

УДК 551.583:551.89(470.2-474.2)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НАЗЕМНЫХ И МОРСКИХ СИСТЕМ В ИНТЕРВАЛЕ МИС 5: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД

А. Н. Молодьков^{1,*}, Н. С. Болиховская²

¹*Research Laboratory for Quaternary Geochronology (RLQG, GeoAge), Таллин, Эстония*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

*e-mail: rlqg.ga@gmail.com

Поступила в редакцию 08.05.2025 г.

После доработки 20.08.2025 г.

Принята к публикации 29.08.2025 г.

Поздний неоплейстоцен в Северной Евразии остается предметом активных научных дискуссий, особенно в контексте климатических изменений. В настоящем исследовании представлен анализ палеосреды в интервале морской изотопной стадии (МИС) 5 (примерно 130–70 тыс. лет назад), включая начальное потепление межледникового ранга. Особое внимание уделено детальному изучению отложений опорного разреза Вока, расположенного на юго-восточном побережье Финского залива. Этот разрез выделяется полнотой геологических и палеонтологических данных, что позволяет глубже понять палеогеографическую историю позднего неоплейстоцена, особенно во второй половине МИС 5. Климатостратиграфический анализ проведен с использованием спорово-пыльцевого метода, а хронологическая последовательность палеоклиматических событий установлена методом инфракрасно-оптически стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ). Это позволило выявить динамику первого поздненеоплейстоценового потепления межледникового ранга, коррелируемого с микулинским межледником на Восточно-Европейской равнине. Сопоставление полученных данных с результатами электронно-парамагнитно-резонансного (ЭПР) датирования раковин моллюсков из палеошельфовых отложений климатически высокочувствительных регионов Евразийского Севера подтвердило синхронность основных палеогеографических событий в наземных и морских экосистемах в интервале МИС 5. Наши междисциплинарные исследования представляют новые данные, способствующие реконструкциям палеогеографических событий позднего неоплейстоцена и уточнению динамики климатических изменений в интервале МИС 5.

Ключевые слова: геологическая корреляция, ЭПР/ИК-ОСЛ хронология, спорово-пыльцевой анализ, раковины моллюсков, МИС 5, палеогеографические реконструкции, Евразийский Север

ВВЕДЕНИЕ

Поздний неоплейстоцен – один из наиболее изученных периодов четвертичной истории Северной Евразии благодаря интенсивным геологическим, палеогеографическим и климатическим исследованиям. С середины XX в. морская изотопная стратиграфия, основанная на анализе соотношения изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в морских отложениях, стала важным инструментом в разделе четвертичного периода наряду с классическими стратиграфическими методами.

Несмотря на то, что морские изотопные стадии (МИС) служат надежным ориентиром для хроностратиграфической привязки региональных горизонтов, для уточнения их палеогеографических характеристик, включая климатическую динамику, необходимо привлечение максимально полного и репрезентативного набора данных.

Последний межледниковый период принято связывать с интервалом МИС 5е, который длился примерно со 130 до 115 тыс. лет назад (Bassinot et al., 1994; Shackleton et al., 2003; Yokoyama, Esat, 2011; Dalton et al., 2022).

Согласно современным представлениям, поздненеоплейстоценовое климатическое похолодание (криохрон), охватывающее развитие вислинского (вюргмского) оледенения, продолжалось примерно со 115 до 11.7 тыс. лет назад (Mangerud, 1989; Mangerud et al., 1999; Svendsen et al., 2004; Wohlfarth et al., 2008). Максимальное развитие ледников на Евразийском Севере приходилось на интервал ~90–70 тыс. лет назад (Svendsen et al., 2004). Это палеогеографическое событие сопровождалось резким снижением температуры и смещением биогеографических зон на сушу и в океане.

В этом контексте особенно важно установить реальные палеогеографические условия во второй половине МИС 5 (подстадии 5c–5a), в интервале 100–70 тыс. лет назад, в регионах, прилегающих к гипотетическому ледниковому покрову. Перспективным направлением таких исследований является привлечение новых достоверных хронологических и палеогеографических данных из особо чувствительных к глобальным изменениям природной среды регионов северной части Евразии.

Наши исследования и палеоклиматические реконструкции основывались на спорово-пыльцевом анализе хронологически обеспеченных отложений, датировании зерен полевого шпата методом инфракрасно-оптически стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ) и датировании раковин моллюсков методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Метод ИК-ОСЛ не дает прямых палеоэкологических данных, однако в сочетании с палеонтологическими методами является важным инструментом палеоклиматических реконструкций. В отличие от этого, результаты датирования раковин моллюсков методом ЭПР имеют исключительно важное палеогеографическое значение, поскольку моллюски являются естественными индикаторами изменений среды обитания. Достоверное датирование их раковин позволяет построить независимую хронологию климатических изменений и колебаний уровня моря. Комплексный мультиметодный подход обеспечивает более точное представление об изменениях палеосреды в ходе неоплейстоценовых климатических циклов и дает возможность реконструировать палеогеографическую эволюцию Северной Евразии.

Цель настоящей работы – обобщить результаты многометодных исследований морских и континентальных поздненеоплейстоценовых отложений интервала МИС 5, проследить динамику крупномасштабных климатических изменений и установить синхронность климатических событий в различных регионах и средах.

РАЙОНЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С точки зрения полноты палеоклиматической информации для рассматриваемого периода особый интерес представляет обнажение, расположенное на юго-восточном побережье Финского залива, в районе приморского поселка Вока (рис. 1а).

Рис. 1

Поселок расположен на краю относительно плоского известнякового плато, береговой уступ которого (на шведском и датском языках – *klint*) носит название Северо-Эстонский глинт. Он является центральной частью Балтийского глинта и приурочен к границе Фенноскандинавского щита и Восточно-Европейской платформы.

Мощность четвертичного чехла на плато, как правило, не превышает 0.5 м, хотя местами достигает 2–3 м. Значительное накопление четвертичных отложений наблюдается лишь в отрицательных формах рельефа, таких как древние погребенные долины и палеоврезы.

Одной из таких форм рельефа является глиновая бухта Вока (рис. 1б). Предполагается, что она представляет собой устьевую часть глубокой палеодолины, берущей начало примерно в 25 км к югу от побережья (Molodkov et al., 2007a). Согласно данным бурения (Molodkov et al., 2007a), на восточной и западной окраинах бухты четвертичные отложения залегают в относительно глубокой впадине коренных пород, днище которой уходит на ~140 м ниже современного уровня моря.

На этом участке ($\sim 59^{\circ}25'$ с.ш., $\sim 27^{\circ}36'$ в.д.) вместо обычных для южного побережья Финского залива обнажений коренных нижнепалеозойских пород выходят рыхлые, преимущественно песчаные и супесчаные отложения с отчетливой, в основном параллельной слоистостью.

Опорный разрез Вока представляет собой уникальный для северо-западного сектора Восточно-Европейской равнины геологический объект, в котором зафиксирована значительная часть стратиграфической шкалы позднего плейстоцена. В обнажении вскрывается мощная (около 22 м) толща субаквальных осадков, перекрытая современной почвой. В разрезе выделяются два основных литолого-стратиграфических комплекса.

Верхняя толща сложена мелко- и тонкозернистыми параллельно-слоистыми песками, местами переходящими в глинистые отложения с прослойями песка. В обнажении на участке между разрезами V1-05 и V3R она датируется интервалом от ~39 до 30 тыс. лет назад (Bolikhovskaya, Molodkov, 2007). Эту толщу от микулинских (МИС 5) и ранневалдайских (МИС 4) отложений отделяет маломощный гравийно-галечный “маркерный” прослой, который, наряду с данными ИК-ОСЛ датирования, указывает на сравнительно короткий (около 700 лет) перерыв в осадконакоплении.

В разрезе V1-05 нижняя толща представлена мелко- и среднезернистыми песками с прослойями суглинков и глин, а в разрезе V3R – преимущественно глинистыми осадками с тонкими прослойями суглинков и песков в верхней части.

Таким образом, опорный разрез Вока представляет собой ценнейший архив палеогеографической информации по позднему неоплейстоцену, отличающийся полнотой геологических и палеонтологических данных (Болиховская, Молодьков, 2024).

Наиболее репрезентативные образцы для комплексного анализа были отобраны из отложений разреза V3R, расположенного в западной части обнажения. Для спорово-пыльцевого и люминесцентного анализа отобраны образцы из 2-метровой глинистой толщи в основании разреза и, с перерывом, из вышележащего 18-сантиметрового слоя гомогенной глины. Все изученные отложения залегают на высотах от 0.8 до 3.6 м над современным уровнем моря.

Кроме того, несколько разрезов к востоку от V3R были предметом предыдущих исследований (например, Bolikhovskaya, Molodkov, 2007; Болиховская, Молодьков, 2021; Molodkov, 2007; Molodkov et al., 2007a), и из них была получена дополнительная ценная информация о последующих временных интервалах, соответствующих МИС 4 и МИС 3.

Для реконструкции изменений климата и уровня моря в интервале всей морской изотопной стадии 5 (МИС 5) было проанализировано более 250 образцов раковин моллюсков из морских и озерных отложений климатически высокочувствительных регионов Северной

Евразии. Морские раковины отбирались из отложений от побережья Северного моря на западе (обнажение Meetkerke на прибрежной равнине Бельгии; Раере, Vanhoorne, 1972; Gaigalas, Molodkov, 2002) до юго-восточного побережья Чукотки на востоке (разрезы на побережье Берингова моря; Молодьков, Баранская, в печати). В регионах южной периферии средних широт были датированы раковины морских моллюсков из отложений побережий бассейнов Средиземного, Черного и Каспийского морей.

Раковины пресноводных моллюсков отбирались из древнеозерных отложений Южной Балтики.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В этом исследовании использовались как методы численной хронологии, так и метод спорово-пыльцевого анализа, наиболее подходящий для выяснения палеоклиматической структуры осадочной летописи. Совмещение этих подходов значительно повышает достоверность и надежность реконструкции динамики палеогеографических изменений в хронологически упорядоченной осадочной летописи.

Палинологический метод обладает рядом преимуществ по сравнению с другими палеонтологическими методами. Главное его достоинство заключается в том, что пыльцевые зерна и споры встречаются практически во всех типах отложений, где они обычно представлены в большом количестве и хорошо сохраняются. Такая сохранность обусловлена исключительной устойчивостью экзины (внешней оболочки) пыльцы и спор большинства растений к механическим, химическим и биохимическим воздействиям как во время транспортировки от растения-производителя до места захоронения, так и в процессе диагенеза (Болиховская, 1995, 2010).

Важным преимуществом метода является высокая чувствительность растительности к изменениям окружающей среды, особенно климатическим. Это свойство позволяет восстанавливать детальную последовательность палеоэкологических изменений, происходивших во время прошлых климатических циклов в различных палеогеографических условиях.

При палинологическом изучении поздненеоплейстоценовых отложений разреза Вока и стратиграфо-палеогеографической интерпретации полученных спорово-пыльцевых данных использовались стандартные методические подходы (Гричук, Заклинская, 1948; Гричук, 1961, 1966; Болиховская, 1995, 2010). Для извлечения пыльцы и спор из отложений применялись следующие методы: кипячение в 10%-ном растворе соляной кислоты (HCl) для удаления карбонатов, кипячение в 10%-ном растворе гидроксида калия (KOH) для растворения гуминовых соединений, отделение пыльцы от минеральных частиц в тяжелой жидкости ($CdI_2 + KI$) с удельным весом 2.2. При необходимости полученные палинологи-

ческие концентраты подвергались холодной обработке 40%-ной плавиковой кислотой (HF) для удаления оставшихся частиц ила.

Для привязки палинологической записи изученных осадочных толщ к хронологической шкале в данном исследовании был применен **метод оптико-люминесцентного датирования** (Huntley et al., 1985) Метод основан на определении момента последнего пребывания минерала на свету. После захоронения в осадках зерна минералов изолируются от света, и в их кристаллической решетке (в энергетических ловушках) под воздействием естественного ионизирующего излучения начинают накапливаться заряженные частицы (в данном случае – электроны).

В лабораторных условиях эти захваченные электроны могут быть высвобождены путем оптической стимуляции минералов светом определенной длины волн. Интенсивность испускаемого при этом люминесцентного сигнала пропорциональна количеству накопленных заряженных частиц, что позволяет рассчитать время, прошедшее с момента последнего воздействия солнечного света, и таким образом вычислить возраст осадочных отложений.

В настоящем исследовании использовалась разработанная в Научно-исследовательской лаборатории четвертичной геохронологии (RLQG, Таллин, Эстония) **методика датирования на основе инфракрасно-оптически стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ)** экстрагированных из отложений зерен калиевого полевого шпата (Васильченко и др., 2005; Яек и др., 2007, 2008, 2010; Jaek et al., 2007; Molodkov et al., 2007b). Обзор протокола ИК-ОСЛ датирования, используемого в RLQG, представлен в работах (Molodkov, 2007, 2020).

Методика ИК-ОСЛ позволяет получать достоверную численную хронологию геологических событий в диапазоне от нескольких сотен до 400–600 тыс. лет назад.

Определение возраста раковин моллюсков и вмещающих их отложений выполнено по методике электронно-парамагнитно-резонансного (ЭПР) датирования остатков малакофауны, разработанной в RLQG (см. Molodkov, 2020 и ссылки в ней).

Метод ЭПР датирования раковин моллюсков основан на прямом измерении концентрации парамагнитных центров, индуцированных естественным ионизирующими излучением (Ikeya, Ohmura, 1981). Кристаллическая решетка биогенного карбоната, формирующую раковину, изначально лишена этих центров. Однако в процессе захоронения под воздействием ионизирующего излучения, исходящего от самой раковины, окружающей осадочной среды (вмещающей матрицы) и космических лучей, происходит постепенное образование и накопление парамагнитных центров в кристаллической решетке карбоната раковины.

Количество этих долгоживущих центров (с периодом полураспада от $\sim 10^6$ до $\sim 10^9$ лет; Molodkov, 1988, 1989, 2001) прямо пропорционально суммарной дозе радиации, получен-

ной раковиной, и, таким образом, коррелирует с ее возрастом и возрастом вмещающих отложений.

Для количественного определения парамагнитных центров используется спектрометр электронного парамагнитного резонанса. Интенсивность регистрируемого сигнала ЭПР пропорциональна накопленной палеодозе, что является основой для расчета возраста образца.

Разработанная в RLQG методика позволяет датировать раковины в диапазоне от нескольких сотен до 1–2 млн лет (Molodkov, 2020).

Достоверность результатов, полученных обоими методами, использованными в данном исследовании, была подтверждена посредством параллельного датирования раковин (методами ЭПР и U–Th) и зерен полевого шпата (методом ИК-ОСЛ) из одного и того же образца отложений (Molodkov, 2012, 2020; Гусев и др., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ

ИК-ОСЛ хронология отложений разреза Вока. Десять образцов из разреза Вока были проанализированы методом инфракрасно-оптически стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ). Результаты датирования представлены на диаграмме (рис. 2) и в табл. 1. Исследование охватило два литологических слоя разреза V3R: нижний глинистый слой мощностью 200 см и верхний глинистый слой мощностью около 20 см.

Рис. 2

Для четырех образцов из нижнего глинистого слоя получены даты в диапазоне 93.8–80.6 тыс. лет назад. Коэффициент корреляции $R^2 = 0.9999$, полученный для кривой регрессии этих образцов (рис. 3), указывает на высокую степень согласованности между наблюдаемыми точками данных. Соответственно, разброс полученных дат минимален, что подтверждает высокую достоверность и точность построенной шкалы возраста.

Рис. 3

Два образца из вышележащего песчано-глинистого слоя датированы 71.7 ± 5.6 и 70.4 ± 5.5 тыс. лет назад. Графики зависимости возраста от глубины залегания нижних глинистых и последующих песчано-глинистых слоев (рис. 3) указывают на наличие перерыва в осадконакоплении в изученной части разреза, охватывающего период примерно с 79 по 72 тыс. лет назад. Этот временной интервал восполнен палеоклиматическими данными из соседне-

го разреза V1-05 (Болиховская, Молодьков, 2024), где палинологический и хронологический анализ были выполнены в этом интервале для пяти образцов (рис. 2). Возраст этих образцов находится в диапазоне 78.4–74.7 тыс. лет назад.

Таблица 1

Палинологические результаты. Палинологическая характеристика исследованных в настоящей работе отложений основана на данных, полученных по 39 образцам. Спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 2) отражает климатические и фитоценотические реконструкции, охватывающие период примерно от 94 до 70 тыс. лет назад. Этот временной интервал включает переход от подстадии МИС 5с к финальной фазе МИС 5а.

В изученной толще отложений (разрезы V3R и V1-05) определены пыльца и споры более 150 таксонов, включая свыше 50 видов деревьев и кустарников (AP), более 70 таксонов трав и кустарничков (NAP), а также около 30 видов спор мхов, папоротников и других высших споровых растений.

В разрезе V3R (интервал ~94–70 тыс. лет) в нижней части (палинозоны M6a–M6e) в спектрах фиксируются значительные количества пыльцы широколиственных пород – граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), ореха (*Juglans regia*), липы (*Tilia*), дуба (*Quercus*), вяза (*Ulmus*), клена (*Acer*), орешника (*Corylus avellana*) (рис. 2). Межледниковые спорово-пыльцевые спектры этих палинозон характеризуются доминированием пыльцы граба обыкновенного (*Carpinus betulus*). В палинозонах M6a–M6d в максимумы участия термофильных элементов количество его пыльцы составляет 27 и 25%. Суммарное содержание пыльцы широколиственных пород (*Carpinetum mixtum* 31 и 26%, *Corylus avellana* 19 и 21%) в максимумы достигает 46–42%. В средней части этого интервала (M6c) наблюдается кратковременное снижение до 19–20% доли пыльцы широколиственных пород (*Carpinetum mixtu* 9–13%, *Corylus avellana* 6–8%), что отражает кратковременное внутримежледниковое похолодание.

В вышележащих слоях (зоны M7a–M7b, 81.3–71.6 тыс. лет, разрезы V3R и V1-05) в палиноспектрах уменьшается доля пыльцы широколиственных таксонов и усиливается роль хвойных – кедровой сосны, ели и сосны обыкновенной, при участии берески (*Betula sect. Albae*).

В верхней части разреза (зона M8, 71.6–около 70 тыс. лет) преобладают пыльцевые зерна берески (*Betula sect. Albae*), сосны обыкновенной и кедровой сосны. Отмечаются признаки формирования лугово-болотных и кустарниковых (ольховник, ерник) сообществ.

Споро-пыльцевые спектры отложений, формировавшихся после 70 тыс. лет назад (МИС 4, разрез V1-05; Molodkov, Bolikhovskaya, 2022), отражают установление перигляциальных ландшафтов тундрового и лесотундрового типа с доминированием кустарников (*Betula nana*, *Alnaster fruticosus/Duschekia fruticosa*) и ослаблением роли лесных формаций.

Результаты палинологического анализа свидетельствуют об эволюции растительных сообществ, что отражает динамику климатических условий, и указывают на доминирование длительных периодов потепления, характерных для общего улучшения климатических обстановок межледникового ранга. Общая динамика спектров согласуется с данными других палеогеографических показателей, указывая на наличие по меньшей мере одного потепления межледникового ранга в исследуемом интервале. Совмещение полученных данных с достоверной хронологической шкалой позволяет выявить закономерности смены растительности и климатические тренды во второй половине МИС 5.

Интерпретация диаграммы, описание пыльцевых зон и климатические реконструкции представлены в разделе “Палино-климатостратиграфия второй половины МИС 5”, см. рис. 7–9 и табл. 2.

ЭПР-хронология отложений МИС 5 в Северной Евразии. Наибольшее количество ЭПР-датировок раковин моллюсков, относящихся к интервалу 145–70 тыс. лет назад (около 250 определений, рис. 4), было получено в RLQG для обширной территории Северной Евразии (Molodkov, 1988, 1993, 2020; Molodkov et al., 1998; Molodkov, Raukas, 1998; Molodkov, Bolikhovskaya, 2002, 2010; Molodkov, Yevzerov, 2004; Молодьков, Баранская, в печати; Никонов и др., 1999; Bolshiyanov, Molodkov, 1999; Möller et al., 1999, 2007, 2008, 2015, 2019; Gaigalas, Molodkov, 2002; Корсакова и др., 2004; Korsakova et al., 2024; Большиянов, 2006; Большиянов и др., 2008, 2016, 2021; Зархидзе и др., 2010; Baltrūnas et al., 2010, 2013; Alexanderson et al., 2011; Гусев, Молодьков, 2012; Гусев и др., 2016, 2023; Doğan et al., 2012; Болиховская, Молодьков, 2018; Zaretskaya et al., 2022). Из них около 230 датировок получены по образцам, отобранным из местонахождений Евразийского Севера.

В результате был собран значительный массив данных, характеризующих поздненеоплейстоценовые палеогеографические изменения на обширных территориях. Найдки морских раковин указывают на существование палеошельфовых отложений, простиравшихся на сотни километров к югу от современной береговой линии (рис. 5).

В настоящей работе впервые представлена обобщенная пространственная схема распределения ЭПР датировок по регионам Северной Евразии для интервала МИС 5 (рис. 4). Эта схема отражает как возрастную структуру находок, так и особенности регионального распределения палеошельфовых отложений интервала МИС 5. Полученные данные могут быть напрямую сопоставлены с классическими реконструкциями береговых линий первой

позднеплейстоценовой трансгрессии бореального и эемского морей, а также с оценками затопленных территорий в Западной Сибири (рис. 5).

Такое сопоставление предоставляет возможность независимой оценки согласованности между геохронологическими данными и стратиграфическими реконструкциями, особенно в интервале 110–70 тыс. лет назад – ключевом для интерпретации палеогеографических условий периода баренцово-карского оледенения.

Совокупность полученных данных позволяет заключить, что трансгрессии в пределах МИС 5 были связаны с глобальными климатическими изменениями и эпизодами значительного потепления, приводившими к затоплению обширных прибрежных низменностей Евразийского Севера.

Рис. 4

Рис. 5

Важные хронологические результаты были также получены при анализе раковин пресноводных моллюсков из древних озерных отложений Литвы (Gaigalas, Molodkov, 2002; Molodkov et al., 2002; Baltrūnas et al., 2010, 2013). Эти отложения содержат “теплые” споро-пыльцевые комплексы, которые интерпретируются как характерные индикаторы первого поздненеоплейстоценового межледникового потепления.

Совокупность полученных данных представляет собой важное свидетельство потепления межледникового ранга в Северной Евразии во второй половине МИС 5.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Палеодозиметрическая хронология: восполнение некоторых пробелов в понимании проблем МИС 5. Реконструкция палеогеографической истории плейстоцена требует не только разнообразия методов, но и их независимости и взаимной проверяемости. В настоящем исследовании это обеспечивается сочетанием надежных методик численной хронологии (ИК-ОСЛ и ЭПР) с палеоэкологическими, палеоклиматическими и стратиграфическими подходами, что позволило восполнить как локальные, так и межрегиональные пробелы палеогеографической истории, уточнить возрастные оценки и повысить достоверность интерпретаций. Такой подход особенно важен при анализе разрозненных континентальных и морских архивов, охватывающих интервал МИС 5. С этой точки зрения особенно

перспективны для изучения палеогеографических изменений четвертичного периода регионы Евразийского Севера, находящиеся в зоне, особо чувствительной к глобальным изменениям природной среды. Здесь широко распространены арктические палеошельфовые отложения, часто содержащие хорошо сохранившиеся субфоссильные раковины моллюсков. Эти находки служат важными индикаторами древних условий обитания и потенциально представляют собой уникальный источник информации о хронологии и характере климатических событий, а также о соответствующих изменениях уровня моря, зафиксированных в морской трансгрессивно-регressiveвой летописи. Определение численного возраста этих находок позволяет реализовать заложенный в них научный потенциал. По сути, содержащие раковины моллюсков палеошельфовые отложения арктических морей являются важнейшим архивом данных о глобальных климатических изменениях, которые могут быть сопоставлены с наземными записями.

На рис. 6 представлен обзор численных результатов хронологических исследований, проведенных в RLQG с применением ЭПР анализа раковин и ИК-ОСЛ анализа палеонтологически охарактеризованных отложений различного генезиса. Большая часть образцов была собрана из палеошельфовых отложений Арктики, относящихся к интервалу МИС 5 (рис. 4).

Рис. 6

Примечательно, что как распределение значений ЭПР возраста в пределах МИС 5 для морских отложений, так и датировки ИК-ОСЛ для палеонтологически охарактеризованных морских, озерных и наземных отложений, связанных с теплым климатом, указывают на наличие синхронных высокочастотных интервалов (пиков) около 135, 125, 110, 95–80 и 70 тыс. лет назад. Эти пики указывают на начало улучшения климатических условий в первой половине МИС 5 и на значительное потепление во второй половине этого периода. Это подтверждается и палеонтологически или ЭПР подтвержденными определениями ИК-ОСЛ возраста для морских, озерных и наземных отложений, которые также преимущественно сосредоточены во второй половине МИС 5. Находки раковин морских моллюсков служат убедительным доказательством затопления обширных прибрежных районов Арктики. Напротив, относительно низкочастотные интервалы (впадины) около 130, 115, 100 и 75 тыс. лет назад указывают на периоды похолодания и отступления береговой линии от своего максимального положения.

В целом результаты исследования свидетельствуют о четко выраженной закономерности в изменении природных условий в этот период. В частности, заметна значительная асимметрия в распределении дат и количества находок раковин в пределах МИС 5. Боль-

шинство находок (около 88%) сосредоточено во второй половине этого временного интервала. Таким образом, лишь малая часть находок (около 12%) относятся к периоду между 130 и 115 тыс. лет назад, который традиционно связывают с “истинным” межледником, коррелируемым с подстадией МИС 5е.

Полученные результаты подтверждают, что трансгрессивные осадки, содержащие обильную арктическо- boreальную и boreальную малакофауну, включая *Arctica islandica*, накапливались на шельфах северной окраины Евразии преимущественно во второй половине МИС 5 (Molodkov, 2012, 2020).

Следует отметить, что *Arctica islandica* – характерный представитель boreальной группы моллюсков (Лаврова, 1946; Троицкий, 1966). Наличие этих раковин в отложениях уже само по себе служило основанием для интерпретации отложений как межледниковых (Троицкий, 1966).

В настоящее время *Arctica islandica* обитает значительно западнее, в более благоприятных условиях шельфовых морей, омывающих Кольский и Скандинавский полуострова (Запепин, Филатова, 1961). Это свидетельствует о более мягких климатических условиях во второй половине МИС 5 по сравнению с современными в пределах ареала вида. Однако, согласно ряду публикаций (например, Svendsen et al., 2004), этот период (90–80 тыс. лет назад) характеризовался кульминацией поздненеоплейстоценового баренцево-карского покровного оледенения, что противоречит результатам исследований, представленным в данной работе.

Таким образом, результаты исследования, основанные на ЭПР датировании раковин моллюсков, подчеркивают значимость численного датирования морских отложений как инструмента изучения динамики палеогеографических изменений в позднем неоплейстоцене. Полученные данные позволяют не только уточнить хронологию климатических событий, но и совершенствовать модели палеоклиматических изменений в высоких широтах Северной Евразии.

Палино-климатостратиграфия второй половины МИС 5. В регионах северо-запада Восточно-Европейской равнины основная трудность палинологического анализа поздненеоплейстоценовых озерных, аллювиальных и морских отложений связана с необходимостью выявления переотложенных пыльцевых зерен и спор. Примеры автохтонных и переотложенных пыльцевых зерен и спор, а также докайнозойских палиноморф, встречающихся в отложениях разреза Вока, представлены на рис. 7.

Рис. 7.

В контексте поздненеоплейстоценового межледникового в центральной части Восточно-Европейской равнины по классификации В.П. Гричука (1961) выделено семь пыльцевых зон: М2–М8. Эти зоны отражают последовательные этапы развития межледниковой растительности.

Специфическая последовательность максимумов пыльцы бореальных (ель, сосна, бересклет) и широколиственных (дуб, вяз, липа, граб) таксонов, установленная В.П. Гричуком по представительным записям на обширном пространстве Восточно-Европейской равнины (табл. 2), служит корреляционным и диагностическим эталоном палиностратиграфии микулинского межледникового.

О климатических условиях межледникового потепления и палинологическом возрасте отложений свидетельствует наличие в автохтонном комплексе пыльцы характерных для микулинского межледникового таксонов древесных пород: *Juglans regia*, *Carpinus betulus*, *Tilia cordata*, *T. tomentosa*, *T. cf. dasystyla*, *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Corylus avellana*, *Alnus glutinosa*, *A. incana* и др. (рис. 2).

Таблица 2

На основе полученных палинологических данных установлено, что отложения из профиля V3R, датируемые интервалом от ~94 до 70 тыс. лет назад, формировались в условиях потепления климата в ранге межледникового. Состав спорово-пыльцевых спектров свидетельствует о том, что отложения этого интервала соответствуют стандартным палинозонам М6, М7 и М8, то есть накапливались во вторую половину этого глобального потепления. О благоприятных климатических условиях и микулинском возрасте формирования этих отложений также свидетельствуют последовательность лесных сукцессий и максимумы пыльцы широколиственных пород и большая роль в автохтонном комплексе характерных таксонов микулинской флоры (*Picea abies*/*P. excelsa*, *Pinus subgen. Haploxyylon*, *P. cf. cembra*, *P. sylvestris*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Carpinus betulus*, *Tilia cordata*, *T. tomentosa*, *T. platyphyllos*, *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Ulmus laevis*, *U. scabra*/*U. glabra*, *Fraxinus sp.*, *Acer sp.*, *Corylus avellana*, *Alnus glutinosa*, *A. incana*, *Osmunda cinnamomea*/*Osmundastrum cinnamomeum*), что подтверждает возраст и климатические условия ранга межледникового в процессе накопления этих осадков. Сумма пыльцы широколиственных деревьев (*Carpinetum mixtum* + *Corylus avellana*) в максимумы составляет 46 и 42% (рис. 2).

Периоду 94.1–81.3 тыс. лет назад (рис. 2) соответствует палинозона (ПЗ) М6 (*Carpinus*–*Tilia*–*Quercus*–*Ulmus*–*Corylus*–*Pinus* *Haploxyylon type*). Эта палинозона подразделяется на подзоны М6а–М6е, отражающие некоторую изменчивость межледникового климата в указанный период времени и последовательные смены в развитии господствовавших лесных

формаций: М6а – широколиственно-хвойные леса с господством сосны и граба; М6б – грабовые леса с примесью липы, дуба, ясеня, вяза и хвойных деревьев; М6с – широколиственно-хвойные леса с преобладанием сосны, граба и заметным участием березы; М6д – грабовые леса с примесью дуба, липы и вяза и хвойных деревьев; М6е – широколиственно-хвойные леса с господством кедровидной сосны, ели, граба и возросшей ролью сосны обыкновенной и березы. В рассматриваемом интервале в ПЗ М6с (89.0–86.6 тыс. лет назад) зафиксировано эндотермальное (внутримежледниковое) похолодание, отраженное на графике суммы пыльцы широколиственных пород (*Carpinetum mixtum* + *Corylus avellana*) снижением ее содержания до 19.7%.

Отложения в разрезах V3R и V1-05, датируемые интервалом 81.3–71.6 тыс. лет назад, отвечают палинозоне М7. Она характеризует две фазы в развитии растительности: сначала (М7а) преобладания сосново-елово-широколиственных лесов (с грабом и единичным участием дуба и вяза), а затем (М7б) – кедрово-еловых формаций с сосной и березой. Интервал 71.6–70 тыс. лет назад представляет ПЗ М8 (*Pinus sibirica*–*Pinus sylvestris*–*Betula sect. Albae*–*Corylus avellana*), спектры которой свидетельствуют о составе растительного покрова заключительного этапа потепления в ранге межледникового, когда в рассматриваемом районе господствовали березово-сосново-кедровые леса и редколесья с *Pinus sibirica* в качестве доминанта, а также лугово-болотные ценозы. В конце МИС 5 происходили значительные климатические изменения: болотные биотопы начали осваивать ерниковые и ольховниковые сообщества (*Betula nana*, *Alnaster fruticosus*). В результате палинозона М8 отражает постепенный переход от теплого климата к более прохладному, характерному для заключительной фазы МИС 5 с последующим переходом МИС 5/МИС 4.

После примерно 70 тыс. лет назад, в интервале МИС 4, в регионе установились тундровые и лесотундровые ландшафты перигляциального типа. В растительном покрове доминировали кустарниковые сообщества (*Betula nana*, *Alnaster fruticosus*), лугово-болотные формации, а также редколесья из сосны обыкновенной, сибирского кедра и ели (Болиховская, Молодьков, 2024).

Таким образом, данные ИК-ОСЛ датирования и палинологического анализа однозначно свидетельствуют о том, что вторая половина МИС 5 (~94–70 тыс. лет назад) соответствует значительному потеплению в ранге межледникового.

На рис. 8 представлена динамика процентного содержания широколиственных таксонов, зарегистрированных в разрезе Вока за период 94–70 тыс. лет назад.

Рис. 8

Как видим, палинологические записи, полученные при изучении поздненеоплейстоценовой толщи разреза Вока, не противоречат спорово-пыльцевым данным микулинских межледниковых отложений северо-западного сектора и центра Восточно-Европейской равнины (см., например, Знаменская, 1959; Знаменская, Черемисинова, 1962; Лаврова, Гричук, 1960; Девятова, 1972; Плещивцева, 1972, 2011; Плещивцева и др., 1998; Соколова и др., 1972; Лийвранд, 1977, 1987, 1991, 1999; Болиховская, 1995, 2007; Bolikhovskaya, 2000; Кондратене, 1996; Gerasimenko, 2001, 2006; Miettinen et al., 2002; Новенко, 2016), т.е. однозначно свидетельствуют о климатических условиях межледникового ранга.

Динамика морской и наземной среды во второй половине МИС 5. Как отмечалось ранее, палеошельфовые отложения арктических морей, содержащие скелетные остатки моллюсков, служат важным источником информации о глобальных изменениях уровня моря и климата, поскольку моллюски являются природными чуткими индикаторами среды. Логично предположить, что аналогичные закономерности могут быть зафиксированы и в наземных отложениях, что дает возможность выявлять параллели между морскими и континентальными палеоклиматическими и палеогеографическими записями, несмотря на их различный генезис и значительное пространственное удаление.

Анализ взаимосвязи между морскими и наземными архивами играет ключевую роль в реконструкции палеоклиматических условий, так как выявление синхронных климатических сигналов в различных средах углубляет понимание механизмов и масштабов природных изменений. Сравнение палеогеографических и климатических данных, полученных из различных регионов, позволяет более полно представить закономерности эволюции ландшафтов и их связь с динамикой морских и континентальных экосистем. Это, в свою очередь, способствует выявлению глобальных тенденций климатической и экологической эволюции и реконструкции крупномасштабных процессов, происходивших на территории Северной Евразии. На основе хронологических и палеоклиматических данных, полученных в настоящем исследовании, проведен сравнительный анализ синхронности палеогеографических изменений в различных природных и пространственных контекстах. Полученные результаты представлены на рис. 9, где приведено сопоставление хроноклиматических записей второй половины МИС 5, полученных по данным из морской и континентальной сред.

Рис. 9

Исследование этих материалов выявило высокую степень синхронности и структурного сходства между пиками концентрации пыльцы широколиственных таксонов в континентальных отложениях Балтийского региона и находками раковин моллюсков в трансгрессивных отложениях арктических морей. Это свидетельствует о согласованности климати-

ческих процессов и ландшафтных изменений, происходивших в различных географических зонах и средах по меньшей мере во второй половине МИС 5. Сходные выводы содержатся в наблюдениях М.А. Лавровой (1937), согласно которым постепенное улучшение климатических условий достигло своего оптимума к началу регрессии бореального моря. Результаты нашего исследования, по-видимому, отражают тот же ход палеогеографических событий как в морских, так и в континентальных средах. Как показано на рис. 9, климатический оптимум совпадает с началом регрессии моря, что отражается в постепенном снижении количества находок раковин моллюсков.

Палеогеографические данные, полученные из различных регионов, указывают на схожие закономерности в эволюции климата и окружающей среды. Изменения в составе и концентрации ключевых палеоклиматических маркеров в морских и континентальных отложениях подтверждают взаимосвязанность климатических изменений на протяжении рассматриваемого интервала времени. Полученные результаты показывают значительную корреляцию между палеоклиматическими изменениями в морской и наземной средах, что подтверждает глобальный характер климатических флюктуаций в этот период.

Таким образом, результаты данного исследования убедительно показывают, что анализ разнородных палеогеографических данных, различающихся как пространственно, так и генетически, позволяет получить более полное и детализированное представление о прошлых изменениях окружающей среды. В частности, палинологические данные из позднеоплейстоценовых отложений опорного разреза Вока согласуются с ранее полученными палеонтологическими сведениями по микулинским отложениям Восточно-Европейской равнины (см. ссылки выше).

Кроме того, выявленные закономерности согласуются с результатами исследований, проведенных в северных районах Евразии, вплоть до 79° с.ш. (Большиянов и др., 2009, 2021; Alexanderson et al., 2011), что убедительно свидетельствует о стабильных теплых климатических условиях во второй половине МИС 5.

Следует отметить, что глубже залегающие отложения разреза V3R, вероятно, содержат слои, относящиеся к первой половине МИС 5. Однако в силу различных факторов они остаются недоступными для детального изучения. Изучение этих отложений позволило бы получить более полную картину палеоэкологических условий в этот пока еще неоднозначно интерпретируемый временной интервал.

Достоверность используемых методик датирования. Достоверные и точные определения возраста играют ключевую роль в реконструкции хронологии неоднозначных палеогеографических событий позднего неоплейстоцена. В связи с этим важной задачей является оценка надежности двух примененных в данном исследовании методов датирования: элек-

тронного спинового резонанса (ЭПР) и инфракрасно-оптически стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ). Хотя эти методы основаны на разных физических принципах, они опираются на общие фундаментальные концепции. Сопоставление результатов датирования, полученных при параллельном применении независимых методов к образцам из одного и того же места отбора проб, представляет собой оптимальный подход для проверки их достоверности и точности.

Результаты параллельного датирования, проведенного в Научно-исследовательской лаборатории четвертичной геохронологии (RLQG), представлены на рис. 10 и в табл. 3.

Рис. 10

Кроме того, высокая согласованность результатов подтверждается независимыми данными недавних комплексных исследований палеошельфовых отложений Карского моря, где наряду с ЭПР и ИК-ОСЛ применялось и уран-ториевое ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) датирование (Гусев и др., 2016; Molodkov, 2020).

Таблица 3

Таким образом, результаты параллельного многометодного датирования, полученные в данном исследовании, свидетельствуют о взаимной верификации использованных методик, подчеркивая высокую точность и достоверность полученных датировок. Эти анализы позволяют хронологически организовать палеогеографические события среднего и позднего неоплейстоцена (см., например, Болиховская, Молодьков, 2018), обеспечивая их более точную корреляцию с независимыми климатическими и геохронологическими записями.

Для более детального рассмотрения сравнительных анализов см. (Molodkov, 2012).

ВЫВОДЫ

Междисциплинарные исследования отложений МИС 5 позволили получить новые данные о климатической динамике и палеогеографических изменениях на территории Северной Евразии в этот период. Применение спорово-пыльцевого анализа, инфракрасно-оптически стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) повысило достоверность хронологии и климатических реконструкций в различных ландшафтно-климатических зонах. Интеграция трех независимых источников климато-хроностратиграфической информации – палинологических данных, результатов параллельного ИК-ОСЛ анализа опорного разреза и ЭПР анализа раковин моллюсков из

отложений, связанных с теплыми климатическими ритмами, – позволила надежно идентифицировать и коррелировать основные крупномасштабные изменения природных обстановок позднего неоплейстоцена Северной Евразии.

Основные выводы исследования:

- Установлена динамика морских и континентальных экосистем в пределах МИС 5, обусловленная глобальными климатическими изменениями и периодами интенсивного потепления. Хронологическая привязка, основанная на результатах ЭПР и ИК-ОСЛ датирования, показала, что эти события сопровождались значительным повышением уровня моря и затоплением обширных прибрежных низменностей Евразийского Севера.
- Выявлена значительная асимметрия в распределении находок раковин моллюсков: около 88% из них относятся ко второй половине МИС 5 (110–70 тыс. лет назад), тогда как на подстадию МИС 5e (130–115 тыс. лет назад) приходится лишь около 12%. Эти данные ставят под сомнение представления о МИС 5e как об “истинном” межледниково.
- Палеоклиматические данные из морских и континентальных сред демонстрируют высокую степень синхронности. Пики концентрации пыльцы широколиственных таксонов в континентальных отложениях Балтийского региона согласуются с находками раковин моллюсков в трансгрессивных отложениях арктических морей, что подтверждает согласованность климатических изменений в различных географических зонах.
- Палеогеографический анализ выявил схожие тенденции в эволюции климата и окружающей среды в разных регионах. Вариации в составе и концентрации ключевых палеоклиматических маркеров свидетельствуют о взаимосвязанности климатических процессов, по крайней мере, на протяжении второй половины МИС 5.
- Реконструкции климата и растительности по данным опорного разреза Вока (~94–70 тыс. лет назад) позволяют уверенно связать этот интервал со значительным поздненеоплейстоценовым потеплением межледникового ранга.

Настоящее исследование подтверждает значимость комплексного подхода для изучения климатических изменений прошлого. Полученные результаты открывают новые перспективы для палеоклиматических и палеогеографических реконструкций в Северной Евразии, а также способствуют уточнению существующих моделей климатической эволюции четвертичного периода. Сформированная в результате исследования временная структура палеоклиматических событий в интервале МИС 5 может служить климатохроностратиграфическим каркасом при составлении региональных и межрегиональных стратиграфических схем. Она представляет собой надежный ориентир для геологических исследований четвертичных отложений на обширных территориях Северной Евразии и позволяет целенаправленно искать стратиграфические горизонты, соответствующие рекон-

струированной климатической последовательности позднего плейстоцена. Кроме того, предложенная схема создает основу для межсредовой корреляции палеогеографических событий с палеоклиматическими сигналами, зафиксированными в осадках суши, палеошельфа и древних озер региона.

Благодарности. В процессе работы первый автор имел возможность сотрудничать со многими коллегами и хотел бы выразить им искреннюю признательность, особенно Н. Alexanderson, A. Amorosi, A. Baranskaya, D. Bolshiyayev, U. Doğan, A. Gaigalas†, E. Gusev, O. Korsakova, V. Yevzerov†, P. Möller, L. Semenova, V. Shkatova, D. Shneider, N. Zaretskaya и D. Zarkhidze. Отдельная благодарность Т.С. Балахничевой и М.В. Осиповой за вклад в лабораторные исследования, отраженные в настоящей работе. Авторы также выражают признательность Е.А. Гусеву (ВНИИОкеангеология), А.К. Марковой (ИГ РАН) и анонимному рецензенту за внимательное прочтение статьи. Особая благодарность за положительную оценку структуры и качества текста, а также за конструктивные замечания, позволившие уточнить формулировки и улучшить подачу материала.

Источники финансирования. Многолетняя поддержка этого исследования осуществлялась в рамках грантов № 5440, 6112 и 8425 Эстонского научного фонда (ESF). Исследования, проведенные Н.С. Болиховской, и ее участие в данной статье выполнены в рамках федеральных научных тем географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова “Палеогеографические реконструкции природных геосистем и прогнозирование их изменений” (№ 121051100135-0) и “Эволюция природной среды в кайнозое, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования” (№ 121040100323-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болиховская Н.С. Эволюция лесово-почвенной формации Северной Евразии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 270 с.

Болиховская Н.С. Пространственно-временные закономерности развития растительности и климата Северной Евразии в неоплейстоцене // Археология, этнография и антропология Евразии. 2007. Т. 4. № 32. С. 2–28.

Болиховская Н.С. Палинологический метод // Методы палеогеографических реконструкций: Методическое пособие. М.: Геофак МГУ, 2010. С. 60–103.

Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Восточно-Европейской равнины: периодизация, корреляция и возраст климатических событий // Неоген и квартер России: стратиграфия, события и палеогеография. М: ГЕОС, 2018. С. 99–110.

Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. Эволюция природных обстановок в интервале 100–50 тыс. лет назад по данным палино- и хроностратиграфических исследований отложений юго-восточного побережья Финского залива // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. Вып. 8. С. 26–30.

Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. Развитие и хронология климато-фитоценотических событий позднего неоплейстоцена (МИС 5–МИС 3) на юго-восточном побережье Финского залива // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. Т. 79. № 3. С. 89–107.

Большиянов Д.Ю. Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб.: ААНИИ, 2006. 296 с.

Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Гусев Е.А., Шнайдер В. Проблемы происхождения ледового комплекса пород и существования в прошлом “Земель Санникова” в море Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 1 (78) С. 151–160.

Большиянов Д.Ю., Григорьев М.Н., Шнайдер В., Макаров А.С., Гусев Е.А. Колебания уровня моря и формирование ледового комплекса пород на побережье моря Лаптевых в позднем плейстоцене // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. С. 349–356.

Большиянов Д.Ю., Крылов А.В., Молодьков А.Н., Савельева Л.А., Аникина Н.Ю., Пущина З.В., Ращек Е.А., Никитин М.Ю., Клевцов А.С. Новые данные о строении, возрасте, составе органических остатков морских отложений в окрестностях Санкт-Петербурга // Изв. РГО. 2016. Т. 148. Вып. 3. С. 25–46.

Большиянов Д.Ю., Ежиков И.С., Крылов А.В., Пущина З.В., Аникина Н.Ю. Разрез морских отложений на западном берегу залива Ахматова (остров Большевик архипелага Северная Земля) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. СПб: ААНИИ, 2021. Вып. 8. С. 31–37.

Васильченко В., Молодьков А., Яэк И. Туннельные процессы и аномальный фединг в природных полевых шпатах, экстрагированных из четвертичных отложений // Журнал прикладной спектроскопии. 2005. Т. 72. № 2. С. 207–212.

Гричук В.П. Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений // Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений северо-запада Русской равнины. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 25–71.

Гричук В.П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М: Наука, 1989. 183 с.

Гричук В.П. Гляциальные флоры Русской равнины // Значение палинологического анализа для стратиграфии и палеофлористики. М.: Наука, 1966. С. 189–196.

Гричук В.П. Растительность Европы в позднем плейстоцене // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас-монография). М.: Наука, 1982. С. 92–115.

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

Гусев Е.А., Молодьков А.Н. Строение отложений заключительного этапа казанцевской трансгрессии (МИС-5) на севере Западной Сибири // Докл. АН. 2012. Т. 443. № 6. С. 707–710.

Гусев Е.А., Молодьков А.Н., Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Аникина Н.Ю., Бондаренко С.А., Деревянко Л.Г., Куприянова Н.В., Максимов Ф.Е., Полякова Е.И., Пущина З.В., Степанова Г.В., Облогов Г.Е. Отложения казанцевской трансгрессии (МИС 5) Енисейского Севера // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 4. С. 743–757.

Гусев Е.А., Яржембовский Я.Д., Макарьев А.А., Молодьков А.Н., Максимов Ф.Е., Куприянова Н.В., Костромина Н.А., Руденко О.В., Крылов А.В., Шарин В.В., Шарапова А.Ю. Четвертичные отложения притаймырских островов Карского шельфа // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 5. С. 706–719.

Девятова Э.И. Палинологическая характеристика верхнечетвертичных отложений Карелии // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, Ленинградское отд., 1972. С. 59–96.

Зархицзе Д.В., Гусев Е.А., Аникина Н.Ю., Бартова А.В., Гладенков А.Ю., Деревянко Л.Г., Крылов А.В., Тверская Л.А. Новые данные по стратиграфии плиоцен-четвертичных отложений бассейна реки Море-Ю (Большеземельская тундра) // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 7. Тр. ВНИИОкеангеология. 2010. Т. 210. С. 96–110.

Зацепин В.И., Филатова З.А. Двустворчатый моллюск *Cyprina islandica*, его географическое распространение и роль в сообществах донной фауны // Тр. ИО АН СССР. 1961. Т. 46. С. 201–216.

Знаменская О.М. Стратиграфическое положение мгинских морских отложений // Докл. АН СССР. 1959. Т. 129. № 2. С. 401–404.

Знаменская О.М., Черемисинова Е.А. Распространение мгинского межледникового моря и основные черты его палеогеографии // Вопросы стратиграфии четвертичных отложений северо-запада европейской части СССР. Л.: Гостоптехиздат, 1962. С. 140–160.

Кондратене О. Стратиграфия и палеогеография квартара Литвы по палеоботаническим данным. Вильнюс: ACADEMIA, 1996.

Корсакова О.П., Молодьков А.Н., Колька В.В. Геолого-стратиграфическая позиция верхнеплейстоценовых морских образований на юге Кольского полуострова (по геохронологическим и геологическим данным) // Докл. АН. 2004. Т. 398. № 2. С. 218–222.

Лаврова М.А. О стратиграфии четвертичных отложений Северной Двины от устья р. Ваги до Конецгорья // Труды советской секции Международной ассоциации по изучению четвертичного периода. 1937. Вып. 1. С. 152–177.

Лаврова М.А. О географических пределах распространения бореального моря и о его физико-географическом режиме // Проблемы палеогеографии четвертичного периода. Труды Института географии. 1946. Вып. 37. С. 64–79.

Лаврова М.А. Соотношение межледниковой бореальной трансгрессии севера СССР с эемской в Западной Европе // Труды Ин-та геологии АН ЭССР. 1961. Т. 3. С. 65–88.

Лаврова М.А., Гричук М.П. Новые данные о мгинских морских межледниковых отложениях // Докл. АН СССР. 1960. Т. 135. № 6. С. 1472–1475.

Лийвранд Э.Д. Залегание микулинских межледниковых отложений в юго-восточной Эстонии // Изв. АН ЭССР. Хим. Геол. 1977. Т. 26. № 4. С. 289–303.

Лийвранд Э.Д. Разрез регионального типа эемских морских отложений на Суур-Прангли // Труды АН СССР. 1987. Геол. Т. 36 (1). С. 20–26.

Лийвранд Э.Д. Биостратиграфия плейстоценовых отложений в Эстонии и корреляции в Балтийском регионе. Докторская диссертация. Стокгольмский университет, 1991. 114 с.

Лийвранд Э.Д. Палинологические исследования ранне- и средневалдайских перигляциальных отложений Эстонии // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия. Тезисы докладов IX Всероссийской палинологической конференции. М.: ИГИРГИ, 1999. С. 162–163.

Молодьков А.Н., Баранская А.В. Межрегиональные корреляции поздненеоплейстоценовых событий МИС 5 и 3 на севере Евразии: новые данные с Чукотского полуострова // Стратиграфия. Геол. корреляция (в печати).

Никонов А.А., Васильев Ю.М., Молодьков А.Н., Накамура Т. Об абсолютном возрасте карангатских отложений в бассейнах Черного и Азовского морей // Докл. АН. Геология. 1999. Т. 364. № 5. С. 662–664.

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.

Плешицева Э.С. Палинологическая характеристика опорного разреза осадков бореальной трансгрессии на северо-западе Архангельской области (район Северо-Двинской впадины) // Палинология плейстоцена. М.: Ин-т географии АН СССР, 1972. С. 93–104.

Плешицева Э.С. Палиностратиграфия плейстоцена Северо-Запада Русской равнины в пределах Ленинградской, Псковской, Новгородской и Вологодской областей // Сборник статей сотрудников ФГУП “Петербургская комплексная геологическая экспедиция”, посвященный 60-летию организации. СПб.: Роснедра, 2011. С. 92–100.

Плешицева Э.С., Гаркуша В.И., Горшкова С.С. Микулинские озера в междуречье Паши и Ояти (Ленинградская область) // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1998. С. 111–114.

Соколова Л.Ф., Маясова Е.С., Вишневская Е.М., Лаврова М.А. Новая находка межледниковых отложений в центральной части Карельского перешейка // Вестник Ленингр. ун-та. 1972. № 2. С. 124–131.

Троицкий С.Л. Четвертичные отложения и рельеф равнинных побережий Енисейского залива и прилегающей части гор Бырранга. М.: Наука, 1966.

Яэк И., Молодьков А., Васильченко В. Люминесцентные проявления туннельных и ионных процессов в щелочных полевых шпатах // Журнал прикладной спектроскопии. 2007. Т. 74. № 3. С. 321–326.

Яэк И., Молодьков А., Васильченко В. Нестабильность люминесцентных откликов палеодозиметров на основе полевых шпатов и кварца // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75. № 6. С. 824–829.

Яэк И., Молодьков А., Васильченко В. Механизмы люминесцентных откликов при термической и оптической стимуляции калиевых полевых шпатов // Журнал прикладной спектроскопии. 2010. Т. 77. № 3. С. 474–477.

Alexanderson H., Landvik J.Y., Molodkov A., Murray A.S. A multi-method approach to dating middle and late Quaternary high relative sea-level events on NW Svalbard – a case study // Quat. Geochronol. 2011. V. 6. P. 326–340.

Baltrūnas V., Karmaza B., Molodkov A., Šinkūnas P., Švedas K., Zinkutė R. Structure, formation and geochronology of the late Pleistocene and Holocene cover deposits in South-Eastern Lithuania // Sediment. Geol. 2010. V. 231. № 3–4. P. 85–97.

Baltrūnas V., Šeirienė V., Molodkov A., Zinkutė R., Katina V., Karmaza B., Kisielienė D., Petrošius R., Taraškevičius R., Piličiauskas G., Schmolke U., Heinrich D. Depositional environment and climate changes during the late Pleistocene as recorded by the Netiesos section in southern Lithuania // Quat. Int. 2013. V. 292. P. 136–149.

Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E., Quidelleur X., Shackleton N.J., Lancelot Y. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes–Matuyama magnetic re-versal // Earth Planet. Sci. Lett. 1994. V. 126. P. 91–108.

Bolikhovskaya N.S. Palynofloras and phytocoenotic successions of the Mikulino (Eemian) Interglacial Period within different stratigraphic regions of the southern Eastern-European Plain // Paleontol. J. 2000. V. 34. Suppl. 1. P. 75–80.

Bolikhovskaya N., Molodkov A. Pollen and IR-OSL evidences for palaeoenvironmental changes between ca 39 kyr to ca 33 kyr BP recorded in the Voka key section, NE Estonia // Applied Quaternary research in the central part of glaciated terrain. Eds. Johansson P., Sarala P. Geol. Surv. Finland. Spec. Pap. 2007. V. 46. P. 103–112.

Bolshiyarov D., Molodkov A. Marine Pleistocene deposits of the Taymyr Peninsula and their age from ESR dating // Land–Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Eds. Kassens H., Bauch H.A., Dmitrenko I., Eicken H., Hubberten H.-W., Melles M., Thiede J., Timokhov L. Springer-Verlag, 1999. P. 469–475.

Dalton A.S., Gowan E.J., Mangerud J., Moller P., Lunkka J.P., Astakhov V. Last interglacial sea-level proxies in the glaciated Northern Hemisphere // Earth Syst. Sci. Data. 2022. V. 14. P. 1447–1492.

Doğan U., Koçyiğit A., Varol B., Özer İ., Molodkov A., Zöhre E. MIS 5a and MIS 3 relatively high sea-level stands on the Hatay-Samandağ coast, Eastern Mediterranean, Turkey // Quat. Int. 2012. V. 262. P. 65–79.

Gaigalas A., Molodkov A. ESR ages of three Lithuanian mid-late Pleistocene interglacials: methodical and stratigraphical approach // Geochronometria. 2002. V. 21. P. 57–64.

Gerasimenko N. Late Pleistocene vegetation and soil evolution at the Kiev loess plain as recorded in the Stari Bezradychy section, Ukraine // Stud. Quatern. 2001. V. 17. P. 19–28.

Gerasimenko N. Upper Pleistocene loess-palaeosol and vegetational successions in the Middle Dnieper Area, Ukraine // Quat. Int. 2006. V. 149. P. 55–66.

Huntley D.J., Godfrey-Smith D.I., Thewalt M.L.W. Optical dating of sediments // Nature. 1985. V. 313. P. 105–107.

Ikeya M., Ohmura K. Dating of fossil shells with electron spin resonance // J. Geol. 1981. V. 89. P. 247–251.

Jaek I., Molodkov A., Vasilchenko V. On the possible reasons of anomalous fading in alkali-line feldspars used for luminescence dating of Quaternary deposits // Est. J. Earth Sci. 2007. V. 56. № 3. P. 167–178.

Korsakova O., Molodkov A., Zaretskaya N., Grigoriev V. Sedimentologic successions and chronology of the late Pleistocene deposits on the southern Kola Peninsula, northern Europe // Quat. Res. 2024. V. 122. P. 122–142.

Liivrand E. Biostratigraphy of the Pleistocene deposits in Estonia and correlations in the Baltic region. Doctoral Thesis. Stockholm: Stockholm University, Department of Quaternary Research, 1991. 114 p.

Mangerud J. Correlation of the Eemian and the Weichselian with deep sea oxygen isotope stratigraphy // Quat. Int. 1989. V. 3/4. P. 1–4.

Mangerud J., Svendsen J.I., Astakhov V.I. Age and extent of the Barents and Kara ice sheets in Northern Russia // Boreas. 1999. V. 28. P. 46–80.

Menke B., Tynni R. Das Eeminterglazial und das Weichselfrühglazial von Rederstall/Dithmarschen und ihre Bedeutung für die mitteleuropäische Jungpleistozän-Gliederung // Geologisches Jahrbuch. 1984. V. 76. P. 3–120.

Miettinen A., Rinne K., Haila H., Hyvarinen H., Eronen M., Delusina I., Kadastik E., Kalm V., Gibbard P. The marine Eemian of the Baltic: new pollen and diatom data from Peski, Russia, and Põhja-Uhtyu, Estonia // J. Quatern. Sci. 2002. V. 17. № 5–6. P. 445–458.

Molodkov A. ESR dating of Quaternary shells: recent advances // Quat. Sci. Rev. 1988. V. 7. P. 477–484.

Molodkov A. The problem of long-term fading of absorbed palaeodose on ESR-dating of Quaternary mollusc shells // Appl. Radiat. Isot. 1989. V. 40. P. 1087–1093.

Molodkov A. ESR-dating of non-marine mollusc shells // Appl. Radiat. Isot. 1993. V. 43. P. 145–148.

Molodkov A. ESR dating evidence for early man at a Lower Palaeolithic cave-site in the Northern Caucasus as derived from terrestrial mollusc shells // Quat. Sci. Rev. 2001. V. 20. № 5–9. P. 1051–1055.

Molodkov A. IR-OSL dating of uranium-rich deposits from the new late Pleistocene section at the Voka site, North-Eastern Estonia // Quat. Geochronol. 2007. V. 2. P. 208–215.

Molodkov A. Cross-check of the dating results obtained by ESR and IR-OSL methods: implication for the Pleistocene palaeoenvironmental reconstructions // Quat. Geochronol. 2012. V. 10. P. 188–194.

Molodkov A. The Late Pleistocene palaeoenvironmental evolution in Northern Eurasia through the prism of the mollusc shell-based ESR dating evidence // Quat. Int. 2020. V. 556. P. 180–197.

Molodkov A., Bolikhovskaya N. Eustatic sea-level and climate changes over the last 600 ka as derived from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and pollen evidence in Northern Eurasia // Sediment. Geol. 2002. V. 150. P. 185–201.

Molodkov A., Bolikhovskaya N. Climato-chronostratigraphic framework of Pleistocene terrestrial and marine deposits of Northern Eurasia, based on pollen, electron spin resonance, and infrared optically stimulated luminescence analyses // Est. J. Earth Sci. 2010. V. 59. № 1. P. 49–62.

Molodkov A., Bolikhovskaya N. Palaeoenvironmental changes and their chronology during the latter half of MIS 5 on the south-eastern coast of the Gulf of Finland // Quat. Int. 2022. V. 616. P. 40–54.

Molodkov A., Raukas A. ESR age of the Late Pleistocene transgressions in the eastern part of the White Sea coast // Geologija. 1998. № 25. P. 62–69.

Molodkov A., Yevzerov V. ESR/OSL ages of long-debated sub-till fossil-bearing marine deposits from the southern Kola Peninsula: stratigraphic implications // Boreas. 2004. V. 33. P. 123–131.

Molodkov A., Dreimanis A., Āboltiņš O., Raukas A. The ESR age of *Portlandia arctica* shells from glacial deposits of Central Latvia: an answer to a controversy on the age and genesis of their enclosing sediments // Quat. Sci. Rev. 1998. V. 17. P. 1077–1094.

Molodkov A., Bolikhovskaya N., Gaigalas A. The last Middle Pleistocene interglacial in Lithuania: insights from ESR-dating of deposits at Valakampiai, and from stratigraphic and palaeoenvironmental data // Geol. Quart. 2002. V. 46. № 4. P. 363–374.

Molodkov A., Bolikhovskaya N., Miidel A., Ploom K. The sedimentary sequence recovered from the Voka outcrops, North-Eastern Estonia: implications for late Pleistocene stratigraphy // Est. J. Earth Sci. 2007a. V. 56. № 1. P. 47–62.

Molodkov A., Jaek I., Vasilchenko V. Anomalous fading of IR-stimulated luminescence from feldspar minerals: some results of the study // Geochronometria. 2007b. V. 26 P. 11–17.

Möller P., Bolshiyanov D.Yu., Bergsten H. Weichselian geology and palaeo-environmental history of the central Taymyr Peninsula, Siberia, indicating no glaciation during the last global glacial maximum // Boreas. 1999. V. 28. P. 92–114.

Möller P., Lubinski D., Ingólfsson Ó., Forman S.L., Siedenkrantz M.-S., Bolshiyanov D.Yu., Lokrantz H., Antonov O., Pavlov M., Ljung K., Zeeberg J.J., Andreev A. Erratum to: Severnaya Zemlya, Arctic Russia: a nucleation area for Kara Sea ice sheets during the Middle to Late Quaternary // 2007. Quat. Sci. Rev. V. 26. P. 1149–1191.

Möller P., Federov G., Pavlov M., Seidenkrantz M.-S., Sparrenbom C. Glacial and palaeo-environmental history of the Cape Chelyuskin area, Arctic Russia // Polar Res. 2008. V. 27. P. 222–248.

Möller P., Alexanderson H., Funder S., Hjort C. The Taimyr Peninsula and the Severnaya Zemlya archipelago, Arctic Russia: a synthesis of glacial history and palaeo-environment change during the last glacial cycle (MIS 5e-2) // Quat. Sci. Rev. 2015. V. 107. P. 149–181.

Möller P., Benediktsson Í.O., Anjar J., Bennike O., Bernhardson M., Funder S., Håkansson L., Lemdahl G., Licciardi J.M., Murray A.S., Seidenkrantz M.-S. Glacial history and palaeo-environmental change of southern Taimyr Peninsula, Arctic Russia, during the Middle and Late Pleistocene // Earth Sci. Rev. 2019. V. 196. 102832

Paepe R., Vanhoorne R. An outcrop of Eemian Wadden Deposits at Meetkerke (Belgian Coastal Plain) // Belg. GeoI. Dienst. Prof. Pap. 1972. № 7. 9 p.

Shackleton N.J., Sanchez-Goni M.F., Paillet D., Lancelot Y. Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial // Global. Planet. Change. 2003. V. 36. № 3. P. 151–155.

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V., Demidov I., Dowdeswel J., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort Ch., Houmark-Nielsen M., Hubberten H., Ingólfsson Y., Jakobsson M., Kjær K., Larsen E., Lokrants H., Lunkka J.-P., Lyså A., Mangerud J., Matiouchkov A., Murray A., Möller P., Niessen F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert Ch., Siegert M., Spielhagen R., Stein R. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // Quat. Sci. Rev. 2004. V. 23. P. 1229–1271.

Wohlfarth B., Björck S., Funder S., Houmark-Nielsen M., Ingólfsson Ó., Lunkka J.-P., Mangerud J., Saarnisto M., Vorren T. Quaternary of Norden // Episodes. 2008. V. 31. № 1. P. 73–81.

Yokoyama Y., Esat T.M. Global climate and sea level: enduring variability and rapid fluctuations over the past 150 000 years // Oceanography. 2011. V. 24. P. 54–69.

Zaretskaya N., Korsakova O., Molodkov A., Ruchkin M., Baranov D., Rybalko A., Lugovoy N., Merkuliev A. Early Middle Weichselian in the White Sea and adjacent areas: chronology, stratigraphy and palaeoenvironments // Quat. Int. 2022. V. 632. P. 65–78.

Рецензенты Е.А. Гусев, А.К. Маркова

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Местоположение поселка Вока (а); схема глинистой бухты с расположением обнаружения Вока (б).

Рис. 1б: 1 – отметки абсолютных высот; 2 – граница глинистой бухты Вока; 3 – обнажение; 4 – 20-метровая изолиния; 5 – береговая линия; 6 – глинт.

Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма и хронологическая последовательность отложений второй половины МИС 5 опорного разреза Вока. Хронологический разрыв в осадконакоплении в пределах изученной части разреза V3R (в интервале 79–72 тыс. лет назад) восполн

нен палеоклиматическими и хронологическими данными, полученными из соседнего разреза V1-05 (Molodkov, Bolikhovskaya, 2022).

Рис. 3. Хронология седиментации в интервале 94–70 тыс. лет назад по данным ИК-ОСЛ датирования отложений опорного разреза Вока. Перерыв в осадконакоплении в пределах разреза V3R (79–72 тыс. лет назад) восполнен хронологическими данными из соседнего разреза V1-05 (Molodkov, Bolikhovskaya, 2022).

Рис. 4. Расположение разрезов, датированных методом ЭПР (красные кружки), и разрезов с палеонтологически охарактеризованными отложениями, датированных методом ИК-ОСЛ (синие ромбы). Для каждого региона, выделенного овалом, указано количество находок раковин моллюсков возрастом от 110 до 70 тыс. лет назад, а также общее число находок, датированных интервалом 130–70 тыс. лет назад, соответствующим МИС 5.

Рис. 5. Схема береговых линий первой позднеплейстоценовой трансгрессии бореального и эземского морей (пунктир), а также затопленных территорий в Западной Сибири (по данным М.А. Лавровой (1961)) и северо-западной части Европы (по данным В.П. Гричука (1982)). Обозначенные бассейны: I – Балтийский, II – Мгинский, III – Беломорский, IV – Печорский, V – Западно-Сибирский, VI – Таймырский.

Рис. 6. Частотное распределение ЭПР возрастов раковин моллюсков, отобранных преимущественно из палеошельфовых образований Евразийского Севера, и ИК-ОСЛ возрастов палеонтологически охарактеризованных отложений. Ширина каждого временного интервала (бина) составляет 5 тыс. лет.

Рис. 7. Пыльца (автохтонная и переотложенная), споры (автохтонные) и переотложенные докайнозойские миоспоры из отложений, вскрытых в профиле V3R разреза Вока ($\times 400$).

Рис. 8. Частотный график, отражающий процентное содержание таксонов широколиственных пород в различных точках отбора проб из отложений опорного разреза Вока, датированных методом ИК-ОСЛ. Представленные данные относятся ко второй половине МИС 5 (приблизительно 94–70 тыс. лет назад).

Рис. 9. Корреляция пиков концентрации пыльцы широколиственных таксонов в Балтийском регионе с находками раковин моллюсков в трансгрессивных отложениях арктических морей. График отражает синхронность климатических изменений на суше и в прибрежно-морских условиях.

Рис. 10. Сравнение результатов параллельного датирования, полученных двумя независимыми методами: электронным спиновым резонансом (ЭПР) и инфракрасно-оптически стимулированной люминесценцией (ИК-ОСЛ). На рисунке цифрами указаны значения возраста в тысячах лет назад.

Таблицу 1 заменить
на приложенную

9

Таблица 1. Результаты ИК-ОСЛ датирования отложений опорного разреза Вока

№ п/п	Лаб. №	№ образца	Полевой №	Высота н.у.м., м	U мкг/г	Th мкг/г	K %
1	RLQG 1804-084	10	V1-05-10	13.98	1.70 ± 0.06	5.61 ± 0.28	2.00 ± 0.03
2	RLQG 1803-084	11	V1-05-11	13.78	1.39 ± 0.05	4.23 ± 0.21	1.95 ± 0.03
3	RLQG 1802-084	12	V1-05-12	13.59	1.63 ± 0.06	5.97 ± 0.30	1.89 ± 0.03
4	RLQG 1801-084	13	V1-05-13	13.42	1.79 ± 0.07	7.14 ± 0.36	1.97 ± 0.03
5	RLQG 1800-084	14	V1-05-14	13.22	1.64 ± 0.06	5.74 ± 0.29	1.83 ± 0.03
6	RLQG 1751-023	1	V3R-1	3.32	1.78 ± 0.07	8.42 ± 0.42	2.41 ± 0.04
7	RLQG 1752-023	2	V3R-2	2.88	1.96 ± 0.07	7.74 ± 0.39	2.53 ± 0.04
8	RLQG 1753-023	3	V3R-3	2.67	2.06 ± 0.08	7.99 ± 0.40	2.54 ± 0.04
9	RLQG 1712-023	4	V3R-4	2.10	2.18 ± 0.08	9.49 ± 0.47	2.43 ± 0.04
10	RLQG 1713-023	5	V3R-5	1.45	2.60 ± 0.10	9.11 ± 0.46	2.50 ± 0.04
11	RLQG 1714-023	6	V3R-6	0.95	2.09 ± 0.08	9.30 ± 0.46	2.43 ± 0.04

Таблица 2. Корреляция палинозон микулинского (эемского, пранглисского) межледниковых
Западной и Центральной Европы, стратотипа Восточно-Европейской равнины и разрезов
Эстонии с палинозонами и субпалинозонами опорного разреза Вока

Западная и Центральная Европа B. Menke, R. Tynni (1984)	Восточно-Европейская равнина		
	Микулино, Ниж- няя Боярщина B.P. Гричук (1961, 1989)	Прангли, Рынгу E. Liivrand (1991)	Вока Н.С. Болиховская (в данной работе)
E7 – Pinus	M ₈ – Pinus с уча- стием Picea и Betu- la	E8 – Pinus. Betu- la и Picea посто- янно присут- ствуют	M8 – Pinus sibirica, Pinus syl- vestris, Betula sect. Albae
E6 – Pinus– Picea–Abies	M ₇ – Picea с при- месью широко- лиственных пород	E7 – Picea	M7b – <u>Picea</u> , Pinus sibirica, Pinus sylvestris, Betula sect. Albae; M7a – Pinus sylvestris, Betula sect. Albae, Carpinus, Quercus, Ulmus
E5 – Carpinus–	M ₆ – Carpinus с участием Tilia,	E6 – Carpinus. Corylus и Alnus	M6e – Picea, Pinus s.g. Haploxy- lon, Betula sect. Albae, Pinus syl-

Picea	Quercus, Ulmus и Picea	сокращают участие.	<p>vestris, Ulmus;</p> <p>M6d – <u>Carpinus</u>, <u>Quercus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Corylus</u>, <u>Alnus</u>, <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Betula sect. Albae</u>;</p> <p>M6c – <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Betula sect. Albae</u>, <u>Carpinus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Quercus</u>, <u>Ulmus</u>;</p> <p>M6b – <u>Carpinus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Quercus</u>, <u>Ulmus</u>, <u>Alnus</u>, <u>Pinus sylvestris</u>;</p> <p>M6a – <u>Picea</u>, <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Carpinus</u>, <u>Tilia</u>;</p> <p>M6e – <u>Pinus s.g. Haploxyylon</u>, <u>Betula sect. Albae</u>, <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Carpinus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Quercus</u>, <u>Fraxinus</u>, <u>Ulmus</u>, <u>Populus</u>;</p> <p>M6d – <u>Carpinus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Quercus</u>, <u>Ulmus</u>, <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Betula sect. Albae</u>;</p> <p>M6c – <u>Betula sect. Albae</u>, <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Carpinus</u>, <u>Quercus</u>, <u>Fraxinus</u>, <u>Ulmus</u>, <u>Populus</u>;</p> <p>M6b – <u>Carpinus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Quercus</u>, <u>Fraxinus</u>, <u>Ulmus</u>, <u>Populus</u>, <u>Corylus</u>;</p> <p>M6a – <u>Pinus sylvestris</u>, <u>Carpinus</u>, <u>Quercus</u>, <u>Tilia</u>, <u>Fraxinus</u>, <u>Ulmus</u>, <u>Corylus avellana</u></p>
E4b – Corylus– Taxus–Tilia	M ₅ – Tilia с большим участием Carpinus, Quercus и Ulmus (вторая половина максимума Corylus)	E5 – Tilia. Максимумы Corylus и Alnus	Спорово-пыльцевых данных
E4a –	M ₄ – Quercus и	E4 – Quercus и	нет

Quercetum mixtum– Corylus	Ulmus (первая половина максимума Corylus)	Ulmus. Первые максимумы Corylus и Alnus	
E3 – Pinus– Quercetum mixtum	M ₃ – Pinus и Betula с примесью Quercus, Ulmus и Corylus	E3 – Pinus, Betula, Quercus, Ulmus. Растет содержание Corylus и Alnus	
E2 – Pinus– Betula	M ₂ – Pinus и Betula с небольшим участием Picea	E2 – Pinus и Betula. Исчезает Betula nana	
E1 – Betula	M ₁ – Picea с небольшим участием Betula и Pinus	E1 – Betula и Pinus. Betula nana в незначительном количестве	

Таблица 3. Результаты параллельного датирования одного и того же образца морских осадков: методом ЭПР (по раковинам моллюсков) и методом ИК-ОСЛ (по зернам полевых шпатов)

№ п/п	Лаб. № (ЭПР/ИК-ОСЛ)	Возраст, тыс. лет назад		Ссылки
		ЭПР	ИК-ОСЛ	
1	RLQG 319-042/1477-103	72.0 ± 4.8	74.7 ± 8.3	Зархидзе и др., 2010
2	RLQG 400-039A-B/1862-039	73.0 ± 4.0	74.4 ± 6.8	Molodkov, Bolikhovskaya, 2010
3	RLQG 396-039/1861-039	73.0 ± 7.5	71.9 ± 8.2	Molodkov, Bolikhovskaya, 2010
4	RLQG 449-061A-D/2043-081	74.6 ± 3.1	71.9 ± 5.6	Гусев, Молодьков, 2012
5	RLQG 489-094/2254-054	78.4 ± 6.4	77.6 ± 6.0	Гусев и др., 2016
6	RLQG 490-094/2270-094	84.7 ± 7.0	85.6 ± 6.7	Гусев и др., 2016
7	RLQG 455-052/2077-052	87.9 ± 4.2	87.5 ± 6.8	Гусев и др., 2016
8	RLQG 317-042/1608-124	90.3 ± 10.9	88.2 ± 5.4	Зархидзе и др., 2010
9	RLQG 491-104/2255-104	94.2 ± 7.8	93.5 ± 7.3	Гусев и др., 2016
10	RLQG 310-042A-D/1405-031	103.0 ± 4.2	104.0 ± 8.3	Molodkov, Yevzerov, 2004
11	RLQG 318-042/1478-103	107.6 ± 12.4	109.8 ± 6.9	Зархидзе и др., 2010

Примечание. Места отбора образцов: 2, 3 и 10 – Кольский полуостров; 1, 8 и 11 – восточная прибрежная зона Баренцева моря; 4–7 и 9 – прибрежная зона центрального сектора Карского моря.

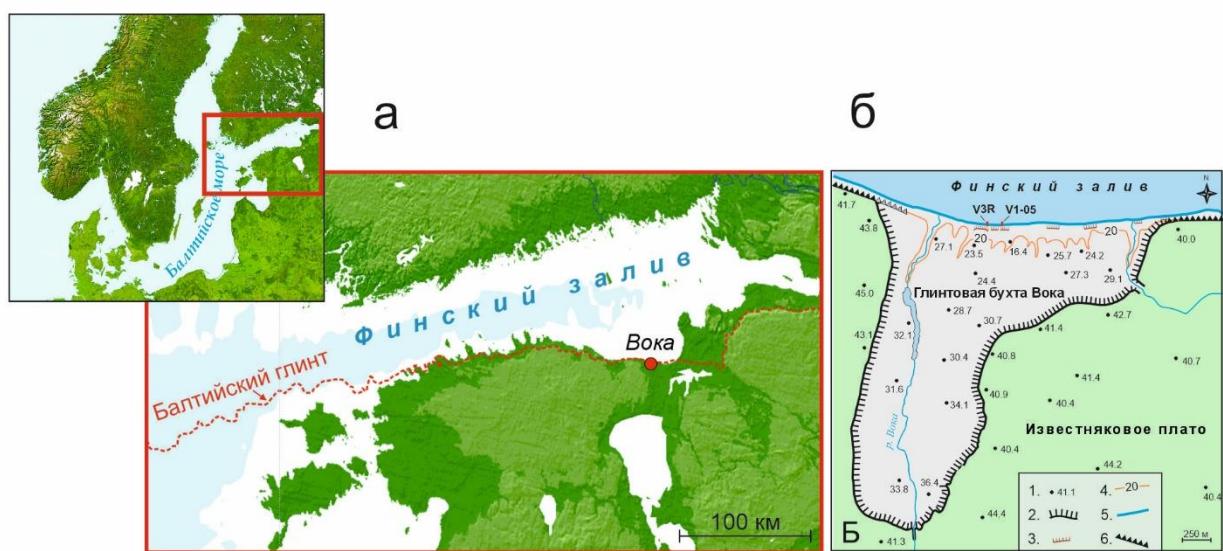


Рис. 1

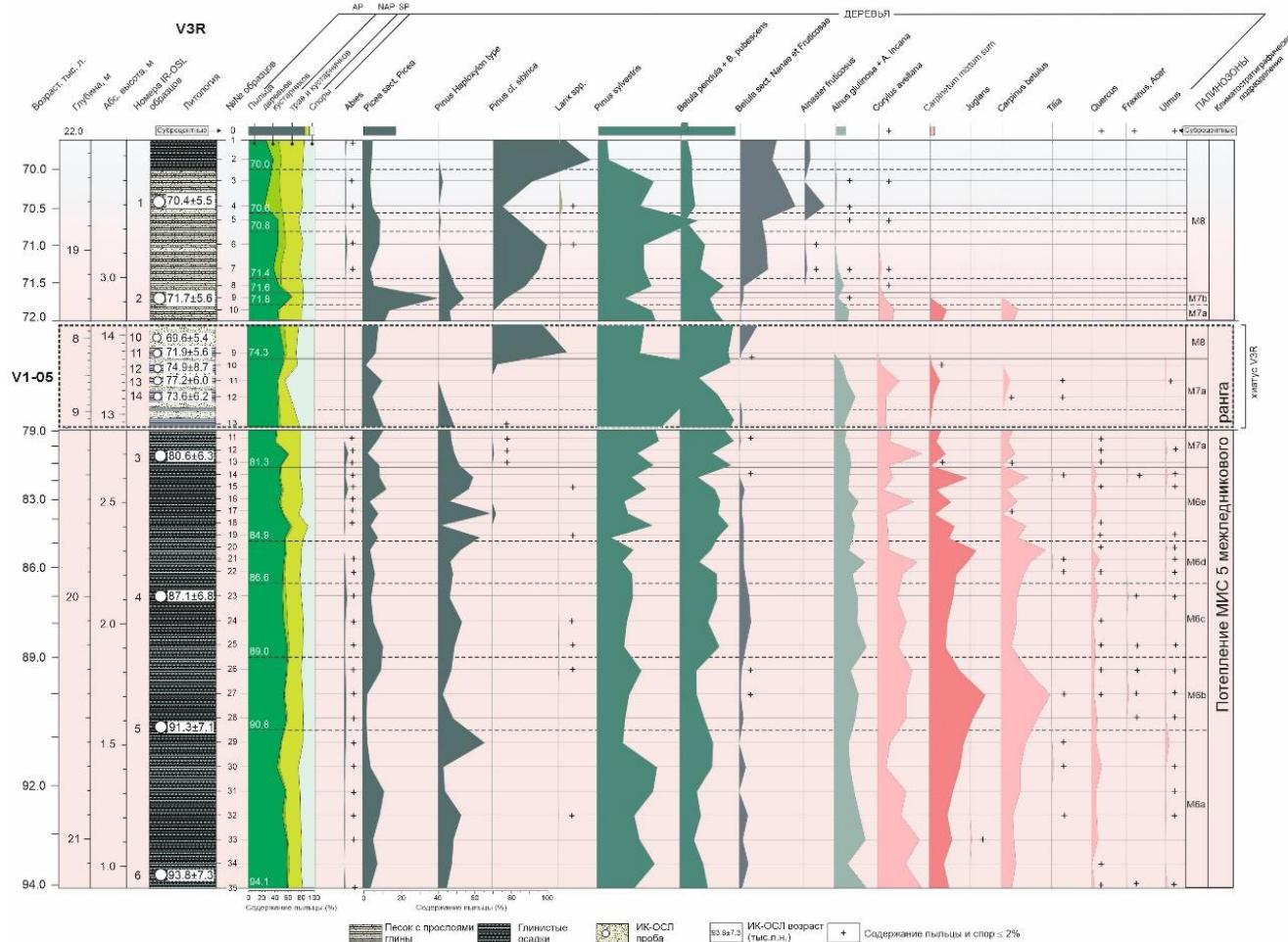


Рис. 2

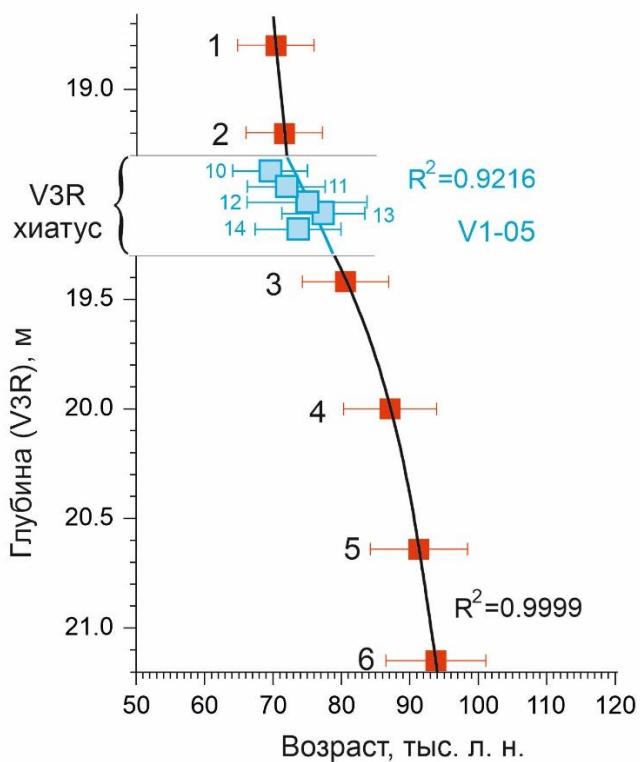


Рис. 3

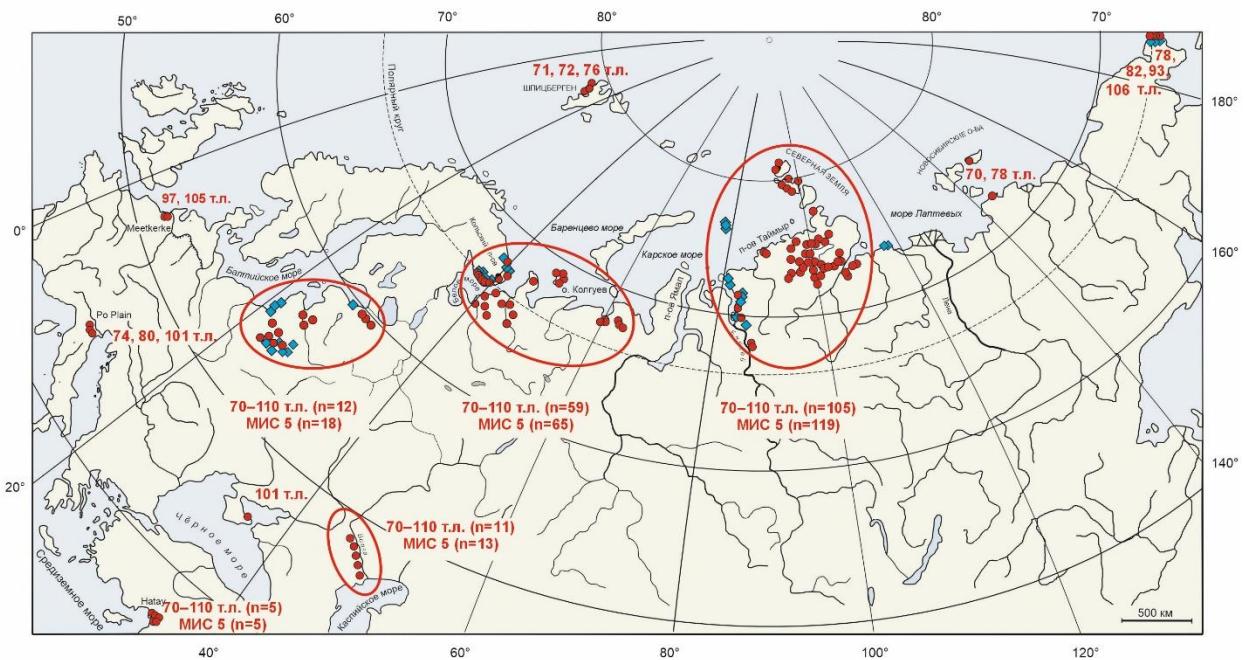


Рис. 4

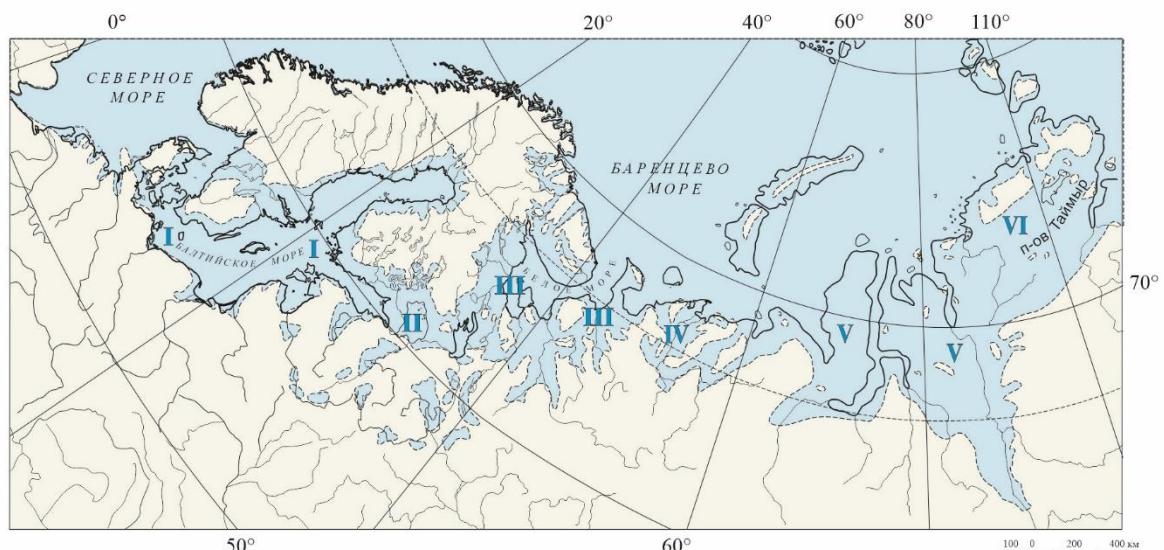


Рис.5

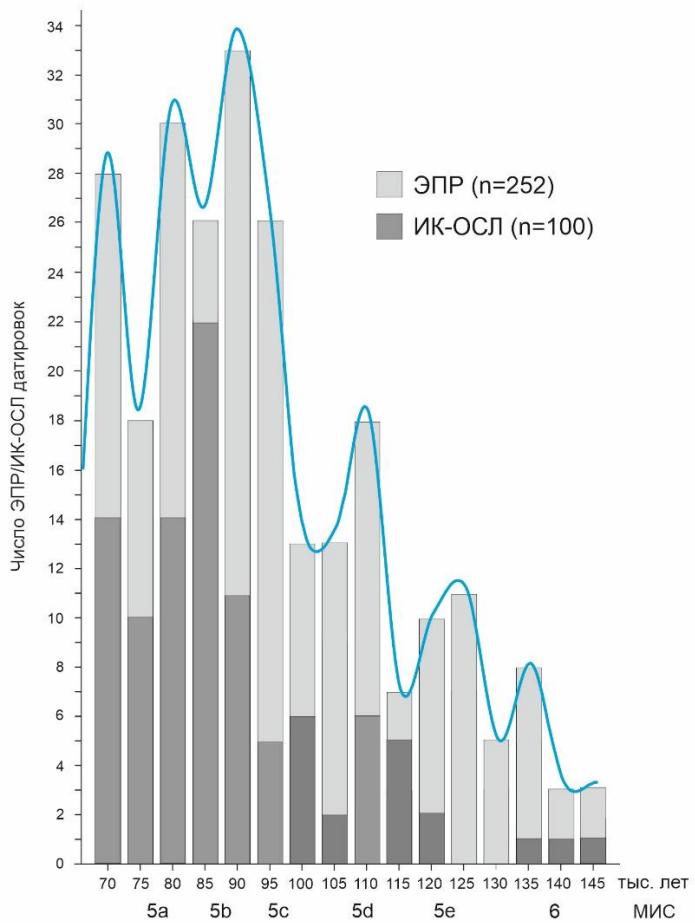


Рис. 6

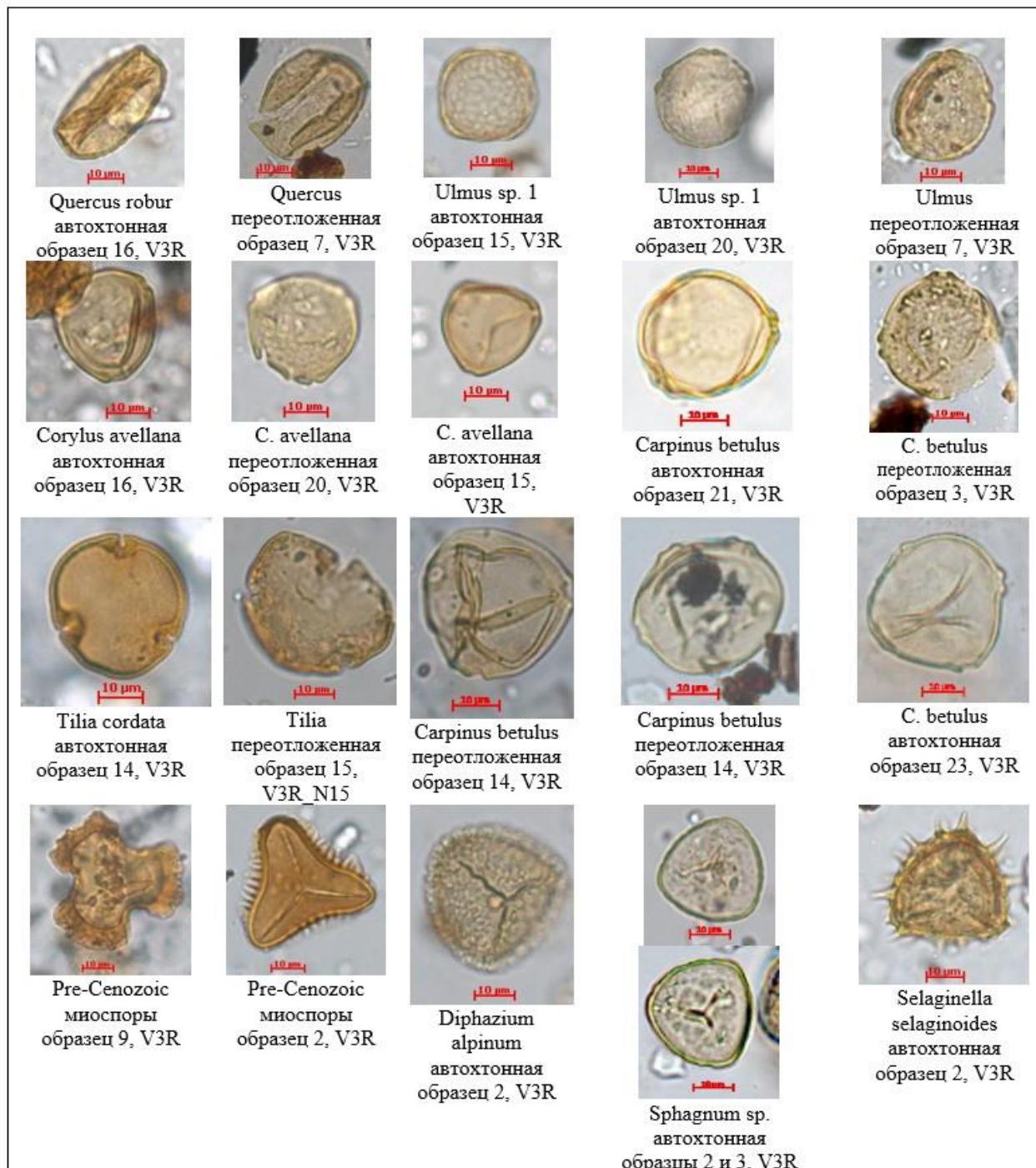


Рис. 7

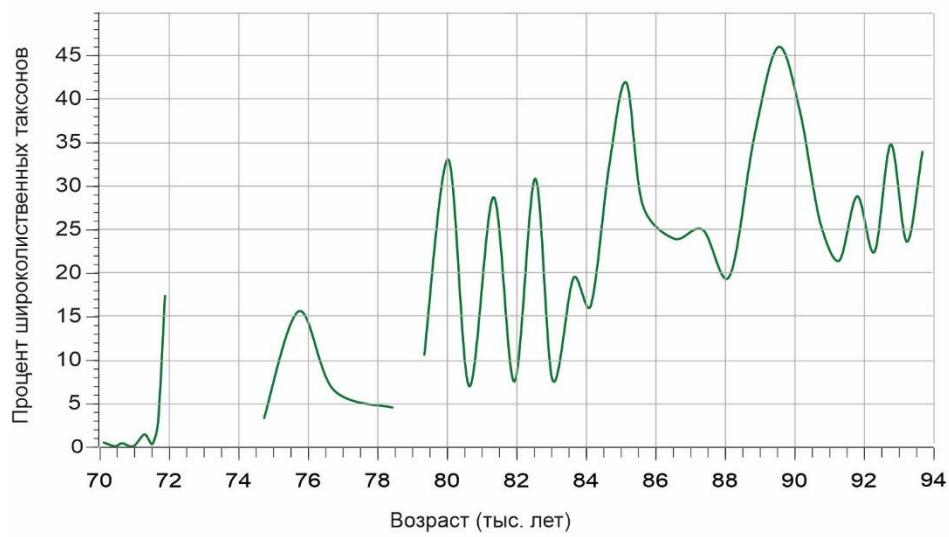


Рис. 8

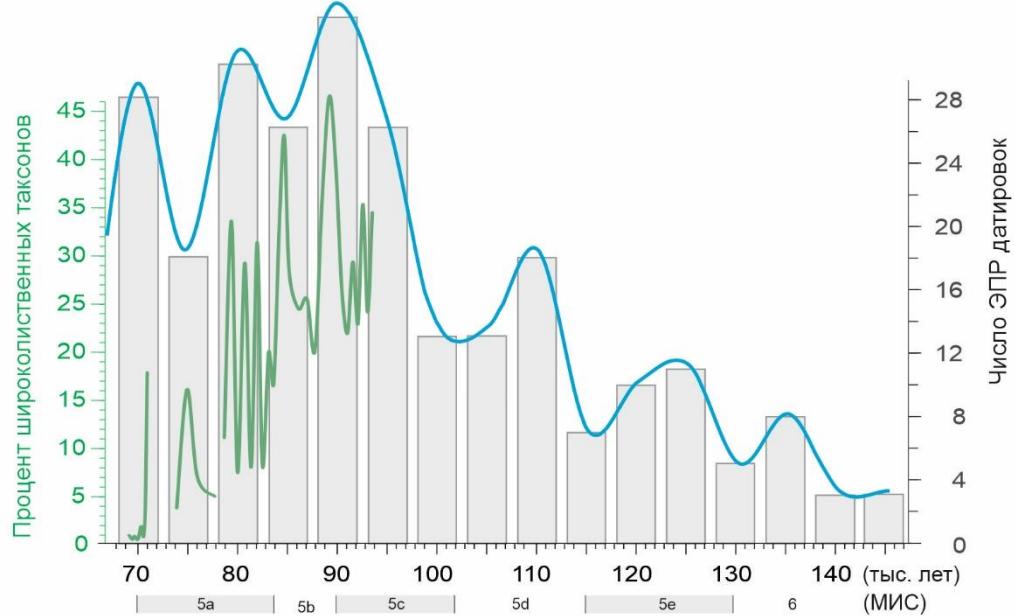


Рис. 9

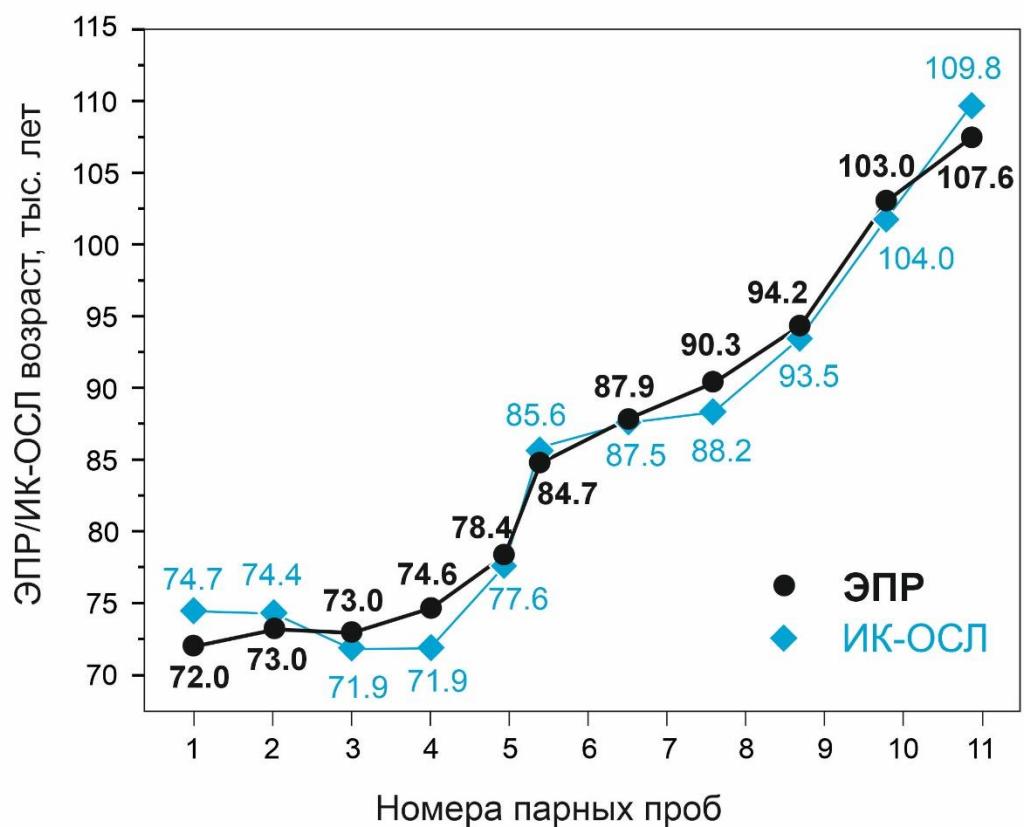


Рис. 10