

УДК 551

Н.М. Писарчук¹, Е.Ю. Новенко², Д.Н. Козлов³, П.М. Шилов⁴

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

Представлены результаты исследования взаимосвязи между изменением климата в среднем и позднем голоцене и развитием ельника сфагново-черничного (*Piceetum 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 лесообразующих пород деревьев на ключевом участке и оценена интенсивность процессов заболачивания.

Исследования показали, что в среднем и позднем голоцене на месте современного ельника сфагново-черничного произрастал елово-широколиственный лес (7000–2900 кален. л. н.), а затем широколиственно-еловый (2900–800 кален. л. н.). Несмотря на значительные колебания температуры и количества осадков во вторую половину голоцена, эти сообщества долгое время сохранялись на изучаемой территории. Процесс заболачивания лесного массива и начало формирования сфагнового ельника относится к рубежу ~800 кален. л. н. и, возможно, связан с увлажнением и похолоданием климата в течение Малого ледникового периода. Скорость накопления торфа в небольшой депрессии рельефа на ключевом участке в ельнике сфагново-черничном изменялась в пределах 0,08–0,14 мм/год в течение среднего и позднего голоцена. Резкое увеличение скорости вертикального роста торфа установлено для последних 500 лет, когда скорость торфонакопления возросла в 5 раз и составила 0,44 мм/год. Это можно объяснить климатическими причинами, и ожидаемые изменения климата текущего столетия, возможно, будут способствовать дальнейшему развитию процесса болотообразования.

Ключевые слова: голоцен, спорово-пыльцевой анализ, скорость торфонакопления, ельник сфагново-черничный, Центрально-Лесной государственный заповедник.

Введение. Ретроспективный анализ взаимосвязи климатических изменений, динамики и функционирования лесных и болотных геосистем – одна из актуальных научных проблем, связанных с выявлением некоторых механизмов глобальных климатических изменений, а именно роли торфяных болот и заболоченных лесов в качестве резервного источника углерода в регуляции биогеохимических процессов [Вомперский и др., 1999; Минаева и др., 2008; Вомперский, 2009; Инишева и др., 2013]. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Climate Change, 2013], начиная с конца XIX в. средняя температура на Земле поднялась почти на 1 °С. Принято считать, что эти изменения связаны прежде всего с воздействием антропогенных факторов, приводящих к увеличению содержания парниковых газов в атмосфере. Очевидно, что исследования скорости заболачивания лесных геосистем в среднем и позднем голоцене, включающем периоды как похолодания, так и потепления, необходимы для надежных оценок естественных стоков и источников углерода.

Несмотря на исследования, посвященные процессам болотообразования в различных регионах

[Вомперский, 2009; Инишева и др., 2013; Елина, 2010; Паромов, 2014; Лапшина, 1995], в большинстве работ 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 представляют собой важную составляющую резервуара органического углерода биосферы [Уткин и др., 2001; Минаева и др., 2008].

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. Природный комплекс заповедника типичен для южно-таежной подзоны и является эталоном для обширной области моренного рельефа центральной части Восточно-Европейской равнины. Здесь сохранился уникальный для бореальных лесов Европы исторически сложившийся комплекс южно-таежных ельников [Факторы..., 1983]. Вследствие слаборасчлененного рельефа и особен-

¹ Белорусский государственный университет, географический факультет, кафедра физической географии мира и образовательных технологий, препод.; e-mail: pisarchuk@bsu.by

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: lenanov@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: daniilkozlov@gmail.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, студент; e-mail: pavelshilovv@yandex.ru

ностей гидротермического режима территории заболоченные леса здесь широко распространены.

Исследованы взаимосвязи между изменением климата в среднем и позднем голоцене (реконструированного при помощи спорово-пыльцевого анализа) и развитием ельника сфагново-черничного, история смен лесообразующих пород деревьев и процессов заболачивания. Ельник сфагново-черничный – типичная геосистема для подзоны южной тайги Восточно-Европейской равнины, в связи с этим исследования на локальном уровне имеют региональное значение для анализа изменений растительности и скорости торфонакопления на обширных территориях.

Материалы и методы исследований. Заповедник расположен в центре европейской части страны, в юго-западной части Валдайской возвышенности (Тверская область, Нелидовский район), в пределах главного (Каспийско-Балтийского) водораздела Восточно-Европейской равнины (рис. 1).

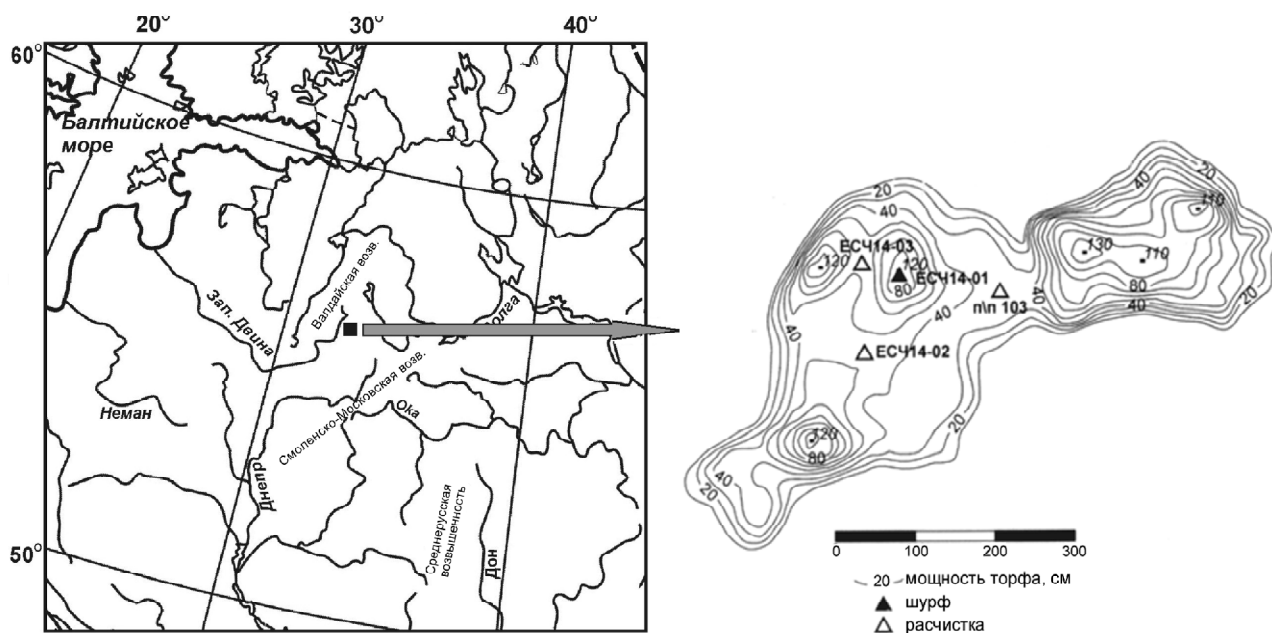


Рис. 1. Положение изучаемой территории и мощность торфяной залежи на ключевом участке

Fig. 1. Location of the study area. Thickness of peat within the sample plot

Рельеф заповедника – слабовсхолмленная водораздельная равнина со сглаженными формами рельефа и абсолютными отметками высоты 240–270 м над уровнем моря. Территория заповедника находится в области умеренно континентального климата. Средняя многолетняя температура в январе составляет $-9,0^{\circ}\text{C}$, в июле $+17^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура $+4,0^{\circ}\text{C}$, количество осадков 700 мм/год (по данным метеостанции в пос. Заповедный [Гидрометцентр..., 2015]).

В структуре растительного покрова ЦЛГПБЗ доминирующее положение занимают еловые леса, представленные целостным, относительно ненарушенным массивом (40%). Коренные формации представлены также сосновыми лесами сфагновой классификационной группы (10%), и черноольховыми лесами (1%), приуроченными к логам, долинам ру-

чьев и рек. Производные леса из березы пушистой, осины и ольхи серой занимают около 43% всей территории [Шапошников, 1988]. В почвенном покрове присутствуют подзолистые, болотно-подзолистые и дерново-подзолистые почвы.

Исследования проведены в ельнике сфагново-черничном, расположенном в ядре заповедника на склоне моренной гряды в пределах выположенного ступенеобразного участка шириной около 600 м. Мощность торфа в пределах изученного участка варьирует от 20 до 85 см (рис. 1).

Топографическая съемка ключевого участка исследований с детальными промерами глубины торфяной залежи выполнена в ходе полевых работ в 2013 г. На основе этих материалов составлена карта мощности торфа (рис. 1). Отбор образцов на спорово-пыльцевой анализ, определение зольности торфа и радиоуглеродное датирование выполнен во время полевых работ 2014 г. из шурфа (точка ЕСЧ1, рис. 1), заложенного на одном из наиболее глубоких

участков торфяной залежи. Для оценки скорости линейного прироста торфа изучены дополнительные небольшие шурфы в пределах ельника сфагново-черничного (точки ЕСЧ2 и 3, рис. 1) и отобраны образцы для определения возраста подошвы торфяных отложений.

Датированы образцы в радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН. Для ельника сфагново-черничного получено 8 радиоуглеродных датировок (таблица). Калибровка радиоуглеродных дат проведена с использованием калибровочной кривой IntCal13 [Reimer et al., 2013]. Для калибровки образцов с высокой активностью, отобранных из верхних горизонтов торфа, применена программа CaliBOMB [Hua et al., 2013]. Модель роста отложений (рис. 2) и расчеты скорости накопления торфа выполнены при помощи программы Bchron [Parnell et al., 2008].

Образцы для анализа зольности торфа отобраны из шурфа с интервалом 5 см. Зольность определена методом сухого озоления при температуре 450 °С. Для спорово-пыльцевого анализа торфяной залежи отобран монолит мощностью 90 см. Образцы на спорово-пыльцевой анализ отобраны через 1 см. Лабораторная обработка проведена по стандартной методике в Институте географии РАН [Гричук, 1940]. Обработку данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы (рис. 3) выполнили с помощью программ TILIA и TILIA-Graph [Grimm, 1990].

Результаты исследований и их обсуждение. 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 определяет развитие заболачивания. Как показывает радиоуглеродная датировка подошвы торфа в одной из таких депрессий, выбранной нами для детального изучения, заболачивание рассматриваемого участка началось 6620±100 кален. л. н. (календарных лет назад). В конце атлантического периода и суббореальном периоде голоцена скорость торфонакопления составляла 0,10–0,14 мм/год. В начале субатлантического периода (после 2900 кален. 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 [Вомперский

Радиоуглеродные датировки в разрезах в ельнике сфагново-черничном

Лабораторный номер, ИГ РАН	Глубина, см	Датируемые отложения	¹⁴ C возраст, лет назад	Калиброванный возраст, календарных лет назад
Расчетка 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)
Расчетка ЕСЧ2				
4727	24–25	торф	990±60	890 (822–955)
Расчетка 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)

и др., 1999; Инишева и др., 2013], 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 0–9 см) составляет около 60 лет, однако из-за присутствия в верхних нескольких сантиметрах большого количества неразложившихся растительных остатков оценка скорости накопления торфа в этом горизонте завышена.

Датирование подошвы торфяного слоя в дополнительных расчетках показало, что на протяжении долгого периода (примерно с 6600 до 900 кален. л. н.) лесной массив не был заболочен, и накопление торфа локализовалось только в небольших по площади

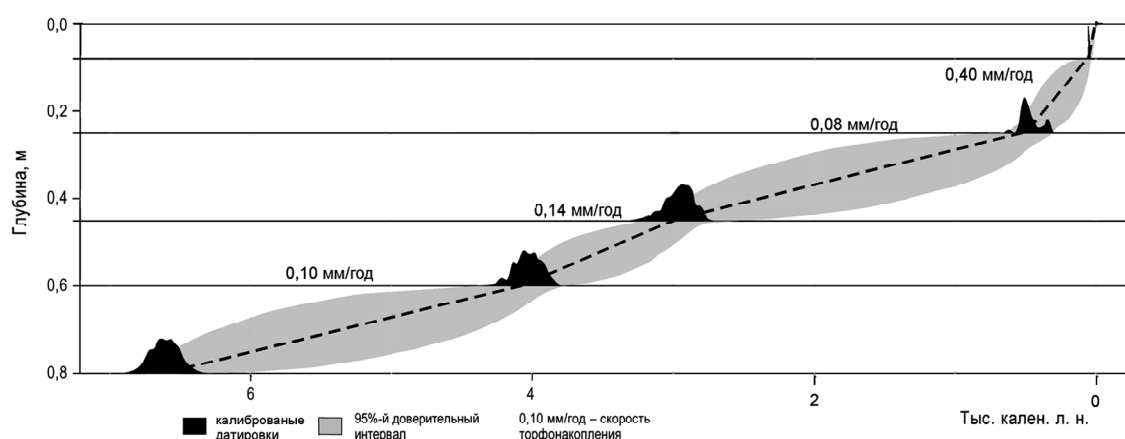
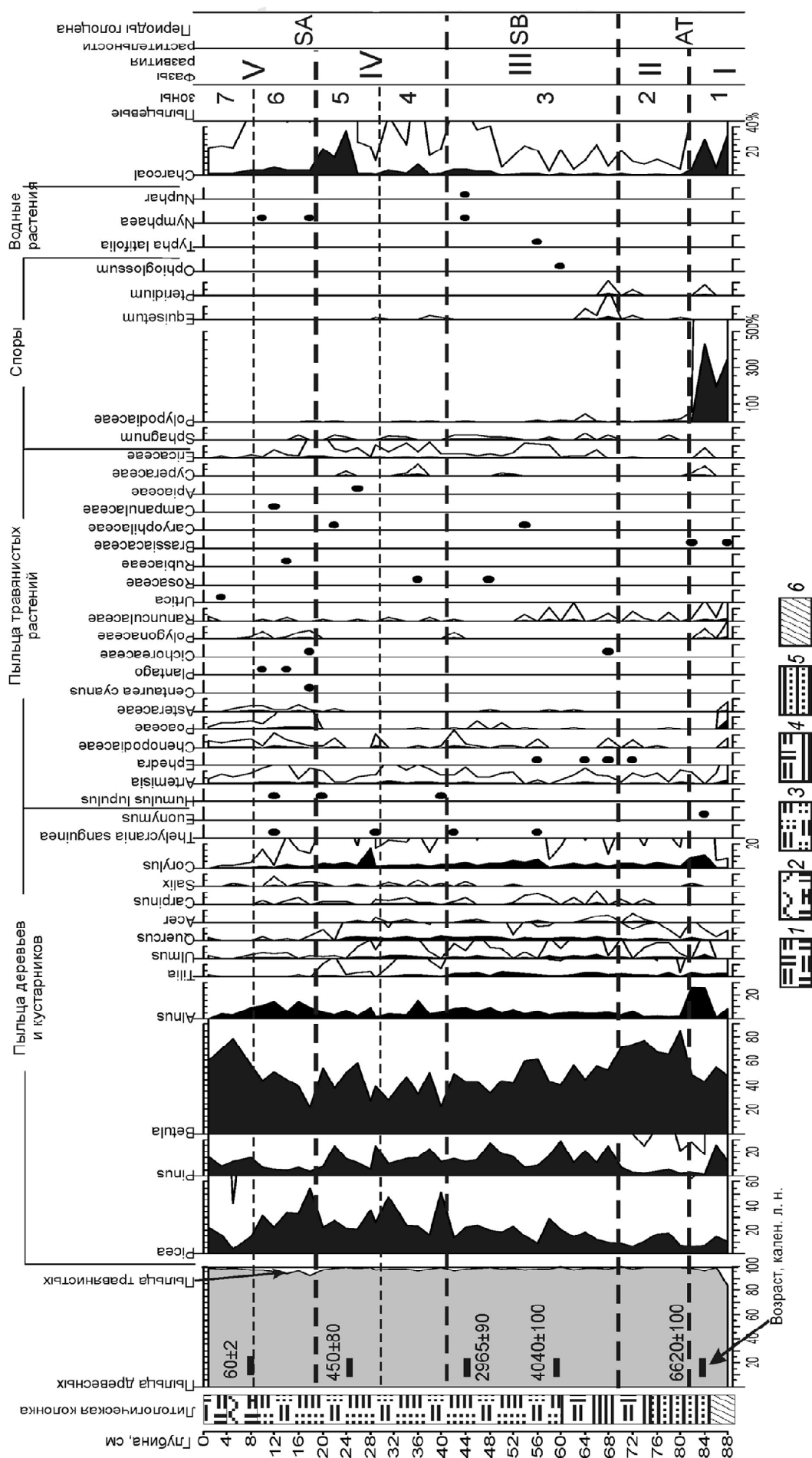


Рис. 2. Модель роста отложений для изученного разреза

Fig.2. Age-depth model for the studied peat section



понижениях рельефа. Датировка основания горизонта торфа на глубине 40 см (1600 ± 90 кален. л. н.) указывает на увеличение 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 кален. л. н.

Рассматриваемая торфяная залежь характеризуется высоким содержанием органического вещества (рис. 4). Зольность постепенно понижается от 7% в основании разреза до 3% в его средней части – в интервале глубины 45–25 см (3000–500 кален. 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.

При анализе и интерпретации палинологических данных 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 в лесной области в Финляндии, Южной Швеции и Прибалтике [Broström et al., 2008], показало, что в водоеме небольших размеров (<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, отражают преимущественно локальную растительность и содержат информацию об истории лесного массива, непосредственно окружающего это понижение. Результаты специальных методических исследований, выполненных Е.Ю. Новенко с соавторами [Но-

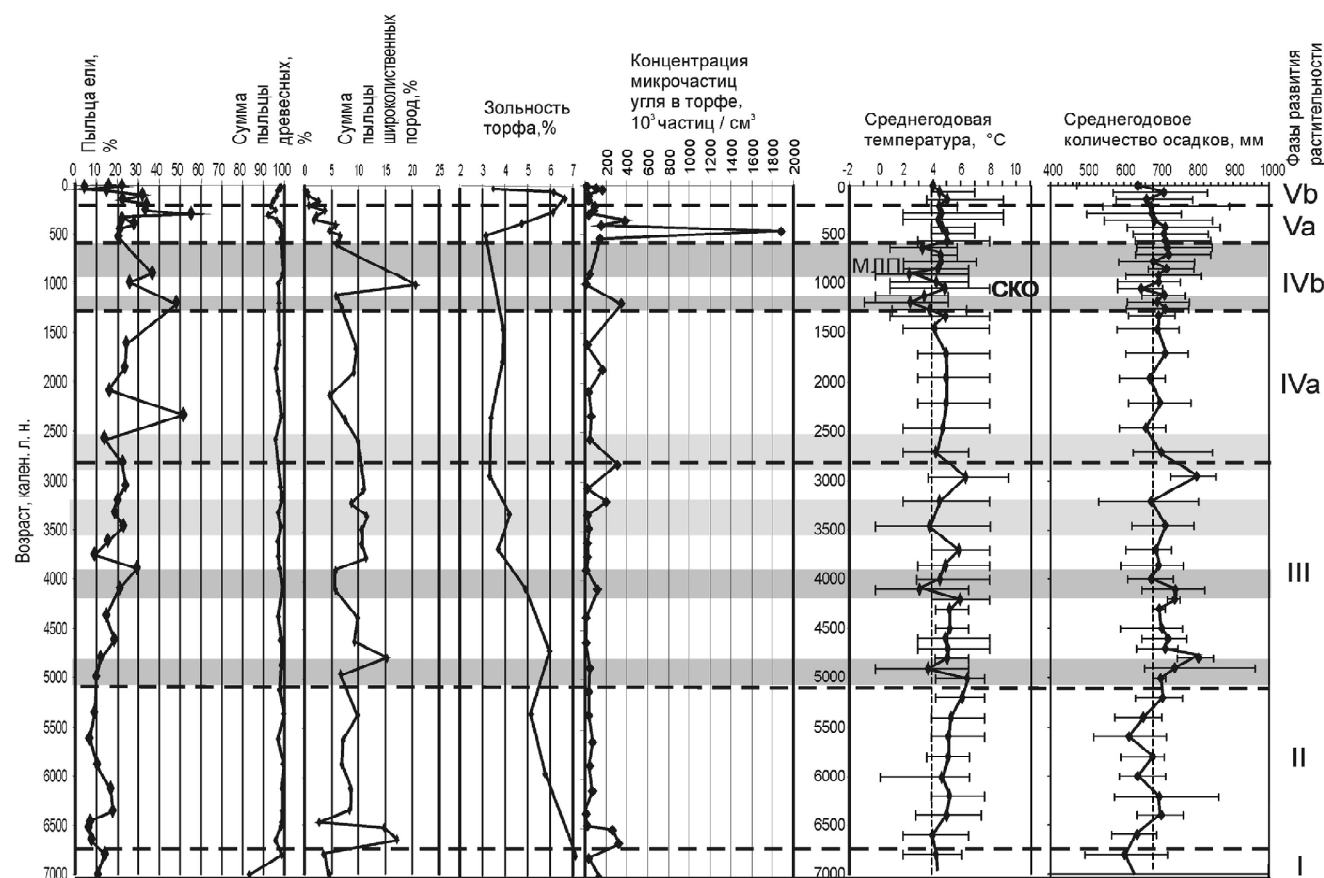


Рис. 4. Сопоставление результатов спорово-пыльцевого анализа, определений зольности торфа в изученном разрезе и климатических реконструкций для территории ЦЛГПБЗ. Серым отмечены интервалы похолодания климата

Fig. 4. 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

Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза ельника сфагново-черничного: 1 – торф плохоразложившийся, светло-коричневый; 2 – торф среднеразложившийся, с включением многочисленных корней, коричневый; 3 – торф хорошо разложившийся, темно-коричневый до черного; 4 – торф хорошо разложившийся, коричневый; 5 – торф оглиненный, плотный, черный; 6 – суглинок средний, коричневый

Fig. 3. Pollen diagram of peat section in the studied spruce forest: 1 – peat, unhumified, 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

венко и др., 2011] по изучению соотношения состава спорово-пыльцевых спектров ЦЛГПБЗ и окружающей растительности, основанные на данных изучения 60 поверхностных проб из разных местобитаний, позволяющие надежно реконструировать различные типы лесов заповедника.

Согласно полученным результатам в спорово-пыльцевых спектрах изученного разреза преобладают пыльца деревьев и кустарников (98–95%), ведущие компоненты представлены пылью 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 сем. *Polypodiaceae*, а также споры *Sphagnum*, *Equisetum*, *Pteridium*. Максимального обилия споры папоротников сем. *Polypodiaceae* достигают в образцах из нижней части разреза (88–82 см), где их содержание превышает 300% по отношению к сумме пыльцы древесных и травянистых растений. В спорово-пыльцевой диаграмме разреза на основании изменений в составе спектров выделено 7 пыльцевых зон, соответствующих основным фазам развития растительности (рис. 3).

Определение концентрации микрочастиц угля в торфе позволило выявить интервалы, отражающие увеличение их поступления в торфяную залежь, что служит косвенным признаком частоты пожаров на окружающей территории. Увеличение концентрации углистых частиц до $300\text{--}400 \cdot 10^3$ частиц/см³ отмечено на глубине 82–88 см (6700–6600 кален. л. н.), 44–46 см (3000–2800 кален. л. н.), 34–31 см (1200–500 кален. л. н.). Резкий и высокий пик концентрации микрочастиц угля зафиксирован на глубине 24–22 см (450–400 кален. л. н.), когда их содержание возросло до $2000 \cdot 10^3$ частиц/см³.

Для сопоставления полученных данных с климатическими условиями территории исследованного заповедника в голоцене (рис. 4) использованы палеоклиматические реконструкции, выполненные методом «лучших аналогов» по палинологическим данным разреза болота Старосельский мох [Новенко и др., 2014], расположенного в охранной зоне заповедника на расстоянии около 5 км от изученного разреза.

Полученные данные позволяют рассмотреть историю смен растительных сообществ на ключевом участке, развитие процесса заболачивания и их связь с климатическими изменениями начиная с 7000 кален. л. н. (поздняя фаза атлантического периода голоцена). В период 6700–6600 кален. л. н. в условиях более теплого и сухого климата, чем современный, на ключевом участке, который в настоящее время занят ельником сфагново-черничным, были распространены смешанные хвойно-широколиственные папоротниковые леса с участием ольхи и лещины (пыльцевая зона 1, рис. 3). Потепление

климата и увеличение количества осадков ~6600 кален. л. н. послужило импульсом для начала процесса заболачивания наиболее пониженных элементов рельефа. В период 6600–5360 кален. л. н. значения среднегодовой 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 участием березы (пыльцевая зона 2, рис. 3).

Несмотря на подавляющее процентное содержание пыльцы березы в спектре, на основе данных изучения современных поверхностных проб с территории заповедника можно предположить значительное участие в древостое ели и широколиственных пород. Характерной чертой для рецентных спорово-пыльцевых спектров всех типов ельников была заниженная доля пыльцы ели (*Picea*, в среднем 15–18%), хотя содержание ее в древостое достигает 90% и более [Новенко и др., 2011]. Доля пыльцы таких таксонов, как сосна, береза и ольха – ветроопыляемых растений с высокой пыльцевой продуктивностью, в спектрах практически всегда завышена по отношению к незначительному участию 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 неморальных доля широколиственных пород всегда выше (до 2–3%), чем в остальных типах ельников (<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 об их существенной роли в лесных массивах.

Климатические условия в суббореальный период голоцена характеризовались высокой изменчивостью. Выделяется несколько фаз похолоданий, когда среднегодовая температура была близка к современным значениям или немного ниже (5100–4700, 4100–3900, 3500–3300 кален. л. н.), и фаз потеплений, когда среднегодовая температура была на 1 °С выше, чем в настоящее время (4700–4100, 3900–3500, 3300–2900 кален. л. н.). На рассматриваемой территории по-прежнему сохранялись хвойно-широколиственные леса (пыльцевая зона 3, рис. 3, 4). 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 содержания пыльцы ели (30–50%).

В целом для всего периода отмечена тенденция к повышению участия пыльцы ели в спектрах, что, очевидно, отражает увеличение численности популяции ели на территории Восточно-Европейской равнины в суббореале, это отмечено в много-

численных разрезах [Хотинский, 1977; Величко и др., 2001; Novenko et al., 2009]. В небольших депрессиях рельефа на ключевом участке продолжалось накопление торфа, хотя скорость торфонакопления оставалась относительно низкой. Снижение интенсивности болотообразования в суббореальном периоде и скорости роста торфа отмечено в болотах Западной Сибири и Севера европейской части России на основании большого фактического материала [Инишева, Березина, 2013]. Очевидно, снижение скорости торфонакопления на рассматриваемом ключевом участке было проявлением макрорегиональных климатических изменений. Появление в спектрах пыльцы водных растений (*Typha latifolia*, *Nymphaeae*, *Nuphar*), 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 (~2900 кален. л. н.) температура и количество осадков снизились до современных значений, затем в период 2500–1600 кален. л. н. значения среднегодовой температуры немного возросли (до 4,5–5 °C), количество осадков было близко к 700 мм/год. В лесных сообществах увеличилось участие ели (пыльцевая зона 4, рис. 3, 4) – отмечается пик содержания ее пыльцы в спектрах (до 55%), а также увеличилась доля пыльцы ольхи (до 20%). Скорость накопления торфа снизилась, и как показывают определения зольности, увеличилось содержание органического вещества в торфе. Формируется горизонт хорошо разложившегося низинного торфа, благоприятные условия для его накопления могли сложиться в относительно теплый и сухой летний период, когда возрастает интенсивность разложения растительных остатков. Начиная с 1600 кален. л. н. скорость накопления торфа начала повышаться до 0,25 см/год, стал развиваться процесс расширения площади болот за пределы локальных понижений рельефа.

Согласно палеоклиматическим реконструкциям в поздней фазе суббореального периода голоцена выделяются два существенных похолодания, когда среднегодовая температура снизилась до 2 °C, что сопровождалось увеличением количества осадков (1200–1100 и 800–400 кален. л. н.). Более позднее похолодание можно сопоставить с понижением температуры, которое включало в себя малый ледниковый период, временные рамки которого оцениваются 1400–1700 гг. н.э. [Mann et al., 2009]. Разделявшее их потепление и сокращение увлажнения можно сопоставить со временем Средневекового климатического оптимума. В холодные фазы в древостоях увеличивалось количество ели, при потеплении широколиственные породы восстанавливали свои позиции. В спорово-пыльцевых спектрах отложений, сформировавшихся во время потепления, содержание пыльцы широколиственных пород и лещины максимально за весь рассматриваемый период (до 20%, пыльцевая зона 5).

Рост увлажнения климата при похолодании после 800 кален. л. н. и уменьшение испарения, возможно, способствовали развитию процесса заболачивания лесных геосистем. Как показывают радиоуглеродные датировки образцов из подошвы торфяных отложений на участках, разделяющих понижения рельефа, начало формирования единого заболоченного лесного массива относится ко времени ~800 кален. л. н. Участие широколиственных пород стало снижаться, а роль ели возросла (пыльцевая зона 6, рис. 3, 4). На месте широколиственно-елового леса начал формироваться заболоченный ельник.

В позднем голоцене в спорово-пыльцевых спектрах на Восточно-Европейской равнине повсеместно стали проявляться признаки антропогенной трансформации растительности. Но территория заповедника, удаленная от крупных рек и торговых путей, долгое время оставалась не затронутой хозяйственной деятельностью. Резкое увеличение (на порядок) концентрации микрочастиц угля в торфе, имеющем возраст ~450–400 лет, уменьшение доли ели и широколиственных пород и возрастание роли березы указывают на нарушения растительности, связанные, возможно, с подсекой и расчисткой площадей под пашню. Состав и соотношения компонентов спорово-пыльцевых спектров свидетельствуют, что такие изменения не затрагивали ключевой участок, но происходили в его окрестностях.

Коренные изменения растительности, связанные с антропогенным фактором, произошли на территории заповедника ~300 кален. л. н. (пыльцевая зона 6). В спектрах продолжалось сокращение участия ели, пыльца широколиственных пород полностью исчезла из спорово-пыльцевых спектров. Доля пыльцы трав возросла, увеличилось флористическое разнообразие представителей этой группы. Увеличилась 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 коренными еловыми лесами были распространены вторичные березовые древостои, луга и сельскохозяйственные угодья. Заметное увеличение зольности торфа в изученном разрезе может свидетельствовать об увеличении поступления минеральных частиц в результате нарушения почвенного покрова.

Наибольшие изменения скорости накопления торфа на ключевом участке относятся ко времени последних 500–450 лет, что соответствует периоду существенной активизации процессов болотообразования в Северной Евразии в целом [Климанов, Сирин, 1997]. Согласно полученным данным скорость торфонакопления в ельнике сфагново-черничном в ЦЛГПБЗ возросла в 5 раз (до 0,44 мм/год), начал развиваться процесс площадного заболачивания лесных массивов заповедника. Полученные ранее радиоуглеродные датировки для основания горизонта торфа в торфянисто-глеевых почвах 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 л. н. [Динамика..., 2011]. В первой точке образец, взятый на глубине 10–12 см, имеет возраст 270 ± 60 ^{14}C л. н./ 310 ± 120 кален. л. н. (ИГ РАН 3538). Во второй точке подошва торфяного горизонта расположена на глубине 11–13 см и имеет датировку 310 ± 70 ^{14}C л. н./ 380 ± 70 кален. л. н. (ИГ РАН 3539). Радиоуглеродные датировки нижних слоев торфяно-глеевых почв в ЦЛГПБЗ, приведенные в работе М.Ю. Минаевой с соавторами [2008], также свидетельствуют об очень активном процессе заболачивания лесных экосистем заповедника в историческое время.

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

Выводы:

– в среднем и позднем голоцене на месте современного ельника сфагново-черничного произрастал

елово-широколиственный лес (7000–2900 кален. л. н.), а затем широколиственно-еловый (2900–800 кален. л. н.). Несмотря на значительные колебания температуры и количества осадков во вторую половину голоцена, эти сообщества долгое время сохранялись на изучаемой территории. Процесс заболачивания лесного массива, а также начало формирования сфагнового ельника относится к рубежу ~800 кален. л. н., что, возможно, связано с увлажнением и похолоданием климата. Очевидно, эволюция рассмотренного нами лесного массива отражает региональные закономерности развития подобных лесных сообществ;

– 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 можно объяснить климатическими причинами, и ожидаемые изменения климата текущего столетия, возможно, будут способствовать дальнейшему развитию процесса болотообразования.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта РФФИ (проекты № 15-35-50720, 14-05-00568).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

Вомперский С.Э. Влияние современного климата на болотообразование и гидролесомелиорацию // Структура и функции лесов Европейской России. М.: ТНИ КМК, 2009. С. 31–51.

Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г. и др. Заболенность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // Глобальные изменения природной среды и климата. М.: РАН, 1999. С. 124–145.

Гидрометцентр России [Электронный ресурс] / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М., 2015. URL: <http://www.meteoinfo.ru>. (дата обращения: 30.11.2015).

Гричук В.П. Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пылевого анализа // Проблемы физической географии. 1940. Вып. 8. С. 53–58.

Динамика лесных экосистем юга Валдайской возвышенности в позднем плейстоцене и голоцене / Под ред. Е.Ю. Новенко. М.: ГЕОС, 2011. 112 с.

Елина Г.А., Токарев П.Н. Закономерности аккумуляции органики и углерода в болотных экосистемах Карелии // Тр. КарНЦ РАН. 2010. № 1. С. 34–51.

Инишева Л.И., Березина Н.А. Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине // Вестн. Томского гос. ун-та. 2013. № 366. С. 172–179.

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.

Климанов В.А., Сирин А.А. Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3000 лет // Докл. РАН. 1997. Т. 354, № 5. С. 683–686.

Лапина Е.Д. К экологической оценке современного состояния и истории развития речных пойм // Сибирский экол. журн. 1995. № 4. С. 297–304.

Минаева Т.Ю., Трофимов С.Я., Чичагова О.А. и др. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем южного Валдая в голоцене // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. № 5. С. 607–616.

Новенко Е.Ю., Зюганова И.С., Ольчев А.В. Применение метода палеоаналогов для прогноза динамики растительности при изменениях климата // Докл. РАН. Т. 457, № 1. С. 117–121.

Новенко Е.Ю., Носова М.Б., Красноруцкая К.В. Особенности поверхностных спорово-пыльцевых спектров южной тайги Восточно-Европейской равнины // Изв. ТулГУ. Сер. Естест. науки. 2011. Вып. 2. С. 345–354.

Паромов С.В., Савичев О.Г. Гидрологические аспекты образования болот в таежной зоне Западной Сибири // Изв. Томского политехн. ун-та. 2014. Т. 324, № 1. С. 154–161.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В. и др. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23.

Факторы регуляции экосистем еловых лесов / Под. ред. В.Г. Карпова. Л.: Наука, 1983. 318 с.

Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 197 с.

Шапошников Е.С. Ассоциации еловых лесов Центрально-лесного заповедника: Автореф. дисс. Л.: БИН им. Комарова, 1988.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

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.

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.

Hua Q., Barbetti M., Rakowski A.Z. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010 // Radiocarbon. 2013. Vol. 55, N 4. P. 2059–2072.

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. P. 1256–1260.

Novenko E.Yu., Volkova E.M., Nosova M.B., Zupanova I.S. 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) // Quatern. Intern. 2009. Vol. 207. P. 93–103.

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.

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. P. 1869–1887.

Поступила в редакцию 21.01.2016

Принята к публикации 28.04.2016

N.M. Pisarchuk¹, E.Yu. Novenko²,

D.N. Kozlov³, P.M. Shilov⁴

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON FOREST ECOSYSTEMS AND PEATLAND DEVELOPMENT IN THE CENTRAL FOREST STATE RESERVE

The paper presents the results of studies on the relationship between the Middle and Late Holocene climate changes and the evolution of spruce forests (*Piceetum myrtilloso-sphagnosum*), the typical geosystem of the southern taiga subzone within the East European plain. The history of successions of forest-forming tree species within a sample plot and the intensity of paludification processes were traced basing on the pollen analysis and radiocarbon dating. The data obtained showed that the areas of present-day spruce forests, were covered by broadleaf-spruce forests with significant share of broadleaf tree species (7000–2900 cal. yr. BP) and broadleaf-spruce forests with high abundance of spruce (2900–800 cal. yr. BP). Despite significant fluctuations of temperature and precipitation in the second half of the Holocene, the broadleaf-coniferous forests continued their existence in the study area for a long time.

The process of paludification and development of the *Sphagnum* spruce forest started about 800 cal. yr. BP as a result of climate moistening and cooling during the Little Ice Age. During the Middle and Late Holocene the peat accumulation rate in a small depression within the sample plot varied between 0.08–0.14 mm/year. A sharp increase in peat vertical growth was registered for the last 500 years, when the rate of peat accumulation increased 5 times up to 0.44 mm/year. The increase in peat accumulation rate could be attributed to climatic causes, so the recent climate changes will perhaps contribute to further peatland growth.

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

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects NN 15-35-50720, 14-05-00568).

REFERENCES

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.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Dinamika lesnyh jekosistem juga Valdajskoj vozvysennosti v pozdnem plejstocene i golocene [The dynamics of the forest ecosystems of the south of the Valdai Hills in the late Pleistocene and Holocene], Ed. E.Yu. Novenko, Moscow: GEOS, 2011, 112 p. (in Russian).

Elina G.A., Tokarev P.N. Zakonomernosti akumuljacji organiki i ugleroda v bolotnyh jekosistemah Karelii [Laws of the accumulation of organic matter and carbon in wetland ecosystems of Karelia], Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, 2010, no 1, pp. 34–51 (in Russian).

Faktory reguljacji jekosistem elovyh lesov [Factors regulating ecosystems of spruce forests], Pod. red. V.G. Karpova, Leningrad: Nauka, 1983, 318 p. (in Russian).

Hua Q., Barbetti M., Rakowski A.Z. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010 // Radiocarbon. 2013. Vol. 55, N 4. P. 2059–2072.

Hydrometeorological centre of Russia [Electronic resource]: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental

¹ Belarusian State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography of the World and Educational Technologies, Lecturer; e-mail: pisarchuk@bsu.by

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: lenanov@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: daniilkozlov@gmail.com

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, student; e-mail: pavelshilovv@yandex.ru

Monitoring. Moscow, 2015. ULR: <http://wmc.meteoinfo.ru/> (Accesses: 30.11.2015) (in Russian).

Grichuk V.P. Metodika obrabotki osadochnykh porod bednykh organicheskimi ostatkami, dlja celej pyl'cevogo analiza [Methods of treatment of sediments poor in organic remains, for pollen analysis], Problemy fizicheskoy geografii, 1940, vyp. 8, pp 53–58 (in Russian).

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.

Inisheva L.I., Berezina N.A. Vozniknovenie i razvitie processa zabolachivaniya na Zapadno-Sibirskoy ravnine [The emergence and development of water-logging in the West Siberian Plain], Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, no 366, pp. 172–179 (in Russian).

Inisheva L.I., Kobak K.I., Turchinovich I.E. Razvitie processa zabolachivaniya i skorost' akkumulatsii ugleroda v bolotnykh jekosistemah Rossii [The development process of waterlogging and rate of accumulation of carbon in wetland ecosystems Russia], Geografija i prirodnye resursy, 2013, no 3, pp. 60–68 (in Russian).

Khotinsky N.A. Golotsen Severnoj Evrazii [Holocene Northern Eurasia], Moscow: Nauka, 1977, 197 p. (in Russian).

Klimanov V.A., Sirin A.A. Dinamika torfonakopleniya bolotami Severnoj Evrazii za poslednie 3000 let [Dynamics of peat accumulation swamps of Northern Eurasia for the past 3,000 years], Doklady Akademii Nauk, 1997, t. 354, no 5, pp. 683–686 (in Russian).

Lapshina E.D. K ekologicheskoy ocenke sovremennogo sostojaniya i istorii razvitiya rechnykh pojm [By the environmental assessment of the current state and the history of the river floodplains], Sibirskij jekologicheskij zhurnal, 1995, no 4, pp. 297–304 (in Russian).

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. P. 1256–1260.

Minayeva T.Yu., Trofimov S.Ya., Dorofeyeva E.I. et al. Carbon accumulation in soils of forest and bog ecosystems of southern Valdai in the Holocene // Biol. Bull. 2008. T. 35, N 5. P. 524–532.

Novenko E.Ju., Nosova M.B., Krasnorutskaya K.V. Osobennosti poverhnostnykh sporovo-pyl'cevykh spektrov juzhnoj tajgi Vostochno-Evropejskoj ravniny [Features of surface pollen spectra of the southern taiga of East European Plain], Izvestija TulGU. Ser. Estestvennye nauki, 2011. Vol. 2, pp. 345–354 (in Russian).

Novenko E.Ju., Zjuganova I.S., Oltechev A.V. Primenenie metoda paleoanalogov dlja prognoza dinamiki rastitel'nosti pri izmenenijah

klimate [Application of paleoanalogues for the prediction of the dynamics of vegetation under climate change], Doklady Akademii nauk, 2014, t. 457, no 1, pp. 117–121 (in Russian).

Novenko E.Yu., Volkova E.M., Nosova M.B., Zuganova I.S. 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) // Quaternary Intern. 2009. Vol. 207. P. 93–103.

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.

Paromov S.V., Savichev O.G. Hidrologicheskie aspekty obrazovaniya bolot v tajozhnoj zone Zapadnoj Sibiri [Hydrological aspects of the formation of bogs in the taiga zone of Western Siberia], Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2014, t. 324, no 1, pp. 154–161 (in Russian).

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. P. 1869–1887.

Shaposhnikov E.S. Associatsii elovykh lesov Central'no-Lesnogo zapovednika [Association spruce forest Central Forest Reserve], Avtoref. kand. diss., Leningrad: BIN im. Komarova, 1988 (in Russian).

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], Lesovedenie, 2001, no 5, pp. 8–23 (in Russian).

Velichko A.A., Kremenetsky K.V., Negedank Y. et al. Pozdnechetvertichnaya istiriya okruzhayushey sredy severo-vostochnoy 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], Izvestija RAN, ser. geogr., 2011, no 3, pp. 42–54 (in Russian).

Vomperskij S.Je. Vliyanie sovremennogo klimata na bolotoobrazovanie i gidrosomeliyatsiju [The impact of the current climate on the bog and reclamation], Struktura i funktsii lesov Evropejskoj Rossii, Moscow, 2009, pp. 31–51 (in Russian).

Vomperskij 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 prirodnoj sredy i klimata, Moscow, 1999, pp. 124–145 (in Russian).

Received 21.01.2016

Accepted 28.04.2016