

УДК 551.89+551.4.07(-924.2/.3 + -924.7/.9)

ДИНАМИКА ЛАНДШАФТОВ И КЛИМАТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ В ГОЛОЦЕНЕ – ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

© 2021 г. Е. Ю. Новенко^{1,2,*}

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

² *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**E-mail: lenanov@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.06.2020 г.

После доработки 17.02.2021 г.

Принята к публикации 09.04.2021 г.

В статье представлен обзор ландшафтно-климатических реконструкций для лесной зоны Центральной и Восточной Европы, выполненных различными методами, в сопоставлении с основными этапами развития рельефа и осадконакопления в голоцене. Рассмотрены ожидаемые климатические изменения согласно сценариям репрезентативных траекторий концентраций парниковых газов, разработанных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Анализ данных показал, что в раннем голоцене (11.7–8.2 тыс. кал. л. н.) в условиях быстрого потепления климата происходила трансформация всех ландшафтных компонентов, значительные изменения претерпели рельефообразующие процессы. В этот период происходила деградация многолетней мерзлоты, сформировалась реликтовая криогенная морфоскульптура, кардинальные изменения претерпели гидрологический режим рек и флювиальное рельефообразование, имело место постепенное ослабление эоловых процессов. В среднем голоцене для временного интервала 8.2–5.7 тыс. кал. л. н. были характерны максимальная теплообеспеченность по сравнению с остальными периодами голоцена и ослабление градиента температур в направлении с запада на восток. В это время в среднеширотной области Европы существовала единая зона широколиственных лесов. Начиная с 5.7 тыс. кал. л. н., похолодание климата привело к усилению секторной дифференциации растительного покрова. В западных районах начинается экспансия бука и граба, на востоке увеличивается роль ели в лесных сообществах. Климатические реконструкции для позднего голоцена (4.2 тыс. кал. л. н. – настоящее время) показали, что на фоне общего тренда к снижению теплообеспеченности выделяются периоды потеплений и похолоданий. Сформировался современный ландшафтный покров, усилилось влияние антропогенного фактора. Согласно данным палеоботанических, изотопно-геохимических и палеогидрологических исследований в различных регионах Центральной и Восточной Европы в периоды потеплений климат был более сухой, чем в настоящее время, преимущественно за счет изменения баланса осадки/испарение, а похолодания сопровождались ростом увлажнения, увеличением частоты и высоты весенних половодий с соответствующим усилением осадконакопления на поймах рек, формированием вторичных врезов в оврагах и балках. Считая климатические реконструкции для голоцена изучаемой территории сценариями возможных изменений климата в текущем столетии, можно ожидать, что рост температур, особенно в летний период, будет причиной возрастания частоты засух и опасных геоморфологических процессов, связанных с неравномерностью выпадения осадков.

Ключевые слова: палеоклиматические реконструкции, палеогеоморфология, палеогеография, Европейская территория России, лесная зона

DOI: 10.31857/S0435428121030093

ВВЕДЕНИЕ

Ретроспективному анализу ландшафтно-климатических изменений в голоцене посвящено большое количество работ [1–15], в то же время это направление исследований остается очень востребованным на современном этапе развития палеогеографических знаний. Подобные иссле-

дования необходимы для решения актуальной в настоящее время фундаментальной научной проблемы, связанной с оценкой современного состояния, устойчивости и изменчивости природной среды под влиянием природных и антропогенных факторов [16–18].

Согласно данным по изотопно-кислородному составу льдов скважины NGRIP в Гренландии,

принятой Международной стратиграфической комиссией (МСК) как стратотипический разрез голоцена, возраст нижней границы составляет 11,7 тыс. кал. (календарных) л. н. [19, 20]. В 2018 г. Международный союз геологических наук ратифицировал деление голоцена на три подэпохи: ранний голоцен (гренландий, 11 700–8236 лет до 2000 г. н. э.), средний (нордгриппий, 8236–4250 лет до 2000 г. н. э.) и поздний (мегхалий, 4250 л. н. – настоящее время), которые были выделены на основе изучения ледовых кернов и спелеотем [19, 20]. Однако границы подэпох, особенно между средним и поздним голоценом, вызвали серьезные дискуссии среди исследователей. В России для изучения изменений природной среды часто используется схема периодизации голоцена Блитта–Сернандера, модифицированная для европейской части России Н.А. Хотинским [21]. Согласно этой схеме, голоцен разделяется на пять периодов: пребореальный, бореальный, атлантический, суббореальный и субатлантический. В последнее время исследователи при реконструкции динамики растительности и климата в голоцене, в основном, оперируют определениями абсолютного возраста, используя периоды голоцена схемы Блитта–Сернандера, скорее, как хронологические, а не климатостратиграфические подразделения [7, 8, 11, 15, 22].

В статье представлен обзор ландшафтно-климатических реконструкций для лесной зоны Центральной и Восточной Европы (рис. 1), обобщены накопленные к настоящему моменту палеоботанические данные и основанные на них палеоклиматические реконструкции, выполненные различными методами, в сопоставлении с опубликованными для этой территории материалами геоморфологических, изотопно-геохимических и других методов исследований.

РАННИЙ ГОЛОЦЕН (11,7–8,2 тыс. кал. л. н.)

Согласно концепции об асимметрии основного климатического тренда в межледниковье [16] для начальных фаз голоцена был характерен быстрый рост теплообеспеченности по всей территории Северной Евразии. Ландшафтно-климатические реконструкции для Центральной и Восточной Европы свидетельствуют о существенной перестройке природной среды в раннем голоцене в результате потепления климата, деградации ледниковых покровов, гляциоэвстатических и гляциоизостатических колебаний уровня Мирового океана, изменений гидрологической сети [16, 23–26]. В начале голоцена происходила постепенная деградация многолетней мерзлоты на обширных пространствах позднеледниковой перигляциальной зоны, за исключением крайнего севера и северо-востока Европы [1].

Сформировалась реликтовая криогенная морфоскульптура, имели место вытаивание повторно-жильных льдов и погребение плейстоценового полигонально-валикового рельефа на всех геоморфологических уровнях, активно развивался термокарст [27]. В этот же период началось интенсивное заболачивание депрессий рельефа и термокарстовых западин. Как показывают обобщения большого массива данных радиоуглеродных датировок базальных горизонтов торфа в болотах по всей территории субарктической и бореальной областей Северной Евразии, большинство болот образовалось между 11 и 9 тыс. кал. л. н. [28, 29].

Ранний голоцен – эпоха кардинальных изменений гидрологического режима рек и флювиального рельефообразования. Одним из наиболее ярких палеогидрологических феноменов на равнинах в Центральной и Восточной Европе являются непропорционально большие палеоруслы в речных долинах, формирование которых связывают с увеличением стока в позднеледниковье [23]. В Центральной Европе они описаны на Среднедунайской [30–32] и Великопольской низменностях [33, 34], и широко распространены на Восточно-Европейской равнине [23, 35]. Уменьшение стока в результате потерь влаги на испарение и инфильтрацию при повышении температуры воздуха и таяния многолетней мерзлоты в раннем голоцене привели к отмиранию макроизлучин и формированию рек существенно меньших размеров, близких к современным [23, 26].

В начале голоцена происходило постепенное ослабление эоловых процессов, игравших значительную роль в рельефообразовании в предшествующую эпоху [36]. Согласно с имеющимися результатами исследований, время активного формирования древних материковых дюн охватывает интервал от 15 до 8 тыс. кал. л. н. Дюны представляют собой типичные формы мезорельефа на флювиогляциальных песчаных равнинах в Дании, Германии и Польше [37, 38], а также являются характерными элементами ландшафтов в поясе полесий Восточно-Европейской равнины, протянувшемся от бассейна Припяти до Камы [39–41]. Несмотря на то что пик активности эолового рельефообразования в этих регионах пришелся на позднеледниковье, эоловые процессы протекали на протяжении всего раннего голоцена, постепенно затухая по мере нарастания влажности климата и появления сомкнутого растительного покрова [37].

Согласно палеоботаническим данным в раннем голоцене в Центральной и Восточной Европе были распространены березово-сосновые и березовые леса, в которые трансгрессивно в направлении с ЮЗ на СВ начали внедряться широколиственные породы деревьев (рис. 2, 3). Расселение

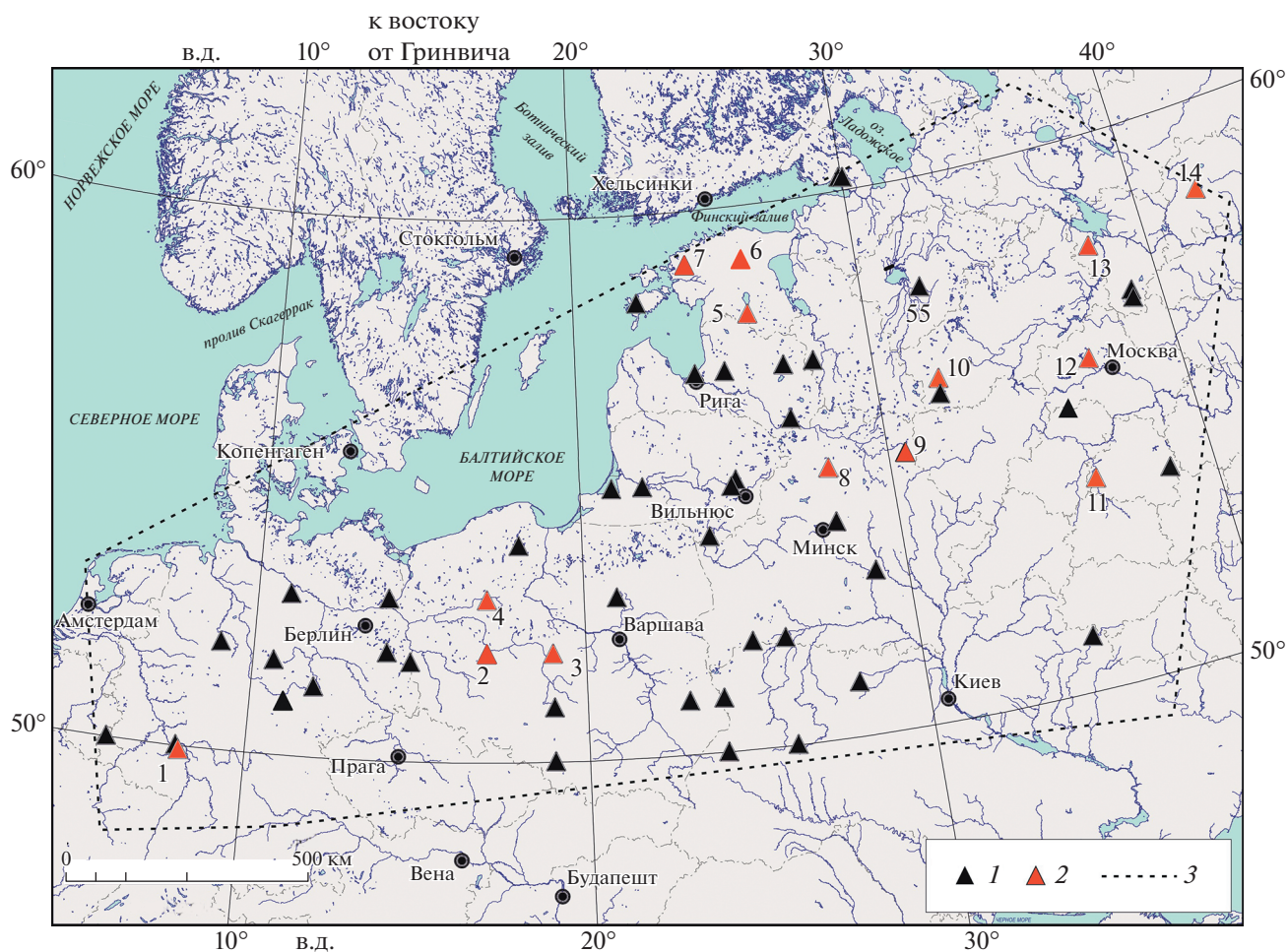


Рис. 1. Изучаемая территория и положение основных разрезов отложений голоцена, упоминаемых в тексте.

Разрезы: 1 – детально изученные и подробно датированные (по Е.Ю. Новенко [22] с дополнениями), 2 – упоминаемые в тексте (1 – оз. Хольцмаар, 2 – оз. Ледница, 3 – оз. Гостенж, 4 – болото Тухола, 5 – оз. Райгаствере, 6 – оз. Виитна, 7 – оз. Руила, 8 – оз. Старое, 9 – оз. Межузол, 10 – болото Старосельский мох, 11 – болото Клюква, 12 – оз. Долгое, 13 – Половецко-Купанское болото, 14 – Галичское озеро); 3 – границы территории, для которой выполнен обзор палеогеографических данных, представленных в статье.

относительно термофильных видов дендрофлоры зависело не только от климатических условий региона, но и от расстояний от позднеплейстоценовых рефугиумов [42]. На территории современной Германии, Польши и стран Балтии березово-сосновые и дубово-сосновые леса с участием вяза и подлеском из лещины были распространены уже начиная с 10.5 тыс. кал. л. н. (рис. 2) [43–51]. В разрезах Белорусского Поозерья подъем кривой пыльцы широколиственных пород относится к рубежу 9.5 тыс. кал. л. н. [52, 53]. В центральных районах Восточно-Европейской равнины широколиственные породы деревьев начали составлять значительную долю в древостоях около 9.0–8.9 тыс. кал. л. н. на Смоленско-Московской и Среднерусской возвышенностях [54, 55] и только после 8.0 тыс. кал. л. н. в бассейне Верхней Волги (рис. 3) [56, 57].

Климатические реконструкции, основанные на палеоботанических данных, показали, что в Центральной Европе в раннем голоцене средняя температура января не превышала -2°C , а в июле не опускалась ниже 15°C [58]. Согласно реконструкциям, полученным по результатам анализа экологических предпочтений видов фауны жесткокрылых, летние температуры в Северной Европе находились в интервале $17\text{--}19^{\circ}\text{C}$, а в Центральной Европе могли быть даже выше [59]. На севере Белоруссии среднегодовые, зимние и летние температуры, рассчитанные с использованием результатов спорово-пыльцевого анализа в период 10.5–9.5 тыс. кал. л. н., были на 2°C ниже, чем в настоящее время (4 , -8 и 16°C соответственно), а в интервале 9.5–8.5 тыс. кал. л. н. теплообеспеченность достигла современного уровня [52]. Быстрое потепление и относительно теплые кли-

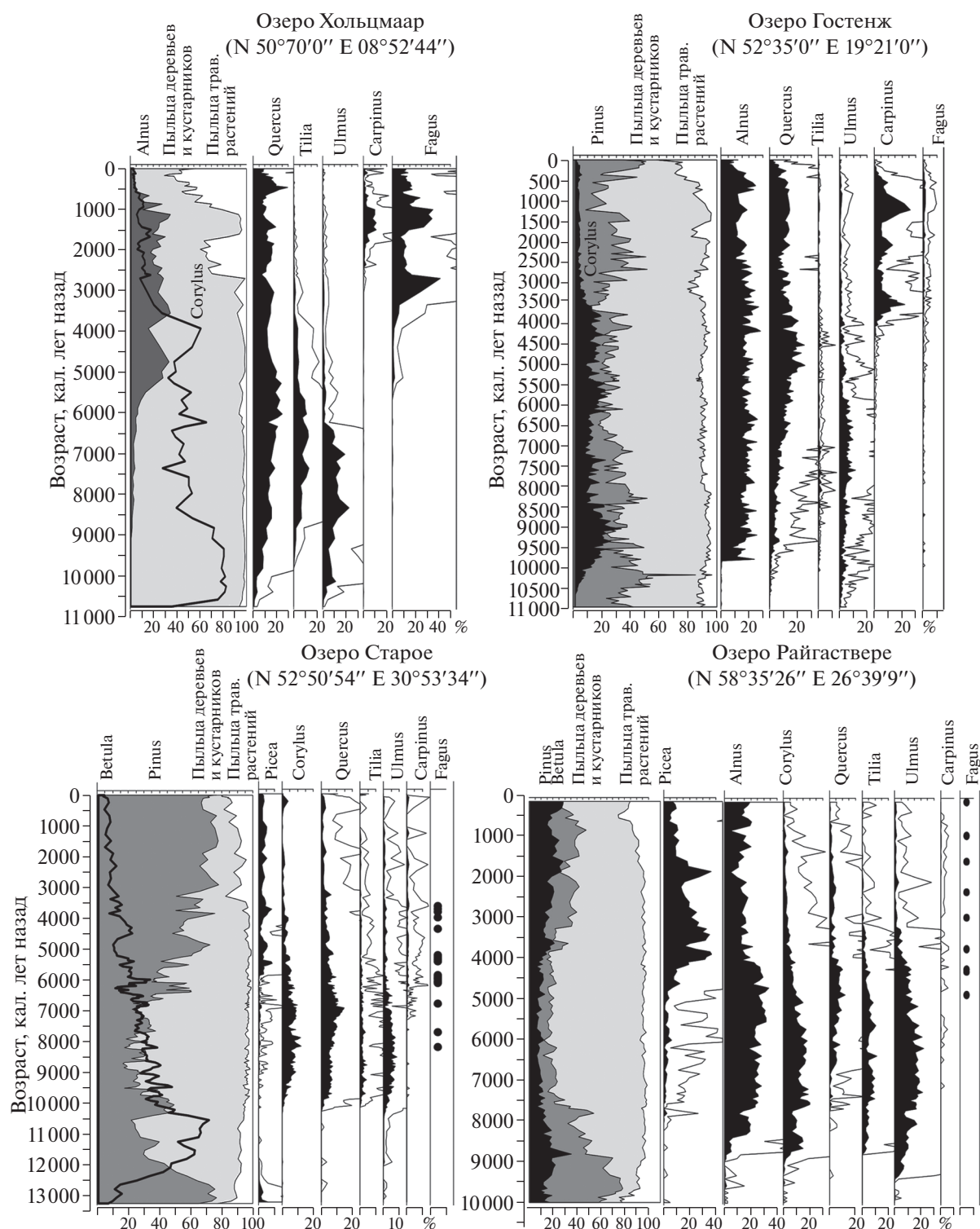


Рис. 2. Изменение содержания пыльцы основных лесообразующих пород в голоцене: сокращенные спорово-пыльцевые диаграммы разрезов отложений озер Хольцмаар (Германия [50]), Гостенж (Польша [51], Старое (Белоруссия [52]) и Райгаствере (Эстония [49]). Дополнительный контур показывает увеличение базового пыльцевого таксона в 10 раз. Точками обозначены единичные пыльцевые зерна.

матические условия в начале голоцена выявлены и для побережья Балтийского моря. Так, например, 10,0 тыс. кал. л. н. в Латвии летние темпера-

туры составляли около 17°C (на 1°C ниже современных значений), но уже к 9,0 тыс. кал. л. н. повысились на 1,5°C [60]. В центральных районах

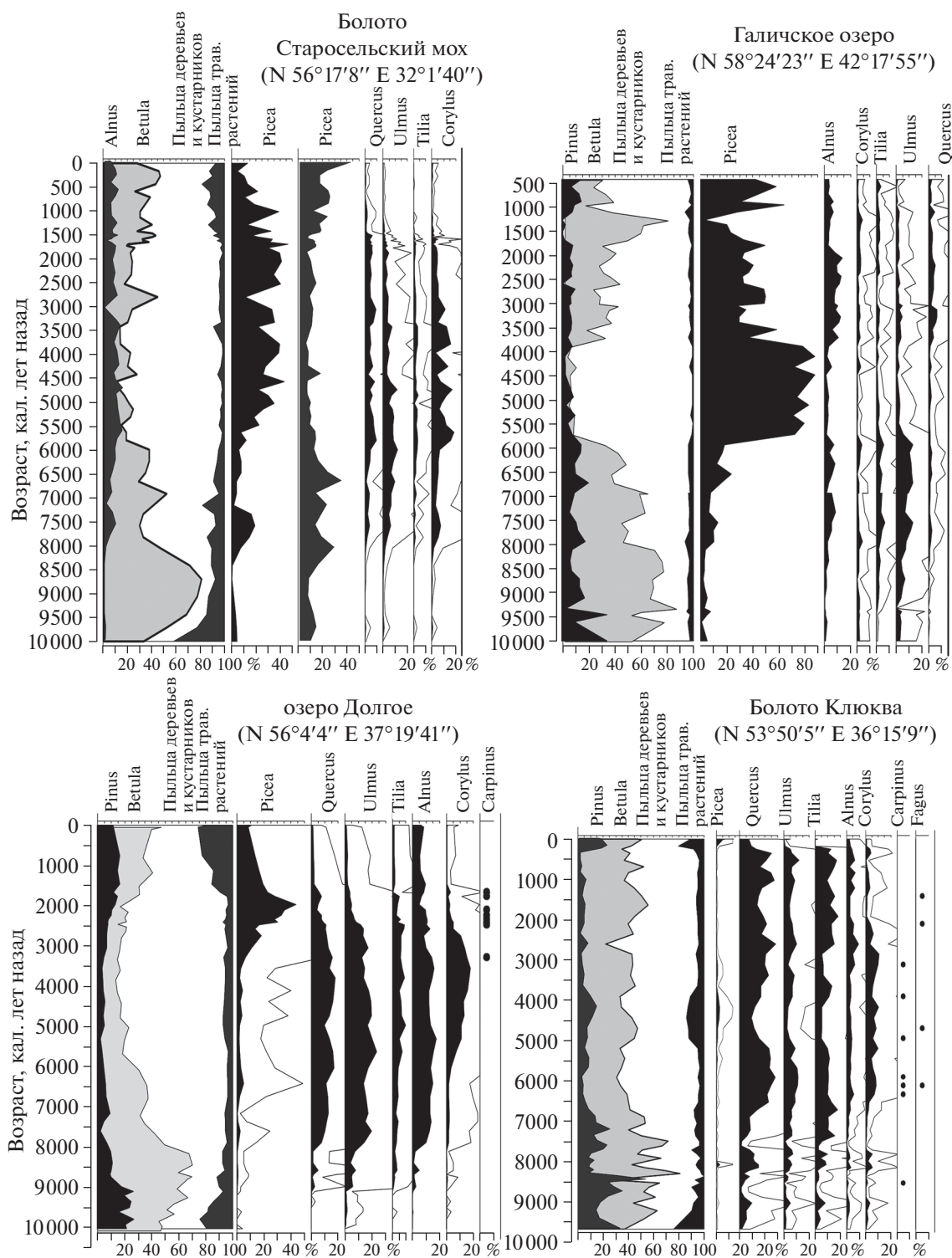


Рис. 3. Изменение содержания пыльцы основных лесообразующих пород в голоцене.

Сокращенные спорово-пыльцевые диаграммы разрезов голоценовых отложений европейской части России: болото Старосельский мох [56], оз. Галичское [81], оз. Долгое [92], болото Ключка [55]. Усл. обозначения – см. рис. 2.

Восточно-Европейской равнины все температурные показатели были ниже современных значений в период 10.1–7.9 тыс. кал. л. н. [61, 62].

Детальные исследования разрезов континентальных и морских отложений в Северной Европе [63], а также изменения изотопно-кислородного

состава ледяных кернов в Гренландии [64] свидетельствуют о климатических флуктуациях в раннем голоцене на фоне общего тренда к потеплению климата (рис. 4). Выделено несколько ярко выраженных кратковременных фаз похолоданий: “пребореальная осцилляция” (11.3–11.15 тыс. кал. л. н.), “событие 10.2 тыс. кал. л. н.” и “событие 8.2 тыс. кал. л. н.” [64–70]. Последнее из этих событий изучено наиболее детально. Реконструкции палеотемператур, полученные по палинологическим данным, показали, что в бассейне Верхней Волги на Европейской территории России, на севере Беларуси и в Литве в период похолодания, соответствующего “событию 8.2 тыс. кал. л. н.”, среднегодовая температура понизилась на 2–3°C [62, 71], а в Эстонии, Финляндии и южной Швеции падение среднегодовых температур составило 1.5–2.0°C [48, 49, 72, 73]. Реконструкции, основанные на данных диатомового анализа, указывают на снижение летних температур на 0.75–1.0°C на севере Финляндии [74]. Обобщение большого количества пыльцевых диаграмм и климатических реконструкций позволило Б. Дэвису и соавт. [7] реконструировать снижение среднегодовой температуры в целом для Европы на 1°C около 8.2 тыс. кал. л. н. (рис. 4).

Причины короткопериодных и резких похолоданий климата в раннем голоцене остаются предметом дискуссий. По данным изменения содержания катиона K^+ в ледяном керне скважины GISP2 в Гренландии [8], являющегося индикатором интенсивности Сибирского антициклона, и катиона Na^+ , отражающего глубину развития Исландского минимума, в периоды этих похолоданий происходило ослабление западного переноса воздушных масс и усиление Сибирского антициклона (рис. 4). Одной из возможных причин климатических флуктуаций было ослабление термогалинной циркуляции в Северной Атлантике [75]. Во время похолодания 8.2 тыс. кал. л. н. эти изменения могли быть вызваны выбросом в океан больших масс пресной воды из крупного приледникового оз. Агассис в Северной Америке [68, 76].

Реконструкции количества осадков в раннем голоцене немногочисленны [61, 62, 77–79] и свидетельствуют о сложной временной и пространственной динамике увлажнения. Согласно данным Е.Ю. Новенко и А.В. Ольчева [62], в период до 9.5 тыс. кал. л. н. среднегодовое количество осадков было меньше современных значений в бассейне Верхней Волги и на Валдае, но превышало их на северо-западе Среднерусской возвышенности (рис. 5). Почти синхронное увеличение количества осадков на всей территории центральных районов европейской части России реконструировано для периода 9.1–8.5 тыс. кал. л. н., когда осадков выпадало в год на 100–200 мм больше, чем в настоящее время [62].

Косвенными источниками информации о влажности климата могут служить данные о колебаниях уровня озер. Результаты изучения серии озер в Швейцарии и Французских Альпах [80], основанные на 180 радиоуглеродных, дендрохронологических и археологических датировках, показали сложную динамику увлажнения в раннем голоцене. Выявлены фазы повышения уровня озер 10.3–10.0 и 9.55–9.15 тыс. кал. л. н., разделенные периодом, когда уровень озер был значительно ниже современного. Исследования в Южной Швеции [78] показали экстремально низкий уровень озер в интервале примерно 10.5–9.7 тыс. кал. л. н., который затем сменился его быстрым подъемом.

СРЕДНИЙ ГОЛОЦЕН (8.2–4.2 тыс. кал. л. н.)

Большое количество исследований, посвященных изменению условий окружающей среды в голоцене, показали, что средняя его подэпоха включает две четко выраженные фазы – термический максимум (8.2–5.7 тыс. кал. л. н.) и последующее похолодание климата [1, 6–8, 11, 21, 58, 81].

Термический максимум голоцена 8.2–5.7 тыс. кал. л. н.

В среднем голоцене литогенная основа ландшафтов в целом была близка к современному состоянию. Наиболее активные преобразования охватывали поймы рек и малые эрозионные формы, продолжалось накопление торфа на слабодренированных водоразделах и на речных террасах. Как показывают результаты палеогидрологических исследований, в период между 8 и 5 тыс. кал. л. н. поймы формировались реками в 1.5–2 раза меньших размеров, чем в раннем голоцене, но с более крутыми излучинами [23, 26]. Размеры палеорусел, образовавшихся в этот период, свидетельствуют о довольно низких расходах воды. По данным А.Ю. Сидорчука и соавт. [82], сток рек на северном мегахлоне Восточно-Европейской равнины был на 30%, а в бассейнах Дона и Днепра на 40% меньше, чем в настоящее время с той же водосборной площади. В бассейне Волги сток рек был почти вдвое ниже современных значений.

В период термического максимума голоцена продолжают активные процессы болотообразования во многих регионах Европы. Так, например, в Карелии, в этот период образовалось около 40% болотных массивов [83]. Обобщение радиоуглеродных датировок базальных горизонтов торфа в болотах Мещерской низменности показало, что большая часть болот, образовавшихся путем суходольного заболачивания, имеют возраст 8.8–5.7 кал. л. н. [84]. Подобные закономерности про-

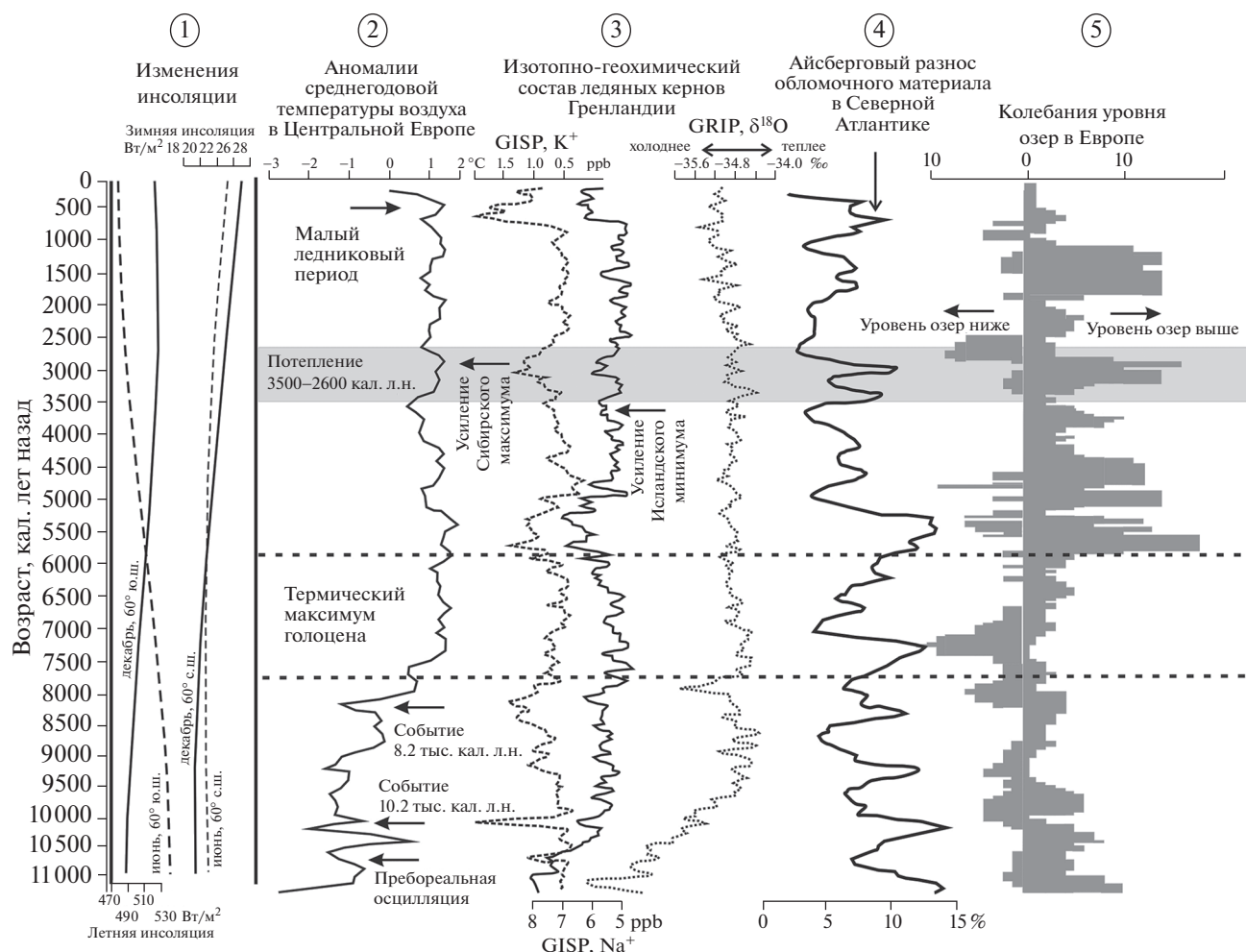


Рис. 4. Климатические изменения на территории Европы в голоцене (реконструкции по данным различных природных архивов).

1 – зимняя и летняя инсоляция на 60° с. ш. и 60° ю. ш. [111]; 2 – реконструкция среднегодовой температуры в Европе по палинологическим данным, выраженная в отклонениях от современных значений [7]; 3 – изменения изотопно-геохимического состава льда в кернах скважин GISP2 и GRIP в Гренландии: содержание катиона K^+ и катиона Na^+ скважины GISP2 [8], изменения $\delta^{18}O$ скважины GRIP [110]; 4 – изменение интенсивности айсбергового разноса обломочного материала в Северной Атлантике, выраженное в процентном соотношении петрологических маркеров [112]; 5 – колебания уровня озер на территории Франции и Швейцарии (количество радиоуглеродных дат с шагом 50 лет, характеризующих более высокий или низкий уровень озер по сравнению с современным [80]).

слежены также для болот в восточной Польше и на западе Украины [85].

В интервале 8.0–5.7 тыс. кал. л. широколиственные леса были распространены повсеместно в среднеширотной области Европы (рис. 2, 3). На северо-западе Европы лесные формации были образованы дубом, липой и вязом с небольшим участием тиса и падуба. В Германии, в южной Швеции, Дании и Польше наивысшего развития достигали дубовые леса с примесью вяза, липы и ольхи и сосново-дубовые леса на песчаных равнинах [43, 44, 46–51, 86–88]. В области герцинских массивов (Шварцвальд, Тюрингский бассейн, Чешский массив) в состав древостоев входили ель и пихта [89].

На Восточно-Европейской равнине, в странах Балтии, на севере и востоке Беларуси и в центральных районах европейской части России хорошо дренированные местообитания на вторичных моренных равнинах занимали смешанные дубово-вязово-липовые леса с подлеском из лещины, в переувлажненных экотопах произрастали ольшаники [21, 22, 54–57, 90–95]. На низменностях Белорусского Полесья, Припечанья и Мещерской полесской низины, сложенных флювиогляциальными песками, произрастали сосновые боры с участием широколиственных пород и ольхи [53, 96, 97].

Обширная литература посвящена реконструкциям климатических условий термического мак-

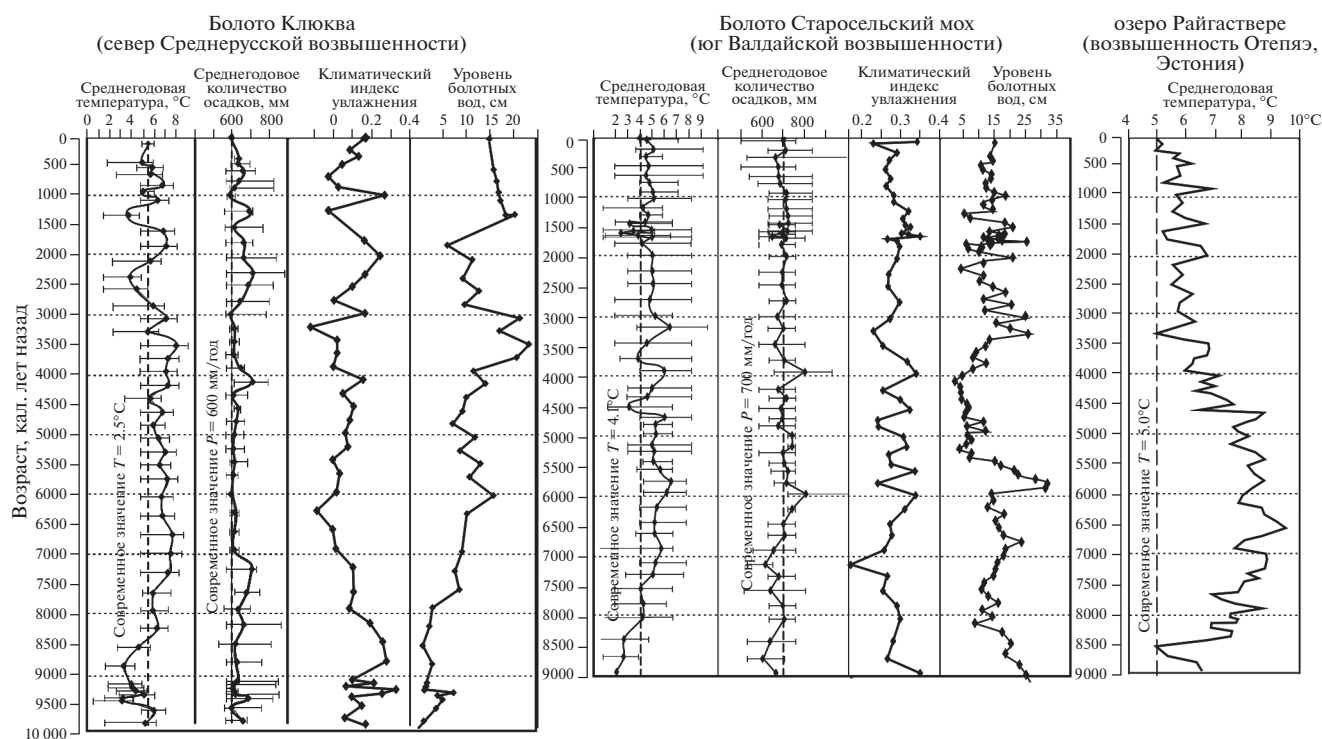


Рис. 5. Климатические изменения на Восточно-Европейской равнине в голоцене: палеоклиматические реконструкции по разрезам болот Клюква [105], Старосельский мох [104] и озера Райгаствере [49].

симула голоцена, как в глобальном масштабе [2, 7, 8, 98–101], так и на региональном уровне [49, 72–74, 102]. Рассматривая имеющиеся данные о палеоклиматических условиях периода 8.0–5.7 тыс. кал. л. н. в Центральной и Восточной Европе, можно сделать заключение о потеплении климата и ослаблении градиента температур в направлении с запада на восток. Так, например, реконструкции В. Загвийна [58] методом индикаторных видов на основе данных по 136 разрезам в Европе показали, что средние температуры января и июля на территории Германии и на западе Польши были близки к современным ($T_1 = -1...0^\circ\text{C}$; $T_{\text{VII}} = 19^\circ\text{C}$). Реконструкции палеотемператур “методом лучших аналогов” по данным разреза оз. Ледница в центральной Польше [77] также выявили среднюю температуру января около 0°C , что на 2°C выше современных значений.

Реконструкции, полученные при помощи переходной функции по палинологическим данным по разрезам озер Райгаствере (рис. 5), Виитна и Руила в Эстонии, свидетельствуют о повышении среднегодовых температур в среднем голоцене до $8\text{--}9^\circ\text{C}$, что на $3\text{--}3.5^\circ\text{C}$ превышает современный уровень [49]. Реконструкции летних температур этим же методом по данным разреза озера Курьяновас в Латвии указывают на рост летних температур до $19\text{--}20^\circ\text{C}$, что на $2\text{--}3^\circ\text{C}$ выше, чем в настоящее время [60]. Обобщение па-

леотемпературных данных, выполненное Х. Сеппэ и соавт. [49], основанное на 36 реконструкциях среднегодовой и июльской температуры по отдельным разрезам Скандинавии и стран Балтии, показало, что в период 8.0–4.8 тыс. кал. л. н. имел место четко выраженный максимум теплообеспеченности климата, когда годовые температуры превышали современные значения в среднем на 2°C .

Значительное потепление климата в период 8.5–5.7 тыс. кал. л. н. установлено также для территории северной Беларуси. Выявлено повышение среднегодовых температур на $2\text{--}4^\circ\text{C}$ по сравнению с современными значениями, а также существенный рост зимних температур [52].

В центре европейской части России реконструкции климатических характеристик, проведенные по палинологическим данным болота Старосельский мох (рис. 5), выявили, что в интервале 7.5–6.5 тыс. кал. л. н. условия теплообеспеченности юга Валдайской возвышенности были близки к современным, а в период 6.5–5.9 тыс. кал. л. н. среднегодовая температура превышала современные значения на 2°C и была равна 6°C . Согласно реконструкциям О.К. Борисовой [102], основанным на анализе ископаемой флоры, теплообеспеченность в бассейне Верхней Волги была значительно выше для всего периода 7.6–5.9 тыс. кал. л. н. Средняя температура января превышала современ-

менные значения на 6°C , средняя температура июля была близка к современным значениям (17°C). Южнее, как показывают наши реконструкции по палинологическим данным по болоту Клюква (рис. 5) на северо-западе Среднерусской возвышенности, существенное потепление установлено для периода 7.5–5.7 тыс. кал. л. н., когда средняя температура года была на 3°C выше, чем в настоящее время.

Согласно реконструкции среднего отклонения годовой суммы осадков от современных значений для Северного полушария для хроносреза примерно 6.8–6.3 тыс. кал. л. н. (6.0–5.5 тыс. ^{14}C л. н.), полученной А.А. Величко и соавт. [2], на территории Центральной Европы количество осадков было близко к современным показателям, а для территории Восточной Европы было характерно их сокращение на 25 мм в год. Расчеты разности между осадками и потенциальным испарением, выполненные Ж. Гуйо и соавт. [98], показали, что около 6.8 тыс. кал. л. н. (6000 ^{14}C л. н.) климат был немного более сухим в Центральной Европе, а на территории Восточно-Европейской равнины условия увлажнения были близки к современным, за исключением восточной части Европейской территории России.

Реконструкции увлажнения климата на территории Восточно-Европейской равнины показали, что годовое количество осадков в северной части Беларуси [52], на западе европейской части России в Приильменской низменности [93] и на северо-западе Среднерусской возвышенности (разрез болота Клюква) было близким к современному, что при повышении летних температур, возможно, могло приводить к иссушению климата за счет увеличения испарения. На юге Валдайской возвышенности, согласно реконструкции по данным разреза болота Старосельский мох, в период 7.5–6.8 тыс. кал. л. н. осадков в год выпадало на 50–75 мм меньше, чем сейчас, а в период 6.8–6.1 тыс. кал. л. н. условия увлажнения были близки к современным. Реконструкции, выполненные В.А. Климановым по данным из разреза Половецко-Купанского болота, также указывают на снижение среднегодового количества осадков на 25–50 мм в Ярославском Поволжье в течение всего среднеголоценового термического максимума [61]. По оценкам О.К. Борисовой для этой же территории осадков выпадало около 600 мм в год [102], что близко к современным значениям.

Для оценки условий увлажнения в течение голоцена нами был применен климатический индекс увлажнения (climate moisture index, CMI). В основу CMI положено соотношение годового количества осадков и величины потенциального испарения (испаряемости) [103]. Необходимое для расчетов потенциальное испарение рассчитывается с помощью уравнения Пристли–Тейлора с

использованием информации об изменении растительности и температуры, реконструированной по палинологическим данным разрезов болот Старосельский мох и Клюква. Расчеты показали, что на Валдайской и Среднерусской возвышенностях величина испаряемости была почти равна количеству выпадающих осадков в период 7.0–5.5 тыс. кал. л. н. (рис. 5), что указывает на относительно сухие климатические условия [104, 105].

Одним из косвенных показателей уменьшения влажности климата в среднем голоцене являются данные о колебаниях уровня озер. Для территории Центральной Европы в целом характерно понижение уровня озер около 7.0 тыс. кал. л. н. [80]. Существенное снижение уровня озер выявлено в это же время в бассейне Верхней Волги [106]. Однако в озерах в отдельных регионах, например, в южной Швеции могло происходить как существенное снижение, так и повышение уровня [78].

В Германии широко известна и описана в многочисленных разрезах в Саксонии, Гессене и Нижней Саксонии так называемая “черноземовидная пойменная почва” (Schwarzer Auenboden), возраст которой, определенный различными методами, относится к среднему голоцену [107]. Формирование этой почвы указывает на снижение высоты половодий, стабилизацию поверхности и активные процессы почвообразования. Об уменьшении водности рек в этот же период на Восточно-Европейской равнине свидетельствуют результаты исследований морфологии речных излучин [82, 108] и строения почвенных профилей на поймах рек [25].

Другой подход к оценке условий увлажнения – реконструкции колебания уровня болотных вод по ризоподным данным. Подобные расчеты при помощи переходной функции на основе изменений видового состава сообществ раковинных амёб из разреза болота Тухола в северной Польше [47] показали экстремально сухой период 7.15–6.8 тыс. кал. л. н., что хорошо согласуется с данными по колебаниям уровня озер этого региона [109]. Исследования на юге Валдайской возвышенности позволили выделить два периода понижения поверхностной влажности в болоте Старосельский мох (рис. 4), обусловленных сухими условиями в летний период – 7.0–6.2 и 6.0–5.5 тыс. кал. л. н. [104]. Сходные результаты получены по данным ризоподного анализа болота Клюква на Среднерусской возвышенности [105], где период понижения уровня болотных вод выделен между 6.8 и 5.5 тыс. кал. л. н. (рис. 4).

Период 5.7–4.2 тыс. кал. л. н. — начало “неогляциала”, “событие 4.2 тыс. кал. л. н.”).

Климатические реконструкции, выполненные по материалам разных природных архивов с широким географическим охватом, убедительно демонстрируют смену тренда глобальных климатических изменений и начало похолодания климата после 5.7–5.5 тыс. кал. л. н. [6–9, 11, 21, 110], причиной которого, очевидно, явилось сокращение прихода солнечной радиации в летний период [111] (рис. 4). Этому времени соответствуют повсеместное наступление горных ледников (начало “неогляциала” [4, 9]), усиление западного переноса воздушных масс [8]. В морских отложениях в Северной Атлантике вновь отмечаются увеличения поступления минеральных частиц за счет айсбергового разноса (рис. 4) и появление холодолюбивых видов планктонных фораминифер [112]. Похолодание и увлажнение климата привело к существенному (в 1.5–2 раза) увеличению стока воды в речных системах Центральной и Восточной Европы и смене морфодинамического типа речных русел на значительных территориях [26], а также к возрастанию высоты половодий [113].

В Западной и Центральной Европе, начиная с 5.7 тыс. кал. л. н., происходило постепенное распространение граба и бука и усиление их роли в качестве доминантов лесных сообществ (рис. 2), на севере и северо-востоке Восточной Европы увеличилась доля ели в древостоях (рис. 3). На протяжении второй половины голоцена исследователи Восточной Европы выделяют несколько последовательных фаз увеличения и сокращения доли ели и широколиственных пород. На территории Белорусского Поозерья, в Прибалтике и в бассейне Верхней Волги на территории России первая фаза распространения еловых и широколиственно-еловых лесов относится к рубежу около 5.7–5.5 тыс. кал. л. н. [21, 49, 96, 114, 115]. В Вятско-Камском крае возрастало участие пихты в лесных сообществах [116]. На Смоленско-Московской и Среднерусской возвышенностях, а также в поясе полесий в растительном покрове в то же время продолжали преобладать смешанные широколиственные и широколиственно-сосновые леса [22, 79, 117, 118].

Реконструкции изменения палеотемператур для территории Европы [7] показали, что в центральной ее части понижение средних температур января, июля и года после 5.7 кал. л. н. не превышало 2°C. Согласно климатическим реконструкциям по данным разрезов в Эстонии [49], в Латвии [60], на севере Беларуси [52] и в европейской России на Приильменской низменности [93] и на Валдайской возвышенности [104] снижение среднегодовых температур около 5.7 тыс. кал. л. н. составляло 2–3°C (рис. 5), осад-

ки были близки к современным значениям, а около 4.5 тыс. кал. л. н. их количество возросло до 800 мм/год (на 100 мм выше, чем сейчас). На Среднерусской возвышенности [55] среднегодовые температуры понизились на 1–2°C и достигли современных значений, осадков выпадало 600 мм/год (рис. 5).

К настоящему времени существует очень мало исследований, посвященных изменению климата и окружающей среды в период “события 4.2 тыс. кал. л. н.” в Европе. Немногочисленные реконструкции, полученные по различным природным архивам, противоречивы, и выделенные климатические сигналы асинхронны [119, 120]. В целом для Северной Евразии была выдвинута гипотеза об увеличении амплитуды температур между сезонами года во время “события 4.2 кал. л. н.” [121]. Понижение зимних температур связывают с ослаблением исландского минимума [122]. На севере Африки и в Средиземноморском регионе этот период был сопряжен с длительными летними засухами [123].

ПОЗДНИЙ ГОЛОЦЕН

(4.2 тыс. кал. л. н. — настоящее время)

В позднем голоцене изменения растительности и динамика рельефообразующих процессов были обусловлены как климатическими изменениями, так и действием антропогенного фактора, влияние которого особенно усилилось в последнее тысячелетие.

Растительный покров Центральной Европы окончательно сформировался в позднем голоцене, когда наибольшие площади заняли буковые, буково-грабовые и буково-дубовые леса (рис. 2). В распространении буковых лесов отмечается некоторое запаздывание в направлении с запада на восток. Так, в западной и центральной Германии, в бассейнах Рейна, Везера и Заале подъем кривой бука на спорово-пыльцевых диаграммах относится ко времени около 3.7–3.9 тыс. кал. л. н., но уже на востоке Германии в бассейнах Эльбы и Одера и в западной Польше бук становится основной лесообразующей породой только около 2.8–2.6 тыс. кал. л. н. [43, 46, 47]. В центральной и восточной Польше [124] основными лесообразующими породами были граб и сосна, при значительном участии дуба. Бук присутствовал на этих территориях в виде примеси. Формирование грабовых лесов началось около 3.5 тыс. кал. л. н., когда граб постепенно вытеснил из древостоев дуб и липу. В Белорусском Полесье в течение интервала 2.7–1.0 тыс. кал. л. н. возрастает участие в спектрах пыльцы граба (до 10%), палинологические данные указывают на распространение смешанных сосново-широколиственных лесов с участием дуба и граба и с примесью липы, вяза, ели и, возможно, бука [51–53, 96]. Пыльца граба отме-

чена в спорово-пыльцевых спектрах позднего голоцена из разрезов в странах Балтии повсеместно. Однако ее содержание не превышает 1–2%.

На территории Центральной России перестройка растительного покрова была связана с увеличением доли ели, которое происходило трансгрессивно с севера на юг (рис. 3). И если на северо-западе России и в бассейне Верхней Волги еловые и широколиственно-еловые леса начали формироваться еще около 5.7 тыс. кал. л. н. (в среднем голоцене), то на Смоленско-Московской возвышенности и в поясе псаммофитно-боровых ландшафтов полесий увеличение доли ели в древостоях началась около 2.7–2.5 тыс. кал. л. н., хотя в небольшом количестве ель присутствовала в этих регионах и ранее [54, 91–97, 104]. Южнее, в бассейне Верхней Оки и на Среднерусской возвышенности, широколиственные леса из дуба, вяза и липы сохранялись на протяжении всего голоцена [55]. Ель, будучи на границе своего ареала, входила в лесные ценозы в виде примеси в благоприятных экотопах, начиная с 2.5 тыс. кал. л. н.

Исследования климатических изменений в позднем голоцене, как в отдельных регионах, так и для территории Европы в целом, показали, что на фоне общего тренда к снижению теплообеспеченности выделяются периоды потеплений и похолоданий. Климатические реконструкции по палинологическим данным ряда разрезов (озер Курьяновас в Латвии [60], Райгаствере, Виитна и Руила в Эстонии [49] и Межухол в Беларуси [52] и болот Старосельский мох и Клюква в европейской части России) позволили выделить теплую фазу между 3.5 и 2.5 тыс. кал. л. н. В этот период среднегодовые и летние температуры превышали современные значения на 1–2°C, количество осадков было близким к современным или немного ниже (рис. 5). Для этого временного интервала по данным разрезов болот Старосельский мох и Клюква реконструирован низкий показатель СМІ, а также наиболее низкий уровень болотных вод за весь голоцен, что указывает на существенное снижение поверхностной влажности болотных экосистем в летний период, очевидно за счет изменения баланса осадки/испарение [104, 105]. Потепление около 3.5 тыс. кал. л. н. зафиксировано также в климатических реконструкциях для Ярославского Поволжья, полученных по палинологическим материалам Половецко-Купанского болота и озера Галич [81, 117], согласно которым все температурные показатели превышали современные на 1.5°C. Увеличение содержания катиона K^+ в ледяном керне GISP2 в Гренландии в этот временной интервал (рис. 4) указывает на усиление действия Сибирского антициклона [8], что, вероятно, приводило к увеличению повторяемости антициклональных обстановок на Восточно-Европейской равнине и в летний период могло вызывать засухи и создавать

условия для возникновения частых лесных пожаров [97, 105].

Потепление сменилось плавным похолоданием около 2.6–2.5 тыс. кал. л. н. Это похолодание отчетливо зафиксировано по палеоботаническим данным [7, 11] и изотопно-кислородному составу ледяных кернов Гренландии [64], а также сопровождалось синхронным увеличением размеров ледников во всех горных странах Европы [4, 9]. Данные о строении торфяных залежей, степени гумификации торфа и результатах ризоподного анализа отложений разрезов верховых болот в Великобритании, Ирландии, Нидерландах, Северной Германии, Дании и Швеции также указывают на похолодание и увлажнение климата в период 2.8–2.2 тыс. кал. л. н. [77, 125–127].

В течение первого тысячелетия нашей эры многие авторы выделяют римское потепление (2.0–1.7 тыс. кал. л. н.) и похолодание “темных веков” (1.7–1.2 тыс. кал. л. н.) [128–130]. Ландшафтно-климатические изменения последнего тысячелетия включают две ярко выраженных климатических фазы: средневековая климатическая аномалия (СКА, 950–1250 гг. н. э.) и Малый ледниковый период (МЛП, 1400–1850 гг. н. э.) [9–14, 117]. Палеоклиматические реконструкции с использованием различных природных архивов характеризуют римское потепление и СКА как теплые и относительно сухие периоды [131]. Аномалии среднегодовых температур в Центральной Европе в течение обоих периодов составляли 1°C [7]. Согласно палеоклиматическим реконструкциям по данным из оз. Райгаствере, среднегодовая температура в период СКА в странах Балтии превышала современный уровень на 1°C [49]. Реконструкции палеотемператур для территории юга Валдайской возвышенности указывают на повышение среднегодовых температур на 1.5°C. Расчеты В.А. Климанова для Ярославского Поволжья показали, что все характеристики температур в течение СКА были близки к современным, а количество осадков – на 25–50 мм ниже [117, 118].

Реконструкции увлажнения климата в течение римского потепления и СКА противоречивы. Есть данные о повторяющихся летних засухах, выявленных в ряде регионов Европы около 1.2–1.0 кал. л. н. [132]. Радиоуглеродные датировки малых палеорусел в среднем течении р. Москвы (1380 ± 120 Ki–12110; 1320 ± 110 Ki–12111; 1200 ± 120 Ki–12112) и в бассейне Верхнего Днепра (1980 ± 70 ЛУ–5988; 1820 ± 70 ИГАН–3590) указывают на относительно маловодные условия в период их формирования [25].

Климат Европы во время так называемых “темных веков” был более прохладный и влажный, чем в настоящее время [129]. В интервале от 1.7 до 1.5 тыс. кал. л. н. происходило увеличение

горного оледенения [4], подъем уровня озер [80], увеличение лесистости в лесостепной зоне [22]. Согласно результатам изучения сообществ раковинных амёб и степени гумификации торфа в болотах Западной Европы [125, 126], поверхностная влажность в болотных экосистемах возросла в периоды 1.8–1.7 и 1.4–1.3 тыс. кал. л. н. Однако реконструкции, полученные для Восточно-Европейской равнины по данным болота Усвятский мох (Западная Двина) и Половецко-Купанского болота в Ярославском Поволжье, свидетельствуют о потеплении климата и относительно сухих условиях в то же время [117, 133].

Резкое и глубокое снижение теплообеспеченности в течение МЛП прослеживается повсеместно, как на рассматриваемой территории, так и по всему Северному полушарию [12]. Для Центральной Европы аномалии летних, зимних и среднегодовых температур в это время составляли -1°C [7, 11]. Реконструкции К. Барбер и соавт. [77] с использованием палинологических данных по разрезу оз. Ледница в западной Польше выявили более значительное похолодание в зимнее время, когда средние температуры января и среднегодовые температуры были ниже современных значений на 2.5°C . В странах Балтии существенное снижение теплообеспеченности также установлено по данным ряда разрезов. Среднегодовые температуры были на 2°C ниже, чем в настоящее время [49].

МЛП на Валдайской возвышенности характеризовался понижением средней температуры января на 3°C (до -12°C) и среднегодовой температуры на 2°C , июльская температура менялась незначительно. В спорово-пыльцевых спектрах этого временного интервала происходит резкое падение доли термофильных элементов, практически до их полного исчезновения, и увеличение роли пыльцы ели. В спорово-пыльцевых спектрах Половецко-Купанского болота МЛП проявился, помимо деградации широколиственных пород, в существенном увеличении доли кустарниковых берез. В.А. Климанов охарактеризовал это похолодание не только падением зимних температур, но и летних, и среднегодовых [117]. Отклонения последних от современных значений составляли 2°C . Осадков выпадало на 50 мм в год больше, чем в настоящее время.

Реконструкции среднегодового количества осадков для МЛП противоречивы. Так, по данным разреза Старосельский мох нами получены данные о снижении количества осадков на 25–50 мм в год на Валдайской возвышенности, а по данным разреза болота Клюква следует их рост на 50–70 мм на Среднерусской возвышенности (рис. 5). Следы увеличения влажности климата в течение холодных фаз позднего голоцена прослеживаются в морфологии речных русел и флюви-

альном осадконакоплении на обширных пространствах в Центральной и Восточной Европе. Это время было отмечено ростом частоты и высоты весенних половодий с соответствующим усилением осадконакопления на поймах рек, формированием вторичных врезов в оврагах и балках [26]. Данные статистической обработки массивов количественных датировок аллювия на Восточно-Европейской равнине [134] свидетельствуют об увеличении стока в периоды похолоданий позднего голоцена. В течение последних 500 лет существенно активизировались процессы болотообразования, не только в Европе, но и в Северной Евразии в целом [135]; возросли скорости горизонтального и вертикального прироста торфа; на слабодренированных вторичных моренных равнинах в таежной зоне начал развиваться процесс площадного заболачивания лесов [136].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛАНДШАФТНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Проведенный анализ ландшафтно-климатических реконструкций для территории Центральной и Восточной Европы показал, что выделенные периоды похолоданий и разделяющих их потеплений климата в целом совпадают с этапами, установленными в глобальном масштабе [8]. Расхождения во времени начала и конца теплых и холодных фаз в различных районах составляют 100–200 лет, что находится в пределах допустимой погрешности радиоуглеродных дат и также может быть связано с неточностями построения моделей возраст/глубина для конкретных разрезов, по которым проводились реконструкции.

“Критическая точка” климатических изменений, связанная с “событием 8.2 тыс. кал. л. н.”, предложенным МСК как граница раннего и среднего голоцена [19, 20], в Центральной и Восточной Европе является поворотным событием при переходе климатической системы от потепления раннего голоцена к его термическому максимуму. Изменения климата, связанные с “событием 4.2 тыс. кал. л. н.”, предложенным как рубеж среднего и позднего голоцена [19], по нашим данным прослеживаются не так отчетливо, как похолодание около 5.7 тыс. кал. л. н. В Центральной и Восточной Европе, начиная с 5.7 тыс. кал. л. н., меняется направленность климатического тренда и усиливается секторная дифференциация растительного покрова.

Согласно последним оценкам МГЭИК [18], основанным на результатах модельных экспериментов CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5) по четырем основным сценариям репрезентативных траекторий концентраций парниковых газов (RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0 и RCP8.5), рост среднеглобальной температуры к

концу текущего столетия составит от 0.3 (наиболее мягкий сценарий RCP2.6) до 4.8°C (наиболее жесткий сценарий RCP8.5). Увеличение количества осадков составит от 6% (RCP2.6) до 12% (RCP8.5). Оценка роста среднегодовой температуры воздуха в Центральной и Восточной Европе к концу XXI века в рамках этих сценариев предполагает ее увеличение на 2.0–2.5°C по наиболее мягкому сценарию и на 6.0–7.0°C по наиболее жесткому. Прирост среднегодового количества осадков составит от 7% (RCP2.6) до 15% (RCP8.5) [18].

Используя метод палеоаналогов, предложенный М.И. Будыко [137] и широко применяемый А.А. Величко и соавт. [16] для прогнозирования возможной динамики ландшафтов и климата с использованием палеогеографических данных, можно предложить условия термического максимума голоцена (8.0–5.7 тыс. кал. л. н.), когда среднегодовые температуры превышали современные в рассматриваемом регионе на 2–3°C, и условия периодов потеплений в интервалах 3.5–2.5 тыс. кал. л. н., 2.0–1.7 тыс. кал. л. н. (римский теплый период) и средневековой климатической аномалии, когда отклонения среднегодовых температур от современных значений составляли от 1.0 до 2.0°C в качестве возможных траекторий изменения природной среды при потеплении климата в случае реализации сценариев RCP2.6 и RCP4.5. Сценарии RCP6.0 и RCP8.5 предполагают большее отклонение температур от современных значений, чем было выявлено в течение голоцена. Палеоаналоги этих обстановок следует искать в условиях более ранних межледниковий.

Принимая во внимание ландшафтно-климатические реконструкции для голоцена Центральной и Восточной Европы, можно ожидать изменений внутренней структуры геосистем особенно в восточной части рассматриваемой территории, а также возрастания частоты катастрофических явлений, связанных с неравномерностью выпадения осадков, и природных пожаров. Однако даже для наиболее резких перестроек ландшафтных компонентов в голоцене требовались столетия и даже тысячелетия, в то время как ожидаемое в XXI веке потепление климата может занять период менее ста лет. Адаптивные механизмы геосистем обладают определенной инерцией и, очевидно, при прогнозе следует учитывать некоторое запаздывание отклика ландшафтных компонентов на потепление климата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке проекта РФФИ 19-15-50126.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет (общая палеогеография). Атлас-монография. М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
2. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северной Евразии. Поздний плейстоцен-голоцен. Атлас-монография. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
3. Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии. Атлас-монография. М.: ГЕОС, 2010. 220 с.
4. Solomina O., Haeberli W., Kull C., and Wiles G. Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview // *Global and Planetary Change*. 2008. No. 60. P. 1–9.
5. Соломина О.Н. Климатические причины колебаний горных ледников в голоцене // *Лед и снег*. 2010. № 1. С. 103–110.
6. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2014. № 2. С. 5–20.
7. Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., and Guiot J. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data // *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 1701–1716.
8. Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C., Karlén W., Maasch K., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack R., Staubwasser M., Schneider R.R., and Steig E.J. Holocene climate variability // *Quaternary Research*. 2004. No. 62. P. 243–255.
9. Wanner H., Beer J., Butikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., and Widmann M. Mid- to Late Holocene climate change: an overview // *Quaternary Science Reviews*. Vol. 27. P. 1791–1828.
10. Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., and Ni.F. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly // *Science*. 2009. No. 326. P. 1256–1260.
11. Mauri A., Davis B.A.S., Collins P.M., and Kaplan J.O. The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation // *Quaternary Science Reviews*. 2015. No. 112. P. 109–127.
12. Christiansen B. and Ljungqvist F.C. Challenges and perspectives for large-scale temperature reconstructions of the past two millennia // *Reviews of Geophysics*. 2017. No. 55 (1). P. 40–96.
13. PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia // *Nature Geoscience*. 2013. No. 6. P. 339–346.
14. PAGES 2k Consortium. A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era // *Scientific Data*. 2017. No. 4 (170088). P. 1–33.
15. Kaufman D., McKay N., Routson C., and data Contributors. A global database of Holocene paleotemperature records // *Scientific data*. 2020. No. 7 (1). P. 1–34.

16. Величко А.А. Эволюционная география: проблемы и решения. М.: ГЕОС, 2012. 563 с.
17. Bradley R.S. Holocene perspectives on future climate change // Natural climate variability and global warming: A Holocene perspective / R.W. Battarbee and H.A. Binney (Eds.). Chichester: J. Wiley & Sons, 2008. P. 254–268.
18. IPCC. 2013. Climate change 2013. The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press. 1535 p.
19. Head M.J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions // Quaternary International. 2019. No. 500. P. 32–51.
20. Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L.C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Newnham R., Rasmussen S.O., and Weiss H. Subdividing the Holocene Series / Epoch: formalisation of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes // Journal of Quaternary Science. 2019. No. 34. P. 173–186.
21. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
22. Новенко Е.Ю. Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. М.: ГЕОС, 2016. 228 с.
23. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Климатически обусловленные изменения речного стока на равнинах Северной Евразии в позднеледниковье и голоцене // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 4. С. 406–416.
24. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Речной сток на Восточно-Европейской равнине за последние 20 тысяч лет и проблема изменения уровней южных морей // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 144–168.
25. Брылев В.А., Мозжерин В.В., Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Палеопотамология речной системы Волги // Эрозионные и русловые процессы / Ред. Р.С. Чалов. М.: Макс-пресс, 2010. С. 116–147.
26. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Основные этапы формирования пойм равнинных рек Северной Евразии // Геоморфология. 2011. № 3. С. 20–31.
27. Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М. Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. М.: Наука, 1996. 150 с.
28. MacDonald G.M., Beilman D.W., Kremenetski K.V., Sheng Y., Smith L.C., and Velichko A.A. Rapid early development of circumarctic peatlands and atmospheric CH₄ and CO₂ variations // Science. 2006. No. 314. P. 285–288.
29. Korhola A., Ruppel M., Seppä H., Väliranta M., Virtanen N., and Weckström J. The importance of northern peatland expansion to the late-Holocene rise of atmospheric methane // Quaternary Science Reviews. 2010. No. 29. P. 611–617.
30. Howard A.J., Macklin M.G., Bailey D.W., Mills S., and Andreescu R. Late-glacial and Holocene river development in the Teleorman Valley on the southern Romanian Plain // Journal of Quaternary Science. 2004. Vol. 19. P. 271–280.
31. Kasse C., Bohncke S.J.P., Vandenberghe J., and Gábris G. Fluvial style changes during the last glacial-interglacial transition in the middle Tisza valley (Hungary) // Proceedings of Geology Association. 2010. No. 121. P. 80–194.
32. Persöiu I., Radoane M., and Urdea P. River behavior during Pleniglacial–Late Glacial // Landform Dynamics and Evolution in Romania / M. Radoane, A. Vespremeanu-Stroe (Eds.). Springer Geography. 2017. P. 443–468.
33. Starkel L. Evolution of the Carpathian valleys and the Forecarpathian basins in the Vistulian and Holocene // Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica. 1995. No. 29. P. 5–40.
34. Starkel L., Michczyńska D.J., Gębica P., Kiss T., Panin A., and Persöiu I. Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Europe (60–8 ka cal BP) // Quaternary International. 2015. No. 388. P. 97–118.
35. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. Т. 19. № 4. С. 93–96.
36. Vandenberghe D.A.G., Derese C., Kasse C., and Van den Haute P. Late Weichselian (fluvio-aeolian sediments and Holocene drift-sands of the classic type locality in Twente (E Netherlands): a high-resolution dating study using optically stimulated luminescence // Quaternary Science Reviews. 2013. No. 68. P. 96–113.
37. Kalinska E. and Nartiss M. Pleistocene and Holocene Aeolian sediments of different location and geological history: A new insight from rounding and frosting of quartz grains. // Quaternary International. 2014. No. 328–329. P. 311–322.
38. Kalińska-Nartiša E., Thiel C., Nartišs M., Buylaert J.-P., and Murray A.S. The north-eastern aeolian 'European Sand Belt' as potential record of environmental changes: A case study from Eastern Latvia and Southern Estonia // Aeolian Research. 2016. No. 22. P. 59–72.
39. Stancikaite M., Baltrunas V., Karmaza B., Karmazienė D., Molodkov A., Obukhowsky V.S., Sidorowich W.M., and Motuzko A.N. The Late Glacial history of Gornitsa foreland and Kovaltsy Palaeolithic site, W Belarus // Baltica. 2011. No. 24 (1). P. 25–36.
40. Drenova A.N., Timireva S.N., and Chikolini N.I. Late Glacial dune-building in the Russian Plain // Quaternary International. 1997. No. 41 (42). P. 59–66.
41. Velichko A.A., Catto N., Drenova A.N., Klimanov V.A., Kremenetski K.V., and Nechaev V.P. Climate changes in East Europe and Siberia at the Late glacial–Holocene transition // Quaternary International. 2002. No. 91. P. 75–99.
42. Гричук В.П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М.: Наука, 1989. 183 с.
43. Jahns S. Late-glacial and Holocene woodland dynamics and land-use history of the Lower Oder valley, north-eastern Germany, based on two, AMS ¹⁴C-dated, pollen profiles // Vegetation History and Archaeobotany. 2000. No. 9. P. 111–123.

44. *Jahns S.* Palynological investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and settlement at the Löddigsee, Mecklenburg, Germany // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2007. No. 16. P. 157–169.
45. *Bos J.A.A. and Urz R.* Late Glacial and early Holocene environment in the middle Lahn river valley (Hessen, central-west Germany) and the local impact of early Mesolithic people – pollen and macrofossil evidence // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2003. No. 12. P. 19–36.
46. *Gałka M., Miotk-Szpiganowicz G., Goslar T., Jęsko M., van der Knaap W.O., and Lamentowicz M.* Palaeohydrology, fires and vegetation succession in the southern Baltic during the last 7500 years reconstructed from a raised bog based on multi-proxy data // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2013. No. 370. P. 209–221.
47. *Lamentowicz M., Obremska M., and Mitchell E.A.D.* Autogenic succession, land-use change, and climatic influences on the Holocene development of a kettle-hole mire in Northern Poland // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2008. No. 151. P. 21–40.
48. *Heikkilä M. and Seppä H.* A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from southern boreal zone in Finland // *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 541–554.
49. *Seppä H. and Poska A.* Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns // *Quaternary Research*. 2004. No. 61. P. 22–31.
50. *Leroy S.A.G., Zolitschka B., Negendank J.F.W., and Sereet G.* Palynological analyses in the laminated sediment of Lake Holzmaar (Eifel, Germany): duration of Late-glacial and Preboreal biozone // *Boreas*. 2000. No. 29 (1). P. 52–71.
51. *Goslar T., Kuc T., Ralska-Jasiewiczowa M., Różański K., Arnold M., Bard E., van Geel B., Pazdur M., Szeroczyńska K., Wicik B., Więckowski K., and Walanus A.* High-resolution lacustrine record of the Late Glacial/Holocene transition in central Europe // *Quaternary Science Reviews*. 1993. No. 12. P. 287–294.
52. *Зерницкая В.П., Новенко Е.Ю.* Реконструкция климата Беларуси в позднеледниковье и голоцене // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2016. Т. 9. № 163. С. 21–24.
53. *Зерницкая В.П., Новенко Е.Ю., Станчикайте М., Власов Б.П.* Изменения окружающей среды в позднеледниковье и голоцене на юго-востоке Беларуси // *Доклады НАН Беларуси*. 2019. Т. 63. № 5. С. 584–596.
54. *Низовцев В.А., Новенко Е.Ю., Эрман Н.М., Мазей Н.Г., Матасов В.М., Лаврова Н.Б., Филимонова Л.В.* Эволюция ландшафтов бассейна Средней Протвы в голоцене // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2020. № 1. С. 73–86.
55. *Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Volkova E.M., Babeshko K.V., Lavrentiev N.V., Payne R.J., and Mazei Y.A.* The Holocene palaeoenvironmental history of Central European Russia reconstructed from pollen, plant macrofossil and testate amoeba analyses of the Klukva peatland, Tula region // *Quaternary Research*. 2015. No. 83. P. 459–468.
56. *Novenko E.Yu., Volkova E.M., Nosova M.B., and Zaganova 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 International*. 2009. No. 207. P. 93–103.
57. *Tarasov P.E., Savelieva L.A., Long T., and Leipe C.* Postglacial vegetation and climate history and traces of early human impact and agriculture in the present-day cool mixed forest zone of European Russia // *Quaternary International*. 2019. No. 516. P. 21–41.
58. *Zagwijn W.H.* Reconstruction of climate change during the Holocene in western and central Europe based on pollen records of indicator species // *Vegetation History and Archaeobotany*. 1994. No. 3. P. 65–88.
59. *Coope G.R., Lemdahl G., Lowe J.J., and Walkling A.* Temperature gradients in northern Europe during the last glacial-Holocene transition (14–9 ¹⁴C kyr BP) interpreted from coleopteran assemblages // *Journal of Quaternary Science*. 1998. No. 5. P. 419–433.
60. *Heikkilä M. and Seppä H.* Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: a pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison // *Boreas*. 2010. No. 39. P. 705–719.
61. *Khotinski N.A. and Klimanov V.A.* Allerød, Younger Dryas and Early Holocene palaeo-environmental stratigraphy // *Quaternary International*. 1997. No. 41/42. P. 67–70.
62. *Novenko E.Yu. and Olchev A.V.* Early Holocene vegetation and climate dynamics in the central part of the East European Plain (Russia) // *Quaternary International*. 2015. No. 388. P. 12–22.
63. *Björck S., Kromer B., Johnsen S., Bennike O., Hammarlund D., Lemdahl G., Possnert G., Rasmussen T.L., Wohlfarth B., Hammer C.U., and Spurk M.* Synchronised terrestrial-atmospheric deglacial records around the North Atlantic // *Science*. 1996. No. 274. P. 1155–1160.
64. *Thomas E.R., Wolff E.W., Mulvaney R., Steffensen J.P., Johnsen S.J., Arrowsmith C., White J.W.C., Vaughn B., and Popp T.* The 8.2 ka event from Greenland ice cores // *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 70–81.
65. *Bos J.A.A., van Geel B., van der Plicht J., and Bohncke S.J.P.* Preboreal climate oscillations in Europe: Wiggle-match dating and synthesis of Dutch high-resolution multi-proxy records // *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 1927–1950.
66. *Lotter A.F., Eicher U., Birks H.J.B., and Siegenthaler U.* Late Glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments // *Journal of Quaternary Science*. 1992. No. 7. P. 187–204.
67. *Субетто Д.А., Давыдова Н.Н., Сапелко Т.В., Вольфарт Б., Вастегорд С., Кузнецов Д.Д.* Климат северо-запада России на рубеже плейстоцена и голоцена // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2003. № 5. С. 80–91.
68. *Борзенкова И.И., Борисова О.К., Жильцова Е.Л., Сапелко Т.В.* Холодный эпизод около 8200 лет назад в Северной Европе: анализ эмпирических данных и возможных причин // *Лед и снег*. 2017. Т. 57. № 1. С. 117–132.

69. Alley R.B., Mayewski P.A., Sowers T., Stuiver M., Taylor K.C., and Clark P.U. Holocene climatic instability: a prominent, widespread event 8200 yr ago // *Geology*. 1997. No. 25. P. 483–486.
70. Daley T.J., Thomas E.R., Holmes K., Street-Perrott F.A., Chapman M.R., Tindall J.C., Valdes P.J., Loader N.J., Marshall J.D., Wolff E.W., Hopley P.J., Atkinson T., Barber K.E., Fisher E.H., Robertson I., Hughes P.D.M., and Roberts C.N. The 8200 yr BP cold event in stable isotope records from the North Atlantic region // *Global and Planetary Change*. 2011. No. 79. P. 288–302.
71. Veski S., Seppä H., Stancikaite M., Zernitskaya V., Reitalu T., Gryguc G., Heinsalu A., Stivrins N., Amon L., Vassiljev J., and Heir O. Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 15 and 8 ka BP in the Baltic-Belarus area // *Quaternary International*. 2015. No. 388. P. 4–11.
72. Seppä H. and Birks H.J.B. Holocene climate reconstructions from the Fennoscandian tree-line area based on pollen data from Toskaljavi // *Quaternary Research*. 2001. No. 57 (2). P. 191–199.
73. Antonsson K. and Seppä H. Holocene temperatures in Bohuslän, southwest Sweden: a quantitative reconstruction from fossil pollen Data // *Boreas*. 2007. No. 36. P. 400–410.
74. Korhola A., Weckström J., Holmström L., and Erästö P. A quantitative Holocene climatic record from diatoms in northern Fennoscandia // *Quaternary Research*. 2000. No. 54. P. 284–294.
75. Teller J.T., Leverington D.W., and Mann J.D. Freshwater outbursts to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation // *Quaternary Science Reviews*. 2002. No. 21. P. 879–887.
76. Keigwin L.D. and Boyle E.A. Detecting Holocene changes in thermohaline circulation // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000. No. 4. P. 1343–1346.
77. Barber K., Zolitschka B., Tarasov P., and Lotter A.F. Atlantic to Urals – the Holocene climatic record of mid-latitude Europe // *Past Climate Variability through Europe and Africa* / R.W. Battarbee, F. Gasse, C.E. Stickley (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. P. 417–442.
78. Harrison S.P. and Digerfeld G. European lakes as palaeoclimatic indicators // *Quaternary Science Reviews*. 1993. No. 12. P. 233–248.
79. Allen J.R.M., Long A.J., Chris J., Pearson D.G., and Huntley B. Holocene climate variability in northernmost Europe // *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 1432–1453.
80. Magny M. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements // *Quaternary International*. 2004. No. 113. P. 65–79.
81. Величко А.А., Кременецкий К.В., Негенданк Й., Минграм Й., Борисова О.К., Зеликсон Э.М., Новенко Е.Ю., Писарева В.В. Позднечетвертичная палеогеография северо-востока Европы (по данным комплексного изучения осадков Галичского озера) // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2001. № 3. С. 42–54.
82. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Снижение стока рек равнин Северной Евразии в оптимум голоцена // *Водные ресурсы*. 2012. Т. 39. № 1. С. 40–53.
83. 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.
84. Novenko E.Y., Mazei N.G., Kupriyanov D.A., Kusilman M.V., and Olchev A.V. Peatland initiation in Central European Russia during the Holocene: Effect of climate conditions and fires // *The Holocene*. 2020. Vol. 31.4. P. 545–555.
<https://doi.org/10.1177/0959683620981709>
85. Dobrowolski R., Ziółek M., Bałaga K., Melke J., and Bogucki A. Radiocarbon age and geochemistry of the infillings of small closed depressions from western Polesie (Poland Se, Ukraine Nw) // *Geochronometria*. 2010. No. 36. P. 39–46.
86. Latalowa M. and Nalepka D. A study of the Late-Glacial and Holocene vegetation history of the Wolbrom area (Silesian-Cracovian Upland – S. Poland) // *Acta Palaeobotanica*. 1987. No. 27. No. 1. P. 75–115.
87. Kalis A.J., Merkt J., and Wunderlich J. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – human impact and natural causes // *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 33–79.
88. Kulesza P., Suchora M., Irena A., Pidek I.A., Dobrowolski R., and Alexandrowicz W.P. The Holocene palaeoenvironmental changes reflected in the multi-proxy studies of Lake Stone sediments (SE Poland) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. No. 363. P. 79–98.
89. Harmata K. Late-glacial and Holocene history of vegetation at Roztoki and Tarnowiec near Jasło (Jasło-Sanok Depression) // *Acta Palaeobotanica*. 1987. No. 27. No. 1. P. 43–65.
90. Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Корнеевкова Н.Ю., Денисенков В.П., Лудикова А.В. Палеолимнология внутренних озер острова Путсаари (Ладожское озеро) // *Изв. РГО*. 2014. Т. 146. № 3. С. 29–40.
91. Еришова Е.Г., Кренке Н.А. Изучение природных и культурных ландшафтов железного века в долине Москвы-реки методами палинологии и археологии // *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2014. № 3. С. 159–172.
92. Kremetski K.V., Borisova O.K., and Zelikson E.M. The Late Glacial and Holocene history of vegetation in the Moscow region // *Paleontological Journal*. 2000. No. 34. No. 1. P. 67–74.
93. Nosova M.B., Novenko E.Yu., Severova E.E., and Nokova O.A. Vegetation and climate changes within and around the Polistovo-Lovatskaya mire system (Pskov Oblast, North-Western Russia) during the past 10 500 years // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2019. No. 28. P. 123–140.
94. Miagkaia A. and Ershova E. A 10 000-year pollen and plant macrofossil record from the LosinyOstrov National Park (Moscow, Russia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. No. 438. P. 012018.

95. *Болыховская Н.С.* К истории растительности и климата Подмосковной Мещеры в голоцене // Палеоклиматы голоцена Европейской территории СССР. М.: Наука, 1988. С. 76–85.
96. *Зерницкая В.П., Матвеев А.В., Тимирева С.Н.* История формирования болота Иванисовка (Белорусское Полесье) // Литасфера. 2010. № 1 (32). С. 20–30.
97. *Novenko E., Tsyganov A., Volkova E., Kupriyanov D., Mironenko I., Babeshko K., Utkina A., Popov V., and Mazei Yu.* 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. No. 459. P. 570–584.
98. *Guiot J., Harrison S.P., and Prentice C.* Reconstruction of Holocene precipitation in Europe using pollen and lake level data // Quaternary Research. 1993. No. 49. P. 139–149.
99. *Cheddadi R., Yu G., Guiot J., Harrison S.P., and Prentice I.C.* The climate of Europe 6000 years ago // Climate Dynamics. 1997. No. 13. P. 1–9.
100. *Tarasov P.E., Guiot J., Cheddadi R., and Andreev A.* Climate in northern Eurasia 6000 years ago reconstructed from pollen data // Earth and Planetary Science Letters. 1999. No. 171. P. 635–645.
101. *Wu H., Guiot J., Brewer S., and Guo Z.* Climatic changes in Eurasia and Africa at the last glacial maximum and mid-Holocene: reconstruction from pollen data using inverse vegetation modeling // Climate Dynamics. 2007. No. 29. P. 211–229.
102. *Borisova O.* Environmental and climatic conditions of human occupation in the central east European plain during the middle Holocene: Reconstruction from palaeofloristic data // Quaternary International. 2019. No. 516. P. 42–57.
103. *Olchev A.V., Getmanova E.R., and Novenko E.Y.* A modeling approach for reconstruction of annual land surface evapotranspiration using palaeoecological data // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. No. 438. P. 012021.
104. *Novenko E.Y., Tsyganov A.N., and Olchev A.V.* Palaeoecological data as a tool to predict possible future vegetation changes in the boreal forest zone of European Russia: a case study from the Central Forest Biosphere Reserve // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. No. 107. P. 012104.
105. *Novenko E.Y., Tsyganov A.N., Babeshko K.V., Payne R.J., Li J., Mazei Y.A., and Olchev A.V.* Climatic moisture conditions in the north-west of the Mid-Russian Upland during the Holocene // Geography, Environment, Sustainability. 2019. No. 12. P. 188–202.
106. *Тарасов П.Е., Гунова В.С., Успенская О. Н.* Уровни озер бассейна Волги как индикатор изменения климата в голоцене // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1997. № 3. С. 40–41.
107. *Rittweger H.* The “Black Floodplain Soil” in the Amöneburger Becken, Germany: a lower Holocene marker horizon and indicator of an upper Atlantic and Subboreal dry period in Central Europe // Catena. 2000. No. 41. P. 143–164.
108. *Панин А.В., Каревская И.А.* История формирования поймы р. Протвы в районе Сатинской станции МГУ // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2000. № 4. С. 55–62.
109. *Ralska-Jasiewiczowa M.* Environmental changes recorded in lakes and mires of Poland during the last 13000 years // Acta Palaeobotanica. 1989. No. 29. P. 1–120.
110. *Vinther B.M., Clausen H.B., Johnsen S.J., Rasmussen S.O., Andersen K.K., Buchardt S.L., Dahl-Jensen D., Seierstad I.K., Siggaard-Andersen M.-L., Steffensen J.P., Svensson A., Olsen J., and Heinemeier J.* A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene // Journal of Geophysical Research. 2006. No. 111. P. D13102.
111. *Berger A. and Loutre M.F.* Insolation values for the climate of the last 10 million years // Quaternary Science Reviews. 1991. No. 10. P. 297–317.
112. *Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., Evans M., Showers W., and Hoffmann S.* Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene // Science. 2001. No. 294. P. 2130–2136.
113. *Starkel L., Michczyńska D.J., Krapiec M., Margielewski W., Nalepka D., and Pazdur A.* Progress in the Holocene chrono-climatostratigraphy of Polish territory // Geochronometria. 2013. No. 40. No. 1. P. 1–21.
114. *Zernitskaya V. and Mikhailov N.* Evidence of early farming in the Holocene pollen spectra of Belarus // Quaternary International. 2009. No. 203. P. 91–104.
115. *Niinemets E. and Saarse L.* Holocene vegetation and land-use dynamics of south-eastern Estonia // Quaternary International. 2009. No. 207. P. 104–116.
116. *Лычагина Е.Л., Зарецкая Н.Е., Чернов А.В., Лантева Е.Г., Трофимова С.С., Зиновьев Е.В.* Палеоэкологические исследования в районе Чашкинского озера (Среднее Предуралье) // Седьмые Берсовские чтения / Мат-лы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: КВАДРАТ, 2016. С. 294–302.
117. *Климанов В.А., Хотинский Н.А., Благовещенская Н.В.* Колебания климата за исторический период в центре русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 1. С. 89–96.
118. *Клименко В.В., Климанов В.А.* Холодный климат ранней субатлантической эпохи в Северном полушарии // ДАН. 2003. Т. 391. № 3. С. 393–397.
119. *Roland T.P., Caseldine C.J., Charman D.J., Turney C.S.M., and Amesbury M.J.* Was there a ‘4.2 ka event’ in Great Britain and Ireland? Evidence from the peatland record // Quaternary Science Reviews. 2014. No. 83. P. 11–27.
120. *Pleskot K., Apolinarska K., Kołaczek P., Suchora M., Fojutowski M., Joniak T., Kotrys B., Kramkowski M., Słowiński M., Woźniak M., and Lamentowicz M.* Searching for the 4.2 ka climate event at Lake Spore, Poland // Catena. 2020. No. 191. P. 104565.
121. *Perşoiu A., Ionita M., and Weiss H.* Atmospheric blocking induced by the strengthened Siberian High led to drying in west Asia during the 4.2 ka BP event – a hypothesis // Climate of the Past. 2019. No. 15. P. 781–793.

122. Bradley R.S. and Bakke J. Is there evidence for a 4.2ka BP event in the northern North Atlantic region? // *Climate of the Past*. 2019. No. 15. P. 1665–1676.
123. Arz H.W., Lamy F., and Pätzold J. A pronounced dry event recorded around 4.2 ka in brine sediments from the northern Red Sea // *Quaternary Research*. 2006. No. 66. P. 432–441.
124. Ralska-Jasiewiczowa M., Nalepka D., and Goslar T. Some problems of forest transformation at the transition to the oligocratic/Homo sapiens phase of the Holocene interglacial in northern lowlands of central Europe // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2003. No. 12. P. 233–247.
125. Van Geel B. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analyses of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1978. No. 25. P. 1–120.
126. Charman D.J. and Hendon D. Long-term changes in soil water tables over the past 4500 years: relationships with climate and North Atlantic atmospheric circulation and sea surface temperature // *Climatic Change*. 2000. No. 47. P. 45–59.
127. Lücke A., Schleser G.H., Zolitschka B., and Negen-dank J.F.W. A Lateglacial and Holocene organic carbon isotope record of lacustrine palaeoproductivity and climatic change derived from varved lake sediments of Lake Holzmaar, Germany // *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 569–580.
128. Büntgen U., Tegel W., Nicolussi K., McCormick M., Frank D., Trouet V., Kaplan J.O., Herzig F., Heussner K.U., Wanner H., Luterbacher J., and Esper J. 2500 years of European climate variability and human susceptibility // *Science*. 2011. No. 331. P. 578–582.
129. Helama S., Jones P.D., and Briffa K.R. Dark Ages Cold Period: A literature review and directions for future research // *The Holocene*. 2017. No. 27. P. 1600–1606.
130. Gouw-Bouman M.T.I.J., van Asch N., Engels S., and Hoek W.Z. Late Holocene ecological shifts and chironomid-inferred summer temperature changes reconstructed from Lake Uddelermeer, the Netherlands // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2019. No. 535. P. 109366.
131. Goosse H., Renssen H., Timmermann A., and Bradley R.S. Internal and forced climate variability during the last millennium: a model-data comparison using ensemble simulations // *Quaternary Science Reviews*. 2005. No. 24. P. 1345–1360.
132. Büntgen U., Trouet V., Frank D., Leuschner H.H., Friedrichs D., Luterbacher J., and Esper J. Tree ring indicators of German summer drought over the last millennium // *Quaternary Science Reviews*. 2010. No. 29. P. 1005–1016.
133. Кожаринов А.В., Сирин А.А., Клименко В.В., Климанов В.А., Малясова Е.С., Слепцов А.М. Динамика растительного покрова и климата Западнодвинской низины (Тверская область) за последние 5 тысяч лет // *Ботанический журнал*. 2003. Т. 88. № 3. С. 90–97.
134. Panin A. and Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // *Catena*. 2015. No. 130. P. 46–61.
135. Климанов В.А., Сирин А.А. Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3000 лет // *Доклады Академии наук*. 1997. Т. 354. № 5. С. 683–686.
136. Писарчук Н.М., Новенко Е.Ю., Козлов Д.Н., Шилов П.М. Влияние климатических изменений на лесные экосистемы и процессы заболачивания в Центрально-лесном заповеднике // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2016. № 4. С. 73–82.
137. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 352 с.

Landscape and climate dynamics in Central and Eastern Europe during the Holocene – assessment of future environmental changes

E. Yu. Novenko^{a,b, #}

^a *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

^b *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: lenanov@mail.ru*

The paper presents a review of the Holocene landscape and climate reconstructions for the forest zone of Central and Eastern Europe revealed from various proxies and comparison of the data obtained with the main stages of relief development and sedimentation during the Holocene. Projections of expected climate change are discussed according to IPCC scenarios (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5; Representative Concentration Pathways for possible range of radiative forcing). Analysis of the data showed that in the Early Holocene (11.7–8.2 ka BP), a rapid climate warming led to crucial transformation when all of landscape components were transformed, and relief-forming processes underwent significant changes. In the Middle Holocene, the time interval of 8.2–5.7 ka BP was characterized by the maximum heat supply in comparison with the whole Holocene and the weakening of the temperature gradient in the direction from west to east. At this time, a continuous zone of broad-leaved forests occupied the mid-latitude regions of Europe. Starting from 5.7 ka BP, the climatic cooling led to the sectoral differentiation of vegetation cover. In the western regions, the expansion of beech and hornbeam began, in the east, and the role of spruce in forest communities increased. Climate reconstructions for the Late Holocene (4.2 ka BP – present) have shown that against the background of the general climate trend towards a decrease in heat supply, periods of warming and cooling

are distinguished. During the late Holocene the modern landscape cover was formed, the influence of the anthropogenic factor increased. According to paleobotanical, isotope-geochemical and paleohydrological studies in various regions of Central and Eastern Europe, the climate was drier than at present during periods of warming, mainly due to changes in the precipitation/evaporation balance, and climate cooling was accompanied by an increase in moisture. Bearing in mind the Holocene climate reconstructions as a possible scenario of climate changes during the current century, one can expect that an increase in temperatures, especially in the summer period, will cause the increase in the frequency of droughts and natural disasters, associated with irregular rainfall.

Keywords: paleoclimatic reconstructions, paleogeomorphology, paleogeography, European part of Russia, forest zone

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, № 19-15-50126.

REFERENCES

1. *Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennikh morskikh basseinov Severnoi Evrazii za poslednie 130000 let (obshchaya paleogeografiya). Atlas-monografiya* (Dynamics of landscape components and internal sea basins of Northern Eurasia over the last 130,000 years (General paleogeography)). M.: GEOS (Publ.), 2002. 232 p. (in Russ.)
2. *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnoi Evrazii. Pozdnii pleistotsen-golotsen. Atlas-monografiya* (Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of Northern Eurasia. Late Pleistocene-Holocene). M.: GEOS (Publ.), 2009. 120 p. (in Russ.)
3. *Klimaty i landshafty Severnoi Evrazii v usloviyakh global'nogo potepleniya. Retrospektivnyi analiz i tsenarii. Atlas-monografiya* (Climates and landscapes of Northern Eurasia in the context of global warming. Retrospective analysis and scenarios). M.: GEOS (Publ.), 2010. 220 p. (in Russ.)
4. Solomina O., Häberli W., Kull C., and Wiles G. Historical and Holocene glacier-climate variations: General concepts and overview. *Global and Planetary Change*. 2008. No. 60. P. 1–9.
5. Solomina O.N. *Klimaticheskie prichiny kolebaniy gornykh lednikov v golotsene* (Climatic reasons for fluctuations of mountain glaciers in the Holocene). *Led i Sneg*. 2010. No. 1. P. 103–110. (in Russ.)
6. Borisova O.K. *Landshaftno-klimaticheskie izmeneniya v golotsene* (Landscape and climate changes in the Holocene). *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2014. No. 2. P. 5–20. (in Russ.)
7. Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., and Guiot J. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 1701–1716.
8. Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C., Karlén W., Maasch K., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveland S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack R., Staubwasser M., Schneider R.R., and Steig E.J. Holocene climate variability. *Quaternary Research*. 2004. No. 62. P. 243–255.
9. Wanner H., Beer J., Butikofer J., Crowley T.J., Curbasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., and Widmann M. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*. 2008. No. 27. P. 1791–1828.
10. Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., and Ni.F. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*. 2009. No. 326. P. 1256–1260.
11. Mauri A., Davis B.A.S., Collins P.M., and Kaplan J.O. The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation. *Quaternary Science Reviews*. 2015. No. 112. P. 109–127.
12. Christiansen B. and Ljungqvist F.C. Challenges and perspectives for large-scale temperature reconstructions of the past two millennia. *Reviews of Geophysics*. 2017. No. 55. No. 1. P. 40–96.
13. PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. *Nature Geoscience*. 2013. No. 6. P. 339–346.
14. PAGES 2k Consortium. A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era. *Scientific Data*. 2017. No. 4 (170088). P. 1–33.
15. Kaufman D., McKay N., Routson C., and data Contributors. A global database of Holocene paleotemperature records. *Scientific data*. 2020. No. 7 (1). P. 1–34.
16. Velichko A.A. *Evolutsionnaya geografiya: problemy i resheniya* (Evolutionary geography: problems and solutions). M.: GEOS (Publ.), 2012. 563 p. (in Russ.)
17. Bradley R.S. Holocene perspectives on future climate change // Natural climate variability and global warming: A Holocene perspective. R.W. Battarbee and H.A. Binney (Eds.). Chichester: J. Wiley & Sons (Publ.), 2008. P. 254–268.
18. IPCC. 2013. Climate change 2013. The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press. P. 1535.
19. Head M.J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions. *Quaternary International*. 2019. No. 500. P. 32–51.
20. Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L.C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Newnham R., Rasmussen S.O., and Weiss H. Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalisation of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *Journal of Quaternary Science*. 2019. No. 34. P. 173–186.

21. Khotinskii N.A. *Golotsen Severnoi Evrazii* (Holocene of Northern Eurasia). Moscow: Nauka (Publ.), 1977. 200 p. (in Russ.)
22. Novenko E.Yu. *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Tsentral'noi i Vostochnoi Evropy v pozdnem pleistotsene i golotsene v mezhlednikovye i perekhodnye etapy klimaticheskikh makrotsiklov* (Vegetation and climate changes of Central and Eastern Europe in the late Pleistocene and Holocene at the interglacial and transitional stages of climate macrocycles). M.: GEOS (Publ.), 2016. 228 p. (in Russ.)
23. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya rechnogo stoka na ravninakh Severnoi Evrazii v pozdnelednikov'e i golotsene* (Climatically determined changes in river flow on the plains of Northern Eurasia in the Late Glacial and Holocene). *Vodnye resursy*. 2008. No. 35(4). P. 406–416. (in Russ.)
24. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Rechnoi stok na Vostochno-Evropeiskoi ravnine za poslednie 20 tysyach let i problema izmeneniya urovnei yuzhnykh morei* (River flow in the Eastern European plain over the last 20 thousand years and the problem of changing the levels of the southern seas). *Voprosy geografii*. 2018. No 145. P. 144–168. (in Russ.)
25. Brylev V.A., Mozzherin V.V., Panin A.V., and Sidorchuk A.Yu. *Paleopotamologiya rechnoi sistemy Volgi* (Paleopotamology of the Volga river system). Erosion and riverbed processes. R.S. Chalov (Ed.). Moscow: Maks-press (Publ.), 2010. P. 116–147. (in Russ.)
26. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Chernov A.V. *Osnovnye etapy formirovaniya poim ravninnykh rek Severnoi Evrazii* (The main stages of formation of floodplains of lowland rivers of Northern Eurasia). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2011. No. 3. P. 20–31. (in Russ.)
27. Velichko A.A., Morozova T.D., and Nechaev V.P., Porozhnyakova O.M. *Paleokriogenez, pochvennyi pokrov i zemledelie* (Paleocryogenesis, soil cover and agriculture). M.: Nauka (Publ.), 1996. 150 p. (in Russ.)
28. MacDonald G.M., Beilman D.W., Kremenetski K.V., Sheng Y., Smith L.C., and Velichko A.A. Rapid early development of circumarctic peatlands and atmospheric CH₄ and CO₂ variations. *Science*. 2006. No. 314. P. 285–288.
29. Korhola A., Ruppel M., Seppä H., Välranta M., Virtanen N., and Weckström J. The importance of northern peatland expansion to the late-Holocene rise of atmospheric methane. *Quaternary Science Reviews*. 2010. No. 29. P. 611–617.
30. Howard A.J., Macklin M.G., Bailey D.W., Mills S., and Andreescu R. Late-glacial and Holocene river development in the Teleorman Valley on the southern Romanian Plain. *Journal of Quaternary Science*. 2004. No. 19. P. 271–280.
31. Kasse C., Bohncke S.J.P., Vandenberghe J., and Gábris G. Fluvial style changes during the last glacial-interglacial transition in the middle Tisza valley (Hungary). *Proceedings of Geology Association*. 2010. No. 121. P. 80–194.
32. Perşoiu I., Radoane M., and Urdea P. River Behavior during Pleniglacial–Late Glacial. Landform Dynamics and Evolution in Romania. M. Radoane and A. Vespremeanu-Stroe (Eds.). *Springer Geography*. 2017. P. 443–468.
33. Starkel L. Evolution of the Carpathian valleys and the Forecarpathian basins in the Vistulian and Holocene. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*. 1995. No. 29. P. 5–40.
34. Starkel L., Michczyńska D.J., Gębica P., Kiss T., Panin A., and Perşoiu I. Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Europe (60–8 ka cal BP). *Quaternary International*. 2015. No. 388. P. 97–118.
35. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Chernov A.V. *Makroizluchiny rek ETS i problemy paleogidrologicheskikh rekonstruktsii* (Macromeaders of river channels in the European part of Russia and problems of paleohydrological reconstructions). *Vodnye resursy*. 1992. No. 19 (4). P. 93–96. (in Russ.)
36. Vandenberghe D.A.G., Derese C., Kasse C., and Van den Haute P. Late Weichselian (fluvio-) aeolian sediments and Holocene drift-sands of the classic type locality in Twente (E Netherlands): a high-resolution dating study using optically stimulated luminescence. *Quaternary Science Reviews*. 2013. No. 68. P. 96–113.
37. Kalinska E. and Nartiss M. Pleistocene and Holocene Aeolian sediments of different location and geological history: A new insight from rounding and frosting of quartz grains. *Quaternary International*. 2014. No. 328–329. P. 311–322.
38. Kalińska-Nartiša E., Thiel C., Nartišs M., Buylaert J.-P., and Murray A.S. The north-eastern aeolian 'European Sand Belt' as potential record of environmental changes: A case study from Eastern Latvia and Southern Estonia. *Aeolian Research*. 2016. No. 22. P. 59–72.
39. Stancikaite M., Baltrunas V., Karmaza B., Karmazienė D., Molodkov A., Obukhowsky V.S., Sidorowich W.M., and Motuzko A.N. The Late Glacial history of Gornitsa foreland and Kovaltsy Palaeolithic site, W Belarus. *Baltica*. 2011. No. 24 (1). P. 25–36.
40. Drenova A.N., Timireva S.N., and Chikolini N.I. Late Glacial dune-building in the Russian Plain. *Quaternary International*. 1997. No. 41 (42). P. 59–66.
41. Velichko A.A., Catto N., Drenova A.N., Klimanov V.A., Kremenetski K.V., and Nechaev V.P. Climate changes in East Europe and Siberia at the Late glacial–Holocene transition. *Quaternary International*. 2002. No. 91. P. 75–99.
42. Grichuk V.P. *Istoriya flory i rastitel'nosti Russkoi ravniny v pleistotsene* (History of flora and vegetation of the Russian plain in the Pleistocene). Moscow: Nauka (Publ.), 1989. 183 p. (in Russ.)
43. Jahns S. Late-glacial and Holocene woodland dynamics and land-use history of the Lower Oder valley, north-eastern Germany, based on two, AMS ¹⁴C-dated, pollen profiles. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2000. No. 9. P. 111–123.
44. Jahns S. Palynological investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and settlement at the Löddigsee, Mecklenburg, Germany. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2007. No. 16. P. 157–169.
45. Bos J.A.A. and Urz R. Late Glacial and early Holocene environment in the middle Lahn river valley (Hessen,

- central-west Germany) and the local impact of early Mesolithic people – pollen and macrofossil evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2003. No. 12. P. 19–36.
46. Gałka M., Miotk-Szpiganowicz G., Goslar T., Jęško M., van der Knaap W.O., and Lamentowicz M. Palaeohydrology, fires and vegetation succession in the southern Baltic during the last 7500 years reconstructed from a raised bog based on multi-proxy data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2013. No. 370. P. 209–221.
 47. Lamentowicz M., Obremska M., and Mitchell E.A.D. Autogenic succession, land-use change, and climatic influences on the Holocene development of a kettle-hole mire in Northern Poland. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2008. No. 151. P. 21–40.
 48. Heikkilä M. and Seppä H. A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from southern boreal zone in Finland // *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 541–554.
 49. Seppä H. and Poska A. Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quaternary Research*. 2004. No. 61. P. 22–31.
 50. Leroy S.A.G., Zolitschka B., Negendank J.F.W., and Seret G. Palynological analyses in the laminated sediment of Lake Holzmaar (Eifel, Germany): duration of Lateglacial and Preboreal biozones. *Boreas*. 2000. No. 29 (1). P. 52–71.
 51. Goslar T., Kuc T., Ralska-Jasiewiczowa M., Różański K., Arnold M., Bard E., van Geel B., Pazdur M., Szeroczyńska K., Wicik B., Więckowski K., and Walanus A. High-resolution lacustrine record of the Late Glacial/Holocene transition in central Europe. *Quaternary Science Reviews*. 1993. No. 12. P. 287–294.
 52. Zernitskaya V.P. and Novenko E.Yu. *Rekonstruktsiya klimata Belarusi v pozdnelednikov'e i golotsene* (Reconstruction of the climate of Belarus in the Late Glacial and Holocene). *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2016. No. 9. No. 163. P. 21–24. (in Russ.)
 53. Zernitskaya V.P., Novenko E.Yu., Stanchikaite M., and Vlasov B.P. *Izmeneniya okruzhayushchei sredy v pozdnelednikov'e i golotsene na yugo-vostoke Belarusi* (Environmental Changes in the Late Glacial and Holocene in the South-East of Belarus). *Reports of the national Academy of Sciences of Belarus*. 2019. Vol. 63. No. 5. P. 584–596. (in Russ.)
 54. Nizovtsev V.A., Novenko E.Yu., Erman N.M., Mazei N.G., Matasov V.M., Lavrova N.B., and Filimonova L.V. *Evolutsiya landshaftov basseina Srednei Protvy v golotsene* (Landscape evolution in the Middle Protva River basin during the Holocene). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2020. No. 1. P. 73–86. (in Russ.)
 55. Novenko E., Tsyganov A., Volkova E.M., Babeshko K.V., Lavrentiev N.V., Payne R.J., and Mazei Y.A. The Holocene palaeoenvironmental history of Central European Russia reconstructed from pollen, plant macrofossil and testate amoeba analyses of the Klukva peatland, Tula region. *Quaternary Research*. 2015. No. 83. P. 459–468.
 56. Novenko E.Yu., Volkova E.M., Nosova M.B., and 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 International*. 2009. No. 207. P. 93–103.
 57. Tarasov P.E., Savelieva L.A., Long T., and Leipe C. Postglacial vegetation and climate history and traces of early human impact and agriculture in the present-day cool mixed forest zone of European Russia. *Quaternary International*. 2019. No. 516. P. 21–41.
 58. Zagwijn W.H. Reconstruction of climate change during the Holocene in western and central Europe based on pollen records of indicator species. *Vegetation History and Archaeobotany*. 1994. No. 3. P. 65–88.
 59. Coope G.R., Lemdahl G., Lowe J.J., and Walkling A. Temperature gradients in northern Europe during the last glacial-Holocene transition (14–9 ¹⁴C kyr BP) interpreted from coleopteran assemblages. *Journal of Quaternary Science*. 1998. No. 5. P. 419–433.
 60. Heikkilä M. and Seppä H. Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: a pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison. *Boreas*. 2010. No. 39. P. 705–719.
 61. Khotinski N.A. and Klimanov V.A. Allerod, Younger Dryas and Early Holocene palaeo-environmental stratigraphy. *Quaternary International*. 1997. No. 41/42. P. 67–70.
 62. Novenko E.Yu. and Olchev A.V. Early Holocene vegetation and climate dynamics in the central part of the East European Plain (Russia). *Quaternary International*. 2015. No. 388. P. 12–22.
 63. Björck S., Kromer B., Johnsen S., Bennike O., Hammarlund D., Lemdahl G., Possnert G., Rasmussen T.L., Wohlfarth B., Hammer C.U., and Spurk M. Synchronised terrestrial-atmospheric deglacial records around the North Atlantic. *Science*. 1996. No. 274. P. 1155–1160.
 64. Thomas E.R., Wolff E.W., Mulvaney R., Steffensen J.P., Johnsen S.J., Arrowsmith C., White J.W.C., Vaughn B., and Popp T. The 8.2 ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 70–81.
 65. Bos J.A.A., van Geel B., van der Plicht J., and Bohncke S.J.P. Preboreal climate oscillations in Europe: Wiggle-match dating and synthesis of Dutch high-resolution multi-proxy records. *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 1927–1950.
 66. Lotter A.F., Eicher U., Birks H.J.B., and Siegenthaler U. Late Glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *Journal of Quaternary Science*. 1992. No. 7. P. 187–204.
 67. Subetto D.A., Davydova N.N., Sapelko T.V., Vol'fart B., Vastegord S., and Kuznetsov D.D. *Klimat severo-zapada Rossii na rubezhe pleistotsena i golotsena* (Climate of the North-West of Russia at the boundary of the Pleistocene and Holocene). *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2003. No. 5. P. 80–91. (in Russ.)
 68. Borzenkova I.I., Borisova O.K., Zhil'tsova E.L., and Sapelko T.V. *Kholodnyi epizod okolo 8200 let nazad v Severnoi Evrope: analiz empiricheskikh dannykh i vozmozhnykh prichin* (Cold episode approximately 8200 years ago in Northern Europe: an analysis of empirical evidence and possible causes). *Led i Sneg*. 2017. No. 57. No. 1. P. 117–132. (in Russ.)

69. Alley R.B., Mayewski P.A., Sowers T., Stuiver M., Taylor K.C., and Clark P.U. Holocene climatic instability: a prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*. 1997. No. 25. P. 483–486.
70. Daley T.J., Thomas E.R., Holmes K., Street-Perrott F.A., Chapman M.R., Tindall J.C., Valdes P.J., Loader N.J., Marshall J.D., Wolff E.W., Hopley P.J., Atkinson T., Barber K.E., Fisher E.H., Robertson I., Hughes P.D.M., and Roberts C.N. The 8200yr BP cold event in stable isotope records from the North Atlantic region. *Global and Planetary Change*. 2011. No. 79. P. 288–302.
71. Veski S., Seppä, H., Stancikaite M., Zernitskaya V., Reitalu T., Gryguc G., Heinsalu A., Stivirins N., Amon L., Vassiljev J., and Heir O. Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 15 and 8 ka BP in the Baltic-Belarus area. *Quaternary International*. 2015. No. 388. P. 4–11.
72. Heikkilä M. and Seppä H. A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 541–554.
73. Antonsson K. and Seppä H. Holocene temperatures in Bohuslän, southwest Sweden: a quantitative reconstruction from fossil pollen Data. *Boreas*. 2007. No. 36. P. 400–410.
74. Korhola A., Weckström J., Holmström L., and Erästö P. A quantitative Holocene climatic record from diatoms in northern Fennoscandia. *Quaternary Research*. 2000. No. 54. P. 284–294.
75. Teller J.T., Leverington D.W., and Mann J.D. Freshwater outbursts to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*. 2002. No. 21. P. 879–887.
76. Keigwin L.D. and Boyle E.A. Detecting Holocene changes in thermohaline circulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000. No. 4. P. 1343–1346.
77. Barber K., Zolitschka B., Tarasov P., and Lotter A.F. Atlantic to Urals – the Holocene climatic record of mid-latitude Europe // Past Climate Variability through Europe and Africa. R.W. Battarbee, F. Gasse, C.E. Stickley (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (Publ.), 2004. P. 417–442.
78. Harrison S.P. and Digerfeld G. European lakes as palaeoclimatic indicators. *Quaternary Science Reviews*. 1993. No. 12. P. 233–248.
79. Allen J.R.M., Long A.J., Chris J., Pearson D.G., and Huntley B. Holocene climate variability in northernmost Europe. *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 1432–1453.
80. Magny M. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*. 2004. No. 113. P. 65–79.
81. Velichko A.A., Kremenetskii K.V., Negendank I., Mingram I., Borisova O.K., Zelikson E.M., Novenko E.Yu., and Pisareva V.V. *Pozdnechetvertichnaya paleogeografiya severo-vostoka Evropy (po dannym kompleksnogo izucheniya osadkov Galichskogo ozera)* (Late Quaternary paleogeography of North-Eastern Europe (according to the multi-proxy study of lake Galich sediments)). *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2001. No. 3. P. 42–54. (in Russ.)
82. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Snizhenie stoka rek ravnin Severnoi Evrazii v optimum golotsena* (Decrease in the river runoff in the plains of Northern Eurasia during the Holocene climatic optimum). *Vodnye resursy*. 2012. No. 39 (1). P. 40–53. (in Russ.)
83. Inisheva L.I., Kobak K.I., and Turchinovich I.E. *Razvitie protsessa zabolachivaniya i skorost' akkumulyatsii ugleroda v bolotnykh ekosistemakh Rossii* (Development of the waterlogging process and the rate of carbon accumulation in swamp ecosystems of Russia). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2013. No. 3. P. 60–68. (in Russ.)
84. Novenko E.Yu., Mazei N.G., Kupriyanov D.A., Kusilman M.V., and Olchev A.V. *Peatland initiation in Central European Russia during the Holocene: Effect of climate conditions and fires* (Peatland initiation in Central European Russia during the Holocene: Effect of climate conditions and fires). *The Holocene*. 2020. Vol. 31.4. P. 545–555.
<https://doi.org/10.1177/0959683620981709>
85. Dobrowolski R., Ziółek M., Bałaga K., Melke J., and Bogucki A. Radiocarbon Age and Geochemistry of the Infillings of Small Closed Depressions from Western Polesie (Poland Se, Ukraine Nw). *Geochronometria*. 2010. No. 36. P. 39–46.
86. Latalowa M. and Nalepka D. A study of the Late-Glacial and Holocene vegetational history of the Wolbrom area (Silesian-Cracovian Upland – S. Poland). *Acta Palaeobotanica*. 1987. No. 27. No. 1. P. 75–115.
87. Kalis A.J., Merkt J., and Wunderlich J. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 33–79.
88. Kulesza P., Suchora M., Irena A., Pidek I.A., Dobrowolski R., and Alexandrowicz W.P. The Holocene palaeoenvironmental changes reflected in the multi-proxy studies of Lake Słone sediments (SE Poland). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. No. 363. P. 79–98.
89. Harmata K. Late-glacial and Holocene history of vegetation at Roztoki and Tarnowiec near Jasło (Jasło-Sanok Depression). *Acta Palaeobotanica*. 1987. No. 27. No. 1. P. 43–65.
90. Sapelko T.V., Kuznetsov D.D., Korneenkova N.Yu., Denisenkov V.P., and Ludikova A.V. *Paleolimnologiya vnutrennikh ozer ostrova Putsaari (Ladozhskoe ozero)* (Paleolimnology of internal lakes of Putsaari island (Ladoga Lake)). *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2014. No. 146 (3). P. 29–40. (in Russ.)
91. Ershova E.G. and Krenke N.A. *Izuchenie prirodnikh i kul'turnykh landshaftov zheleznoego veka v doline Moskvyy-reki metodami palinologii i arkheologii* (Study of natural and cultural landscapes of the Iron Age in the Moscow River valley by methods of palynology and archaeology). *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*. 2014. No. 3. P. 159–172. (in Russ.)
92. Kremetski K.V., Borisova O.K., and Zelikson E.M. The Late Glacial and Holocene history of vegetation in the Moscow region. *Paleontological Journal*. 2000. No. 34. No. 1. P. 67–74.

93. Nosova M.B., Novenko E.Yu., Severova E.E., and Volkova O.A. Vegetation and climate changes within and around the Polistovo-Lovatskaya mire system (Pskov Oblast, North-Western Russia) during the past 10,500 years. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2019. No. 28. P. 123–140.
94. Miagkaia A. and Ershova E. A 10 000-year pollen and plant macrofossil record from the LosinyOstrov National Park (Moscow, Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. No. 438. P. 012018.
95. Bolikhovskaya N.S. *K istorii rastitel'nosti i klimata Podmoskovnoi Meshchery v golotsene* (On the history of vegetation and climate of the Moscow Meshchera during the Holocene). *Paleoklimaty golotsena Evropeiskoi territorii SSSR* (The Holocene Paleoclimates of the European territory of the USSR). M.: Nauka (Publ.), 1988. P. 76–85. (in Russ.)
96. Zernitskaya V.P., Matveev A.V., and Timireva S.N. *Istoriya formirovaniya bolota Ivanisovka (Belorusskoe Poles'e)* (History of the Ivanisovka peatland (Belarusian Polesie)). *Litasfera*. 2010. No. 1. No. 32. P. 20–30. (in Russ.)
97. Novenko E., Tsyganov A., Volkova E., Kupriyanov D., Mironenko I., Babeshko K., Utkina A., Popov V., and Mazei Yu. 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. No. 459. P. 570–584.
98. Guiot J., Harrison S.P., and Prentice C. Reconstruction of Holocene precipitation in Europe using pollen and lake level data. *Quaternary Research*. 1993. No. 49. P. 139–149.
99. Cheddadi R., Yu G., Guiot J., Harrison S.P., and Prentice I.C. The climate of Europe 6000 years ago. *Climate Dynamics*. 1997. No. 13. P. 1–9.
100. Tarasov P.E., Guiot J., Cheddadi R., and Andreev A. Climate in northern Eurasia 6000 years ago reconstructed from pollen data. *Earth and Planetary Science Letters*. 1999. No. 171. P. 635–645.
101. Wu H., Guiot J., Brewer S., and Guo Z. Climatic changes in Eurasia and Africa at the last glacial maximum and mid-Holocene: reconstruction from pollen data using inverse vegetation modeling. *Climate Dynamics*. 2007. No. 29. P. 211–229.
102. Borisova O. Environmental and climatic conditions of human occupation in the central east European plain during the middle Holocene: Reconstruction from palaeofloristic data. *Quaternary International*. 2019. No. 516. P. 42–57.
103. Olchev A.V., Getmanova E.R., and Novenko E.Yu. A modeling approach for reconstruction of annual land surface evapotranspiration using palaeoecological data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. No. 438. P. 012021.
104. Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., and Olchev A.V. Palaeoecological data as a tool to predict possible future vegetation changes in the boreal forest zone of European Russia: a case study from the Central Forest Biosphere Reserve. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. No. 107. P. 012104.
105. Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Babeshko K.V., Payne R.J., Li J., Mazei Y.A., and Olchev A.V. Climatic moisture conditions in the north-west of the Mid-Russian Upland during the Holocene. *Geography, Environment, Sustainability*. 2019. No. 12. P. 188–202.
106. Tarasov P.E., Gunova V.S., and Uspenskaya O.N. *Urovni ozer basseina Volgi kak indikator izmeneniya klimata v golotsene* (Lake levels of the Volga basin as an indicator of climate change in the Holocene). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1997. No 3. P. 40–41. (in Russ.)
107. Rittweger H. The “Black Floodplain Soil” in the Amöneburger Becken, Germany: a lower Holocene marker horizon and indicator of an upper Atlantic and Subboreal dry period in Central Europe. *Catena*. 2000. No. 41. P. 143–164.
108. Panin A.V. and Karevskaya I.A. *Istoriya formirovaniya poimy r. Protvy v raione Satinskoi stantsii MGU* (History of the formation of the Protva River floodplain in the area of the Satinskaya station of Moscow State University). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2000. No. 4. P. 55–62. (in Russ.)
109. Ralska-Jasiewiczowa M. Environmental changes recorded in lakes and mires of Poland during the last 13,000 years. *Acta Palaeobotanica*. 1989. No. 29. P. 1–120.
110. Vinther B.M., Clausen H.B., Johnsen S.J., Rasmussen S.O., Andersen K.K., Buchardt S.L., Dahl-Jensen D., Seierstad I.K., Siggaard-Andersen M.-L., Steffensen J. P., Svensson A., Olsen J., and Heinemeier J. A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. *Journal of Geophysical Research*. 2006. No. 111. P. D13102.
111. Berger A. and Loutre M.F. Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews*. 1991. No. 10. P. 297–317.
112. Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., Evans M., Showers W., and Hoffmann S. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*. 2001. No. 294. P. 2130–2136.
113. Starkel L., Michczyńska D.J., Krapić M., Margielewski W., Nalepka D., Pazdur A. Progress in the Holocene chrono-climatostratigraphy of Polish territory. *Geochronometria*. 2013. No. 40. No. 1. P. 1–21.
114. Zernitskaya V. and Mikhailov N. Evidence of early farming in the Holocene pollen spectra of Belarus. *Quaternary International*. 2009. No. 203. P. 91–104.
115. Niinemets E. and Saarse L. Holocene vegetation and land-use dynamics of south-eastern Estonia. *Quaternary International*. 2009. No. 207. P. 104–116.
116. Lychagina E.L., Zaretskaya N.E., Chernov A.V., Lapteva E.G., Trofimova S.S., and Zinov'ev E.V. *Paleoekologicheskie issledovaniya v raione Chashkinskogo ozera (Srednee Predural'e)* (Paleoecological research in the area Chashkinskoe lake (middle Urals)). *Sed'mye Bersovskie chteniya. Materialy vs Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (The Seventh Bers readings. Materials of the all-Russian scientific and practical conference with international participation). 2016. P. 294–302. (in Russ.)
117. Klimanov V.A., Khotinskii N.A., and Blagoveshchenskaya N.V. *Kolebaniya klimata za istoricheskii peri-*

- od v tsentre russkoi ravniny* (Climate fluctuations over the historical period in the center of the Russian plain). *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 1995. No. 1. P. 89–96. (in Russ.)
118. Klimenko V.V. and Klimanov V.A. *Kholodnyi klimat rannei subatlanticheskoi epokhi v Severnom polusharii* (Cold climate of the early Subatlantic epoch in the Northern Hemisphere). *Doklady Akademii nauk*. 2003. No. 391 (3). P. 393–397. (in Russ.)
 119. Roland T.P., Caseldine C.J., Charman D.J., Turney C.S.M., and Amesbury M.J. Was there a '4.2 ka event' in Great Britain and Ireland? Evidence from the peatland record. *Quaternary Science Reviews*. 2014. No. 83. P. 11–27.
 120. Pleskot K., Apolinarska K., Kołaczek P., Suchora M., Fojutowski M., Joniak T., Kotrys B., Kramkowski M., Słowiński M., Woźniak M., and Lamentowicz M. Searching for the 4.2 ka climate event at Lake Spore, Poland. *Catena*. 2020. No. 191. P. 104565.
 121. Perşoiu A., Ionita M., and Weiss H. Atmospheric blocking induced by the strengthened Siberian High led to drying in west Asia during the 4.2 ka BP event – a hypothesis. *Climate of the Past*. 2019. No. 15. P. 781–793.
 122. Bradley R.S. and Bakke J. Is there evidence for a 4.2kaBP event in the northern North Atlantic region? *Climate of the Past*. 2019. No. 15. P. 1665–1676.
 123. Arz H.W., Lamy F., and Pätzold J. A pronounced dry event recorded around 4.2 ka in brine sediments from the northern Red Sea. *Quaternary Research*. 2006. No. 66. P. 432–441.
 124. Ralska-Jasiewiczowa M., Nalepka D., and Goslar T. Some problems of forest transformation at the transition to the oligocratic/Homo sapiens phase of the Holocene interglacial in northern lowlands of central Europe. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2003. No. 12. P. 233–247.
 125. Van Geel B. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analyses of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1978. No. 25. P. 1–120.
 126. Charman D.J. and Hendon D. Long-term changes in soil water tables over the past 4500 years: relationships with climate and North Atlantic atmospheric circulation and sea surface temperature. *Climatic Change*. 2000. No. 47. P. 45–59.
 127. Lücke A., Schleser G.H., Zolitschka B., and Negen-dank J.F.W. A Lateglacial and Holocene organic carbon isotope record of lacustrine palaeoproductivity and climatic change derived from varved lake sediments of Lake Holzmaar, Germany. *Quaternary Science Reviews*. 2003. No. 22. P. 569–580.
 128. Büntgen U., Tegel W., Nicolussi K., McCormick M., Frank D., Trouet V., Kaplan J.O., Herzig F., Heussner K.U., Wanner H., Luterbacher J., and Esper J. 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science*. 2011. No. 331. P. 578–582.
 129. Helama S., Jones P.D., and Briffa K.R. Dark Ages Cold Period: A literature review and directions for future research. *The Holocene*. 2017. No. 27. P. 1600–1606.
 130. Gouw-Bouman M.T.I.J., van Asch N., Engels S., and Hoek W.Z. Late Holocene ecological shifts and chironomid-inferred summer temperature changes reconstructed from Lake Uddelermeer, the Netherlands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2019. No. 535. P. 109366.
 131. Goosse H., Renssen H., Timmermann A., and Bradley R.S. Internal and forced climate variability during the last millennium: a model-data comparison using ensemble simulations. *Quaternary Science Reviews*. 2005. No. 24. P. 1345–1360.
 132. Büntgen U., Trouet V., Frank D., Leuschner H.H., Friedrichs D., Luterbacher J., and Esper J. Tree ring indicators of German summer drought over the last millennium. *Quaternary Science Reviews*. 2010. No. 29. P. 1005–1016.
 133. Kozharinov A.V., Sirin A.A., Klimenko V.V., Klimanov V.A., Malyasova E.S., and Sleptsov A.M. *Dinamika rastiitel'nogo pokrova i klimata Zapadnodvinskoi niziny (Tverskaya oblast') za poslednie 5 tysyach let* (Dynamics of vegetation cover and climate of the Zapadno-dvinskaya lowland (Tver region) over the last 5 thousand years). *Botanicheskii zhurnal*. 2003. No. 88 (3). P. 90–97. (in Russ.)
 134. Panin A. and Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena*. 2015. No. 130. P. 46–61.
 135. Klimanov V.A. and Sirin A.A. *Dinamika torfonakopleniya bolotami Severnoi Evrazii za poslednie 3000 let* (Dynamics of peat accumulation by swamps of Northern Eurasia over the last 3000 years). *Doklady RAN*. 1997. No. 354 (5). P. 683–686. (in Russ.)
 136. Pisarchuk N.M., Novenko E.Yu., Kozlov D.N., and Shilov P.M. *Vliyanie klimaticheskikh izmenenii na lesnye ekosistemy i protsessy zabolachivaniya v Tsentral'no-lesnom zapovednike* (Influence of climatic changes on forest ecosystems and waterlogging processes in the Central Forest Reserve). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2016. No. 4. P. 73–82.
 137. Budyko M.I. *Klimat v proshlom i budushchem* (Climate in the past and future). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1980. 352 p. (in Russ.)