ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ, 2023, том 54, № 4, с. 163–178

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОССИИ: ОТ КАЛИНИНГРАДА ДО КАМЧАТКИ

УДК 551.89: 551.8:574 (470.316)

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА РУБЕЖЕ ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА В РОСТОВСКОЙ НИЗИНЕ (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)[#]

© 2023 г. А. В. Самусь[1,*], Е. А. Константинов[1], О. К. Борисова[1], Л. И. Лазукова[1]

[1]Институт географии РАН, Москва, Россия

**E-mail: avsamus@igras.ru*

Поступила в редакцию 31.03.2023 г.
После доработки 15.07.2023 г.
Принята к публикации 08.09.2023 г.

В статье приводятся результаты комплексного исследования озерно-болотных отложений, вскрытых бурением на поверхности аккумулятивной озерно-аллювиальной равнины к западу от оз. Неро (Ярославская область). Исследуемая колонка длиной 2 м позволила провести ландшафтно-климатическую реконструкцию с аллереда до позднего голоцена. Значительную мощность в колонке (0.4 м) имеют отложения пребореального возраста, которые до сих пор оставались слабо изученными в этом районе. Полученные материалы помогают заполнить этот пробел и в целом уточнить реконструкцию изменения ландшафтов в Ростовской низине на рубеже позднеледниковья и голоцена и в раннем голоцене. В основу исследования легли несколько палеогеографических методов – спорово-пыльцевой анализ, ботанический анализ торфа, диатомовый анализ, определение потерь при прокаливании, радиоуглеродное датирование. Установлено, что после 14.3 тыс. кал. л. н. на рассматриваемой территории были распространены елово-березовые редколесья в сочетании с разнотравными ассоциациями. Начиная с 13.7 тыс. кал. л. н. в результате значительного похолодания увеличились площади незалесенных пространств, березовые редколесья сочетались с тундровыми и степными ассоциациями. Около 12.1 тыс. кал. л. н. на участке опробования начало формироваться тростниковое низинное болото, которое после 10.9 тыс. кал. л. н. перешло в тростниково-осоковое болото. В интервале 12.1–11.5 тыс. кал. л. н. в окрестностях болота происходило постепенное замещение ландшафтов перигляциальной лесостепи сосново-березовыми лесами. Климат был холоднее современного, но происходило значительное потепление по сравнению с позднеледниковым этапом. Кратковременное похолодание 11.5–11.2 тыс. кал. л. н. привело к новому расширению открытых травянистых сообществ, однако распространение лесов продолжилось после 11.2 тыс. кал. л. н. Начиная с 9.8 тыс. кал. л. н., в составе лесов возросла роль широколиственных пород, на прилегающей территории преобладали смешанные сосново-березовые леса с участием дуба, вяза, липы. В интервале 7.9–5.2 тыс. кал. л. н. климатические условия были наиболее теплыми и мягкими, климат был теплее современного, что привело к распространению елово-сосновых лесов с примесью березы и широколиственных пород. После 5.2 тыс. кал. л. н. в растительном покрове господствовали еловые леса с участием сосны, березы и широколиственных пород.

Ключевые слова: торфяники, реконструкция палеоландшафтов, спорово-пыльцевой анализ, радиоуглеродное датирование, озеро Неро, позднеледниковье, ранний голоцен

DOI: 10.31857/S2949178923040114, **EDN:** HUJZCX

ВВЕДЕНИЕ

Ростовская низина – депрессия рельефа, расположенная приблизительно в 180 км к северо-востоку от Москвы, в юго-восточной части Ярославской области. В пределах низины находится озеро Неро – крупнейшее озеро Ярославского Поволжья. Благодаря большой, более 70 м, мощности озерных отложений позднего плейстоцена и голоцена (Судакова и др., 1984), Ростовская низина уже более столетия является объектом интереса палеогеографов и геологов, изучающих четвертичный период. Палеоботаническое изучение отложений позднеледниковья и голоцена на этой территории проводилось в послевоенные годы (Кордэ, 1960) и в 70–90-х годах прошлого столетия (Гунова, 1975; Алешинская, Гунова, 1975; 1997). При огромной ценности результатов этих

[#] *Ссылка для цитирования:* Самусь А.В., Константинов Е.А., Борисова О.К., Лазукова Л.И. (2023). Трансформация растительных сообществ на рубеже плейстоцена и голоцена в Ростовской низине (Ярославская область) // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 4. С. 163–178. https://doi.org/10.31857/S2949178923040114; https://elibrary.ru/HUJZCX

работ обеспеченность колонок донных отложений радиоуглеродными датировками оставалась очень низкой (единичные даты), что ограничивало надежность корреляций и детальность реконструкций. В начале XXI столетия были опубликованы результаты международной группы исследователей (Wohlfarth et al., 2006, 2007), выполнявших комплексное изучение отложений озера Неро по керну, полученному в 1.1 км от ростовского берега. Исследованная колонка позволила провести палеогеографическую реконструкцию для временных интервалов от 15 до 13 тыс. кал. л. н. и от 8 тыс. кал. л. н. до современности, но периоды позднего дриаса и раннего голоцена оказались неохваченными, т.к. в колонке фиксируется перерыв в осадконакоплении продолжительностью около 5 тыс. лет. Недавно были опубликованы результаты исследования новой перспективной колонки NER-5 длиной 15.7 м (Borisova et al., 2021; Константинов и др., 2023), извлеченной из наиболее глубокой части оз. Неро (на глубине 3.8 м) и обеспеченной серией датировок. Однако палинологическое изучение отложений этой колонки пока не проведено.

Таким образом, к настоящему времени для этой территории отсутствуют полные разрезы отложений позднеледниковья и раннего голоцена, охарактеризованные палеоботаническими материалами и подкрепленные серией датировок. Отложения пребореального возраста являются наименее изученными, так как часто имеют небольшую мощность в осадках (Алешинская, Гунова, 1997) либо вовсе отсутствуют в колонках отложений (Wohlfarth et al., 2006).

Настоящее исследование частично восполняет этот пробел и предоставляет данные комплексного изучения озерно-болотных отложений, вскрытых на поверхности озерно-аллювиальной равнины к западу от оз. Неро. Большая часть отложений исследуемой колонки формировалась в позднеледниковье и раннем голоцене, а мощность пребореальных осадков здесь достигает 0.4 м. Именно более подробное изучение датированных пребореальных отложений даст возможность проанализировать реакцию растительности и ландшафтов на стремительное потепление климата на рубеже плейстоцена и голоцена. Детальное изучение отложений позднеледниковья и раннего голоцена необходимо для понимания современных и будущих перестроек природной среды и их прогноза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ключевой объект исследования – колонка отложений из скважины K7C (рис. 1), пробуренной на поверхности аккумулятивной озерно-аллювиальной равнины на высоте 105.7 м абс. (57°11′31″ с.ш.; 39°18′45″ в.д.). Высота устья скважины над урезом оз. Неро составляет 12 м. Участок работ расположен в осевой части осушенного низинного торфяного болота, которое протягивается вдоль подножья восточного склона Ростовской низины. Болото приурочено к слабовыраженному понижению (длиной около 400 м и шириной около 200 м), расположенному между соседними конусами выноса оврагов, врезающихся в склон. Длина колонки, отобранной торфяным буром марки Eijkelkamp, составляет 2 м.

Радиоуглеродное датирование шести верхних образцов в колонке K7C выполнено методом жидкостной сцинтилляции в лаборатории ядерной геофизики и радиоэкологии Центра исследования природы (Вильнюс, Литва). Нижняя датировка выполнена AMS-методом в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Калибровка дат проводилась в программе OxCal 4.2 (Bronk Ramsey, 2009) на основе калибровочной кривой IntCal20. В программном пакете rbacon среды R была построена глубинно-возрастная модель, с помощью которой для колонки K7C были рассчитаны средние скорости осадконакопления.

Для отложений колонки K7C был проведен спорово-пыльцевой анализ 37 образцов, отобранных с интервалом 5–10 см. Лабораторная подготовка образцов выполнялась по стандартной методике В.П. Гричука: обработка 10% раствором HCl, кипячение в 10% растворе KOH, сепарация в тяжелой жидкости плотностью 2.25 г/см^3 (Гричук, Заклинская, 1948). В качестве тяжелой жидкости вместо ранее применявшегося йодистого кадмия используется ГПС-В (водный раствор гетерополивольфрамата натрия). На заключительном этапе проводился ацетолиз с применением пропионового ангидрида и концентрированной серной кислоты (Мазей, Новенко, 2021). Для расчета концентрации пыльцевых зерен и спор перед началом лабораторной обработки в каждый образец фиксированного объема (1 см^3) добавлялась 1 таблетка спор *Lycopodium* (Stockmarr, 1971). Готовые пробы просматривались под микроскопом с увеличением в 400 раз. Чтобы получить статистически достоверное представление о спорово-пыльцевых спектрах, в каждом образце насчитывалось не менее 300 пыльцевых зерен. Для определения пыльцевых зерен и спор использовались атласы (Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Бобров и др., 1983). Спорово-пыльцевая диаграмма построена в программах Tilia (Grimm, 1990) и CorelDraw 2018, а границы палинозон проведены при помощи кластерного анализа в программе CONISS (Grimm, 1987). Процентное содержание каждого таксона рассчитано от общей суммы пыльцы наземных растений (пыльца деревьев и

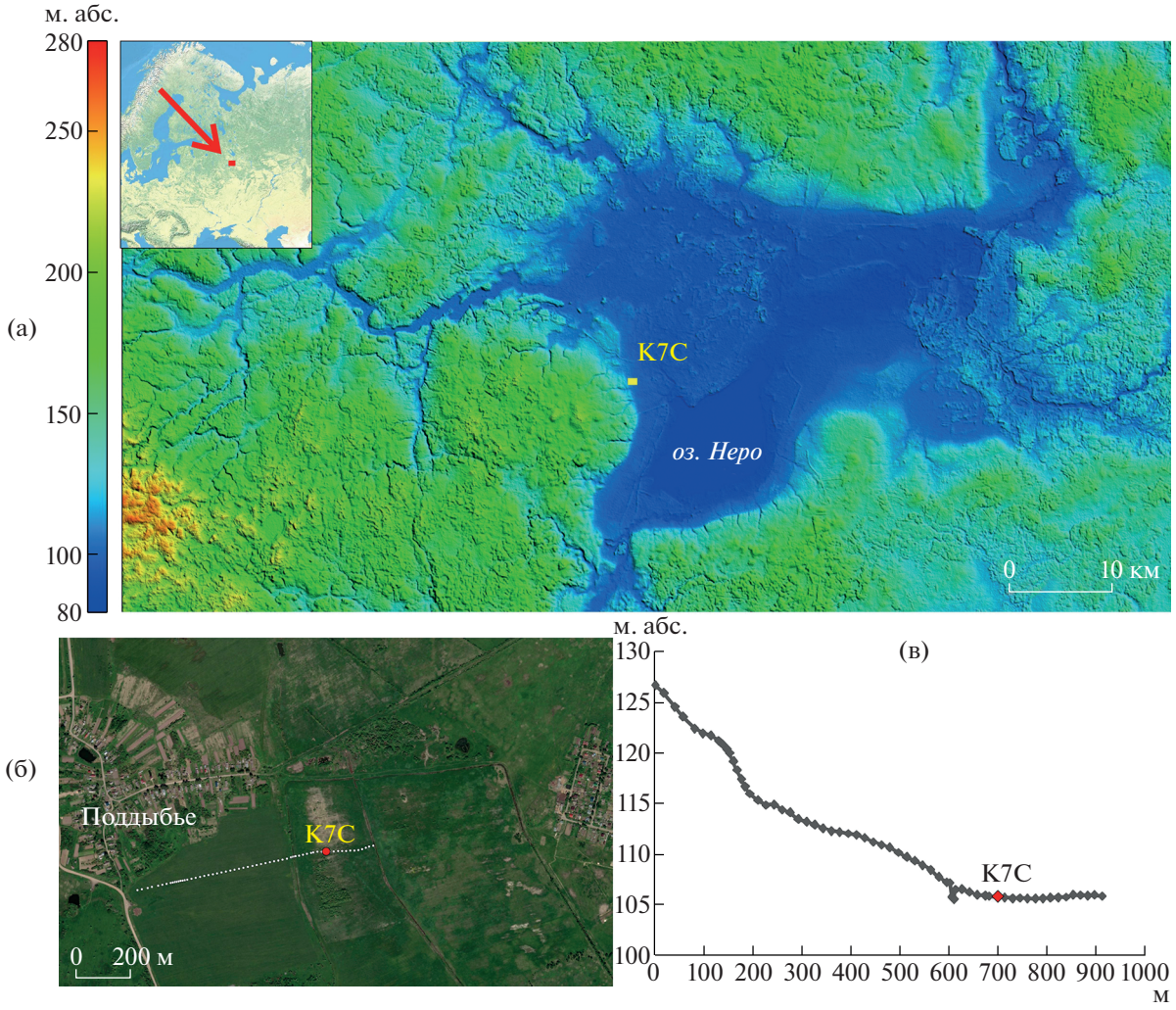

Рис. 1. Расположение участка полевых работ: (а) – рельеф восточных склонов Борисоглебской возвышенности и Ростовской низины на цифровой модели SRTM; красной стрелкой показан участок работ; (б) – участок работ на космическом снимке, белыми точками показаны пикеты геодезического профиля; (в) – геодезический профиль, построенный на основе съемки ГНСС ровером в режиме RTK, высоты по геоиду EGM08.

Fig. 1. Location of the fieldwork site: (a) – relief of the eastern macroslopes of the Borisoglebsk upland and the Rostov lowland on the SRTM digital model; the study site is shown with a red arrow; (б) – the fieldwork site on a satellite image, white dots show pickets of a geodetic profile; (в) – geodetic profile built on the basis of GNSS rover survey in RTK mode, heights from the EGM08 geoid model.

кустарников + пыльца трав и кустарничков) без учета пыльцы водных растений и спор. Кроме того, построена диаграмма концентраций пыльцы и спор основных таксонов (кол-во зерен в 1 $см^3$ осадка). Для пребореального периода рассчитаны удельные скорости аккумуляции пыльцы и спор основных таксонов.

Образцы на диатомовый анализ в колонке К7С отбирались с глубин от 100 до 200 см с шагом 20 см. Препараты для диатомового анализа были подготовлены по стандартной методике (Battarbee et al., 2001), включающей в себя обработку 10% раствором HCl и 30% раствором H_2O_2, отмучивание образцов для удаления глинистой фракции и сепарацию в тяжелой жидкости ГПС-В плотностью 2.2 $г/см^3$.

Для отложений колонки К7С также были определены потери при прокаливании (ППП) при температуре 550°С и рассчитано содержание органического материала. В лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН Н.В. Стойкиной выполнен ботанический анализ торфа. В программном пакете Tilia построена диаграмма ботанического состава отложений.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Ростовская низина вытянута в северо-восточном направлении на 35 км, имеет ширину около

10–20 км, глубину – 60–80 м. С севера ее ограничивают моренные холмы, с запада и юго-запада – Борисоглебская возвышенность, с юго-востока – конечно-моренная возвышенность, переходящая в Галичско-Чухломскую гряду. По долине р. Которосль Ростовская низина соединяется с Ярославско-Костромской низиной.

Вопрос о генезисе Ростовской низины является дискуссионным. Так, согласно (Геологическая..., 1967), ее образование обусловлено тектоническими причинами. По другим представлениям, Ростовская низина представляет собой гляциодепрессию (История плейстоценовых озер..., 1998).

В южной, наиболее пониженной части Ростовской низины расположено оз. Неро. Озеро имеет размеры 12.5 × 8 км при максимальной глубине 4 м. Современный урез озера в среднем составляет 93.75 м (Бикбулатов и др., 2003). Основным притоком является река Сара, а вытекает из озера единственная река – Векса.

Над современным урезом оз. Неро возвышается серия террасовидных поверхностей. Поверхности озерно-ледниковых уровней в верхней части террасового комплекса (на высотах 43, 35, 25 м над урезом) наклонны и неясно выражены, часто прорезаны эрозионной сетью, встречаются фрагментарно; их уступы нечеткие, расплывчатые (Гунова, 1975). Лучше всего морфологически выражены уровни нижнего террасового комплекса – на высотах 100–105 м, 95–97 м и ниже 95 м.

Климат территории гумидный, умеренно-континентальный. Средняя температура января –11°С, июля +18°С (Атлас Ярославской области, 1964). Среднегодовое количество осадков достигает 530–550 мм, из них около 30% выпадает в зимний период.

Территория Ростовской низины относится к зоне южной тайги, к подзоне смешанных лесов. Сейчас леса покрывают только 12% площади территории, причем большая часть лесов – вторичные. В их составе преобладают осина (*Populus tremula*), береза (*Betula pendula, B. pubescens*), ольха (*Alnus incana, A. glutinosa*), реже – ель (*Picea abies*) и сосна (*Pinus sylvestris*). Наряду с хвойными и мелколиственными породами, в лесах встречаются и широколиственные (*Tilia cordata*, *Quercus robur, Fraxinus excelsior, Ulmus glabra, U. laevis, Acer platanoides*). Значительные площади в Ростовской низине занимают сельскохозяйственные угодья на месте сосновых лесов и пойменных лугов (Атлас Ярославской области, 1964). Растительность суходольных лугов представлена злаково-разнотравными ассоциациями. К понижениям тяготеют осоково-злаковые фитоценозы с примесью влаголюбивого разнотравья (таволга, купальница и др.). На пойменных лугах произрастают преимущественно злаки. На низинных болотах, площадь которых составляет менее 3% территории Ростовского района, распространены различные виды осок, мятлик болотный, зеленые мхи, а также ольха, береза и кустарниковые виды ивы (Почвы Ростовского района..., 1988).

В настоящее время в днище Ростовской низины проводится интенсивная мелиорация. Исследуемый торфяник окружен глубокими дренажными канавами. Современная растительность в окрестностях колонки К7С представлена осоками, злаками и луговым разнотравьем, среди которого отмечаются травы семейств Apiaceae, Asteraceae, Ranunculaceae, Plantaginaceae, Brassicaceae, Rubiaceae, Lamiaceae и др. В кустарниковом ярусе произрастают ивы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Строение колонки отложений. В отложениях колонки К7С выделяются следующие горизонты:

0–0.38 м – суглинок сильно оторфованный;

0.38–1.45 м – торф низинный осоково-тростниковый с двумя прослоями органо-карбонатного ила с обилием ракушечного детрита на глубинах 0.67–0.73 м и 0.78–0.85 м;

1.45–1.65 м – суглинок сильно оторфованный;

1.65–1.83 м – суглинок слабо оторфованный;

1.83–2.0 м – суглинок легкий.

Результаты радиоуглеродного датирования, определения ППП при 550°С и скорости осадконакопления. Для отложений колонки К7С было получено семь радиоуглеродных датировок (табл. 1). Они были использованы для построения глубинно-возрастной модели. Модель охватывает временной интервал от 14.3 до 4 тыс. кал. л. н. (рис. 2). Кривая глубина–возраст дала возможность более точно определить на спорово-пыльцевой диаграмме границы основных климатических периодов позднеледниковья и голоцена согласно климатостратиграфической шкале Блитта-Сернандера (Хотинский, 1977), что позволило в дальнейшем более корректно проводить сопоставление с опубликованными палинологическими данными. Также с помощью возрастной модели были рассчитаны видимые скорости осадконакопления (т.е. скорости, которые на разных глубинах были по-разному изменены по сравнению с исходной скоростью нарастания торфа за счет его последующего разложения и уплотнения). Так, в интервале от 14 до 12 тыс. кал. л. н. (2.0–1.6 м) скорости осадконакопления не превышали 0.14–0.2 мм/год. В период с 12 до 11 тыс. кал. л. н. (1.6–1.2 м) они возросли до максимальных значений (0.37–0.5 мм/год). С 11 до 6.2 тыс. кал. л. н. (1.2–0.4 м) скорости аккумуляции отложений постепенно снижались с 0.32 до 0.1 мм/год, а в интервале от 6.2 тыс. до 4.1 тыс. кал. л. н. (0.4–0.0 м) они вновь возросли до 0.2 мм/год (рис. 3).

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования отложений колонки К7С
Table 1. The radiocarbon dates from the core K7C

№	Лаб. номер	Глубина образца, см	Материал	Радиоуглеродный возраст, л. н.	Калиброванный возраст, л. н.
1	Vs-3045	32–42	Торф, общий орг. углерод	5173 ± 75	6125–5740 (91.1%)
2	Vs-3046	65–74	Торф, общий орг. углерод	8000 ± 90	9095–8595 (95.2%)
3	Vs-3047	90–100	Торф, общий орг. углерод	9015 ± 135	10505–9700 (95.4%)
4	Vs-3048	110–120	Торф, общий орг. углерод	9580 ± 110	11205–10645 (93.6%)
5	Vs-3049	140–150	Торф, общий орг. углерод	9950 ± 150	12060–11095 (95.4%)
6	Vs-3050	164–174	Торф, общий орг. углерод	10285 ± 285	12705–11235 (95.4%)
7	$IGAN_{AMS}8276$	180	Суглинок оторфованный, общий орг. углерод	11520 ± 30	13225–13095 (95.4%)

Содержание органического вещества в нижних горизонтах колонки К7С (2.0–1.83 м), соответствующих аллереду, очень низкое (ППП не превышают 2%). Выше по разрезу (на глубинах 1.82–1.64 м) оно постепенно увеличивается с 6% до 28%. На глубинах 1.64–1.40 м (на рубеже позднеледниковья и пребореального периода голоцена) наблюдается значительный рост содержания органического вещества (ППП составляют от 42% до 82%). Доля органического вещества остается высокой вплоть до глубины 0.28 м (значения ППП достигают 70–85%, за исключением нескольких локальных минимумов). В верхних горизонтах колонки (0.28–0 м), формировавшихся на рубеже среднего и позднего голоцена и в позднем голоцене, содержание органического вещества составляет от 40 до 50%.

Результаты диатомового анализа. Диатомовые водоросли в колонке К7С в достаточном количестве (более 350 створок) были найдены лишь на глубине 1.6 м. На этой глубине встречаются исключительно перифитонные виды с преобладанием *Eunotia biconstricta, Cymbella neogena, Eunotia praerupta var. bidens, Hantzschia amphioxis, Pinnularia viridoformis, Placoneis amphibola, Stauroneis gracilis, Rexlowea parasemen*.

В интервале глубин 2.0–1.0 м (за исключением глубины 1.6 м) диатомовые водоросли присутствуют в единичном количестве. Это перифитонные виды – *Pinnularia* sp., *Navicula* sp., *Eunotia* sp., *Gomphonema* sp., *Fragilaria* sp., *Hantzschia amphioxis*.

Результаты спорово-пыльцевого анализа и ботанического анализа торфа. На рис. 4 приведена спорово-пыльцевая диаграмма по колонке К7С, а на рис. 5 – диаграмма концентраций пыльцы и спор основных таксонов.

Выделение на диаграмме палинозон основывалось на анализе процентного соотношения пыльцы и спор доминантов и субдоминантов растительного покрова и характера палинофлоры, а также на результатах кластерного анализа.

По результатам анализа выделено 5 локальных пыльцевых зон (ЛПЗ). Временные интервалы, соответствующие каждой палинозоне, определены по возрастной модели.

ЛПЗ 1 (2.0–1.63 м) соответствует нижним горизонтам колонки К7С, представленными легким суглинком и слабо оторфованным суглинком. В общем составе спорово-пыльцевых спектров ЛПЗ 1 примерно в равном количестве присутствуют пыльцевые зерна деревьев и кустарников (45–66%) и трав и кустарничков (34–55%).

Внутри ЛПЗ 1 по результатам кластерного анализа и изменению состава палиноспектров можно выделить две подзоны – 1-а (2.0–1.87 м) и 1-б (1.87–1.63 м). Для подзоны 1-а характерно преобладание пыльцы *Picea* (16–18%) и *Betula* sect. *Albae* (13–18%) в группе пыльцы деревьев и кустарников, в меньшем количестве встречается пыльца *Pinus* s/g *Diploxylon* (10–11%). В небольшом количестве присутствует пыльца ольхи серой (2%) и ольхи черной (3–5%), кустарниковой березы (2%), ивы (1–2%). Единичны пыльцевые зерна карликовой березки, а также широколиственных пород – дуба и вяза. В группе пыльцы трав и кустарничков доминируют Cyperaceae (23–24%) и Poaceae (11–17%). Для подзоны 1-а характерна наименьшая общая концентрация пыльцы (5–6 тыс. зерен на $см^3$).

Подзона 1-б характеризуется меньшим количеством пыльцы ели (1–9%) и сосны (3%) и возросшей долей пыльцы древовидной березы (23–39%). В этой подзоне увеличивается и процентное содержание пыльцы мелколиственных кустарников – *Betula* sect. *Fruticosae* (5–7%), *B.* sect. *Nanae* (до 1%), *Salix* (5–8%). Еще одним существенным отличием от подзоны 1-а является возрастание доли пыльцы ксерофильных трав и ку-

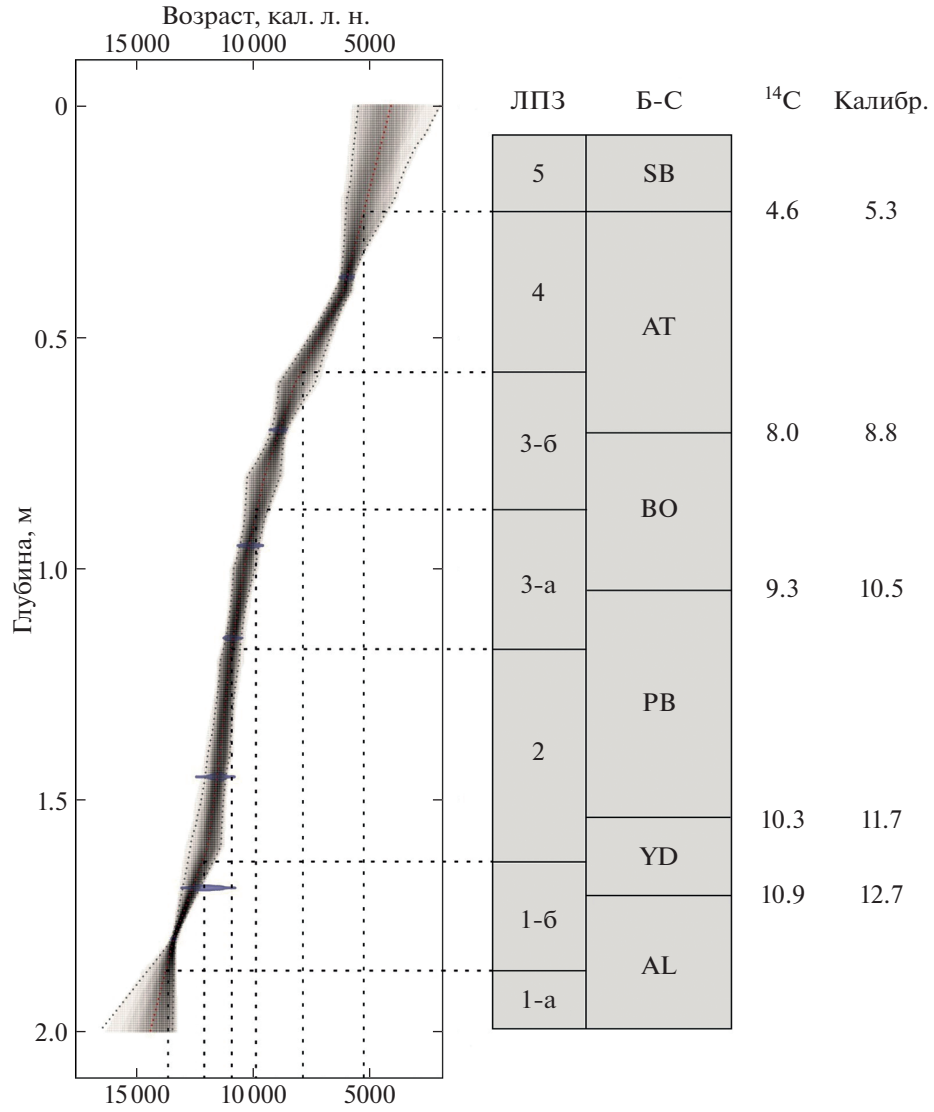

Рис. 2. Глубинно-возрастная модель отложений колонки К7С и ее сопоставление с локальными пыльцевыми зонами (ЛПЗ). Б-С – периодизация голоцена по Блитту-Сернандеру; ^{14}C – радиоуглеродный возраст границ, тыс. л. н. (Хотинский, 1977); Калибр. – соответствующий калиброванный возраст (Bronk Ramsey, 2009).

Fig. 2. Age-depth model for the sediment sequence in the core K7C and its comparison with local pollen zones (ЛПЗ). Б-С – The Blytt–Sernander subdivision of the Holocene; ^{14}C – the radiocarbon age, thousand years BP (Khotinskii, 1977); Калибр. – corresponding calibrated age (Bronk Ramsey, 2009).

старничков – *Artemisia* (7–14%), Chenopodiaceae (2–4%). Для этой подзоны характерно большое разнообразие в группе пыльцы травянистых растений (встречается пыльца Asteraceae, Cichoriaceae, Ranunculaceae, *Thalictrum*, Brassicaceae, Rosaceae, Fabaceae, Primulaceae). Велика концентрация пыльцы кустарниковых видов берез (*Betula* sect. *Fruticosae* – от 3 до 5 тыс./см^3, *B.* sect. *Nanae* – от 300 до 600 зерен на см^3), а также *Artemisia* (от 3 до 11 тыс./см^3) и Chenopodiaceae (от 1 до 3 тыс./см^3). Общая концентрация пыльцы увеличивается до 60–90 тыс. зерен на см^3.

В нижних горизонтах колонки К7С растительные макроостатки встречаются единично (рис. 6). В основном отмечены макроостатки растений, тяготеющих к переувлажненным местообитаниям (*Carex lasiocarpa*), а также прибрежно-водных и болотных растений (*Phragmites*, *Typha*, *Potamogeton*, *Sphagnum* sect. *Acutifolia*, *Sph.* sect. *Cuspidata, Calliergon, Warnstorfia*).

ЛПЗ 2 (1.63–1.18 м) соответствует горизонтам оторфованного суглинка и торфа. В спорово-пыльцевых спектрах этой палинозоны количество пыльцы деревьев и кустарников сначала уменьшается с 45 до 14%, а затем вновь возрастает

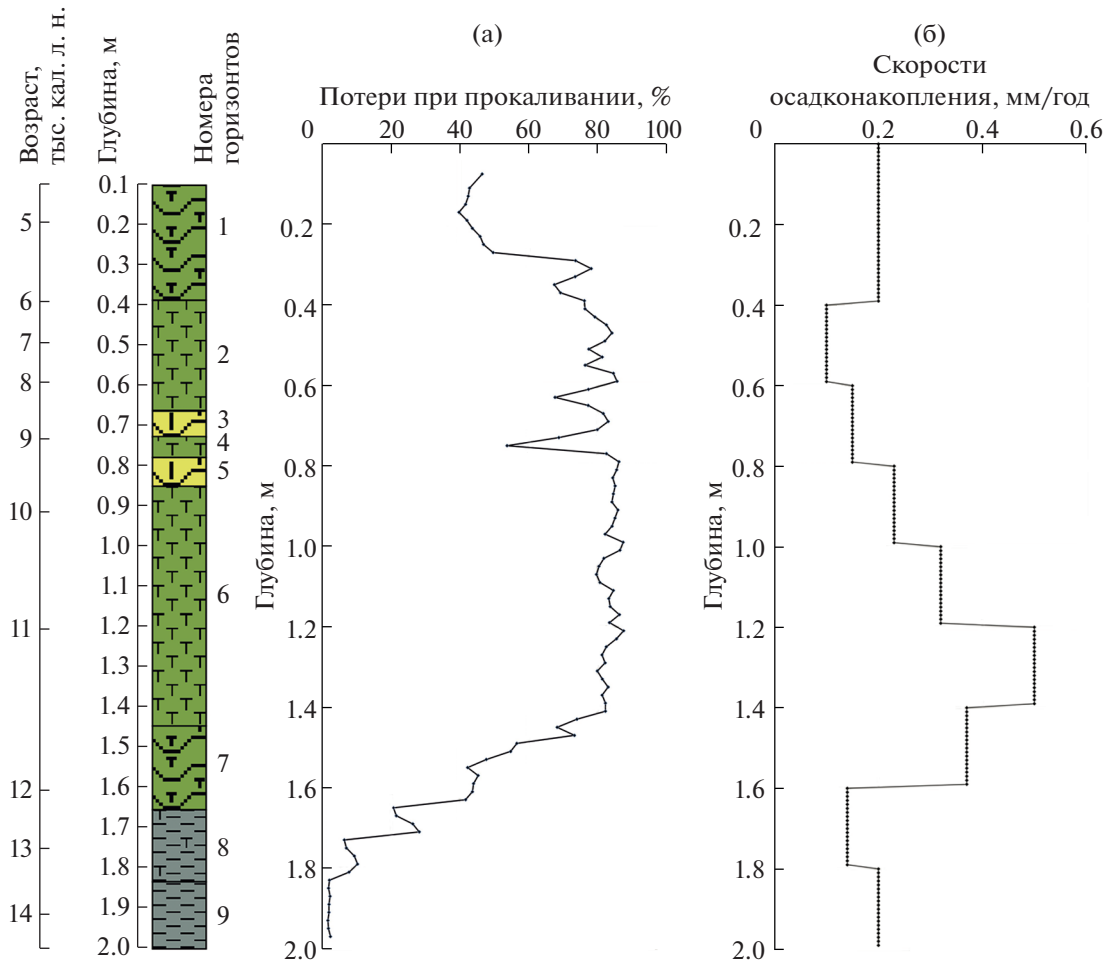

Рис. 3. Изменения в содержании органического вещества (а) и скорости осадконакопления (б) для отложений колонки К7С.
Номера горизонтов: 1, 7 – суглинок сильно оторфованный; 2, 4, 6 – торф низинный; 3, 5 – органо-карбонатный ил с обилием ракушечного детрита; 8 – суглинок слабо оторфованный; 9 – суглинок легкий, не слоистый.

Fig. 3. Changes in organic matter content (a) and sedimentation rates (б) for the sediments from the core K7C.
Lithology: 1, 7 – peaty loam; 2, 4, 6 – lowland peat; 3, 5 – organic carbonate silt with shell detritus; 8 – loam with peat; 9 – unstratified loam.

до 56%. Доля пыльцы трав и кустарничков в интервале глубин 140–130 см достигает максимума – 86%. В верхней части палинозоны резко возрастает количество спор за счет спор папоротников семейства Polypodiaceae. В группе пыльцы трав и кустарничков доминантом является Poaceae (31–74%). Процентное содержание пыльцы *Artemisia* и Chenopodiaceae уменьшается, однако удельные скорости аккумуляции пыльцы этих растений, напротив, довольно высокие (скорость аккумуляции пыльцы *Artemisia* достигала 100–500 зерен на $см^2$/год, Chenopodiaceae – до 200 зерен на $см^2$/год). Встречаются зерна *Ephedra* и *Thalictrum*, характерных для перигляциальных флор центральных районов Русской равнины. В целом, в группе трав отмечается большое разнообразие пыльцы – встречается пыльца растений-галофилов (Plumbaginaceae), растений нарушенных субстратов (Caryophyllaceae, Brassicaceae) и разнотравья (Asteraceae, Apiaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Fabaceae и др.). Присутствует пыльца прибрежно-водных трав – *Typha latifolia, Sparganium*. В группе пыльцы деревьев и кустарников преобладает пыльца *Betula* sect. *Albae* (3–25%). Доля пыльцы *Picea*, *Betula* sect. *Fruticosae*, *B.* sect. *Nanae* уменьшается снизу вверх в пределах ЛПЗ 2, доля *Pinus* s/g *Diploxylon* – увеличивается. На долю пыльцы ивы приходится от 1 до 6%. Единично встречается пыльца широколиственных деревьев и кустарников (*Quercus*, *Ulmus*, *Corylus*). Для нижней части ЛПЗ характерна высокая концентрация пыльцы березы (в том числе кустарниковых), полыни, василистника и представителей семейства маревых, однако в верхней части ЛПЗ концентрация пыльцы этих растений уменьшается. Удельные скорости акку-

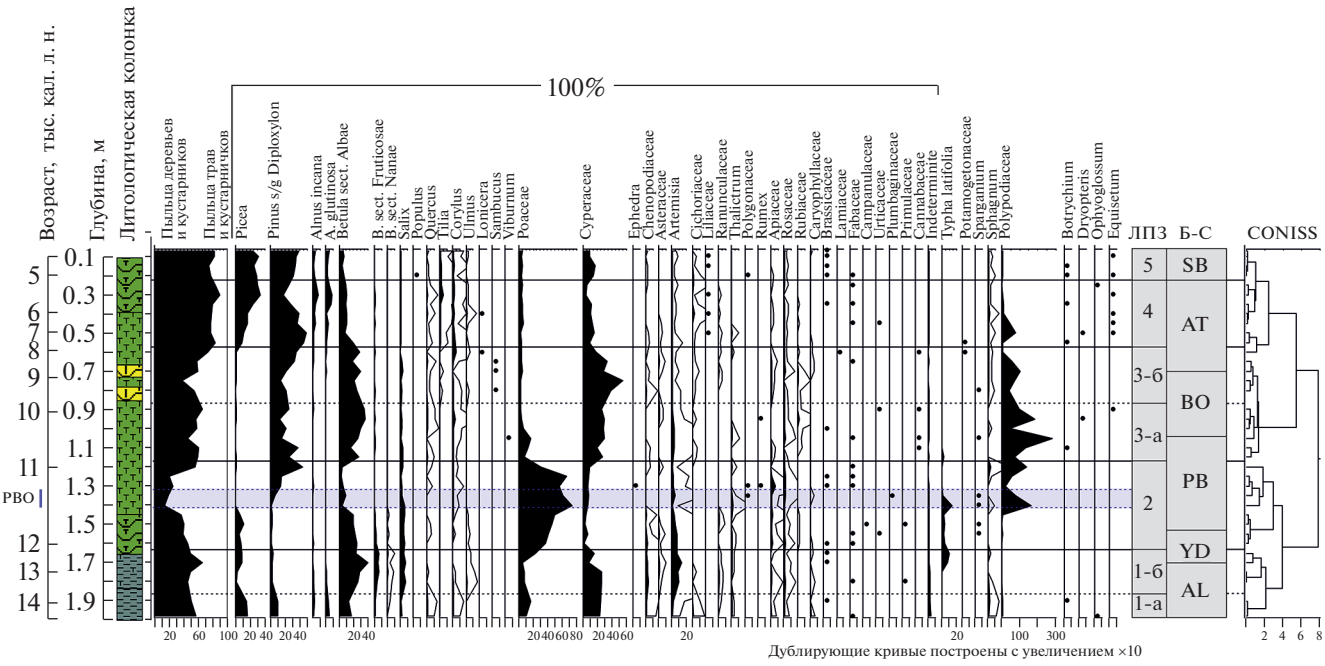

Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений колонки K7C. PBO – пребореальная осцилляция.
Fig. 4. Spore-pollen diagram for K7C section. PBO – Preboreal oscillation.

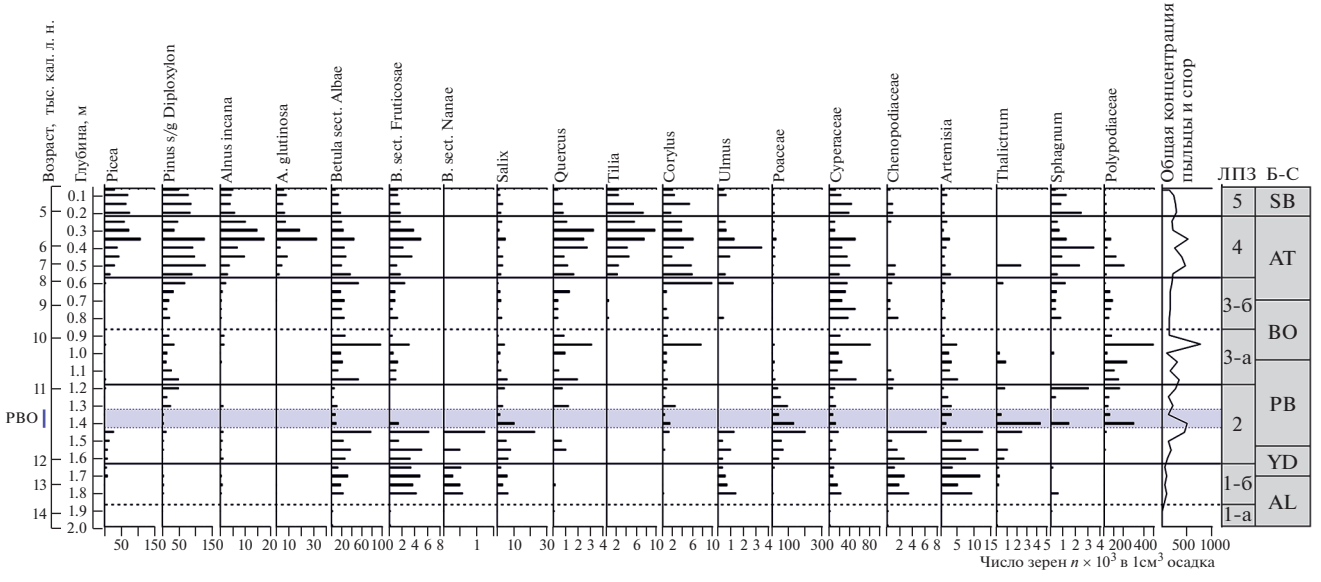

Рис. 5. Концентрации пыльцы и спор основных таксонов в отложениях колонки K7C.
Fig. 5. Pollen and spore concentrations of major taxa in the sediments from the core K7C.

муляции пыльцы березы и ивы в ЛПЗ 2 достигают максимальных значений (*Betula* sect. *Albae* – до 3000 зерен на см^2/год, *B.* sect. *Fruticosae* – до 200 зерен на см^2/год, *B.* sect. *Nanae* – до 50 зерен на см^2/год, *Salix* – до 900 зерен на см^2/год).

По результатам ботанического анализа торфа, на этих глубинах в большом количестве встречаются макроостатки тростника (*Phragmites*). В меньших количествах встречены макроостатки других водных растений (*Typha*, *Ceratophyllum*), мха *Warnstorfia*, а также березы, ивы, хвощей, осок (*Carex lasiocarpa* и *C. diandra)*.

ЛПЗ 3 (1.18–0.57 м) соответствует горизонтам торфа. Согласно результатам кластерного анализа, внутри ЛПЗ 3 можно выделить две подзоны –

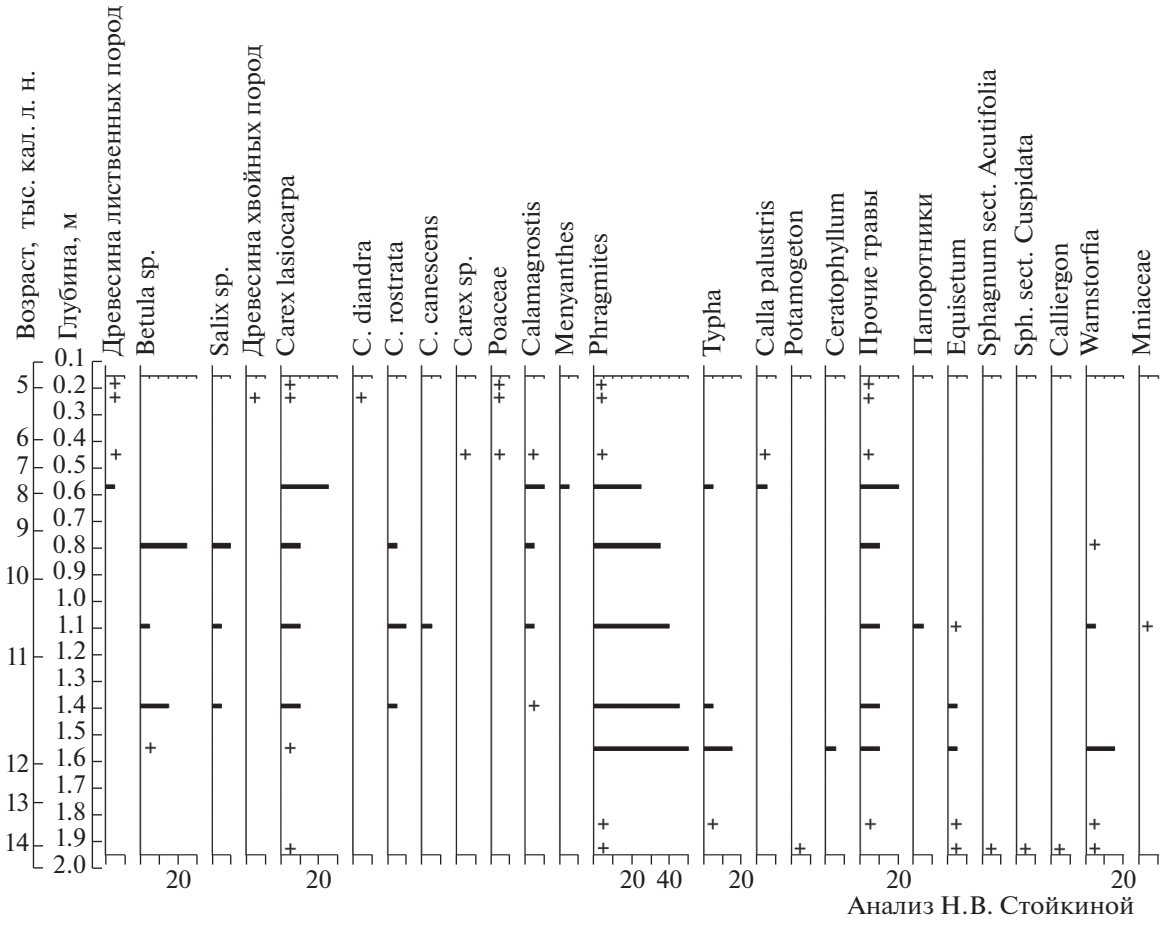

Рис. 6. Ботанический анализ отложений колонки К7С.
Fig. 6. Botanical analysis of sediments from the core K7C.

3-а (1.18–0.87 м) и 3-б (0.87–0.57 м). В подзоне 3-а доля пыльцы деревьев и кустарников в общем составе палиноспектров в целом на 5–10% выше, чем в подзоне 3-б. В этой группе доминируют сосна (13–38%) и береза (16–36%) и в очень малом количестве присутствует пыльца ели (до 2%). Роль пыльцы мелколиственных кустарников (*Betula* sect. *Fruticosae*, *Salix*) становится менее значимой, чаще встречается пыльца широколиственных пород (*Quercus* – до 2%, *Corylus* – до 3%). В группе трав преобладает пыльца осок (20%–30%). Среди спор в большом количестве насчитываются споры Polypodiaceae, единично встречаются споры *Sphagnum*, *Botrychium*, *Dryopteris*, *Equisetum*. Подзона 3-б отличается от подзоны 3-а более богатым составом древесной палинофлоры. Так, в подзоне 3-б отмечается высокое разнообразие пыльцы деревьев и кустарников, характерных для широколиственных лесов (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus*, *Lonicera*, *Sambucus*). Стоит отметить и небольшое снижение доли пыльцы *Artemisia* относительно подзоны 3-а.

Согласно результатам ботанического анализа торфа, в отложениях на глубинах 1.18–0.57 м встречены макроостатки растений, тяготеющих к водным и увлажненным местообитаниям – осоки (*Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. canescens*), тростник, вейник, рогоз, белокрыльник болотный, мхи *Warnstorfia* и Mniaceae. Отмечаются макроостатки *Betula* и *Salix*.

ЛПЗ 4 (0.57–0.22 м) характеризует горизонты торфа и оторфованного суглинка. В общем составе спорово-пыльцевых спектров возрастает доля пыльцы деревьев и кустарников (77–90%). Доминантами в этой группе являются *Picea* (8–35%) и *Pinus* s/g *Diploxylon* (17–50%), при этом процентное содержание пыльцы ели увеличивается снизу вверх в пределах ЛПЗ, а доля пыльцы сосны уменьшается. По сравнению с ЛПЗ 3, возрастает доля пыльцы ольхи серой и ольхи черной. На долю пыльцы широколиственных пород приходится в сумме от 3 до 9%. Растет концентрация пыльцы ели (16–108 тыс./см^3), сосны (35–128 тыс./см^3), ольхи (*Alnus incana* 3–17 тыс./см^3, *A. glutinosa* 2–32 тыс./см^3) и широколиственных пород (*Quer-*

cus 1–3 тыс./см^3, *Tilia* 2–10 тыс./см^3, *Ulmus* до 3 тыс./см^3, *Corylus* 2–6 тыс./см^3). В группе трав преобладают осоки, в меньшем количестве встречается пыльца злаков и лугового разнотравья. В группе спор доминируют Polypodiaceae, отмечаются споры *Sphagnum*, *Botrychium*, *Dryopteris, Ophyoglossum*, *Equisetum*.

ЛПЗ 5 (0.22–0.0 м) соответствует горизонту оторфованного суглинка. В общем составе палиноспектров по-прежнему доминирует пыльца деревьев и кустарников (74–83%) при невысокой доле пыльцы трав и кустарничков (18–26%). Среди пыльцы деревьев и кустарников преобладает пыльца *Picea* (24–34%) и *Pinus* s/g *Diploxylon* (32–39%), количество пыльцы *Betula* sect. *Albae* очень невелико (5–7%). Палиноспектры ЛПЗ 5 отличает меньшая доля пыльцы широколиственных пород (их общее количество достигает 3–5%) и небольшое разнообразие широколиственной дендрофлоры (встречаются пыльцевые зерна дуба, вяза, липы, тополя, лещины). В группе трав доминирует пыльца осок (10–17%), реже встречаются пыльцевые зерна злаков, полыни, маревых, разнотравья (Cichoriaceae, Brassicaceae, Polygonaceae, Rosaceae и др.). Среди спор отмечены Polypodiaceae, *Sphagnum*, *Botrychium*, *Equisetum*. Общая концентрация пыльцы и спор в ЛПЗ 5 снижается до 150–300 тыс. зерен на см^3 (по сравнению с 200–500 тыс./см^3 в ЛПЗ 4).

На глубинах 0.57–0.0 м в отложениях колонки K7C растительные макроостатки встречаются единично. В основном отмечаются макроостатки осок, тростника, других трав семейства злаковых, а также фрагменты древесины лиственных и хвойных пород.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ глубинно-возрастной модели и палинологических данных показал, что отложения колонки K7C охватывают довольно широкий временной интервал – от аллереда до позднего голоцена. Полученные данные были сопоставлены с опубликованными ранее результатами палеоботанических исследований отложений озера Неро и его террасового комплекса (Wohlfarth et al., 2006; Алешинская, Гунова, 1997; Гунова, Лефлат, 1997) и с новыми данными по изменениям уровня озера Неро в позднеледниковье и голоцене (Константинов и др., 2023). В соответствии с выделенными локальными пыльцевыми зонами, полученные материалы могут быть проинтерпретированы следующим образом:

14.3–13.7 тыс. кал. л. н. Нижние горизонты колонки K7C формировались в аллереде. О длительности накопления этих горизонтов можно судить лишь предположительно, экстраполируя график осадконакопления на этот интервал. Возможно, скорость осадконакопления в это время была высокой, о чем косвенно свидетельствуют очень низкие концентрации пыльцы и спор всех основных таксонов и низкое содержание органического материала (<2%). Эти отложения, по всей вероятности, не являются озерными, а имеют аллювиально-делювиальный генезис. Это подтверждает и геоморфологическое положение скважины (присклоновая позиция вблизи тылового шва между конусами выноса соседних оврагов), и отсутствие створок диатомовых водорослей на этих глубинах. Последние данные по колебаниям уровня озера Неро в позднеледниковье и голоцене (Константинов и др., 2023) свидетельствуют о наличии регрессивного этапа в истории озера в интервале 14.7–10 тыс. кал. л. н. (рис. 7). В период регрессии уровень в оз. Неро упал ниже 87 м над у. м., что, скорее всего, было связано с углублением речных русел системы Устье-Векса-Которосль по причине роста речного стока (Panin, Matlakhova, 2015). Согласно составу спорово-пыльцевых спектров в отложениях колонки K7C, в аллереде в окрестностях озера Неро преобладали елово-березовые редколесья, а на открытых пространствах произрастали разнотравные ассоциации. Береза играла в растительном покрове большую роль, чем ель, однако данные Wohlfarth et al. (2006) говорят о расселении в окрестностях озера Неро ели европейской уже 14 тыс. кал. л. н., что позволяет не считать пыльцу ели в этих слоях заносной. Разреженная растительность, вероятно, способствовала интенсификации склоновых и флювиальных процессов на исследуемой территории. Результаты исследования Wohlfarth et al. (2006) тоже указывают на низкий уровень оз. Неро в аллереде, это подтверждают найденные в донных отложениях озера макроостатки *Betula nana*, а также включения раковин моллюсков *Valvata piscinalis*, тяготеющих к мелководным олиготрофным озерам. На берегах оз. Неро в это время росли кустарники (березы и ивы), а на окружающей территории расселились *Betula* sect. *Albae*, *Picea abies* и *Pinus sylvestris* (Wohlfarth et al., 2006).

13.7–12.1 тыс. кал. л. н. Во второй половине аллереда и позднем дриасе содержание органического вещества в отложениях увеличивается за счет поступления большого количества растительных остатков в ходе заболачивания присклонового понижения и его зарастания тростником и другими влаголюбивыми растениями. Невысокая доля пыльцы древесных пород, среди которых многочисленны кустарники (*Betula* sect. *Fruticosae*, *B.* sect. *Nanae*, *Salix*), значительное количество пыльцы *Artemisia*, Chenopodiaceae и разнотравья свидетельствуют о том, что на территории в это время были распространены ландшафты перигляциальной лесостепи: березовые редколесья в сочетании с полынно-маревыми и разнотравными сообществами. Судя по очень низкой кон-

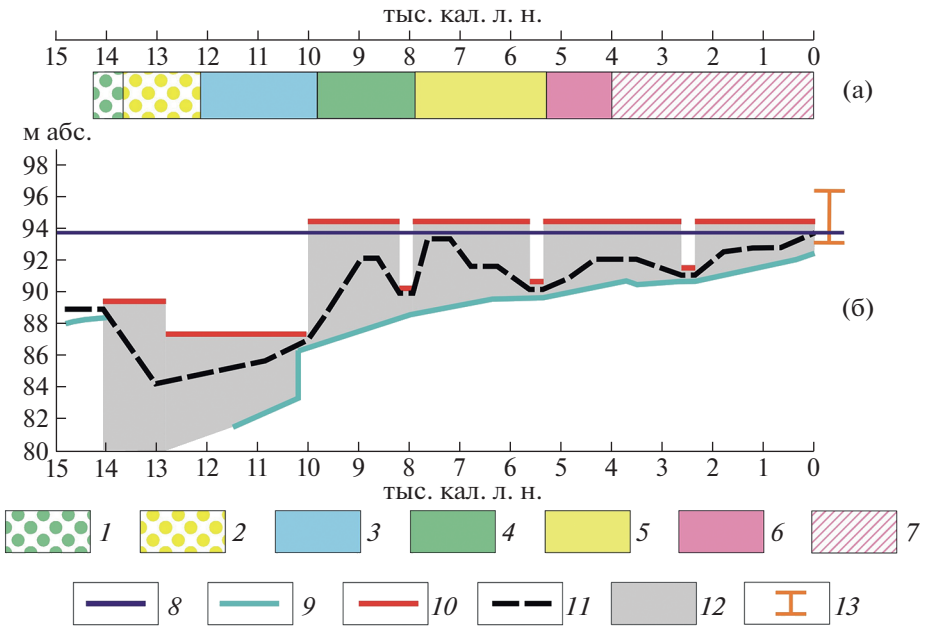

Рис. 7. Основные этапы развития растительности Ростовской низины в позднеледниковье и голоцене и их сопоставление с изменением уровня оз. Неро.
(а) – реконструкция растительности с 14.3 до 4 тыс. кал. л. н. – по авторским палинологическим данным, после 4 тыс. кал. л. н. – по данным Wohlfarth et al. (2006); (б) – реконструкция изменения уровня озера Неро по материалам Константинов и др. (2023). *Редколесья: 1* – елово-березовые, *2* – березовые; *леса*: *3* – сосново-березовые, *4* – сосново-березовые с участием широколиственных пород, *5* – елово-сосновые с примесью березы и широколиственных пород, *6* – еловые с участием сосны, березы и широколиственных пород, *7* – сосново-елово-березовые с участием широколиственных пород; *средний многолетний уровень: 8* –по данным на середину XX века (Бикбулатов и др., 2003), *9* – минимальный вероятный, *10* – максимальный вероятный, *11* – оценка изменения; *12* – область неопределенности; *13* – инструментально зафиксированная амплитуда колебаний уровня за 1930–1980 гг. (Бикбулатов и др., 2003).

Fig. 7. The main stages of the vegetation evolution in the Rostov lowland during the Late Glacial and Holocene and their comparison with changes in the level of Lake Nero.
(a) – reconstruction of vegetation, in the interval 14.3–4 cal. ka BP – according to authors' palynological data, after 4 cal. ka BP – according to Wohlfarth et al. (2006); (б) – changes in the level of Lake Nero according to Konstantinov et al. (2023). *Legend: 1* – spruce-birch sparce forests, *2* – birch sparse forests, *3* – pine-birch forests, *4* – pine-birch forests with broadleaf species, *5* – spruce-pine forests with birch and thermophilous deciduous trees, 6 – spruce forests with pine, birch, and broadleaf trees, *7* – pine-spruce-birch forests with broadleaf species; *8* – mean annual level according to data for the middle of the 20th century (Bikbulatov et al., 2003); *9* – the minimum probable mean annual level; *10* – the maximum probable mean annual level; *11* – estimation of the mean annual level change; *12* – field of uncertainty; *13* – instrumentally recorded amplitude of level fluctuations during 1930s–1980s (Bikbulatov et al., 2003).

центрации пыльцы ели (1–7 тыс. зерен на см^3) по сравнению с пыльцой других растений и общей концентрацией пыльцы в этом интервале (60–90 тыс. зерен на см^3), ее пыльцевые зерна в отложениях могут считаться заносными. К близким выводам пришли З.В. Алешинская и В.С. Гунова (1997): они отмечали распространение в позднем дриасе в окрестностях оз. Неро березовых редкостойных лесов. Также они предполагали, что озеро Неро в это время было холодным олиготрофным водоемом с уровнем выше современного, а в составе его диатомовой флоры отмечались виды, характерные для приледниковых озер (*Cocconeis disculus*, *Navicula scutelloides* и др.). Однако последними исследованиями (Borisova et al., 2022; Константинов и др., 2023) высокий уровень оз. Неро в позднем дриасе и раннем голоцене не подтверждается.

12.1–10.9 тыс. кал. л. н. Резкое возрастание содержания органического вещества в отложениях (до 80%) и высокие скорости накопления торфа (до 0.5 мм/год) при переходе от позднего дриаса к пребореальному периоду голоцена свидетельствуют о потеплении климата. Снижение доли пыльцы карликовой березки и пыльцы ксерофильных трав в спорово-пыльцевых спектрах говорит о том, что потепление сопровождалось повышением влажности климата. Это способствовало уменьшению площадей открытых пространств в окрестностях оз. Неро и постепенному замещению ландшафтов перигляциальной лесостепи лесной растительностью. Вероятно, в начале пребореального периода в районе исследования уже произрастали сосновые и березовые леса. Местами могли сохраняться еловые перелески. Открытые пространства были заняты полынно-маревыми и

разнотравными сообществами. Стоит отметить присутствие в палинофлоре пребореального времени эфедры и василистника – типичных представителей перигляциальных флор.

Судя по высокой доле пыльцы злаковых в палиноспектрах и большому количеству найденных макроостатков тростника, можно заключить, что в окрестностях скважины К7С в этот период существовало тростниковое низинное болото. В условиях повышенной увлажненности на болоте произрастали рогоз, ежеголовник, роголистник, злаки, папоротники, березы и ивы.

На глубине 1.6 м в колонке К7С в большом количестве отмечаются диатомовые водоросли, при этом господствуют перифитонные виды, а планктонные полностью отсутствуют. Вероятно, существовавшее здесь болото было довольно сильно обводнено. Присутствие аэрофильного вида *Hantzschia amphioxys* говорит о том, что болото иногда пересыхало, а находки *Rexlowea parasemen, Eunotia biconstricta*, *Stauroneis gracilis* позволяют делать вывод о более суровых климатических условиях по сравнению с современными.

В интервале 11.5–11.2 тыс. кал. л. н. по снижению доли пыльцы деревьев и кустарников, доли пыльцы березы, исчезновению пыльцы ели в спорово-пыльцевых спектрах и уменьшению концентрации пыльцы почти всех таксонов можно реконструировать кратковременное похолодание климата, которое по времени хорошо соотносится с пребореальной осцилляцией (PBO), установленной по данным изучения ледяных кернов из Гренландии (Kobashi et al., 2008). Проявление этого похолодания ранее уже было зафиксировано по палинологическим данным в центральной части Русской равнины (Борисова и др., 2022), однако степень его проявления всегда различна и сокращается по мере удаления от Северной Атлантики. Вероятно, в окрестностях оз. Неро это похолодание замедлило процесс распространения сосново-березовых лесов и способствовало увеличению роли травянистых сообществ в составе растительности.

После 11.2 тыс. кал. л. н. процесс потепления возобновился; на территории продолжилось расселение березово-сосновых лесов.

Таким образом, конец позднего дриаса и начало пребореала – это этапы развития единого процесса перестройки ландшафтов под воздействием очень быстрого потепления. Трансформация растительности в Ростовской низине на рубеже плейстоцена и голоцена, прослеживаемая по палинологическим данным, происходила при том же составе флоры за счет изменений в соотношении площадей, занятых теми или иными сообществами, и смены доминантов растительного покрова, потому что миграция более теплолюбивых растений из рефугиумов не могла изменить состав флоры за короткий срок.

Ранее палинологическое изучение пребореальных отложений в окрестностях оз. Неро было проведено З.В. Алешинской и В.С. Гуновой (1997). Эти исследователи реконструировали распространение в пребореале березовых лесов с участием сосны, однако отложения пребореального возраста на полученной ими спорово-пыльцевой диаграмме были представлены лишь четырьмя образцами, что не позволяло проследить проявления короткопериодных климатических изменений внутри этого этапа.

10.9–9.8 тыс. кал. л. н. В конце пребореального периода и начале бореального периода тростниковое низинное болото в окрестностях колонки К7С трансформировалось в тростниково-осоковое болото, о чем говорит преобладание пыльцы Cyperaceae в группе пыльцы трав и кустарничков и многочисленные находки макроостатков осок и тростника в составе торфа. Растительность болота была представлена различными видами осок (*Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. canescens*), а также другими влаголюбивыми (вейник, мхи семейства мниевые) и водно-болотными растениями (тростник, рогоз, ежеголовник, рдест, мох варнсторфия). К влажным местообитаниям тяготели береза и ива. В лесах на окружающей болото территории по-прежнему основными лесообразующими породами были сосна и береза, а на открытых пространствах произрастали полыни, травы семейства маревых и луговое разнотравье.

9.8–7.9 тыс. кал. л. н. Во второй половине бореального периода и начале атлантического периода содержание органического материала в отложениях остается высоким, а видимые скорости осадконакопления постепенно снижаются. Последнее можно объяснить лучшим разложением торфа в более теплых условиях или снижением обводненности болота в этот период, о чем свидетельствуют уменьшение количества макроостатков тростника в этом интервале и более частые находки макроостатков березы, вейника и других травянистых растений. Спорово-пыльцевые спектры отражают более теплые климатические условия. В растительном покрове этого времени преобладали смешанные сосново-березовые леса с участием широколиственных пород – дуба, вяза, липы. В подлеске произрастали лещина, жимолость, бузина. Палинологические данные З.В. Алешинской и В.С. Гуновой (1997) подтверждают широкое распространение сосново-березовых лесов в окрестностях оз. Неро в бореальном периоде.

7.9–5.2 тыс. кал. л. н. В спорово-пыльцевых спектрах атлантического периода голоцена растет процентное содержание пыльцы широколиственных пород и в несколько раз увеличивается концентрация пыльцы ели, ольхи, дуба, липы,

вяза и лещины, что говорит об увеличении продуктивности растений. Вероятно, климат в это время стал еще теплее и мягче, а состав лесов стал более разнообразным. На территории широко распространились смешанные елово-сосновые леса с примесью березы и широколиственных деревьев (дуба, вяза, липы). В кустарниковом ярусе росли лещина и жимолость. По данным Wohlfarth et al. (2006), наиболее густые леса с богатой дендрофлорой произрастали в исследуемом районе в интервале 6.1–2.5 тыс. кал. л. н. В озере Неро в атлантическое время отмечается трансгрессия, начавшаяся еще в конце бореального периода (Константинов и др., 2023). Уровень озера достигал абс. отметок 91–94 м и не превышал современный. Это хорошо согласуется с результатами диатомового анализа (Гунова, Лефлат, 1997), показавшего высокое содержание теплолюбивых планктонных видов в первой половине атлантического периода (*Aulacoseira granulata*, *A. italica, Stephanodiscus rotula* и др.). После 6.5 тыс. кал. л. н. уровень оз. Неро постепенно снижается (Константинов и др., 2023), на берегах озера произрастают хвойно-широколиственные леса, а климат теплее современного (Алешинская, Гунова, 1997).

5.2–0.0 тыс. кал. л. н. На время позднего голоцена в колонке К7С приходятся лишь верхние 22 см. Содержание органического материала в отложениях уменьшается до 40–50%, общая концентрация пыльцы также снижается, что говорит о меньшей продуктивности растений в связи с похолоданием климата. Спорово-пыльцевые спектры ЛПЗ 5 отражают господство на территории еловых лесов с примесью сосны, березы, широколиственных пород. Эти выводы хорошо согласуются с данными З.В. Алешинской и В.С. Гуновой (1997), которые реконструировали распространение еловых лесов уже в суббореальном периоде и их последующую смену березово-сосново-еловыми лесами с примесью широколиственных элементов. Результаты более подробного исследования отложений позднего голоцена Wohlfarth et al. (2006) свидетельствуют о незначительном участии ели в древостое в суббореале и о возрастании ее роли после 2.5 тыс. кал. л. н. Стоит отметить находки пыльцы *Secale cereale*, *Rumex acetosella*, Polygonaceae, *Urtica*, *Fagopyrum* и *Linum* в верхних горизонтах донных отложений озера Неро, что указывает на активную сельскохозяйственную деятельность на берегах озера в течение последних 500 лет (Wohlfarth et al., 2006).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования отложений колонки К7С и их сопоставление с опубликованными материалами позволили провести реконструкцию основных этапов ландшафтно-климатических изменений в Ростовской низине начиная с 14.3 тыс. кал. л. н.

1. С 14.3 до 13.7 тыс. кал. л. н. растительный покров был представлен елово-березовыми редколесьями, на открытых участках произрастали разнотравные фитоценозы.

2. Во второй половине аллереда и позднем дриасе (13.7–12.1 тыс. кал. л. н.) значительное похолодание климата вызвало расширение незалесенных пространств, в растительном покрове этого времени березовые редколесья сочетались с тундровыми и степными ассоциациями.

3. В интервале 12.1–10.9 тыс. кал. л. н. на месте исследования существовало тростниковое низинное болото, которое после 10.9 тыс. кал. л. н. трансформировалось в тростниково-осоковое болото.

4. Перестройка растительности на рубеже позднего дриаса и раннего голоцена происходила постепенно за счет изменений в соотношении площадей, занятых теми или иными сообществами, и смены доминантов растительного покрова под воздействием быстрого потепления. В интервале 12.1–11.5 тыс. кал. л. н. ландшафты перигляциальной лесостепи замещались лесной растительностью, но можно предполагать распространение сосново-березовых лесов в районе исследования уже в начале пребореала. Несмотря на значительное потепление по сравнению с позднеледниковым этапом, климат был холоднее современного.

5. В период с 11.5 до 11.2 тыс. кал. л. н. произошло кратковременное похолодание, соответствующее по времени пребореальной осцилляции в Гренландии, которое привело к сокращению доли древесной растительности и новому расширению открытых пространств, занятых ксерофитными и разнотравными сообществами. После 11.2 тыс. кал. л. н. на территории продолжилось распространение березово-сосновых лесов.

6. В интервале 9.8–7.9 тыс. кал. л. н. (конец бореального и начало атлантического периода) возросла роль широколиственных деревьев и кустарников в составе растительности. Растительный покров был представлен смешанными сосново-березовыми лесами с участием дуба, вяза, липы.

7. Для атлантического периода голоцена в интервале 7.9–5.2 тыс. кал. л. н. были характерны наиболее теплые и мягкие климатические условия, климат был теплее современного, состав лесов стал более богатым. Широкое распространение получили елово-сосновые леса с примесью березы и широколиственных пород.

8. В позднем голоцене на территории господствовали еловые леса с участием сосны, березы и широколиственных элементов; климат был близок к современному.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.Л. Захарова и Н.В. Сычева за помощь в проведении полевых работ. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-27-00639).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алешинская З.В., Гунова В.С. (1975). Голоценовая история озера Неро по данным сопряженного анализа // История озер в голоцене. Л.: Ротапринт ГО СССР. С. 150–158.

Алешинская З.В., Гунова В.С. (1997). Новейшие отложения и палеогеография озера Неро // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. № 1. С. 49–52.

Атлас Ярославской области. (1964) / Под ред. А.Б. Дитмара, С.М. Воскобойниковой, А.Н. Иванова и др. М.: ГУГиК. 28 с.

Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Литвинов А.С., Поддубный С.А. (2003). Гидрология и гидрохимия озера Неро. Рыбинск: Рыбинский дом печати. 192 с.

Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф. (1983). Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука. 208 с.

Борисова О.К., Нарышкина Н.Н., Константинов Е.А., Панин А.В. (2022). Ландшафтно-климатические изменения в пребореале на северо-западе европейской части России // Геоморфология. Т. 53. № 3. С. 19–28. https://doi.org/10.31857/S0435428122030051

Геологическая карта четвертичных отложений м-ба 1:200000. Лист O-37-XXVIII (1967) Л.: ВСЕГЕИ.

Гричук В.П., Заклинская Е.Д. (1948). Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: ОГИЗ. 224 с.

Гунова В.С. (1975). История озера Неро по палеоботаническим данным. Автореф. ... дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 21 с.

Гунова В.С., Лефлат О.Н. (1997). Голоценовое и современное состояние экосистемы озера Неро // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. № 4. С. 42–45.

История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины (Серия: История озер СССР). (1998) / Под ред. В.И. Хомутовой, Н.Н. Давыдовой, А.В. Раукаса, В.А. Румянцева. СПб: Наука. 406 с.

Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Захаров А.Л. и др. (2023). Колебания уровня озера Неро в голоцене // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 2. С. 51–60. https://doi.org/10.31857/S2949178923020044

Кордэ Н.В. (1960). Биостратификация и типология русских сапропелей. М.: Изд-во акад. наук СССР. 220 с.

Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978). Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука. 184 с.

Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972). Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Т. 1. Л.: Наука. 171 с.

Мазей Н.Г., Новенко Е.Ю. (2021). Применение пропионового ангидрида при подготовке проб для спорово-пыльцевого анализа // Nature Conservation Research. Заповедная наука. № 6 (3). С. 110–112. https://doi.org/10.24189/ncr.2021.036

Почвы Ростовского района Ярославской области и рекомендации по их использованию. (1988). Л.: Лен. гос. ун-т. 223 с.

Судакова Н.Г., Дашевский В.В., Писарева В.В. (1984). Четвертичные отложения окрестностей г. Ростова Ярославского // Путеводитель экскурсии 10-BXXVII Междунар. геологич. конгресса. М.: Союзгеолфонд. 26 с.

Хотинский Н.А. (1977). Голоцен Северной Евразии. М.: Наука. 200 с.

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J. (2001). Diatoms // Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 3: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. P. 155–202. https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_8

Borisova O., Konstantinov E., Utkina A. et al. (2022). On the existence of a large proglacial lake in the Rostov–Kostroma lowland, North-Central European Russia // Journal of Quaternary Science. P. 1–18. https://doi.org/10.1002/jqs.3454

Bronk Ramsey C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. No. 51 (2). P. 337–360. https://doi.org/10.1017/S0033822200033865

Grimm E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computers & Geosciences. Vol. 13. P. 13–35.

Grimm E.C. (1990). TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter. Vol. 4. P. 5–7.

Kobashi T., Severinghaus J., Barnola J.-M. (2008). 4 ± 1.5°C abrupt warming 11,270 yr ago identified from trapped air in Greenland ice // Earth and Planetary Science Letters. Vol. 268. No. 3. P. 397–407. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.01.032

Panin A., Matlakhova E. (2015). Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // Catena. No. 130. P. 46–61. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016

Stockmarr J. (1971). Tablets with spores used in absolute pollen analysis. Pollen et Spores. Vol. 13. P. 614–621.

Wohlfarth B., Lacourse T., Bennike O. et al. (2007). Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15000 and 8000 cal yr BP: a review // Quat. Sci. Rev. Vol. 26. P. 1871–1883. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.04.005

Wohlfarth B., Tarasov P., Bennike O. et al. (2006). Late glacial and Holocene palaeoenvironmental changes in the Rostov-Yaroslavl area, West Central Russia // Journal of Paleolimnology. Vol. 35. P. 543–569. https://doi.org/10.1007/s10933-005-3240-4

TRANSFORMATION OF PLANT COMMUNITIES AT THE TURN OF THE PLEISTOCENE AND HOLOCENE IN THE ROSTOV LOWLAND (YAROSLAVL REGION)[1]

A. V. Samus[a,#], E. A. Konstantinov[a], O. K. Borisova[a], and L. I. Lazukova[a]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: avsamus@igras.ru*

The article presents the results of a multiproxy study of a sedimentary sequence located on the lacustrine-alluvial plain west of Lake Nero (Yaroslavl region). The investigated 2 m-long core made it possible to reconstruct environmental changes since the Allerød to the Late Holocene. Previously poorly studied Preboreal deposits in this area have a significant thickness in the core (0.4 m). The obtained materials help fill the gap in understanding of the vegetation history in the Rostov lowland at the turn of the Late Glacial and Holocene and during the Early Holocene. The study is based on several paleogeographic methods: spore-pollen analysis, botanical composition analysis of peat, diatom analysis, loss-on-ignition, and radiocarbon dating. It was found that after 14.3 cal. ka BP sparse spruce-birch forests were widespread, open spaces were occupied by herbaceous communities. Since 13.7 cal. ka BP, as a result of a significant cooling, the open areas expanded, sparse birch forests dominated in combination with steppe and tundra associations. About 12.1 cal. ka BP a lowland reed wetland began to form at the site. It transformed into a reed-sedge wetland after 10.9 cal. ka BP. During the interval of 12.1–11.5 cal. ka BP, the landscapes of the periglacial forest-steppe were gradually replaced by pine-birch forests. The climate was colder than today, but with the tendency to warming compared to the Late Glacial stage. Short-term cooling 11.5–11.2 cal. ka BP led to a new expansion of open herbaceous communities, but the spread of forests continued after 11.2 cal. ka BP. Starting from 9.8 cal. ka BP, the role of broadleaf species increased in the woods; mixed pine-birch forests with oak, elm, and linden dominated in the surrounding area. In the interval 7.9–5.2 cal. ka BP, climate conditions were warmer than modern ones. This led to the spread of spruce-pine forests with birch and thermophilous deciduous trees. After 5.2 cal. ka BP the vegetation cover was dominated by spruce forests with pine, birch, and broadleaf species.

Keywords: peat mire, reconstruction of paleolandscapes, spore-pollen analysis, radiocarbon dating, Lake Nero, Late Glacial, Early Holocene

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank A.L. Zakharov and N.V. Sychev for their help during the fieldwork. This study was supported by the Russian Science Foundation (project No. 22-27-00639).

REFERENCES

Aleshinskaya Z.V., Gunova V.S. (1975). Holocene history of Lake Nero by record of multiple methods. *Istoriya ozer v golotsene*. L.: Rotaprint GO SSSR (Publ.). P. 150–158. (in Russ.)

Aleshinskaya Z.V., Gunova V.S. (1997). The newest sediments and paleogeography of Lake Nero. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. No. 1. P. 49–52. (in Russ.)

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J. (2001). Diatoms. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments.* Vol. 3: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. P. 155–202. http://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_8

Bikbulatov E.S., Bikbulatova E.M., Litvinov A.S., Poddubnyi S.A. (2003). Gidrologiya i gidrokhimiya ozera Nero (Hydrology and hydrochemistry of Lake Nero). Rybinsk: Rybinskiy dom pechati (Publ.). 192 p. (in Russ.)

Bobrov A.E., Kupriyanova L.A., Litvintseva M.V., Tarasevich V.F. (1983). Spory paporotnikoobraznykh i pyl'tsa golosemennykh i odnodol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR (Spores of ferns and pollen of gymnosperms and monocots of the flora of the European part of the USSR). Leningrad: Nauka (Publ.). 208 p. (in Russ.)

Borisova O., Konstantinov E., Utkina A. et al. (2022). On the existence of a large proglacial lake in the Rostov-Kostroma lowland, North-Central European Russia. *Journal of Quaternary Science.* P. 1–18. http://doi.org/10.1002/jqs.3454

Borisova O.K., Naryshkina N.N., Konstantinov E.A., Panin A.V. (2022). Landscape and climate changes in the Preboreal in the Northwestern European Russia. *Geomorfologiya*. Vol. 53. No. 3. P. 19–28. (in Russ.) http://doi.org/10.31857/S0435428122030051

Bronk Ramsey C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*. No. 51 (2). P. 337–360. http://doi.org/10.1017/S0033822200033865

Ditmar A.B., Voskoboinikova S.M., Ivanov A.N. et al. (Eds.). (1964). Atlas Yaroslavskoi oblasti (Atlas of the Yaroslavl region). Moscow: GUGK (Publ.). 28 p. (in Russ.)

Geologicheskaya karta chetvertichnykh otlozhenii masshtaba 1:200 000. List O-37-XXVIII. (1967). (Geological map of Quaternary deposits on a scale of 1:200000.

[1] *For citation:* Samus A.V., Konstantinov E.A., Borisova O.K., Lazukova L.I. (2023). Transformation of plant communities at the turn of the Pleistocene and Holocene in the Rostov Lowland (Yaroslavl Region). *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 4. P. 163–178 (in Russ.). https://doi.org/10.31857/S2949178923040114; https://elibrary.ru/HUJZCX

Sheet O-37-XXVIII). Leningrad: VSEGEI (Publ.). (in Russ.)

Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. (1948). Analiz iskopaemykh pyl'tsy i spor i ego primenenie v paleogeografii (Analysis of fossil pollen and spores and its application in palaeogeography). Moscow: OGIZ (Publ.). (in Russ.)

Grimm E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*. Vol. 13. P. 13–35.

Grimm E.C. (1990). TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA, Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter*. Vol. 4. P. 5–7.

Gunova V.S. (1975). Istoriya ozera Nero po paleobotanicheskim dannym (History of Lake Nero according to palaeobotanical data). PhD thesis. Moscow: MSU. 21 p. (in Russ.)

Gunova V.S., Leflat O.N. (1997). Holocene and modern state of the Lake Nero ecosystem. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. No. 4. P. 42–45. (in Russ.)

Khomutova V.I., Davydova N.N., Raukas A.V., Rumyantsev V.A. (Eds.). (1998). Istoriya ozer SSSR. Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny (History of the USSR lakes. The history of pleistocene lakes of the East European plain). Saint Petersburg: Nauka (Publ.). 406 p. (in Russ.)

Khotinskii N.A. (1977). Golotsen Severnoi Evrazii (Holocene of the Northern Eurasia). Moscow: Nauka (Publ.). 200 p. (in Russ.)

Kobashi T., Severinghaus J., Barnola J.-M. (2008). 4 ± 1.5°C abrupt warming 11,270 yr ago identified from trapped air in Greenland ice. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 268. No. 3. P. 397–407. http://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.01.032

Konstantinov E.A., Karpukhina N.V., Zakharov A.L. et al. (2023). Fluctuations of Lake Nero in the Holocene. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 2. P. 51–60. (in Russ.). http://doi.org/10.31857/S2949178923020044

Korde N.V. (1960). Biostratifikatsiya i tipologiya russkikh sapropelei (Biostratification and classification of Russian sapropels). Moscow: AN SSSR (Publ.). 220 p. (in Russ.)

Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1978). Pyl'tsa dvudol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR (Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR). Leningrad: Nauka (Publ.). 184 p. (in Russ.)

Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1972). Pyl'tsa i spory rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR. T. 1 (Pollen and spores of flora of the European part of the USSR. Vol. 1). Leningrad: Nauka (Publ.). 171 p. (in Russ.)

Mazei N.G., Novenko E.Yu. (2021). The use of propionic anhydride in the preparation of samples for pollen analysis. *Nature Conservation Research. Zapovednaya Nauka*. No. 6 (3): 110–112. (in Russ.) http://doi.org/10.24189/ncr.2021.036

Panin A., Matlakhova E. (2015). Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena*. No. 130. P. 46–61. http://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016

Pochvy Rostovskogo raiona Yaroslavskoi oblasti i recommendatsii po ikh ispol'zovaniyu. (1988). (Soils of the Rostov region (Yaroslavl oblast) and recommendations for their use). Leningrad: LGU (Publ.). 223 p. (in Russ.)

Stockmarr J. (1971). Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*. Vol. 13. P. 614–621.

Sudakova N.G., Dashevskij V.V., Pisareva V.V. (1984). Quaternary deposits of the environs of the city of Rostov Yaroslavsky. *Putevoditel' ekskursii 10-V XXVII Mezhdunarodnogo geologicheskogo kongressa*. Moscow: Soyuzgeolfond (Publ.). 26 p. (in Russ.)

Wohlfarth B., Lacourse T., Bennike O. et al. (2007). Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15000 and 8000 cal yr BP: a review. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 26. P. 1871–1883. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.04.005

Wohlfarth B., Tarasov P., Bennike O. et al. (2006). Late glacial and Holocene palaeoenvironmental changes in the Rostov–Yaroslavl area, West Central Russia. *Journal of Paleolimnology*. Vol. 35. 543–569. http://doi.org/10.1007/s10933-005-3240-4