. 2014. Т. 324, № 1. С. 154–161.
9. *Латишина Е. Д.* К экологической оценке современного состояния и истории развития речных пойм // Сиб. экол. журн. 1995. № 4. С. 297–304.
10. *Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. и др.* Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23.
11. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteoinfo.ru> (дата обращения: 30.11.2015).
12. *Шапошиников Е. С.* Ассоциации еловых лесов Центрально-Лесного заповедника : дис. ... канд. биол. наук. Л. : БИН им. Комарова, 1988.
13. *Гричук В. П.* Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа // Пробл. физ. географии. 1940. Вып. 8. С. 53–58.
14. *Grimm E. C.* TILIA and TILIA. GRAPH : PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, Working Group on Data-Handling Methods // Newsletter. 1990. Vol. 4. P. 5–7.
15. *Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., et al.* IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP // Radiocarbon. 2013. Vol. 55, № 4. P. 1869–1887.
16. *Hua Q., Barbetti M., Rakowski A. Z.* Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010 // Radiocarbon. 2013. Vol. 55, № 4. P. 2059–2072.
17. *Parnell A. C., Haslett J., Allen J. R. M., et al.* A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history // Quat. Sci. Rev. 2008. Vol. 27. P. 1872–1885.
18. *Новенко Е. Ю., Зюганова И. С., Ольчев А. В.* Применение метода палеоаналогов для прогноза динамики растительности при изменениях климата // Докл. Акад. наук. 2014. Т. 457, № 1. С. 117–121.
19. *Broström A., Nielsen A. B., Gaillard M.-J. et al.* Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation : a review // Veget. Hist. Archaeobot. 2008. Vol. 17. P. 461–478.
20. *Новенко Е. Ю., Носова М. Б., Красноуцкая К. В.* Особенности поверхностных спорово-пыльцевых спектров южной тайги Восточно-Европейской равнины // Изв. ТулГУ. Сер.: Естеств. науки. 2011. Вып. 2. С. 345–354.
21. *Хотинский Н. А.* Голоцен Северной Евразии. М. : Наука, 1977.
22. *Величко А. А., Кременецкий К. В., Негеданк Й. и др.* Позднечетвертичная история окружающей среды северо-восточной области Европы (Костромское Заволжье) по данным комплексного изучения осадков Галичского озера // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 3. С. 42–54.
23. *Novenko E. Yu., Volkova E. M., Nosova M. B., et al.* Late Glacial and Holocene landscape dynamics in the southern taiga zone of East European Plain according to pollen and macrofossil records from the Central Forest State Reserve (Valdai Hills, Russia) // Quat. Internat. 2009. Vol. 207. P. 93–103.
24. *Mann M. E., Zhang Z., Rutherford S., et al.* Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval climate anomaly // Science. 2009. Vol. 326, issue 5957. P. 1256–1260. DOI: 10.1126/science.1177303.
25. Динамика лесных экосистем юга Валдайской возвышенности в позднем плейстоцене и голоцене / под ред. Е. Ю. Новенко. М. : ГЕОС, 2011.

References

1. Vomperskii S. Je., Tsyganova O. P., Kovalev A. G., et al. Zabolochennost' territorii Rossii kak faktor svyazyvaniya atmosfernogo ugleroda [Wetlands Russia as a factor in binding atmospheric carbon]. *Global'nye izmeneniya prirodnoi sredy i klimata*. Moscow, 1999. P. 124–145 (in Russ.).
2. Vomperskii S. Je. Vliyanie sovremennogo klimata na bolotoobrazovanie i gidrolesomelioratsiyu [The impact of the current climate on the bog and reclamation]. *Struktura i funktsii lesov Evropejskoj Rossii*. Moscow, 2009. P. 31–51 (in Russ.).
3. Inisheva L. I., Kobak K. I., Turchinovich I. E. Razvitie protsessa zabolachivaniya i skorost' akkumulyatsii ugleroda v bolotnykh ekosistemakh Rossii [The development process of waterlogging and rate of accumulation of carbon in wetland ecosystems Russia]. *Geogr. and Natural Resour.* 2013. No. 3. P. 60–68 (in Russ.).
4. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., et al. (eds). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis : Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge ; New York, 2013.
5. Karpova V. G. (ed.). *Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov [Factors regulating ecosystems of spruce forests]*. Leningrad : Nauka, 1983 (in Russ.).
6. Inisheva L. I., Berezina N. A. Vozniknovenie i razvitie protsessa zabolachivaniya na Zapadno-Sibirskoj ravnine [The emergence and development of water-logging in the West Siberian Plain]. *Tomsk State Univ. J.* 2013. No. 366. P. 172–179 (in Russ.).
7. Elina G. A., Tokarev P. N. Regularities of peat and organic matter accumulation in mire ecosystems of Karelia. *Transactions of Karelian Res. Centre of Russ. Acad. of Sci. Ser.: Biogeogr.* 2010. Issue 10, No. 1. P. 34–51 (in Russ.).
8. Paromov S. V., Savichev O. G. Gidrologicheskie aspekty obrazovaniya bolot v tajzhnoj zone Zapadnoj Sibiri [Hydrological aspects of bogs formation in the taiga zone of Western Siberia]. *Bull. of the Tomsk Polytech. Univ.* 2014. Vol. 324, No. 1. P. 154–161 (in Russ.).
9. Lapshina E. D. K ekologicheskoy otsenke sovremennogo sostoyaniya i istorii razvitiya rechnykh pojm [By the environmental assessment of the current state and the history of the river floodplains]. *Sib. ekol. zh.* 1995. No. 4. P. 297–304 (in Russ.).
10. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnyh O. V. et al. Lesa Rossii kak rezervuar organicheskogo ugleroda biosfery [Russian forests as a reservoir of organic carbon of the biosphere]. *Russ. J. Forest Sci.* 2001. No. 5. P. 8–23 (in Russ.).
11. Hydrometcentre of Russia. URL: <http://wmc.meteoinfo.ru> (date of access: 30.11.2015).
12. Shaposhnikov E. S. Assotsiatsii elovykh lesov Central'no-Lesnogo zapovednika [Association spruce forest Central Forest Reserve]: thesis of diss. ... PhD (biol.). Leningrad : Botanicheskii institut imeni Komarova, 1988 (in Russ.).
13. Grichuk V. P. Metodika obrabotki osadochnykh porod bednykh organicheskimi ostatkami, dlya celej pyl'tseвого analiza [Methods of treatment of sediments poor in organic remains, for pollen analysis]. *Probl. fiz. geogr.* 1940. Issue 8. P. 53–58 (in Russ.).
14. Grimm E. C. TILIA and TILIA. GRAPH : PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, Working Group on Data-Handling Methods. *Newsletter.* 1990. Vol. 4. P. 5–7.
15. Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., et al. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon.* 2013. Vol. 55, No. 4. P. 1869–1887.
16. Hua Q., Barbetti M., Rakowski A. Z. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010. *Radiocarbon.* 2013. Vol. 55, No. 4. P. 2059–2072.
17. Parnell A. C., Haslett J., Allen J. R. M., et al. A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history. *Quat. Sci. Rev.* 2008. Vol. 27. P. 1872–1885.
18. Novenko E. Ju., Zjuganova I. S., Ol'chev A. V. Primenenie metoda paleoanalogov dlya prognoza dinamiki rastitel'nosti pri izmeneniyakh klimata [Application of paleoanalogues for the prediction of the dynamics of vegetation under climate change]. *Dokl. Akad. Nauk.* 2014. Vol. 457, No. 1. P. 117–121 (in Russ.).
19. Broström A., Nielsen A. B., Gaillard M.-J., et al. Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation : a review. *Veget. Hist. Archaeobot.* 2008. Vol. 17. P. 461–478.
20. Novenko E. Ju., Nosova M. B., Krasnorutskaya K. V. Osobennosti poverhnostnykh sporovo-pyl'cevykh spektrov yuzhnoj tajgi Vostochno-Evropejskoj ravniny [Features of surface pollen spectra of the southern taiga of East European Plain]. *Proc. of the TSU. Ser.: Estestv. nauki.* 2011. Issue 2. P. 345–354 (in Russ.).
21. Hotinskij N. A. Golocen Severnoj Evrazii [Holocene Northern Eurasia]. Moscow : Nauka, 1977 (in Russ.).
22. Velichko A. A., Kremetskii K. V., Negedank Y., et al. Pozdnechetvertichnaya istoriya okruzhayuschei sredy severo-vostochnoi oblasti Evropy (Kostromskoe Zavolzhie) po dannym kompleksnogo izucheniya osadkov Galichskogo ozera [Late Quaternary environmental history northeastern region of Europe (Trans-Volga Kostroma), according to a comprehensive study of the lake sediments Galich]. *Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. geogr.* 2011. No. 3. P. 42–54 (in Russ.).
23. Novenko E. Yu., Volkova E. M., Nosova M. B., et al. Late Glacial and Holocene landscape dynamics in the southern taiga zone of East European Plain according to pollen and macrofossil records from the Central Forest State Reserve (Valdai Hills, Russia). *Quat. Internat.* 2009. Vol. 207. P. 93–103.
24. Mann M. E., Zhang Z., Rutherford S., et al. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval climate anomaly. *Science.* 2009. Vol. 326, issue 5957. P. 1256–1260. DOI: 10.1126/science.1177303.
25. Novenko E. Yu. (ed.). *Dinamika lesnykh ekosistem yuga Valdajskoj vozvysheynosti v pozdnem plejstotsene i golotsene [The dynamics of the forest ecosystems of the south of the Valdai Hills in the late Pleistocene and Holocene]*. Moscow : GEOS, 2011 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 24.01.2018.
Received by editorial board 24.01.2018.