REGIONAL GEOLOGY AND METALLOGENY
РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

2025. Т. 32, № 2 (102) / 2025. Vol. 32, no. 2 (102)
ISSN 0869-7892 (Print)
doi:10.52349/0869-7892
https://reggeomet.elpub.ru/

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ I REGIONAL GEOLOGY

Научная статья

УДК 55"628.62/.64"(470.23+474.2)
doi:10.52349/0869-7892_2025_102_22-43

Геологическое строение и история геологического развития Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в позднем неоплейстоцене и голоцене

А. Ю. Сергеев[1]✉, Д. В. Рябчук[1], О. А. Ковалева[1], Л. М. Буданов[1], В. А. Жамойда[1], И. А. Неевин[1], Д. В. Герасимов[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Alexander_Sergeev@karpinskyinstitute.ru✉
[2]Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: *поздний неоплейстоцен — голоцен, Балтийское море, Куземкинская палеоформа, флювиогляциальная дельта, оптически стимулированная люминесценция, геоархеология, георадиолокация*

Благодарности: геоархеологические исследования 2012–2017 гг. были выполнены при поддержке проектов РФФИ 12-05-01121, 15-05-08169, научно-исследовательского проекта Научного совета Эстонии "Estonia in Circum-Baltic space: archaeology of economic, social, and cultural processes" (IUT20-7) и МАЭ РАН "Stone Age — Early Metal Epoch sites refugium in the Narva-Luga Klint Bay". Геологические и геофизические исследования 2018–2022 гг. выполнены в рамках проекта РНФ № 17-77-20041.

Для цитирования: Геологическое строение и история геологического развития Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в позднем неоплейстоцене и голоцене / А. Ю. Сергеев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 22–43. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102-22-43

Аннотация. В статье представлены результаты геолого-геоморфологических и геоархеологических исследований, выполненных в 2011–2022 гг. в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности (побережье Нарвского залива, Балтийское море). Детальные геолого-геофизические исследования с применением георадарного профилирования, неглубокого бурения, изучения естественных и техногенных обнажений, гранулометрического анализа и датирования методом оптически стимулированной люминесценции позволили выявить ранее неизвестное аккумулятивное образование — Куземкинскую палеоформу. Анализ полученных полевых материалов и лабораторных анализов совместно с цифровой моделью рельефа показал, что данная аккумулятивная форма представляет собой останец флювиогляциальной дельты, сформировавшейся на этапе отступания ледника от стадии Пандивере. В голоцене переработка отложений флювиогляциальной дельты водами Анцилового озера и Литоринового моря привела к формированию крупнейшей в регионе прибрежной барьерной формы — Кудрукюльской палеокосы — и образованию крупной лагунной системы. В период после максимума литориновой трансгрессии Куземкинская палеоформа стала активно заселяться древним человеком, о чем свидетельствуют обнаруженные здесь долговременные стоянки эпохи раннего неолита.

Original article

UDC 55"628.62/.64"(470.23+474.2)
doi:10.52349/0869-7892_2025_102_22-43

Geological structure and geological development history of the Narva-Luga Klint Bay in the Late Pleistocene and Holocene

A. Yu. Sergeev[1]✉, D. V. Ryabchuk[1], O. A. Kovaleva[1], L. M. Budanov[1], V. A. Zhamoida[1], I. A. Neevin[1], D. V. Gerasimov[2]

[1]All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia, Alexander_Sergeev@karpinskyinstitute.ru✉
[2]Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera), Saint Petersburg, Russia

Keywords: *Late Pleistocene — Holocene, Baltic Sea, Kuzemkino palaeospit, fluvioglacial delta, optically stimulated luminescence dating, geoarchaeology, ground-penetrating radar*

© А. Ю. Сергеев, Д. В. Рябчук, О. А. Ковалева, Л. М. Буданов, В. А. Жамойда, И. А. Неевин, Д. В. Герасимов, 2025

Acknowledgments: the geoarchaeological studies in 2012–2017 were supported by the Russian Foundation for Basic Research, project nos. 12-05-01121, 15-05-08169; the Estonian Research Council, the research project "Estonia in Circum-Baltic space: Archaeology of economic, social, and cultural processes" (IUT20-7); Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera), the project "Stone Age — Early Metal Epoch sites refugium in the Narva-Luga Klint Bay". The 2018–2022 geological and geophysical studies were aligned with the Russian Science Foundation project no. 17-77-20041.

For citation: Geological structure and geological development history of the Narva-Luga Klint Bay in the Late Pleistocene and Holocene / A. Yu. Sergeev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny.* 2025; 32 (2): 22–43. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102-22-43

Abstract. The paper presents results of geological, geomorphological, and geoarchaeological studies in the Narva-Luga Klint Bay (the Narva Bay coast, the Baltic Sea) in 2011–2022. Detailed geological and geophysical studies using ground-penetrating radar profiling, handle drilling, outcrop exploration, grain size analysis, and optically stimulated luminescence identified the previously unknown accumulative landform — Kuzemkino palaeospit. Analysis of the obtained field and laboratory materials and the digital relief model revealed that the identified accumulative form is a remnant of a fluvioglacial delta formed during the Pandivere glacier retreat. In the Holocene, the fluvioglacial delta sediments reworking by the waters of the Ancylus Lake and Littorina Sea led to form the largest coastal barrier form in the region — the Kudruküla palaeospit as well as a large lagoon system. In the period after the Littorina transgression maximum, ancient man began to actively populate the accumulative landform Kuzemkino palaeospit, as evidenced by the discovery of long-term Neolithic sites there.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря многочисленным и разнообразным следам, которые оставили в морфологическом облике и строении верхней части геологического разреза процессы поздне- и послеледникового развития территории, а также исключительному разнообразию реликтовых аккумулятивных форм, Нарвско-Лужская предглинтовая низменность уже более столетия привлекает пристальное внимание исследователей.

Нарвско-Лужская предглинтовая низменность представляет собой наиболее обширную (площадь около 360 км^2) морскую голоценовую аккумулятивную равнину на побережьях восточной части Финского залива [1]. Особенности рельефа дочетвертичных образований, осложненного возвышенностями ледникового происхождения, создали предпосылки для развития сложного комплекса лито-морфодинамических процессов в береговых зонах послеледниковых водоемов, существовавших на последнем этапе геологического развития территории. Рельеф ледниковых и флювиогляциальных отложений был в значительной мере переработан и изменен под воздействием экзогенных геологических процессов — прежде всего, береговой абразии, аккумуляции и боковой (речной) эрозии — в результате многократного изменения уровня поздне-послеледниковых водоемов, что привело к формированию широкого спектра послеледниковых аккумулятивных береговых форм рельефа (рис. 1).

История геолого-геоморфологических и археологических исследований района, начиная с конца XIX — начала XX вв. (Г. П. Гельмерсен, 1864[1]; W. Ramsey, 1926[2]; К. К. Марков 1927[3], 1933[4] и др.), подробно изложена в работах [2–4]. А. Таммеканном [5] впервые был применен термин «Нарвско-Лужский предглинтовый палеозалив» или «Нарвско-Лужская предглинтовая низменность», под которым понимается прибрежная аккумулятивная террасированная равнина Нарвско-Лужского междуречья, ограниченная с юга и востока уступом глинта. Основная часть Нарвско-Лужской предглинтовой низменности расположена на территории северо-запада России, а южная относится к северо-востоку Эстонии.

Следует отметить, что наиболее детально изучена южная часть Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, расположенная в нижнем течении р. Нарва. Седиментационные последовательности в районе палеолагуны вблизи г. Нарва были исследованы еще К. Орвику и П. Томсоном [2]. В 1960–1990-х гг. эстонские исследователи провели стратиграфическое описание обнажений и разрезов, палинологический, диатомовый, термолюминесцентный анализы и радиоуглеродное датирование образцов органогенных отложений [6–8]. А. Лепландом с соавторами [2] выполнено комплексное изучение отложений двух крупных аккумулятивных форм в нижнем течении р. Нарва — систем береговых валов Синимяэ и Нарва-Йыэсуу, а также расположенной между ними низменности Леековасоо. Авторами был обобщен обширный материал предыдущих исследований, а также выполнен большой объем собственных полевых и лабораторных работ (описание разрезов, гранулометрический анализ, радиоуглеродное датирование, биостратиграфические исследования, изучение магнитных свойств минералов), позволивший разработать концепцию палеогеографического развития района, формирования аккумулятивных форм и лагунной системы. Важно отметить, что центральная и северная (российская) части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности до недавнего времени были изучены менее детально.

К наиболее систематическим региональным исследованиям относятся работы К. К. Маркова и результаты геологической съемки. Автором [9] описаны опорные разрезы четвертичных отложений,

[1]Гельмерсен Г. П. О физических и геологических условиях Петербурга. [СПб.] : тип. Имп. Акад. наук, 1864. 11 с.

[2]Ramsey W. Nivaforandringar och stenalders-bosattning I det batliska omradet // Fennia — International Journal of Geography. 1926. Vol. 48. P. 1–67.

[3]Марков К. К. Краткий геологический и геоморфологический очерк северной части Кингисеппского уезда (По предварительным данным исследований 1925 и 1926 г.). // Известия Центрального гидрометеорологического бюро. Л., 1927. С. 91–118.

[4]Марков К. К., Порецкий В. С. Послеледниковая история окрестностей Ленинграда // Природа. 1933. № 5–6. С. 99–103.

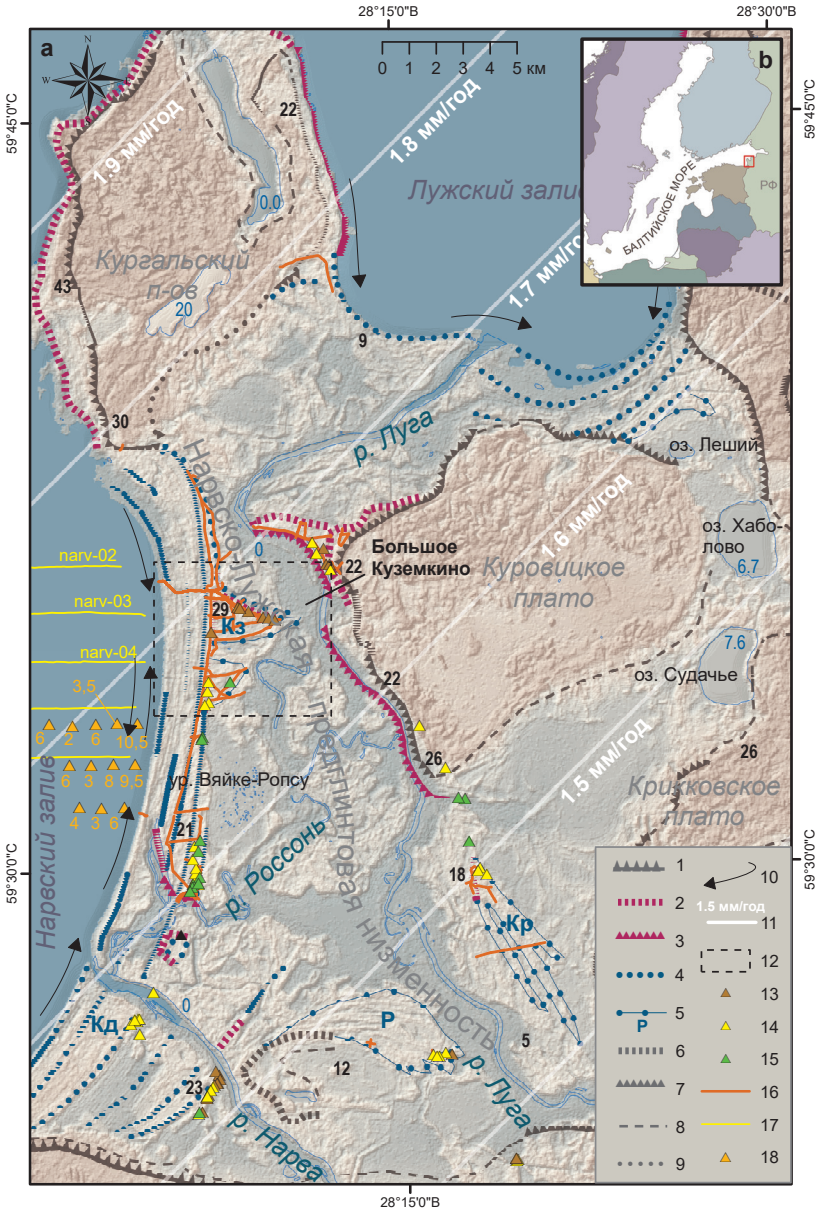

Рис. 1. Схема расположения палеоформ рельефа в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности

a — береговые голоценовые палеоформы и приуроченные к ним археологические стоянки района Нарвско-Лужской предглинтовой низменности: *1* — Балтийско-Ладожский глинт; установленные по анализу рельефа палеоформы: *2* — абразионный склон; *3* — абразионный уступ; *4* — береговые валы; *5* — веерные косы и пересыпи: Р — Рийгикюльская веерная палеокоса, Кр — Куровицкая веерная палеокоса, Кд — Кудрукульская палеокоса (пересыпь), Кз — Куземкинская палеоформа. Береговые формы: *6* — абразионный склон; *7* — абразионный уступ; *8* — положение береговой линии; *9* — береговой вал; *10* — направление миграции современных песчаных наносов; *11* — изобазы современного гляциоизостатического поднятия; *12* — участок детальных исследований Куземкинской палеоформы. Археологические памятники датируемые: *13* — не древнее 7,5 тыс. кал. л. н.; *14* — не древнее 6,0 тыс. кал. л. н.; *15* — не древнее 4,8 тыс. кал. л. н.; *16* — профили георадиолокации; *17* — профили непрерывного сейсмоакустического профилирования; *18* — положение архивных буровых скважин и мощности песчаного слоя; **b** — расположение района работ

Источник: *6–9* — по [9], *11* — по [23]

Fig. 1. Palaeorelief distribition map within the Narva-Luga Klint Bay

a — the Holocene coastal palaeoforms and associated archaeological sites of the Narva-Luga Klint Bay: *1* — Baltic-Ladoga Klint; palaeoforms established after the relief analysis: *2* — erosion slope; *3* — erosion scarp; *4* — longshore bars; *5* — spits and sand bars: P — Riigiküla palaeobar, Kp — Kurovitsy palaeobar, Кд — Kudruküla palaeobar (spit), Кз — Kuzemkino palaeospit. Coastal forms: *6* — erosion slope; *7* — erosion scarp; *8* — coastline position; *9* — longshore bar; *10* — direction of modern sand sediments drifts; *11* — modern glacioisostatic uplift isobases; *12* — detailed exploration area of the Kuzemkino palaeospit. Archaeological sites dated: *13* — not older than 7.5 cal ka BP; *14* — not older than 6.0 cal ka BP; *15* — not older than 4.8 cal ka BP; *16* — ground-penetrating radar profiles; *17* — seismic and acoustic profiles; *18* — position of archival boreholes and sand layer thickness; **b** — exploration area location

Source: *6–9* — from [9], *11* — from [23]

выполнены палинологические и микропалеонтологические анализы, разработана варвохронологическая шкала для ледниково-озерных отложений. На картах, составленных К. К. Марковым, прослежено распространение отложений поздне-послеледниковых бассейнов, показаны песчаные аккумулятивные формы, сформированные на побережье этих водоемов. В 1958–1962 гг. Ленинградская геологическая экспедиция Северо-Западного геологического управления провела в пределах описываемой территории геологическую съемку масштаба 1 : 200 000 [10], по результатам которой были составлены карты дочетвертичных образований и четвертичных отложений, разрезы к ним и текст объяснительной записки. В 1994 г. Петербургской комплексной геологической экспедицией под руководством А. С. Яновского были завершены работы по гидрогеологической съемке и геологическому доизучению южной части Ленинградской области в масштабе 1 : 200 000 с составлением комплекта геологических карт и объяснительной записки к ним. В 1985–1990 гг. Отделом региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ выполнялась государственная геологическая съемка дна акватории Финского залива, в ходе которой в Нарвском заливе было обнаружено подводное месторождение песка, предположительно (по стратиграфическому положению) связанное с реликтовыми аккумулятивными прибрежными формами [1]. Следует отметить, что в задачи геологической съемки детальные палеогеографические реконструкции не входили.

В 1960–1980-х гг. здесь были выявлены и частично изучены первые памятники каменного века.

В 2004 г. были опубликованы результаты исследований донных отложений озер северо-восточной части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности (Бабинское, Глубокое, Хабаловское и Леший), выполненных в рамках крупного международного панбалтийского проекта, направленного на реконструкцию колебаний уровня моря на последнем этапе геологического развития [3]. Скважины, пробуренные в 1998–2003 гг., были исследованы на содержание органического вещества, магнитных минералов, макрорастительных остатков, а также выполнен палинологический и диатомовый анализы. Радиоуглеродным методом продатированы 32 образца. Авторы исследования пришли к выводу, что изученные озера затапливались водами Литоринового моря в период между 8,0 и 5,7 тыс. кал. л. н., причем выделялись два пика трансгрессии — 7,8–7,1 тыс. кал. л. н. (с максимальным уровнем +10 абс. м) и 6,9–6,0 тыс. кал. л. н. [3]. Изучение современных береговых процессов Нарвского залива было начато в 1960-х гг. В 1969–1975 гг. здесь располагался участок стационарных наблюдений Ленинградского государственного университета [11]. Литодинамические исследования выполнялись эстонскими специалистами при подготовке раздела о берегах для монографии «Геология Финского залива» [12].

Новые возможности для существенного уточнения концепции палеогеографического развития как исследуемого района, так и побережий Финского залива в целом открылись с началом комплексных российско-эстонских археологических и палеогеографических исследований, направленных на изучение палеогеографического развития района на последнем этапе геологического развития, а также культурных процессов, происходивших в условиях динамично меняющихся природных обстановок послеледниковья [13–16]. А. Розентау с соавторами [4] были выполнены современные палеореконструкции развития микрорегиона в голоцене (в период между 11,7 тыс. кал. л. н. (перед спуском Балтийского ледникового озера) и завершением литориновой стадии развития Балтики (4,5 тыс. кал. л. н.)), основанные на анализе геологических и археологических данных и ГИС-моделировании палеореконструкции расположения береговых линий.

Задачей настоящей статьи является рассмотрение строения и генезиса наиболее древних послеледниковых аккумулятивных форм Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, выявленных в ходе исследований последних лет специалистами Института Карпинского в рамках научных проектов Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ рельефа. Для выявления площадного распределения реликтовых береговых форм использовались материалы дистанционного зондирования разных лет из открытых геоинформационных ресурсов: Геопортала Роскосмоса, Яндекс Карт, Google Earth. В основу данных о рельефе Нарвско-Лужской низменности легли материалы глобальных цифровых моделей рельефа SRTM, ASTER и цифровые модели, полученные путем оцифровки топографических карт местности масштаба 1 : 50 000. Для геоморфологической схемы Куземкинской палеоформы использовались изолинии рельефа, оцифрованные с топографической карты масштаба 1 : 25 000, а для прослеживания реликтовых береговых форм — глобальные альтиметрические спутниковые данные. Положение разрезов и обнажений и реликтовых береговых форм уточнялось по данным нивелирных измерений.

Построение карт-схем и анализ массива геолого-геофизических данных производились в ГИС-пакете ArcGIS. Используемые инструменты пространственного анализа дополнительного модуля SpatialAnalyst ГИС-пакета позволили выявить особенности морфологии современного рельефа, значительно повысить точность интерпретации материалов дистанционного зондирования и обосновать выбор мест для полевых обследований.

Георадиолокационное профилирование. В 2013–2019 гг. в рамках научных исследований по грантам РФФИ и РНФ был выполнен существенный объем георадиолокационного профилирования (далее — ГРЛ) общей протяженностью более 75 км (рис. 1). Профилирование проводилось при помощи георадара марки SIR System-2000 производства фирмы GSSI (США). Приемо-передающей антенной служила

дипольная антенна 5106 с центральной частотой излучения 200 МГц, а также использовались антенны 70 и 400 МГц. Регистрация данных осуществлялась открытым каналом без усиления, количество выборок на трассу составило 4096, разрядность — 32 бита, длительность записи — 200–1000 нс. При сравнительно однородном песчаном геологическом разрезе глубина зондирования антенны 5106 достигала 10–15 м и могла обеспечивать разрешающую способность ~35 см. Геодезическая привязка профилей проводилась системой спутниковой навигации GPSMAP 65CS (Garmin). Погрешность местоопределения ±5 м. Проекция — WGS-84. Профилирование выполнялось вдоль лесных грунтовых дорог. Твердое дорожное покрытие на проездах отсутствовало, не препятствуя проникновению сигнала излучающей антенны. Георадарное профилирование производилось преимущественно на дорогах с выровненным рельефом, где колебания высот по данным топографических карт не превышали 2 м. Абсолютные высоты поверхности территории составляли от 9 до 12 м. Работы на опорных профилях сопровождались геодезической съемкой с использованием нивелира, тахеометра и квадрокоптера, что обеспечило получение цифровой трехмерной модели рельефа.

Обработка полевых радарограмм осуществлялась в программном пакете обработки и интерпретации RADAN. К данным применялся стандартный граф обработки, включающий в себя набор вертикальных и горизонтальных фильтров, удаление постоянной составляющей (так называемого «звона антенны») и регулировку усиления. Учет данных о рельефе и расчет скоростей распространения электромагнитных волн в исследуемых средах для пересчета глубин проводился по результатам анализа гиперболических осей синфазности, возникающих на диафрагмирующих объектах, с использованием программного пакета RadexPro. Обработанные радарограммы были сохранены в формате SEGY. Геофизическая интерпретация разрезов осуществлялась стандартными средствами Kingdom путем трассировки отражающих горизонтов, зон изменения инфраструктуры записи, выделения локальных дифрагирующих и аномальных объектов.

Сейсмоакустическое профилирование. Материалы непрерывного сейсмоакустического профилирования (далее — НСАП) получены в ходе реализации гранта РФФИ. Работы проводились с использованием электродинамического источника — бумера (1,5–3,0 кГц). Регистрация отраженных волн производилась одноканальной сейсмостанцией с буксируемой приповерхностной сейсмокосой. Обработка цифровых записей в формате SEGY выполнялась с применением стандартного графа обработки[1] в программном пакете RadexPro (ООО «Деко-геофизика СК», Россия), пересчет временных разрезов в глубинные производился с единой скоростью распространения продольных волн для всего разреза — 1480 м/с, соответствующей скорости в водной толще. Всего выполнено 25 пог. км НСАП по сети параллельных профилей поперек подводного берегового склона (рис. 1).

Интерпретация разрезов НСАП подтверждена архивными скважинами бурения, выполненного в 1984–1985 гг. в рамках государственной геологической съемки шельфа.

Геологическое описание и опробование отложений. Для интерпретации данных георадиолокационного профилирования было выполнено детальное описание и опробование техногенных разрезов (карьер по добыче песка), небольших шурфов в склоне террасы, а также отложений, вскрытых неглубокими (до 2 м) буровыми скважинами. Для интерпретации георадарных данных выполнялось неглубокое бурение с использованием бензобура STIHL BT 121 совместно со шнековым почвенным буром и двумя удлинителями (до 2–2,5 м). Описание разрезов сопровождалось послойным отбором образцов на гранулометрический анализ. Отобрано и проанализировано 253 образца. В ходе исследований по разрезу 18А2 было последовательно отобрано 9 образцов песчаных отложений для датирования методом оптико-стимулированной люминесценции. Также привлекались данные о геологическом строении четвертичных образований, развитых в пределах листа O-35-V (Кингисепп) геологической карты масштаба 1 : 200 000 [10], и данные по скважинам, приведенные в монографии под редакцией Н. И. Апухтина и И. И. Краснова [17]. Изучалась мощность опробованных прослоев, их корреляция сданными георадарного профилирования, описание текстур отложений и проводилась динамо-генетическая интерпретация данных гранулометрического состава.

Лабораторные исследования. Гранулометрический анализ выполнен ситовым методом с применением анализаторной просеивающей машины AS 200 с управлением "g" фирмы Retsch на стандартном наборе плетеных сит с разделением осадка на 19 фракций. Для интерпретации данных гранулометрического анализа рассчитаны гранулометрические коэффициенты (средний размер зерен (Ma), сортированность песка (So), асимметрия (A), эксцесс (E)), построены кривые гранулометрических распределений и генетические диаграммы [18–20]. Определена окатанность грубообломочных фракций по балльной шкале Л. Б. Рухина[2].

Датирование методом оптически стимулированной люминесценции (далее — ОСЛ) выполнено в лаборатории ФГБУ «Институт Карпинского» (лабораторный индекс RGI) для 9 образцов песка. Измерение палеодозы для всех образцов производилось по кварцу. Возраст по ОСЛ-датированию наиболее приближен к календарным годам с учетом погрешности. За основу расчета мощности дозы и возраста проб был взят калькулятор DRAC [21].

[1]Шалаева Н. В., Старовойтов А. В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях : учеб. пособие. М. : Изд-во Москов. ун-та, 2010. 252 с.

[2]Рухин Л. Б. Основы литологии: учение об осадочных породах / под ред. Н. Б. Вассоевича. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Гостоптехиздат, 1961. 779 с.

Интерпретация полученных данных

Существенно повысить информативность и достоверность полученных результатов позволило междисциплинарное сотрудничество в рамках российско-эстонских археологических и палеогеографических исследований, направленных на изучение культурных процессов, происходивших в условиях динамично меняющихся природных обстановок послеледниковья [4; 13; 15]. В работах принимали участие специалисты Института истории материальной культуры РАН, Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН, Тартуского университета и университета Оулу. Современные геоархеологические исследования представляют большой интерес в силу их междисциплинарного характера, что позволяет устанавливать взаимосвязи между изменениями природной среды и характером расселения человека. В частности, в рассматриваемом районе выявлено множество стоянок, приуроченных непосредственно к древним береговым линиям [16] либо к косам, образующимся в устьях рек (Йагала, Нарва, Луга, Ижора, Охта). Возможности датирования археологических памятников повышают достоверность определения времени и механизма развития лагунных систем. В свою очередь, детальные палеореконструкции формирования аккумулятивных форм, выполненные с учетом принципов прибрежной литодинамики, позволяют создавать прогностические модели, способствующие выявлению новых археологических памятников [16].

Важным аспектом достоверности выполняемых палеореконструкций является понимание основных закономерностей литоморфодинамики береговых зон, которые наряду с геологическим строением, морфологией и тектоникой являются основными факторами, определяющими размеры, форму и тенденции развития реликтовых береговых форм [22–24].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ картографических материалов, включающих космоснимки, топографические и геологические карты, а также анализ цифровой модели рельефа с учетом имеющихся данных об изменениях уровня палеоводоемов восточной части Финского залива [3; 4; 25], позволил выделить ряд принципиально важных морфологических особенностей рельефа изучаемой территории. Установлен характер взаимного расположения аккумулятивных и абразионных береговых форм палеоводоемов и определена наиболее вероятная стадийность их формирования (рис. 1, 2). В рельефе побережья достаточно четко выделяется абразионный уступ максимальной фазы литориновой трансгрессии. К наиболее крупным аккумулятивным формам относятся: две симметричные косы (так называемого «азовского типа» по классификации В. П. Зенковича [26]) по обе стороны от русла р. Луга — Ригикюльская палеокоса на левом (южном) берегу и выявленная по результатам наших исследований Куровицкая палеокоса на правом (северном) берегу [27]; Кудрукюльская палеокоса (палеопересыпь) — крупнейшая в регионе реликтовая аккумулятивная форма, протягивающаяся на 25 км вдоль современного берега Нарвского залива; серия параллельных реликтовых береговых регрессивных валов; Куземкинская палеоформа.

Простирание, гипсометрическое положение и морфометрические характеристики большинства выявленных в ходе проведенного анализа реликтовых береговых аккумулятивных форм соответствуют концептуальной модели развития региона после максимума литориновой трансгрессии в середине голоцена [4]. Проведенный анализ позволяет выявить сопряженные абразионные и аккумулятивные участки литодинамических систем, установить источники осадочного материала и механизм развития аккумулятивных форм.

Однако уже на этапе ГИС-анализа рельефа стало очевидно, что простирание Куземкинской палеоформы — практически перпендикулярное современному берегу — резко выделяет ее из описанного комплекса аккумулятивных форм и не вписывается в общую картину возможного положения береговых линий послеледниковых палеоводоемов (рис. 2).

В ходе ***интерпретации ГРЛ записей*** было выделено пять георадарных комплексов (далее — ГК), отличающихся как структурными, так и литологическими особенностями (рис. 3, 4).

Нижний ГК-I характеризуется потерей корреляции сигнала, что возникает в случае изменения литологического состава отложений вниз по разрезу с увеличением содержания глинистых частиц. Граница кровли комплекса имеет яркую ось синфазности, соответствующую эрозионному горизонту. Кровля неровная, на значительном количестве профилей погружающаяся ниже проникающей способности георадара. Больше всего она проявлена в северо-западной части района исследования, с явным погружением в южном направлении в сторону р. Россонь.

Выше выделяются отложения ГК-II, для которого характерно преобладание субгоризонтальных и слабонаклонных внутренних границ, имеющих хорошо читаемые оси синфазности. Подобный тип записи свойственен обломочным песчано-гравийным отложениям. Внутри комплекса выделяются до двух протяженных горизонтов размыва, отчетливо проявляющихся по яркой и непрерывной оси синфазности.

Верхнюю часть разреза слагают отложения повсеместно развитого ГК-III, имеющего горизонтальное залегание слоев, выдержанность по площади и довольно однородный прозрачный геофизический разрез. Данный комплекс залегает с резким структурным несогласием на нижележащих отложениях. Граница подошвы комплекса имеет яркую субгоризонтальную ось синфазности. Верхняя граница комплекса совпадает с дневной поверхностью на большей части территории и только в пределах развития дюнных гряд перекрыта эоловыми отложениями.

Верхнюю часть разреза исследуемой территории образуют отложения ГК-IV, несогласно перекрывающие нижележащие образования. В верхней части

комплекс характеризуется прозрачностью записи и малой интенсивностью отражающих сигналов. Данный комплекс развит локально и приурочен к субмеридиональному дюнному поясу. Граница ГК-IV с подстилающими отложениями выделяется по яркой оси синфазности, имеющей довольно выровненную поверхность. Внутри комплекса выделяются наклонные в восточном направлении слои.

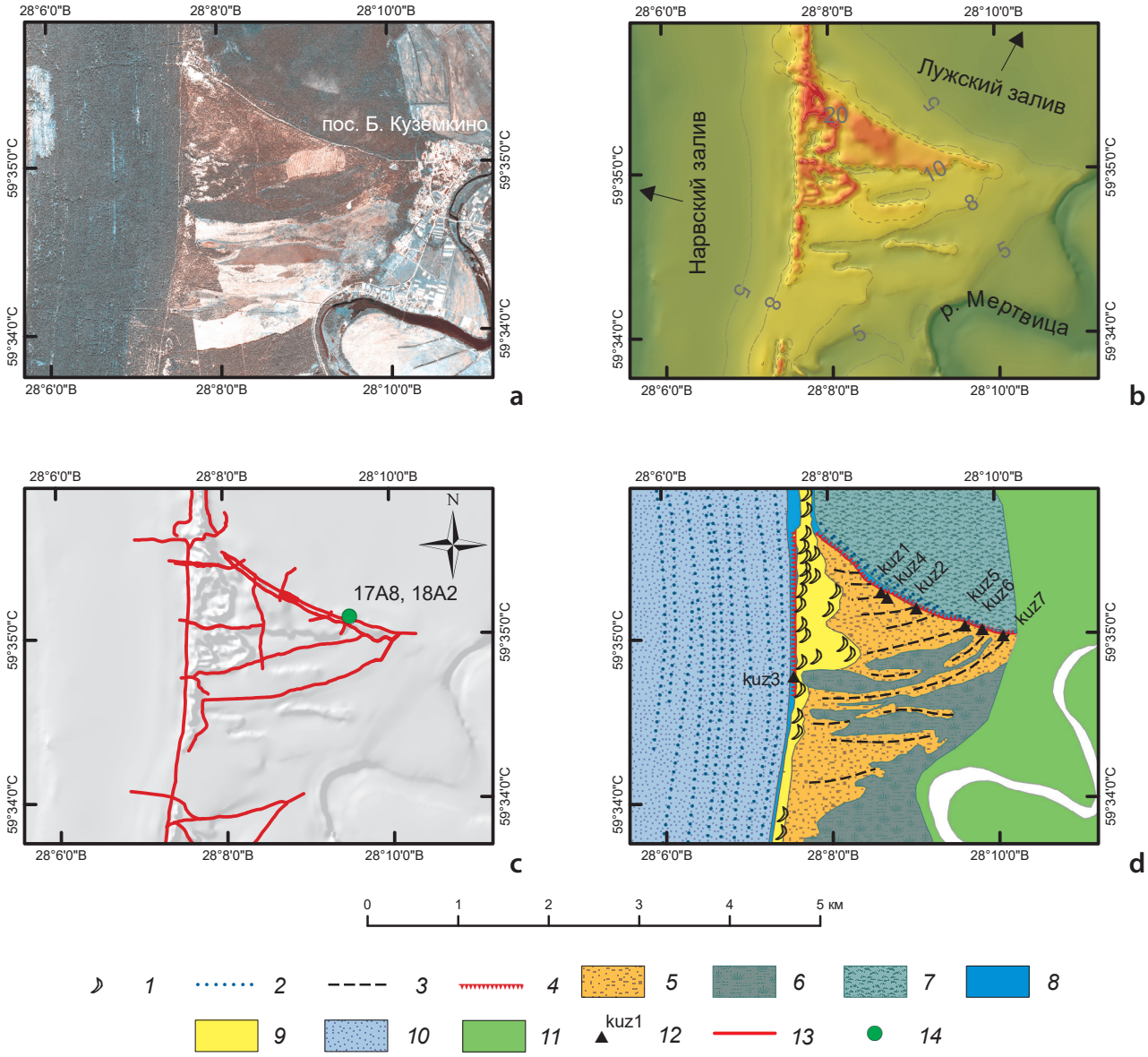

Рис. 2. Куземкинская палеоформа

a — космоснимок местности; **b** — цифровая модель рельефа, составленная на основе оцифровки топографических карт масштаба 1 : 25 000, горизонтали в метрах; **c** — схема георадиолокационного профилирования; **d** — геоморфологическая схема: *1* — дюны, *2* — береговые валы, *3* — косы, *4* — абразионный уступ; поверхности рельефа образованные: *5* — веерными косами (эрозионный останец), *6* — межваловыми заболоченными депрессиями (палеолагуны), *7* — пологонаклонной морской равниной, переходящей в приморскую низменность, *8* — береговым валом (палеопляж), *9* — эоловыми образованиями, *10* — пологонаклонной морской равниной, с выраженными регрессивными береговыми валами, *11* — аллювием; *12* — археологические памятники Куземкино и их номера; *13* — профили георадиолокации; *14* — местоположение опорных разрезов 17A8 и 18A2

Fig. 2. Kuzemkino palaeospit

a — satellite image of the area; **b** — digital relief model based on digitized topographic maps at a scale of 1 : 25,000, contours in meters; **c** — diagram of ground-penetrating radar profiling; **d** — geomorphological diagram: *1* — dunes, *2* — longshore bars, *3* — spits, *4* — erosion scarp; relief surfaces formed by: *5* — fan spits (erosive remnant), *6* — bar swampy depressions (palaeolagoons), *7* — gently sloping sea plain turning into a coastal lowland, *8* — longshore bar (palaeobeach), *9* — aeolian formations, *10* — gently sloping sea plain with clearly regressive longshore bars, *11* — alluvium; *12* — archaeological sites of Kuzemkino and their numbers; *13* — ground-penetrating radar profiles; *14* — location of reference sections 17A8 and 18A2

Отложения ГК-V формируют крупное линзовидное тело, с прилеганием примыкающее к Куземкинской палеоформе со стороны Нарвского залива. Комплекс имеет несогласную границу с нижележащими отложениями, выделяемую по яркой оси синфазности вдоль всей подошвы. Внутреннее строение характеризуется довольно яркими отражающими границами субгоризонтального или слабонаклонного (до косого) залегания слойков. Слой невыдержанный, линзовидный, мощностью от 2 до 10 м.

По ***результатам интерпретации НСАП*** были выделены отражающие горизонты и сейсмотолщи четвертичных образований (рис. 5). В основании разреза в интервале глубин 22–25 м ниже уровня моря прослеживается кровля осадочных образований венда. С облеканием ее перекрывают ледниковые отложения позднего неоплейстоцена мощностью слоя около 7 м. Моренный слой перекрывается комплексом отложений, интерпретируемых как верхненеоплейстоценовые флювиогляциальные. Их кровля залегает от глубин 10 м ниже уровня моря со стороны берега и погружается на запад до глубин около 18 м. Мощность слоя на разрезах достигает 20 м. Венчают разрез маломощные озерные и морские

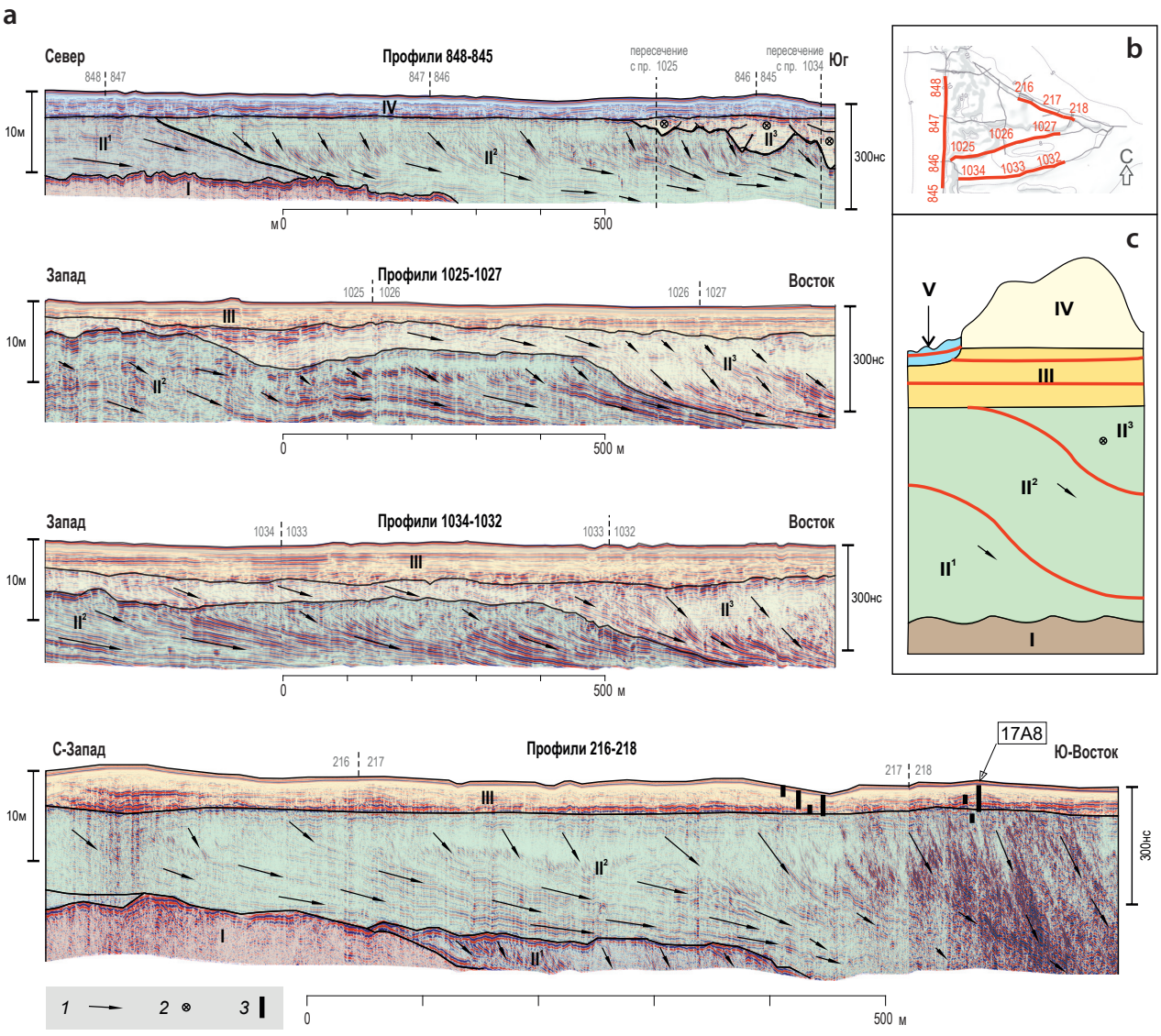

Рис. 3. Залегание георадарных комплексов в районе Куземкинской палоформы

a — разрезы, пересекающие палеоформу: элементы залегания слоев внутри комплекса: *1* — вдоль разреза, *2* — поперек (в направлении от зрителя), *3* — расположение буровых скважин и зачисток на разрезе, в том числе 17A8; **b** — схема расположения показанных профилей; **c** — схема соотношения георадарных комплексов: красные линии — эрозионные горизонты

Fig. 3. Occurrence of ground-penetrating radar unions in the Kuzemkino palaeospit area

a — sections intersecting the palaeospit: the layer occurrence elements within the unit: *1* — along the section, *2* — across (away from the viewer), *3* — location of boreholes and clearings in the section including 17A8; **b** — layout diagram of the demonstrated profiles; **c** — diagram of the ground-penetrating radar union relationships: red lines refer to erosion horizons

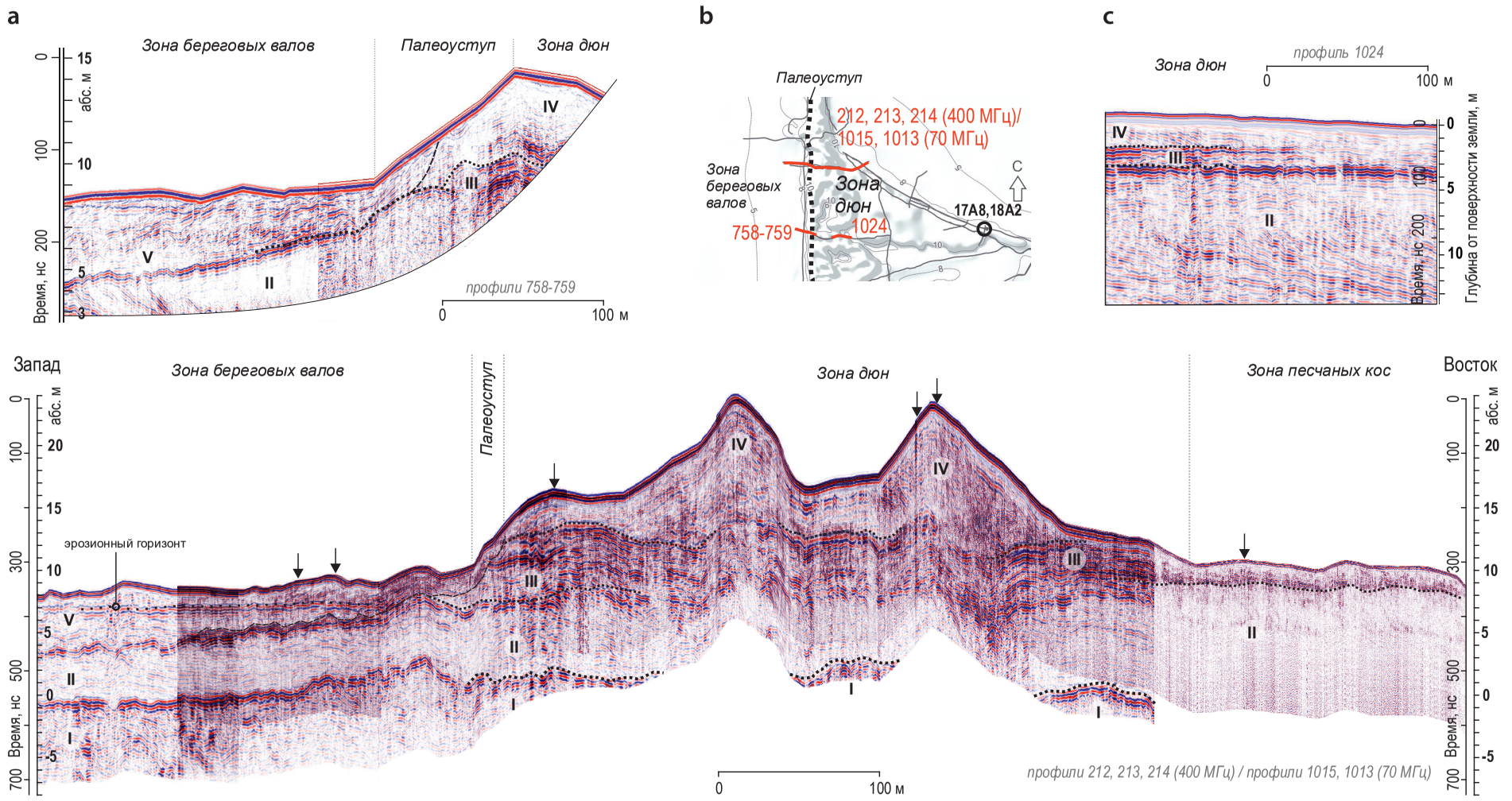

Рис. 4. Комбинированный георадиолокационный разрез (совмещенные записи на частотах 400 и 70 МГц), пересекающий Куземкинскую палеоформу

a — фрагмент профиля 758-759 (200 МГц); *b* — схема расположения георадарных профилей; *c* — фрагмент профиля 1024 (70 МГц); стрелочками показаны места отбора образцов на гранулометрический анализ

Fig. 4. Combined ground-penetrating radar section (combined records at frequencies of 400 and 70 MHz) crossing the Kuzemkino “palaeospit”

a — fragment of profile 758-759 (200 MHz); *b* — layout diagram of ground-penetrating radar profiles; *c* — fragment of profile 1024 (70 MHz); the arrows indicate the sample sites for grain size analysis

отложения голоцена мощностью, не превышающей первых метров.

Для ***характеристики вещественного состава*** были опробованы отложения ГК-II–ГК-V в пределах Куземкинской палеоформы (рис. 6–8).

Образования ГК-II представлены пачками переслаивания песчаных и грубообломочных отложений. Грубые слои опробованы в основании разреза 17А8 и в шурфе 17А7. Они представлены плохо сортированными галечными отложениями (с примесью мелких валунов), среднее содержание частиц более 2 мм — 62,2 %, в том числе от 10 до 60 % — гальки размером от 2 до 5 см. В интервале 5–50 мм преобладают окатанные зерна (3 балла[1]) с примесью хорошо окатанных (4 балла) и полуокатанных (2 балла) частиц. Песчаные прослои представлены плохо сортированными мелко-среднезернистыми песками (Ма — 0,30 мм). Поверхность комплекса отделяется от вышележащих отложений эрозионным горизонтом, практически полностью сложенным отмытым грубообломочным материалом (галька, до отдельных мелких валунов) (рис. 7).

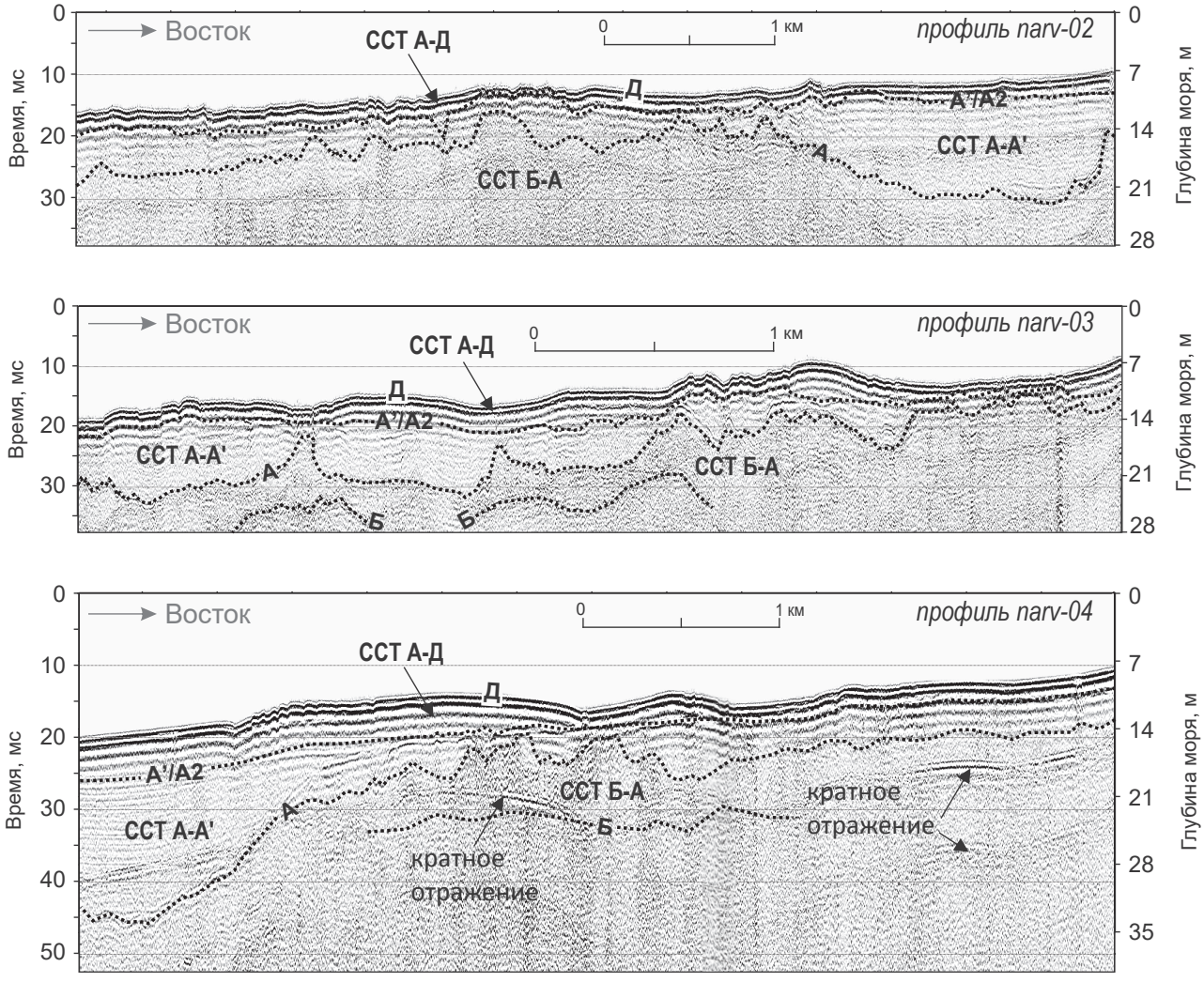

Рис. 5. Интерпретация результатов сейсмоакустического профилирования

Б — кровля осадочных пород венда; *А* — кровля ледниковых образований (морены); *А'/А2* — отражающий горизонт (кровля неоплейстоценовых отложений/подошва голоцена); *Д* — поверхность дна; *ССТ Б-А* — сейсмотолща ледниковых образований (поздний неоплейстоцен); *ССТ А-А'* — сейсмотолща флювиогляциальных отложений (поздний неоплейстоцен); *ССТ А-Д* — сейсмотолща объединенных анциловых и литориновых слоев (голоцен)

Fig. 5. Interpretation of seismic and acoustic profiling results

Б — roof of the Vendian sedimentary rocks; *А* — roof of glacial formations (moraines); *А'/А2* — reflecting horizon (top of the Neopleistocene deposits/bottom of the Holocene); *Д* — bottom surface; *ССТ Б-А* — seismic unit of glacial formations (Late Neopleistocene); *ССТ А-А'* — seismic unit of fluvioglacial deposits (Late Neopleistocene); *ССТ А-Д* — seismic unit of combined Ancylus and Littorina layers (Holocene)

[1]Рухин Л. Б. Основы литологии: учение об осадочных породах / под ред. Н. Б. Вассоевича. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Гостоптехиздат, 1961. 779 с.

Вышележащие отложения (относятся к ГК-III) представлены субгоризонтальным переслаиванием преимущественно мелко-среднезернистых неслоистых песков и косослоистых (с мульдообразной слоистостью) песчаных пачек с грубообломочными прослоями. ГК-III вскрыт карьером в уступе террасы (разрез 17А8) (видимая мощность 3 м, полная мощность, по данным ГРЛ, составляет 4 м) (рис. 6).

Разрез ГК-III можно подразделить на три пачки. В основании нижней пачки выделяется прослой косослоистых (падение на юго-восток (угол наклона 45°)) плохо сортированных (So — 2,05) средне-мелкозернистых песков (Ma — 0,30 мм) мощностью 40–50 см. Выше залегают хорошо сортированные (So — 0,92–1,32) неслоистые мелкозернистые пески (мощностью 1,8–2,0 м), разделенные прослоем, обогащенным грубообломочным материалом, содержание которого составляет от 10 до 34 %. Вторая пачка сложена косослоистыми песками, разделенными изменяющимся по мощности (5–20 см) прослоем грубообломочного материала. Как выше, так и ниже этого прослоя залегают косослоистые (с мульдообразной слоистостью) плохо и средне сортированные (So — 1,66–1,87) средне-мелкозернистые пески (Ma — 0,30–0,33 мм). Грубообломочные прослои в нижней части интервала представлены плохо сортированными (So — 3,2) крупно-грубозернистыми песками (Ma — 1,0 мм). Грубообломочный прослой сложен гравием, галькой и мелкими (до 10 см) валунами, составляющими 10–65 % осадка и погруженными в плохо сортированный (So — 3,29) крупнозернистый песок (Ma — 1,5 мм). Гравийные и галечные зерна окатанные (3 балла). Общая мощность прослоя 0,7–0,9 м. Верхняя пачка сложена тонкогоризонтально-слоистыми (в верхней части неслоистыми) хорошо и средне сортированными (So — 1,14–1,68) средне-мелкозернистыми (Ma — 0,32 мм) песками с редкой галькой. Отложения верхней части ГК-III прослежены в западном направлении, где мощность пачки достигает 4 м, и ее верхняя граница представлена выдержанным по латерали эрозионным горизонтом, обогащенным грубообломочным материалом.

Отложения ГК-IV сложены хорошо и средне сортированными (So — 1,35 (1,17–1,54)) мелко-среднезернистыми песками (Ma — 0,33 мм).

Отложения ГК-V опробованы в верхней части, где они представлены хорошо сортированными (So — 1,06) мелкозернистыми (Ma — 0,19 мм) песками.

Результаты датирования образцов песчаных отложений, отобранных в опорном разрезе 18А2 Куземкинской палеоформы, показали, что полученный возраст отложений варьирует в интервале от 8,1 до 13,5 тыс. лет (таблица). Распределение датировок по временной шкале и высоте опробования показано и на рис. 9.

ОБСУЖДЕНИЕ

Стратиграфия

Нижний *георадарный комплекс (ГК-I)* благодаря характерным особенностям и четкой корреляции с результатами бурения [10] достаточно однозначно интерпретируется как моренные, существенно суглинистые отложения осташковского горизонта. Согласно результатам геологической съемки, ледниковые отложения в пределах Нарвско-Лужской предглинтовой низменности представлены песчаными глинами, содержащими от 5 до 40–60 % валунно-галечного материала (обломки кристаллических пород). Поверхность морены на профилях георадара хорошо коррелирует с опубликованными данными по суше (от –16…–20 м на юге до –25…+20 м на севере) и результатами сейсмоакустических исследований на акватории Нарвского залива. На профилях георадара субгоризонтальная (слабо наклоненная к востоку) поверхность морены прослеживается на абсолютной высоте от –0,5 до +2 м. Анализ профилей георадара не выявил отложений, соответствующих ленточным или гомогенным глинам, широко распространенным на прилегающих участках морского дна Финского залива. На суше ленточные глины выявлены в южной части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности [2; 9; 10] (на абсолютной высоте от –10 до 0 м) и в северной ее части в пределах локальных депрессий рельефа морены, связанных с палеодолинами (палеодолина р. Луга, впадины озер Бабинское, Глубокое и Леший — на абсолютных высотах от –25 до –7 м).

Комплекс отложений ГК-II, залегающий выше по разрезу и широко развитый в северной и центральной частях района исследований, включает три подкомплекса (ГК-II^1, ГК-II^2, ГК-II^3), разделенных несогласными эрозионными границами. Комплекс интерпретируется как терригенные, существенно песчанистые отложения, имеющие косослоистое залегание с явным согласным примыканием слоев друг к другу по латерали и постепенным их выполаживанием вдоль разреза.

В пределах разных подкомплексов наблюдается разноориентированное напластование слоев, указывающее на неоднократную смену направлений потока. В опробованной части разреза отложения характеризуются существенно грубообломочным составом (переслаиванием песчаных и гравийно-галечных прослоев), что свидетельствует об их формировании в условиях потоков высоких энергий. Отложения объединены в один комплекс, поскольку имеют однотипные внутренние структуры. Мощность всего комплекса ГК-II на профилях с видимой нижней границей постоянная и составляет около 12–18 м, местами и более.

Вынесенные на плоскость элементы падения слоев потоковых отложений, отражающие направление поступления осадочного материала, приведены на схеме, показывающей формирование ГК-II (рис. 10).

Характер залегания слоев и азимуты их падения позволяют интерпретировать этот комплекс как дельтовый. Их ориентировка характерна для дельтовых фаций флювиальных образований и указывает на то, что участки наиболее крутого падения слоев ограничены в пространстве радиусом около 5–7 км. На схеме показаны как элементы залегания

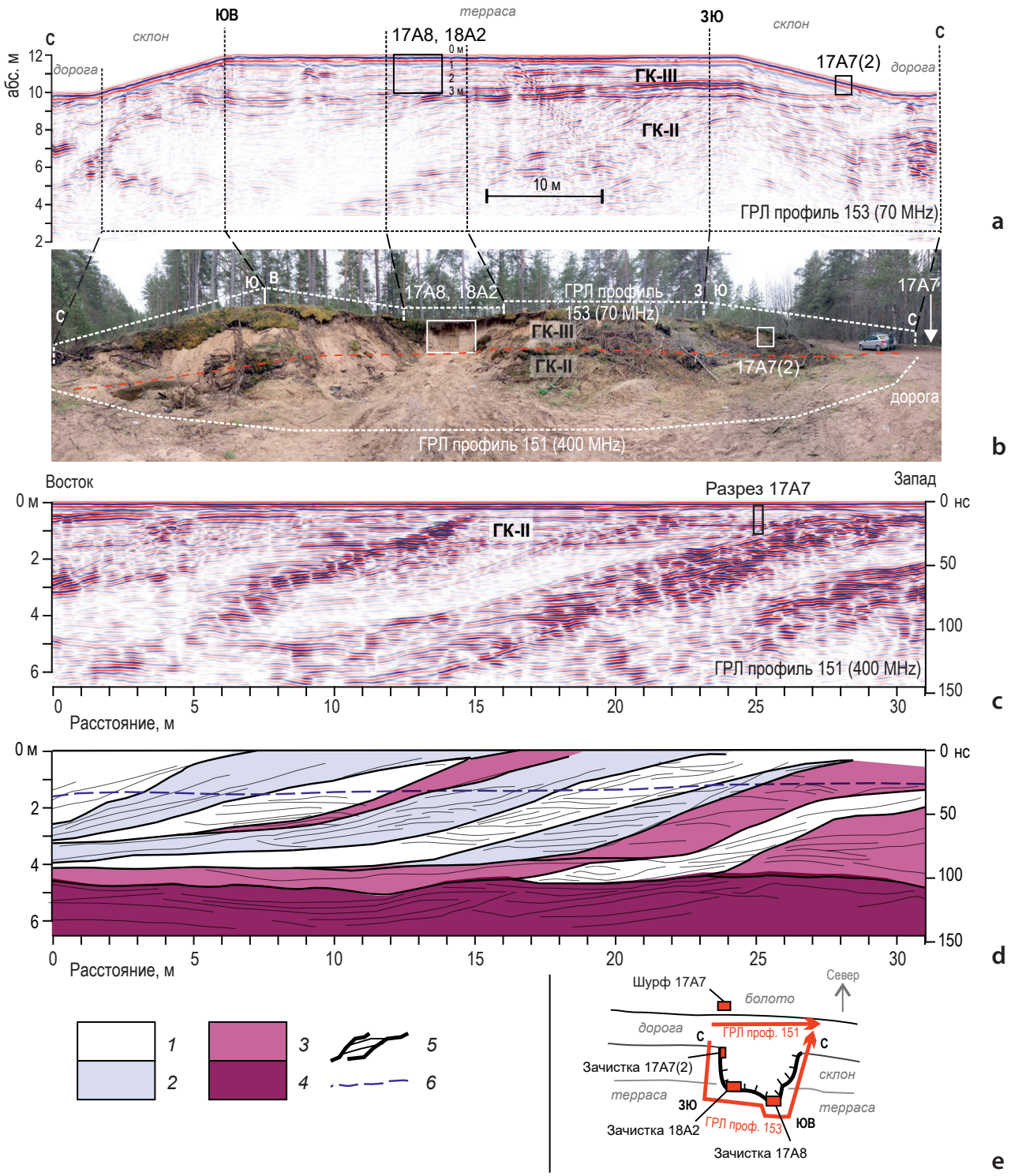

Рис. 6. Георадарные профили через обнажения 17А8/18А2 в районе п. Большое Куземкино

a — профиль 153 (частота антенны 70 МГц); **b** — фотопанорама обнажения; **c** — профиль 151 (частота антенны 400 МГц); **d** — интерпретация профиля 151: *1* — зоны с низкой амплитудой отраженных сигналов (существенно песчаные косослоистые отложения), *2* — зоны со средней интенсивностью отраженных сигналов (песчаные косослоистые отложения с примесью гравия), *3* — зона высокоамплитудных отражений (пески с гравием и галькой), *4* — горизонтально-слоистая толща, *5* — внутренние границы ГК-II, *6* — уровень грунтовых вод; **e** — схема расположения георадарных профилей и обнажений

Fig. 6. Ground-penetrating radar profiles through outcrops 17A8/18A2 in the village Bolshoye Kuzemkino area

a — profile 153 (antenna frequency 70 MHz); **b** — photo panorama of the outcrop; **c** — profile 151 (antenna frequency 400 MHz); **d** — interpretation of profile 151: *1* — zones with low-amplitude reflected signals (heavily sandy cross-bedded deposits), *2* — zones with medium-intensity reflected signals (sandy cross-bedded deposits with gravel traces), *3* — zone of high-amplitude reflections (sands with gravel and pebbles), *4* — horizontally bedded unit, *5* — internal boundaries of ГК-II, *6* — groundwater level; **e** — layout of ground-penetrating radar profiles and outcrops

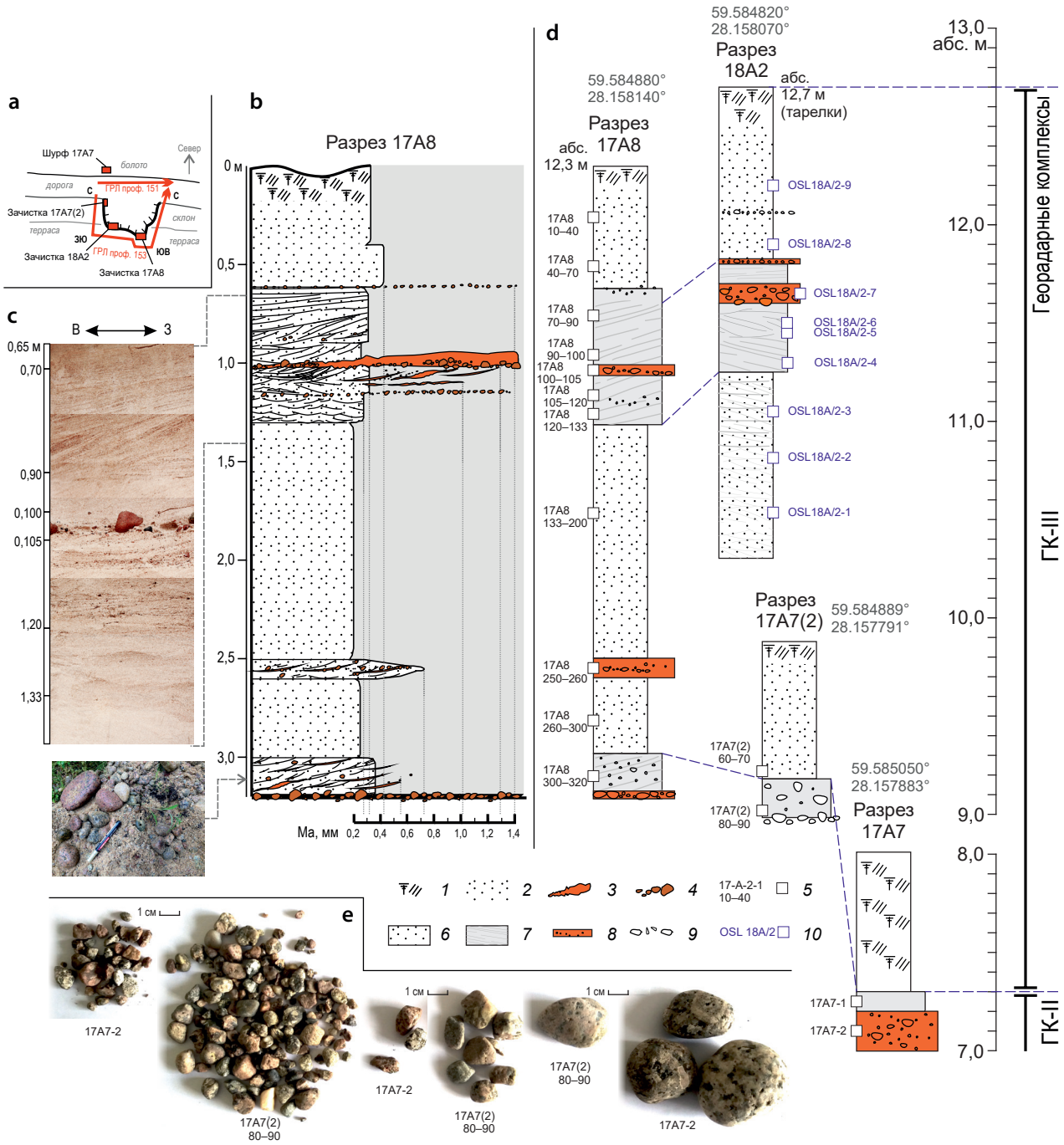

Рис. 7. Обнажения 17А8/18А2 в районе п. Большое Куземкино

a — схема расположения георадарных профилей и обнажений; **b** — литологическая колонка разреза 17А8, отражающая гранулометрический состав отложений; **c** — фотографии обнажения 17А8; **d** — схематические литологические колонки обнажений и их корреляция: *1* — почва, *2* — песок, *3* — гравий, *4* — галька и мелкие валуны, *5* — места отбора образцов на гранулометрический анализ, *6* — пески массивные средне- и мелкозернистые, *7* — косослоистые пески средне- и крупнозернистого состава, *8* — существенно грубозернистые пески с гравием, *9* — включения гальки и гравия, *10* — места отбора образцов на анализ оптически стимулированной люминесценции; **e** — фотографии грубообломочного материала из отложений ГК-II

Fig. 7. Outcrops 17A8/18A2 in the village Bolshoye Kuzemkino area

a — layout diagram of ground-penetrating radar profiles and outcrops; **b** — lithological log of section 17A8 reflecting the grain size composition of sediments; **c** — photographs of outcrop 17A8; **d** — schematic lithological logs of outcrops and their correlation: *1* — soil, *2* — sand, *3* — gravel, *4* — pebbles and small boulders, *5* — sample sites for grain size analysis, *6* — medium- and fine-grained heavy sands, *7* — medium- and hard-grained cross-bedded sands, *8* — heavily coarse-grained sands with gravel, *9* — inclusions of pebbles and gravel, *10* — sample sites for optically stimulated luminescence analysis; **e** — photos of coarse-grained material from ГК-II deposits

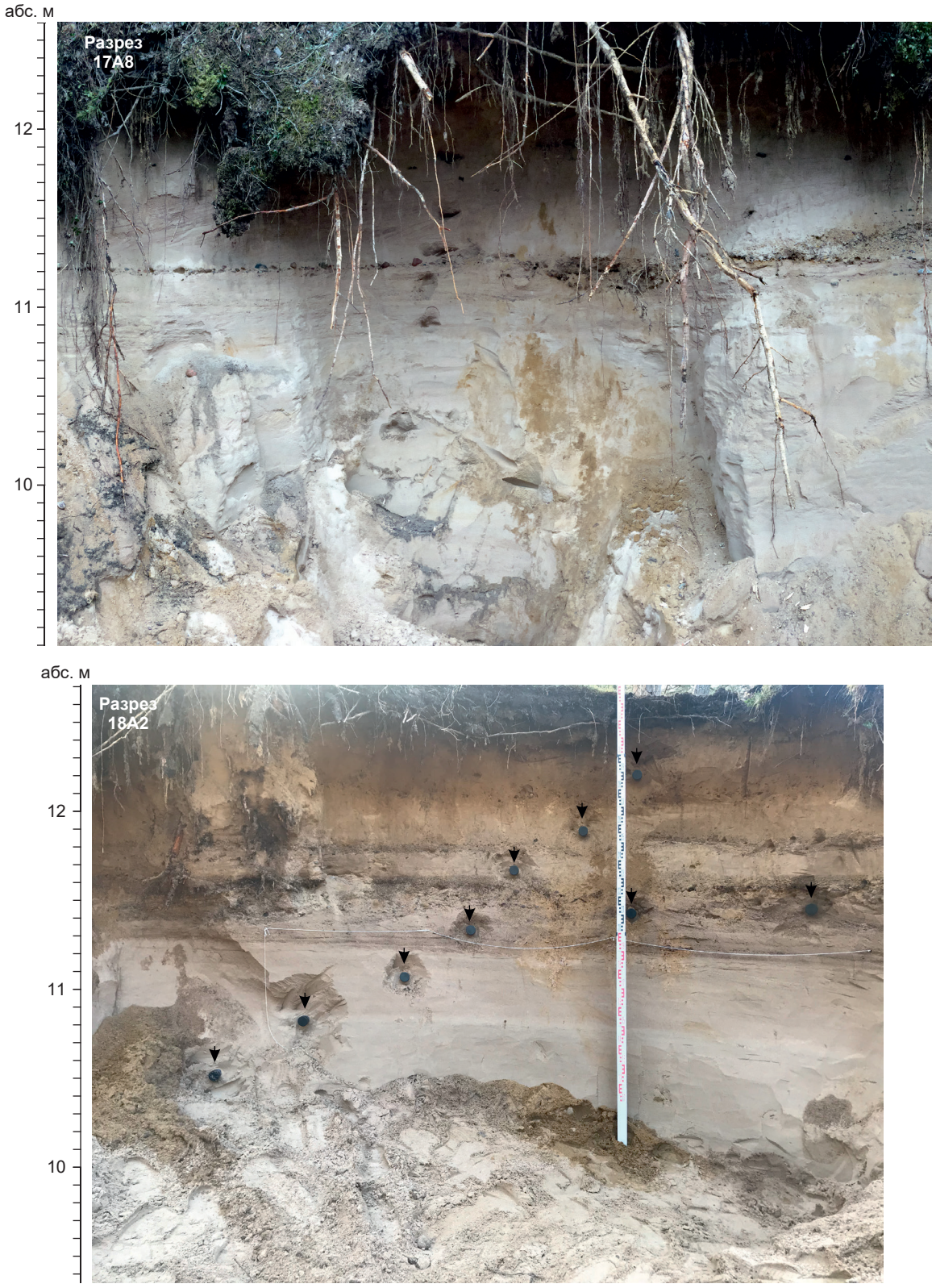

Рис. 8. Фото обнажений 17A8 и 18A2

Стрелочки показывают места отбора образцов на датирование методом оптически стимулированной люминесценции

Fig. 8. Photo of outcrops 17A8 and 18A2

Arrows indicate sample sites for optically stimulated luminescence analysis

Результаты расчета возраста оптически стимулированной люминесценции

Optically stimulated luminescence dating calculation results

№ лаб.	№ полевой	Кол-во навесок (аликвот)	U, ppm	Th, ppm	K, %	Мощность дозы, Гр/тыс. лет	Палеодоза, Гр	Возраст, тыс. лет
RGI-0137	18A-2(1)	10	1,19 ± 0,2	4,12 ± 0,57	2,50 ± 0,16	2,55 ± 0,16	29,9 ± 2,9	11,7 ± 1,3
RGI-0138	18A-2(2)	12	1,6 ± 0,11	5,26 ± 0,83	2,16 ± 0,14	2,50 ± 0,14	27,0 ± 1,8	10,8 ± 0,9
RGI-0125	18A-2(3)	10	1,46 ± 0,17	4,64 ± 0,45	2,14 ± 0,17	2,40 ± 0,12	32,6 ± 1,4	13,5 ± 0,9
RGI-0127	18A-2(4)	9	1,51 ± 0,12	4,2 ± 0,71	2,97 ± 0,18	3,11 ± 0,17	34,7 ± 2,3	11,1 ± 1,0
RGI-0131	18A-2(5)	13	1,45 ± 0,14	3,96 ± 0,55	2,50 ± 0,16	2,85 ± 0,14	34,9 ± 2,0	12,3 ± 0,9
RGI-0132	18A-2(6)	10	2,12 ± 0,31	4,19 ± 0,57	2,97 ± 0,19	3,30 ± 0,14	35,8 ± 2,9	10,9 ± 1,0
RGI-0133	18A-2(7)	7	1,65 ± 0,21	4,68 ± 0,60	2,65 ± 0,17	2,84 ± 0,17	35,2 ± 2,2	12,4 ± 1,1
RGI-0134	18A-2(8)	11	1,4 ± 0,19	3,85 ± 0,78	2,43 ± 0,15	2,78 ± 0,14	36,0 ± 1,1	13,0 ± 0,8
RGI-0135	18A-2(9)	11	1,61 ± 0,51	4,24 ± 0,74	2,01 ± 0,16	2,44 ± 0,16	19,7 ± 1,4	8,1 ± 0,8

Примечание. Измерение палеодозы для всех образцов производилось по кварцу

Note. The palaeodose for all samples was measured in quartz

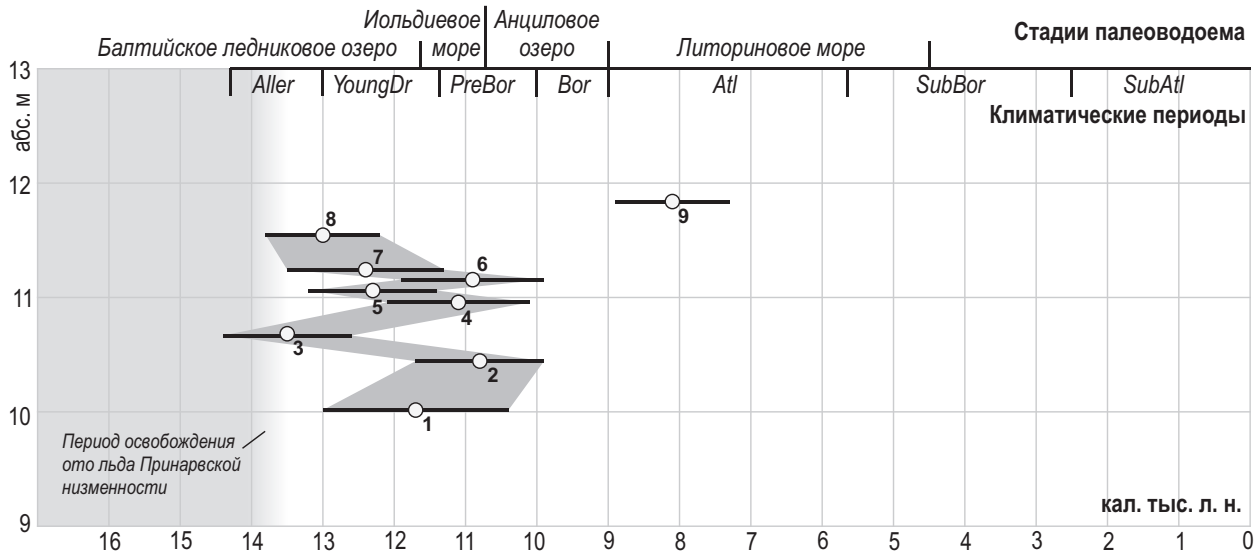

Рис. 9. Диаграмма распределения датировок методом оптически стимулированной люминесценции по абсолютной высоте и времени

Fig. 9. Diagram of optically stimulated luminescence dating distribution by absolute height and time

дельт более ранних генераций (ГК-II[1] и ГК-II[2]), так и дельт более поздней генерации (ГК-II[3]). Генеральное направление проградационных слоев дельт разных генераций приблизительно одинаково, однако на отдельных участках были выявлены четкие зоны палеоврезов, несогласно пересекающих более древнюю часть дельты. При прослеживании погребенных врезов вдоль тальвегов было установлено, что они латерально переходят в более молодую дельту (ГК-II[3]), открывающуюся в восточном направлении. Четкая проградационная структура слоев грубозернистых отложений ГК-II аналогична типичным текстурным особенностям отложений речных [28; 29] или флювиогляциальных дельт [30–32]. Выявленная структура наиболее соответствует отложениям так называемой “Gilbert-type delta” (дельта Джилберта) [33] и представляет собой круто наклонные проградационные слои подводного фронта дельты (foreset), перекрытые субгоризонтальными прослоями отложений дельтовой равнины (topset). Отложения этого типа дельт формируются при разгрузке осадочного материала в озерные или морские водоемы [34].

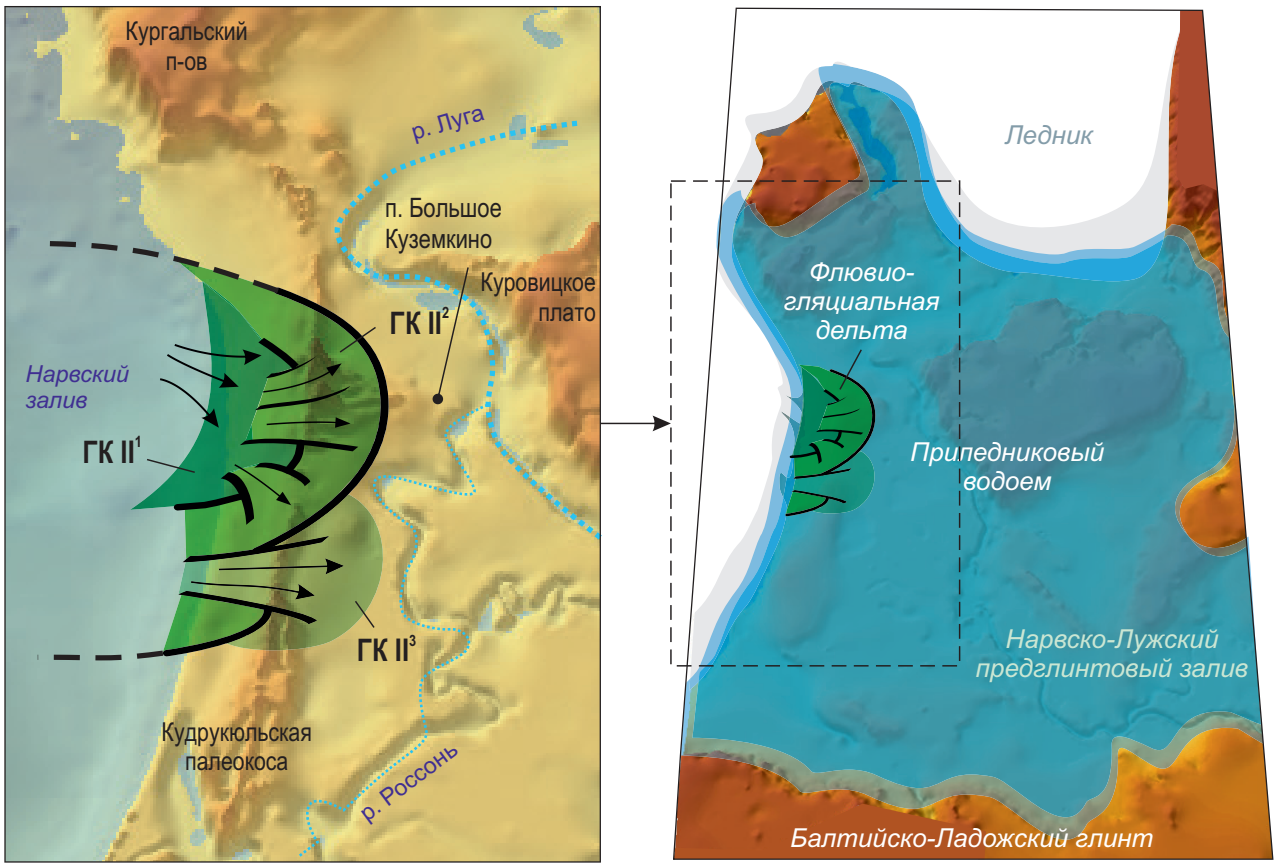

Рис. 10. Модель формирования георадарного комплекса II, демонстрирующая расположение флювиогляциальной дельты и показывающая генеральное направление поступления осадочного материала

ГК-II — георадарный комплекс с подкомплексами (*1, 2* и *3*) разных генераций дельты; стрелками показаны элементы падения слоев потоковых отложений

Fig. 10. Palaeogeographic model of forming ground-penetrating radar unit II to locate the fluvioglacial delta and demonstrate the general direction of sediment supply

GK-II — ground-penetrating radar unit with subunits (*1, 2* and *3*) of different delta generations; arrows indicate elements of the flow sediment layer falls

Отложения ГК-II прослежены на площади более 30 км², протянувшейся на 7 км вдоль побережья Нарвского залива и на 4,5 км вглубь суши. Кроме того, песчаное тело флювиогляциального генезиса выявлено сейсмоакустическим профилированием в пределах прибрежных мелководий Нарвского залива, в 3 км от береговой линии (рис. 5). Четырнадцать скважин, пробуренных на глубине 10 м, выявили наличие толщи крупно-грубозернистых песков с гравием и галькой мощностью от 4 до 10 м [1]. Предполагается, что это мог быть единый флювиогляциальный комплекс отложений, который в ходе колебания уровня моря был частично размыт.

Морфология Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, характеризующаяся слабым уклоном как рельефа поверхности морены, так и современного рельефа приморской низменности в западном направлении, исключает возможность формирования отложений речных дельт, растущих с запада на восток на протяжении всего периода послеледниковой истории Финского залива [4]. Кроме того, гранулометрический состав отложений, в котором доминируют галька и гравий, их мощность (до 18 м), стратиграфическое положение и широкое площадное распространение не позволяют рассматривать аллювиальные процессы в качестве механизма формирования описываемых отложений. Направление формирования проградационных слоев дельты и стратиграфическое положение отложений делают наиболее вероятным их флювиогляциальный генезис [30–32]. Источником осадочного материала мог быть край ледника стадии Пандивере, располагавшегося вдоль береговой линии современного Нарвского залива [35]. Формирование флювиогляциальной дельты происходило в результате поступления осадочного материала со стороны тающего ледника и разгрузки его в мелководное (глубиной около 20 м) ледниково-подпрудное озеро, не имевшее в рассматриваемое время стока в юго-восточном направлении. Такая трактовка не противоречит существовавшим тогда уровням приледникового водоема.

Отложения ГК-III залегают субгоризонтально с угловым несогласием на отложениях нижележащего

комплекса. ГК-III представлен песками различных гранулометрических типов. Его мощность уменьшается в западном направлении с 15–18 до 4–5 м. Генетическая интерпретация отложений ГК-III оставалась неоднозначной до получения результатов ОСЛ-датирования. Анализ гранулометрических параметров и текстурных особенностей этих отложений указывает на их формирование в прибрежных условиях. В обнажении эти отложения представлены как горизонтально-слоистые, однако анализ радарограмм на более широкой площади указывает на наличие слабого уклона слоев с запада на восток, совпадающего с направлением проградационной слоистости фронта флювиогляциальной дельты. Гипсометрическое положение этого комплекса позволяет интерпретировать его либо как верхний горизонт флювиогляциальной дельты (topset), либо как прибрежные образования комплекса времени анциловой трансгрессии. Данные ОСЛ-датирования (13,0–10,8 тыс. л. н.) свидетельствуют в пользу первой гипотезы.

Отложения в пределах видимого разреза развиты практически повсеместно, с повышением отметок кровли к западу от п. Большое Куземкино. Прослеживание их распространения позволило с высокой степенью уверенности утверждать, что наиболее мощные дюнные массивы, выделяющиеся в рельефе района, приурочены к поднятиям кровли ГК-III. На западе происходит срезание толщи в результате морской голоценовой трансгрессии, на юго-востоке перекрытие отложений происходит согласно за счет прилегания к понижающейся кровле флювиогляциального комплекса более поздних вышележащих отложений.

Следует отметить, что флювиогляциальные отложения (озы, камы, зандры) были ранее выявлены в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности [9; 10]. Камы сложены преимущественно алевритовыми песками с валунами. Крупнозернистые пески с галькой и валунами формируют зандры [9], покрывающие поверхность Куровицкого, Кургаловского и Крикковского плато. Максимальная мощность ранее описанных в исследуемом районе флювиогляциальных отложений составляла 7 м. Новые данные георадарного профилирования показали, что флювиогляциальные отложения значительно шире распространены, чем это предполагалось ранее. Впоследствии в голоцене именно они послужили источником формирования многочисленных береговых аккумулятивных форм.

Отложения ГК-IV представляют собой образования дюнного массива с характерной внутренней структурой. Максимальная мощность этих отложений приурочена к поднятиям поверхности флювиогляциальной дельты (ГК-III). В верхней части разреза отложения представлены мелко-среднезернистыми песками. Наличие внутренних границ в ГК-IV позволяет предположить несколько фаз активизации эоловых процессов, на протяжении голоцена чередовавшихся со стабилизацией дюнного массива. По данным исследований южного побережья Финского залива [36] и Юго-Восточной Балтики [37], в голоценовой истории развития Балтики выделяется несколько фаз активизации дюн. Наиболее интенсивная наблюдалась после спуска вод Балтийского ледникового озера (около 11,7 тыс. л. н.) и в ходе преданциловой регрессии, когда осушались значительные пространства ранее сформировавшихся водно-ледниковых отложений. Еще одна фаза активизации дюн, с которой наиболее вероятно связано и дюнообразование в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, обусловлена падением уровня моря в ходе предлиториновой регрессии.

Отложения ГК-V развиты полосой вдоль берега Нарвского залива и с угловым несогласием примыкают к отложениям флювиогляциальной дельты с запада. Комплекс характеризуется косой слоистостью с падением слоев в сторону Нарвского залива. Характер залегания и распространения ГК-V позволяет интерпретировать его как отложения голоценовых палеоводоемов, занимавших впадину Финского залива на протяжении голоцена. Вдоль морского края Кудрукюльской палеокосы (со стороны Нарвского залива) отложения ГК-V ограничены четким и относительно крутым (около 10°) палеоуступом (рис. 4). В ГК-V выделяются две внутренние эрозионные границы, разделяющие комплекс на две пачки (рис. 3, *b*, 4), характеризующиеся различными текстурными особенностями при общем преобладании косослоистых серий с падением слойков в западном направлении. Наиболее вероятно, формирование происходило в ходе анциловой и литориновой трансгрессий соответственно.

Можно предположить, что нижний эрозионный контакт ГК-V представляет собой палеобенч, сформировавшийся при уровне максимальной регрессии, предшествующей началу анциловой трансгрессии, в ходе которой началась интенсивная абразия отложений флювиогляциальной дельты и формирование береговых аккумулятивных форм. Внутренний эрозионный контакт, в свою очередь, отвечает времени предлиториновой регрессии водоема.

Отложения этого же комплекса выходят на дневную поверхность в пределах приморской низменности и ими сложены реликтовые береговые валы, установленные на абсолютной высоте +8,5 м как вдоль западного, так и с северо-восточного края Куземкинской палеоформы. Гранулометрический состав верхней пачки ГК-V аналогичен современным пляжевым отложениям Нарвского залива [1].

Палеогеографические модели

Максимальный уровень литориновой трансгрессии в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в соответствии с моделью, представленной в [4] в районе Куземкинской палеоформы, составлял 10,5–11,0 м. Количество флуктуаций уровня Литоринового моря в рассматриваемом районе остается дискуссионным. По данным палеолимнологических исследований [3], морская трансгрессия достигала озерных систем Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в период между 8,0 и 5,7 тыс. кал. л. н. Две фазы трансгрессии датируются временем 7,8–7,1 тыс. кал. л. н. (стабилизация уровня на высоте +10 абс. м) и 6,9–6,0 тыс. кал. л. н. (стабилизация

уровня на высоте +9 абс. м). В оз. Леший, расположенном на изобазе гляциоизостатического поднятия, близкой к рассматриваемому участку, максимальный уровень литориновой трансгрессии фиксируется на высоте +7,6 абс. м [3]. Также предполагается флуктуация уровня моря около 3,0 тыс. кал. л. н. А. Лепланд [2] на основе детальных стратиграфических исследований южной части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности предполагает развитие трех фаз трансгрессии с максимумом на высоте +10 абс. м.

Наиболее важным выводом, который можно сделать, анализируя полученные геолого-геофизические данные, является то, что в максимальную фазу литориновой трансгрессии восточная часть Куземкинской аккумулятивной формы представляла собой участок суши, в то время как с запада и северо-востока она подвергалась интенсивному размыву.

Полученные результаты хорошо коррелируют с данными археологических исследований. Первые археологические памятники, установленные в регионе, соответствуют времени после максимальной фазы литориновой трансгрессии — около 7,2 тыс. кал. л. н. [14]. Предположения о возрасте Куземкинской палеоформы получили подтверждение благодаря археологическим исследованиям, в ходе которых были обнаружены новые памятники (Куземкино 1, 6, 7, 4 и 2). На основании типологии археологического материала памятники могут быть отнесены к наиболее ранней в регионе нарвской культуре (7,5–7,2 тыс. кал. л. н.), что позволяет рассматривать их как потенциально опорные источники для изучения раннего неолита региона [16].

Археологические памятники более позднего этапа развития (Comb Ware culture), датирующиеся временем 5,9–5,8 тыс. кал. л. н., располагаются вдоль берега Кудрукюльской палеокосы [16], сформировавшейся в позднем голоцене в результате размыва флювиогляциальных отложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предглинтовой низменности в районе п. Большое Куземкино по геоморфологическим признакам и данным дистанционного анализа была выделена Куземкинская палеоформа. Она имеет несвойственную современным прибрежным образованиям морфологию и не вписывается в общую картину возможного положения береговых линий послеледниковых палеоводоемов. Результаты выполненной геолого-геофизической интерпретации показывают, что ядром Куземкинской палеоформы является массив флювиогляциальных отложений. Особенности залегания флювиальных тел, прослеженных георадиолокационным профилированием, позволяют уверенно выделить несколько генераций приледниковых дельт типа «Джильберта», сформировавшихся на этапе отступания ледника от стадии Пандивере. Ограниченная область их формирования и гранулометрические характеристики опробованных отложений предполагают довольно быструю аккумуляцию осадочного материала в относительно мелководное (глубины около 20 м) ледниково-подпрудное озеро в результате поступления большого количества грубообломочного и песчаного вещества. Наличие мощной зоны флювиогляциальной аккумуляции, смежной с Куземкинской палеоформой, подтверждается данными непрерывного сейсмоакустического профилирования и вибробурения на прилегающем морском дне Нарвского залива. В голоцене переработка отложений флювиогляциальной дельты происходила водами Анцилового озера и Литоринового моря. Установленные две внутренние эрозионные границы, выделенные в комплексе прибрежных отложений со стороны Нарвского залива, предположительно связаны со значительными колебаниями уровня водоема в начале и середине голоцена (анциловая и литориновая трансгрессии). В максимальную фазу литориновой трансгрессии Куземкинская палеоформа не была полностью затоплена и представляла собой полуостров или остров. Относительно длительная стабилизация уровня моря зафиксирована на высоте +8,5 абс. м. В период после максимума литориновой трансгрессии Куземкинская палеоформа стала активно заселяться человеком, свидетельством чего является обнаружение здесь долговременных стоянок эпохи раннего неолита. В позднем голоцене произошла стабилизация уровня Балтийского моря, перевевание морских отложений привело к образованию мощного дюнного пояса и формированию крупнейшей в регионе прибрежной барьерной формы — Кудрукюльской палеокосы — и крупной лагунной системы, широко освоенной древним человеком.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / гл. ред. О. В. Петров. СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. 77 с.

2. Holocene sea-level changes and environmental history in the Narva area, north-eastern Estonia / A. Lepland [et al.] // Coastal Estonia: Recent advances in environmental and cultural history / Eds. T. Hackens [et al.]. Vol. 51. Rixensart : PACT Belgium, 1996. P. 313–358.

3. Mid-Holocene Littorina Sea transgressions based on stratigraphic studies in coastal lakes of NW Russia / P. Sandgren [et al.] // GFF. 2004. Vol. 126, no. 4. P. 363–380. https://doi.org/10.1080/11035890401264363.

4. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland / A. Rosentau [et al.] // Boreas. 2013. Vol. 42, no. 4. P. 912–931. https://doi.org/10.1111/bor.12004.

5. Tammekann A. The Baltic Glint. Part I. Morphography of the Glint. No. 24. Tartu, Estonia : Publicationes Instituti Universitatis Tartuensis Geographici, 1940. 103 p.

6. Kessel H. On the age of Holocene transgressions of the Baltic Sea in Estonia by palynological analysis // Baltica. 1963. Vol. 1. P. 101–115.

7. Кессел Х. Я., Раукас А. В. Прибрежные отложения Анцилового озера и Литоринового моря в Эстонии. Таллин : Изд-во «Валгус», 1967. 134 с.

8. Martin E., Schwartz M. Geomorphic evolution of the Narva-Luga coast, USSR // Shore Beach. 1991. Vol. 59, no. 2. P. 28–32.

9. Марков К. К. Развитие рельефа северо-западной части Ленинградской области. Вып. 1. М. ; Л. : Геол. изд-во, 1931. 26 с.

10. Самет Э. Ю., Шмаенок А. И. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Ильменская. Лист O-35-V.

Объяснительная записка / ред. В. А. Котлуков. М. : Изд-во «Недра», 1980. 106 с.

11. Логвиненко Н. В., Барков Л. К., Усенков С. М. Литология и литодинамика современных осадков восточной части Финского залива. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. 144 с.

12. Орвику К., Гранэ О. Современные берега // Геология Финского залива / под ред. А. Раукаса и Х. Хюваринена. Таллинн, 1992. С. 219–238.

13. Stone Age research in the Narva–Luga Klint Bay area in 2005–2014 / A. Kriiska [et al.] // New Sites, New Methods: Proc. of the Finn.-Russ. Archaeol. Symp., Helskinki, 19–21 Nov. 2016 / Eds. P. Uino, K. Nordqvist. Vol. 21. Helsinki : Waasa Graphics Oy, 2016. P. 101–115.

14. Late Mesolithic Narva stage in Estonia: Pottery, settlement types and chronology / A. Kriiska [et al.] // Estonian Journal of Archaeology. 2017. Vol. 21, no. 1. P. 52–86. https://doi.org/10.3176/arch.2017.1.03.

15. New data on the postglacial development of Narva-Luga Klint Bay (Eastern Gulf of Finland): Results of geoarchaeological research / D. V. Ryabchuk [et al.] // J Coast Conserv. 2019. Vol. 23. P. 727–746. https://doi.org/10.1007/s11852-018-0670-5.

16. Памятники каменного века российской части Нарвско-Лужского междуречья / отв. ред. Д. В. Герасимов. СПб. : МАЭ РАН, 2019. 199 с.

17. Геология четвертичных отложений северо-запада Европейской части СССР / под ред. Н. И. Апухтина, И. И. Краснова. Л. : Изд-во «Недра», 1967. 344 с.

18. Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л. : Изд-во «Недра», 1977. 408 с.

19. Рожков Г. Ф. Геологическая интерпретация гранулометрических параметров по данным дробного ситового анализа // Гранулометрический анализ в геологии. М., 1978. С. 5–25.

20. Котельников Б. Н. Реконструкция генезиса песков: гранулометрический состав и анализ эмпирических полигонов распределения / под ред. В. Н. Шванова. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1989. 132 с.

21. Durcan J. A., King G. E., Duller G. A. T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating // Quaternary Geochronology. 2015. Vol. 28. P. 54–61. https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.03.012.

22. Holocene evolution of the irregularly sinking Baltic Sea coast and the interactions of the sea-level rise, accumulation space and sediment supply / R. Lampe [et al.] // Bericht der Römisch-Germanischen Kommission / Eds. J. Harff, F. Luth. 2007. Bd. 88. S. 14–46.

23. Harff J., Meyer M. Coastlines of the Baltic Sea — zones of competition between geological processes and a changing climate: Examples from the Southern Baltic // The Baltic Sea basin. Central and Eastern European development studies (CEEDES) / Eds. J. Harff, S. Björck, P. Hoth. Berlin, Heidelberg : Springer, 2011. P. 149–164. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_7.

24. Interpreting monitoring data for shoreline and geohazard mapping / A. Colenutt [et al.] // Maritime Engineering. 2015. Vol. 168, no. 3. P. 118–124. https://doi.org/10.1680/jmaen.15.00018.

25. Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history / A. Miettinen // Boreas. 2007. Vol. 36, no. 4. P. 441–458. https://doi.org/10.1080/03009480701259284.

26. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.

27. Development of the coastal systems of the easternmost Gulf of Finland, and their links with Neolithic-Bronze and Iron Age settlements / D. Ryabchuk [et al.] // Geology and archaeology: Submerged landscapes of the continental shelf / Eds. J. Harff, G. Bailey, F. Luth. Vol. 411. London : Geological Society, 2016. P. 51–76. https://doi.org/10.1144/SP411.5.

28. Tercier P., Knight R., Jol H. A comparison of the correlation structure in GPR images of deltaic and barrier-spit depositional environments // Geophysics. 2000. Vol. 65, no. 4. P. 1142–1153. https://doi.org/10.1190/1.1444807.

29. Uścinowicz S. Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the Southern Baltic // Polish Geological Institute Special Papers. Vol. 10. Warszawa, 2003. P. 1–79.

30. Heinz J., Aigner Th. Hierarchical dynamic stratigraphy in various Quaternary gravel deposits, Rhine glacier area (SW Germany): Implications for hydrostratigraphy // Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.). 2003. Vol. 92. P. 923–938. https://doi.org/10.1007/s00531-003-0359-2.

31. Sokołowski R. J. Middle and Late Pleistocene fluvial to glacio-deltaic succession in the Mrzezino site, northern Poland // Quaternary geology of north-central Poland: From the Baltic coast to the LGM limit / Eds. R. Sokołowski, D. Moskalewicz. Gdynia, Poland : Wydział Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego, 2016. P. 35–52.

32. Upslope-migrating bedforms in a proglacial Sandur Delta: Cyclic steps from river-derived underflows? / P. Dietrich [et al.] // Journal of Sedimentary Research. 2016. Vol. 86, no. 1. P. 112–122. https://doi.org/10.2110/jsr.2016.4.

33. Gilbert G. K. The topographic features of lake shores // U. S. Geological survey. 5th annual report. Washington, 1885. P. 69–123.

34. Gobo K., Ghinassi M., Nemec W. Gilbert-type deltas recording short-term base-level changes: Delta-brink morphodynamics and related foreset facies // Sedimentology. 2015. Vol. 62 (7). P. 1923–1949. https://doi.org/10.1111/sed.12212.

35. Vassiljev J., Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2013. Vol. 85. P. 9–18. https://doi.org/10.17741/bgsf/85.1.001.

36. Late-glacial to Holocene aeolian deposition in northeastern Europe — the timing of sedimentation at the Iisaku site (NE Estonia) / E. Kalińska-Nartiša [et al.] // Quaternary International. 2015. Vol. 357. P. 70–81. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.039.

37. Molodkov A., Bitinas A. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania // Boreas. 2006. Vol. 35, no. 2. P. 244–254. https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2006.tb01154.x.

REFERENCES

1. Atlas of geological and environmental geological maps of the Russian area of the Baltic Sea / Ed. O. V. Petrov. St. Petersburg: VSEGEI; 2010. 77 p. (In Russ.).

2. Holocene sea-level changes and environmental history in the Narva area, north-eastern Estonia / A. Lepland [et al.]. *Coastal Estonia: Recent advances in environmental and cultural history* / Eds. T. Hackens [et al.]. Vol. 51. Rixensart: PACT Belgium; 1996. P. 313–358.

3. Mid-Holocene Littorina Sea transgressions based on stratigraphic studies in coastal lakes of NW Russia / P. Sandgren [et al.]. *GFF.* 2004; 126 (4): 363–380. https://doi.org/10.1080/11035890401264363.

4. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland / A. Rosentau [et al.]. *Boreas.* 2013; 42 (4): 912–931. https://doi.org/10.1111/bor.12004.

5. Tammekann A. The Baltic Glint. Part I. Morphography of the Glint. No. 24. Tartu, Estonia: Publicationes Instituti Universitatis Tartuensis Geographici; 1940. 103 p.

6. Kessel H. On the age of Holocene transgressions of the Baltic Sea in Estonia by palynological analysis. *Baltica*. 1963; 1: 101–115.

7. Kessel H. Ya., Raukas A. V. Coastal deposits of the Ancylus Lake and the Littorina Sea in Estonia. Tallinn: Publ. House Valgus; 1967. 134 p. (In Russ.).

8. Martin E., Schwartz M. Geomorphic evolution of the Narva-Luga coast, USSR. *Shore Beach.* 1991; 59 (2): 28–32.

9. Markov K. K. Development of the relief of the northwestern part of the Leningrad region. Vol. 1. Moscow; Leningrad: Geol. Publ. House; 1931. 26 p. (In Russ.).

10. Sammet E. Yu., Shmaenok A. I. Geological map of the USSR, scale of 1 : 200,000. Ilmen series. Sheet O-35-V. Explanatory note. Moscow: Publ. House "Nedra"; 1980. 106 p. (In Russ.).

11. Logvinenko N. V., Barkov L. K., Usenkov S. M. Lithology and lithodynamics of modern sediments in the eastern part of the Gulf of Finland. Leningrad: Leningrad State Univ. Publ. House; 1988. 144 p. (In Russ.).

12. Orviku K., Granö O. Contemporary coasts: Geology of the Gulf of Finland / Eds. A. Raukas, H. Hyuvärinen. Tallinn; 1992. P. 219–238. (In Russ.).

13. Stone Age research in the Narva-Luga Klint Bay area in 2005–2014 / A. Kriiska [et al.]. *New Sites, New Methods: Proc. of the Finn.-Russ. Archaeol. Symp., Helsinki, 19–21 Nov. 2014* / Eds. P. Uino, K. Nordqvist. Vol. 21. Helsinki: Waasa Graphics Oy; 2016. P. 101–115.

14. Late Mesolithic Narva stage in Estonia: Pottery, settlement types and chronology / A. Kriiska [et al.]. *Estonian Journal of Archaeology.* 2017; 21 (1): 52–86. https://doi.org/10.3176/arch.2017.1.03.

15. New data on the postglacial development of Narva-Luga Klint Bay (Eastern Gulf of Finland): Results of geoarchaeological research / D. V. Ryabchuk [et al.]. *J Coast Conserv.* 2019; 23: 727–746. https://doi.org/10.1007/s11852-018-0670-5.

16. Stone Age monuments of the Russian part of the Narva-Luga Interfluve / Publ. Ed. D. V. Gerasimov. St. Petersburg: MAE RAS; 2019. 199 p. (In Russ.).

17. Geology of Quaternary deposits of the northwest of the European part of the USSR / Eds. N. I. Apukhtin, I. I. Krasnov. Leningrad: Publ. House "Nedra"; 1967. 344 p. (In Russ.).

18. Romanovsky S. I. Sedimentological foundations of lithology. Leningrad: Publ. House "Nedra"; 1977. 408 p. (In Russ.).

19. Rozhkov G. F. Geological interpretation of granulometric parameters based on fractional sieve analysis. *Granulometric analysis in geology*. Moscow; 1978. P. 5–25. (In Russ.).

20. Kotelnikov B. N. Reconstruction of the genesis of sands: Granulometric composition and analysis of empirical distribution polygons / Ed. V. N. Shvanov. Leningrad: Leningrad Univ. Publ. House; 1989. 132 p. (In Russ.).

21. Durcan J. A., King G. E., Duller G. A. T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating. *Quaternary Geochronology*. 2015; 28: 54–61. https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.03.012.

22. Holocene evolution of the irregularly sinking Baltic Sea coast and the interactions of the sea-level rise, accumulation space and sediment supply / R. Lampet [et al.]. *Bericht der Römisch-Germanischen Kommission* / Eds. J. Harff, F. Luth. 2007; 88: 14–46.

23. Harff J., Meyer M. Coastlines of the Baltic Sea — zones of competition between geological processes and a changing climate: Examples from the Southern Baltic. *The Baltic Sea basin. Central and Eastern European development studies (CEEDES)* / Eds. J. Harff S, Björck, P. Hoth. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011. P. 149–164. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_7.

24. Interpreting monitoring data for shoreline and geohazard mapping / A. Colenutt [et al.]. *Maritime Engineering*. 2015; 168 (3): 118–124. https://doi.org/10.1680/jmaen.15.00018.

25. Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history / A. Miettinen [et al.]. *Boreas*. 2007; 36 (4): 441–458. https://doi.org/10.1080/03009480701259284.

26. Zenkovich V. P. Fundamentals of the theory of development of sea coasts. Moscow: Publ. House of the USSR Acad. of Sci.; 1962. 710 p. (In Russ.).

27. Development of the coastal systems of the easternmost Gulf of Finland, and their links with Neolithic-Bronze and Iron Age settlements / D. Ryabchuk [et al.]. *Geology and archaeology: Submerged landscapes of the continental shelf* / Eds. J. Harff, G. Bailey, F. Luth. Vol. 411. London: Geological Society; 2016. P. 51–76. https://doi.org/ 10.1144/SP411.5.

28. Tercier P., Knight R., Jol H. A comparison of the correlation structure in GPR images of deltaic and barrier-spit depositional environments. *Geophysics*. 2000; 65 (4): 1142–1153. https://doi.org/10.1190/1.1444807.

29. Uścinowicz S. Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the Southern Baltic. *Polish Geological Institute Special Papers*. Vol. 10. Warsaw; 2003. P. 1–79.

30. Heinz J., Aigner Th. Hierarchical dynamic stratigraphy in various Quaternary gravel deposits, Rhine glacier area (SW Germany): Implications for hydrostratigraphy. *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch)*. 2003; 92: 923–938. https://doi.org/10.1007/s00531-003-0359-2.

31. Sokołowski R. J. Middle and Late Pleistocene fluvial to glacio-deltaic succession in the Mrzezino site, northern Poland. *Quaternary geology of north-central Poland: From the Baltic coast to the LGM limit* / Eds. R. Sokołowski, D. Moskalewicz. Gdynia, Poland: Faculty of Oceanography and Geography, University of Gdańsk; 2016. P. 35–52.

32. Upslope-migrating bedforms in a proglacial Sandur Delta: Cyclic steps from river-derived underflows? / P. Dietrich [et al.]. *Journal of Sedimentary Research*. 2016; 86 (1): 112–122. https://doi.org/10.2110/jsr.2016.4.

33. Gilbert G. K. The topographic features of lake shores. *U. S. Geological survey. 5th annual report*. Washington; 1885. P. 69–123.

34. Gobo K., Ghinassi M., Nemec W. Gilbert-type deltas recording short-term base-level changes: Delta-brink morphodynamics and related foreset facies. *Sedimentology*. 2015; 62 (7): 1923–1949. https://doi.org/10.1111/sed.12212.

35. Vassiljev J., Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2013; 85: 9–18. https://doi.org/10.17741/bgsf/85.1.001.

36. Late-glacial to Holocene aeolian deposition in northeastern Europe — the timing of sedimentation at the Iisaku site (NE Estonia) / E. Kalińska-Nartiša [et al.]. *Quaternary International*. 2015; 357. P. 70–81. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.039.

37. Molodkov A., Bitinas A. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania. *Boreas*. 2006; 35 (2): 244–254. https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2006.tb01154.x.

Александр Юрьевич Сергеев

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

http://orcid.org/0000-0002-8035-6116
Scopus Author ID 57207727876
ResearcherID E-3962-2017
SPIN-код РИНЦ 3522-5253
AuthorID РИНЦ 881607
Alexander_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

Дарья Владимировна Рябчук

Кандидат геолого-минералогических наук,
начальник отдела

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

http://orcid.org/0000-0003-2266-8688
Scopus Author ID 23478132400
ResearcherID K-7372-2012
SPIN-код РИНЦ 6655-6905
AuthorID РИНЦ 155952
Daria_Ryabchuk@mail.ru

Ольга Анатольевна Ковалева

Заместитель генерального директора
по международной деятельности

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

https://orcid.org/0000-0002-9258-815X
Scopus Author ID 56708299700
ResearcherID AAN-5719-2020
SPIN-код РИНЦ 8278-1361
AuthorID РИНЦ 746529
Olga_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru

Леонид Михайлович Буданов

Кандидат географических наук, научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

https://orcid.org/0000-0003-2578-3374
Scopus Author ID 5 57195337053
ResearcherID E-3946-2017
SPIN-код РИНЦ 1026-3007
AuthorID РИНЦ 918305
Leonid_Budanov@karpinskyinstitute.ru

Владимир Александрович Жамойда

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

http://orcid.org/0000-0002-2390-0613
Scopus Author ID 6602868529
ResearcherID B-5957-2016
SPIN-код РИНЦ 5437-8545
AuthorID РИНЦ 155951
vladimir_zhamoida@karpinskyinstitute.ru

Alexander Yu. Sergeev

PhD (Geology and Mineralogy),
Senior Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

http://orcid.org/0000-0002-8035-6116
Scopus Author ID 57207727876
ResearcherID E-3962-2017
RSCI SPIN-code 3522-5253
RSCI AuthorID 881607
Alexander_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

Daria V. Ryabchuk

PhD (Geology and Mineralogy),
Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

http://orcid.org/0000-0003-2266-8688
Scopus Author ID 23478132400
ResearcherID K-7372-2012
RSCI SPIN-code 6655-6905
RSCI AuthorID 155952
Daria_Ryabchuk@mail.ru

Olga A. Kovaleva

Deputy General Director
for International Affairs

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

https://orcid.org/0000-0002-9258-815X
Scopus Author ID 56708299700
ResearcherID AAN-5719-2020
RSCI SPIN-code 8278-1361
RSCI AuthorID 746529
Olga_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru

Leonid M. Budanov

PhD (Geography), Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

https://orcid.org/0000-0003-2578-3374
Scopus Author ID 5 57195337053
ResearcherID E-3946-2017
RSCI SPIN-code 1026-3007
RSCI AuthorID 918305
Leonid_Budanov@karpinskyinstitute.ru

Vladimir A. Zhamoida

PhD (Geology and Mineralogy),
Leading Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

http://orcid.org/0000-0002-2390-0613
Scopus Author ID 6602868529
ResearcherID B-5957-2016
RSCI SPIN-code 5437-8545
RSCI AuthorID 155951
vladimir_zhamoida@karpinskyinstitute.ru

Игорь Александрович Неевин

И. о. руководителя Центра морской геологии,
литогеодинамики и минерагении осадочных бассейнов

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

https://orcid.org/0009-0002-4647-1054
Scopus Author ID 57194335576
ResearcherID E-4899-2017
SPIN-код РИНЦ 9345-5593
AuthorID РИНЦ 1068477
igor_neevin@karpinskyinstitute.ru

Igor A. Neevin

Acting Head, Center for Marine Geology,
Lithogeodynamics and Minerageny of Sedimentary Basins

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

https://orcid.org/0009-0002-4647-1054
Scopus Author ID 57194335576
ResearcherID E-4899-2017
RSCI SPIN-code 9345-5593
RSCI AuthorID 1068477
igor_neevin@karpinskyinstitute.ru

Дмитрий Владимирович Герасимов

Кандидат исторических наук,
научный сотрудник

Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого
(Кунсткамера) Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

https://orcid.org/0000-0002-3195-3715
Scopus Author ID 57057330300
ResearcherID AAD-3237-2019
SPIN-код РИНЦ 6476-7503
AuthorID РИНЦ 125663
dger@kunstkamera.ru

Dmitry V. Gerasimov

PhD (History),
Researcher

Peter the Great Museum
of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera),
Saint Petersburg, Russia

https://orcid.org/0000-0002-3195-3715
Scopus Author ID 57057330300
ResearcherID AAD-3237-2019
RSCI SPIN-code 6476-7503
RSCI AuthorID 125663
dger@kunstkamera.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 14.02.2025
Одобрена после рецензирования 26.03.2025
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 14.02.2025
Approved after reviewing 26.03.2025
Accepted for publication 20.06.2025