

УДК 551.89

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ УРОВНЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ЮЖНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ

© 2025 г. А.О. Аксенов^{1,2,3,*}, Д.Ю. Большинов¹, С.А. Правкин¹,
Г.Б. Лебедев¹, З.В. Пушина^{1,4}, П.С. Зубкова⁵

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского,
Санкт-Петербург, Россия

⁴ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия

⁵Нижне-Сви́рский государственный заповедник

* E-mail: aksenov2801@gmail.com

Поступила в редакцию 04.12.2024 г.

После доработки 28.04.2025 г.

Принята к публикации 13.05.2025 г.

В работе представлены результаты исследований, детализирующих колебания относительного уровня Ладожского озера в районе Южного Приладожья в период после завершения Ладожской трансгрессии. Полевые работы проведены на Стороженском полуострове, а также в Нижне-Сви́рском заповеднике. Методика работ включает в себя геоморфологическое профилирование, бурение торфяников, а также диатомовый анализ, люминесцентное датирование в инфракрасном спектре и радиоуглеродное датирование отобранных отложений. Установлено, что уровень Ладожского озера в максимальную стадию трансгрессии 2900 календарных лет назад (кал. л.н.) в этом районе достигал абсолютной высоты 16.5 м над уровнем моря (н.у.м.), что маркируется береговыми валами, расположенными на этой отметке. В интервале 2100–1200 кал. л.н. средний уровень стабилизировался на отметках 6–8 м. В результате сформировалась аккумулятивная терраса с большим количеством береговых валов. Предполагается, что 1200–600 кал. л.н. произошло малоамплитудное повышение уровня, в результате которого сформировался береговой бар на высоте 7.6 м.

Ключевые слова: Ладожское озеро, поздний голоцен, колебания уровня озера, Ладожская трансгрессия, береговые формы рельефа, ИКСЛ-датирование, радиоуглеродное датирование, диатомовый анализ

DOI: 10.31857/S0869607125030025, EDN: LTCRDM

Введение

Исследования изменений уровня Ладожского озера начались еще в конце XIX в. Финским геологом Ю. Айлио [33] была установлена трансгрессивная фаза развития водоема, независимая от уровня Балтийского моря. Впоследствии она была обозначена как “Ладожская трансгрессия”. Ее возраст был определен поздним голоценом (суббореалом) [22]. В дальнейшем советские, а затем и российские исследователи не раз подходили к изучению Ладожской трансгрессии. Основные дискуссии касались времени и уровня развития фазы максимального подъема воды (например, [15; 19; 20]).

В результате последующего снижения уровня озера в Южном Приладожье сформировалась полоса аккумулятивных озерных равнин и террас, окаймляющих берег озера (вторая терраса по К.К. Маркову [21]). Наиболее широкие участки (до 5–8 км) этих поверхностей приурочены к заливам озера (бухта Петрокрепость, Волховская, Свирская губы). Наблюдения ряда авторов позволяют предполагать, что при общем снижении уровня происходили осцилляции высоты береговой линии, что привело к формированию террасовых уровней. Так, Е.Г. Шеффером [27] отмечаются две террасы Ладожской трансгрессии, имеющие абсолютную высоту 18 и 9 м. Д.Б. Малаховский с соавторами в нижнем течении р. Оять устанавливает два уровня древних береговых линий — на 16 и 12 м [8, 20].

Таким образом, на сегодняшний день существуют разночтения в истории колебаний уровня воды Ладожского озера. Наше исследование призвано частично закрыть этот пробел. Целью нашего исследования является детализация хода колебаний относительного уровня воды в Южном Приладожье на основе новых данных о геоморфологии и возрасте береговых образований и материалов предыдущих исследований.

Характеристика района исследования

Объектом изучения выступает субаэральная часть юго-восточного побережья Ладожского озера. Сам водоем расположен в умеренном поясе Северного полушария, в подзоне южной тайги. Площадь озера равна 17765 км², объем воды — 845 км³ [39]. Его котловина расположена на стыке двух тектонических структур — Восточно-Европейской плиты и Балтийского кристаллического щита, что определяет контрастность рельефа дна и берегов [3]. Средний уровень озера составляет 4.7 м БС [17]. Многолетняя динамика уровня характеризуется разнопериодными циклами, долгопериодными (30 лет) и короткопериодными (5–11 лет). Амплитуды этих колебаний в среднем достигают 3 м. Современная скорость снижения уровня составляет 3.6 мм/год [25].

Формирование береговых аккумулятивных форм, исследуемых в данной работе, обусловлено совокупностью экзогенных факторов, основным из которых выступает прибойный поток, трансформирующийся из волнового движения при подходе к берегу. Средняя высота волны при средней скорости ветра колеблется от 0.8 до 1.1 м, средняя длина — 8–12 м. Во время штормов высота волн в южной части может повышаться до 5–8 м, в центральной и северной — до 4 м [17]. Амплитуды приливно-отливных, сгонно-нагонных колебаний, а также стоячих волн — сейш — минимальны [24]. К второстепенным процессам формирования берега относятся: эоловые процессы (дюнообразование), вдольбереговые течения, речной сток.

Методы

Для исследования было выбрано два участка на юго-восточном побережье Ладожского озера (рис. 1а, б). Первый участок расположен на юго-западном берегу Стороженского полуострова (рис. 1в). Этот район представляет собой береговую систему с хорошо выраженными валами, ориентированными параллельно береговой линии, а также широким развитием в основном мезо- и эвтрофных торфяников. Антропогенная нагрузка здесь минимальна, что обуславливает хорошую сохранность береговых форм рельефа. Кроме того, через этот участок проходит нулевая изолиния скоростей современных вертикальных движений земной поверхности [31], что позволяет предполагать незначительное воздействие тектонических

движений на положение береговых террас. Нами на этом участке было выполнено геоморфологическое профилирование, включающее в себя следующие этапы: нивелирование с геоморфологическим описанием, литологическое описание отложений береговых валов и торфяников, отбор образцов для люминесцентного датирования в инфракрасном спектре (ИКСЛ) и диатомового анализа. Нивелировка выполнялась реечным способом с помощью оптического нивелира GЕОBOX № 8-26 со стандартным квадратным отклонением ± 2.0 мм на 1 км. Проложены два профиля. Профиль 230530 заложен от уреза воды, привязка которого к Балтийской системе высот выполнена по данным Стороженского гидрологического поста Росгидромета. Профиль 230531 заложен от пункта государственной геодезической сети. Также на линии профиля выполнено бурение торфяника Большой Мох, расположенного между двумя береговыми валами. Из него были отобраны образцы для радиоуглеродного датирования и диатомового анализа.

Второй участок работ расположен в Нижне-Свирском государственном природном заповеднике (рис. 1г). Ранее на этом участке были получены несколько радиоуглеродных датировок почв ближайших к урезу озера береговых образований [32]. С целью соотнесения этих дат к высотам береговых форм было выполнено геоморфологическое профилирование (профиль 240524). Привязка к Балтийской системе высот выполнена по уровню воды в день измерения. Кроме того, на торфянике Гагарье был отобран керн отложений, из которых были отобраны образцы для диатомового и радиоуглеродного анализов (рис. 1б). Этот торфяник расположен в котловине, ограниченной с запада береговым баром. Геоморфологическое положение этого образования предполагает его развитие на месте палеолагуны Ладожского озера. Высота устья скважины не была определена инструментально, по данным цифровой модели FABDEM [36] составляет приблизительно 11.8 м.

ИКСЛ датирование зерен полевых шпатов (фракция 100–160 мкм) произведено в научно-исследовательской лаборатории геохронологии четвертичного периода “GeoAge” (Таллин, Эстония). Радиоуглеродный анализ органических образцов выполнен в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института Наук о Земле СПбГУ [5]. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы “OxCal 4.4.4” (калибровочная кривая “IntCal 20”) [40]. Расчет эквивалентной дозы выполнен с помощью протокола измерений “multiple-aliquot additive-dose” [Molodkov, Vitinas, 2006]. Образцы для изучения диатомовых водорослей были подготовлены по стандартной методике [13]. Препараты исследовали с помощью светового микроскопа Amplival C. Zeiss Jena.

Для реконструкции последних этапов изменений уровня озера были использованы радиоуглеродные даты из работ предыдущих исследователей. Даты, представленные в [28], получены по пойменным почвам и подстилающим торфам и болотным почвам, вскрытым в обнажениях и скважинах 10–11-метровой террасы реки Волхов. Даты в работе [32] получены по гумусовому веществу почв береговых валов.

Результаты

Геоморфологический профиль и хронология береговых образований Стороженского полуострова

На рис. 2 представлен геоморфологический профиль участка исследования. На профиле выделяется несколько поверхностей, имеющих разные морфологические

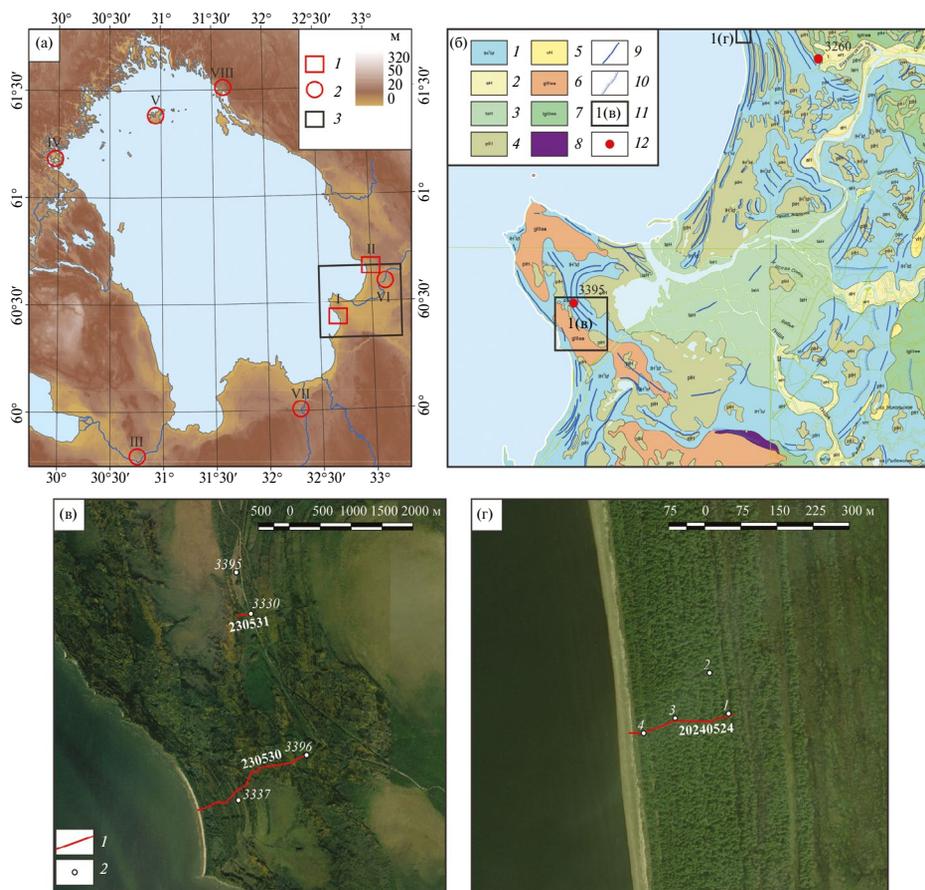


Рис. 1. (а) — Местоположение объектов, (1) изученных и (2) упомянутых в данной работе. 3 — участок, представленный на рис. 1 (б). Цифровая модель рельефа — FABDEM с пространственным разрешением 30 м [36]. I — Стороженский полуостров; II — Нижне-Сви́рский государственный природный заповедник; III — река Нева, разрез “Невский Пятачок”; IV — остров Килполансаари; V — остров Валаам; VI — река Сви́рь, урочище Калач; VII — река Волхов, Старая Ладога; VIII — залив Уксунлахти; (б) — фрагмент карты четвертичных образований масштаба 1 : 200 000 листов Р-36-XXXIII, Р-36-XXXIV, по [26]. 1 — озерные образования Ладожской трансгрессии; 2 — голоценовые аллювиальные образования; 3 — голоценовые озерно-аллювиальные образования; 4 — голоценовые болотные образования; 5 — голоценовые эоловые образования; 6 — ледниковые отложения осташковского горизонта верхнего неоплейстоцена; 7 — ледниково-озерные образования осташковского горизонта верхнего неоплейстоцена; 8 — дочетвертичные образования; 9 — береговые валы, бары, 10 — абразионные уступы; 11 — местоположение ключевых участков; 12 — местоположение скважин. (в) и (г) — карты фактического материала Стороженского и Нижне-Сви́рского участков исследования соответственно. Спутниковое изображение сервиса ArcGIS Imagery [44]. 1 — геоморфологические профили; 2 — местоположения точек пробоотбора

Fig. 1. (a) — Location of objects, (1) studied and (2) mentioned in this work. Digital Elevation Model — FABDEM with a resolution of 30 m [36]. 3 — area represented in Fig. 1 (b). I — Storozhensky Peninsula; II — Nizhnesvirsky Nature Reserve; III — Neva River, “Nevsky Pyatachok” section; IV — Kilpolansaari Island; V — Valaam Island; VI — Svir River, Kalach area; VII — Volkhov River, Staraya Ladoga; VIII — Uksunlahti Bay. (b) — fragment of the Quaternary deposits map at a scale of 1:200 000 sheets P-36-XXXIII, P-36-XXXIV, modified from [26]. 1 — lacustrine deposits of the Ladoga transgression; 2 — Holocene alluvial deposits; 3 — Holocene lacustrine-alluvial deposits; 4 — Holocene peat bog deposits; 5 — Holocene eolian deposits; 6 — glacial deposits of the Ostashkov horizon of the Upper Neopleistocene; 7 — glacial-lacustrine deposits of the Ostashkov horizon of the Upper Neopleistocene; 8 — pre-Quaternary deposits; 9 — beach ridges, bars; 10 — abrasion cliffs; 11 — Storozhensky key area, see Fig. 1 (c); 12 — location of the borehole in Gagarye peat bog, RP-3260. (c) and (d) — maps of the factual material of the Storozhensky key area and Nizhnesvirsky key area correspondingly. Satellite image from ArcGIS Imagery service [44]. 1 — geomorphological profiles; 2 — sampling points locations.

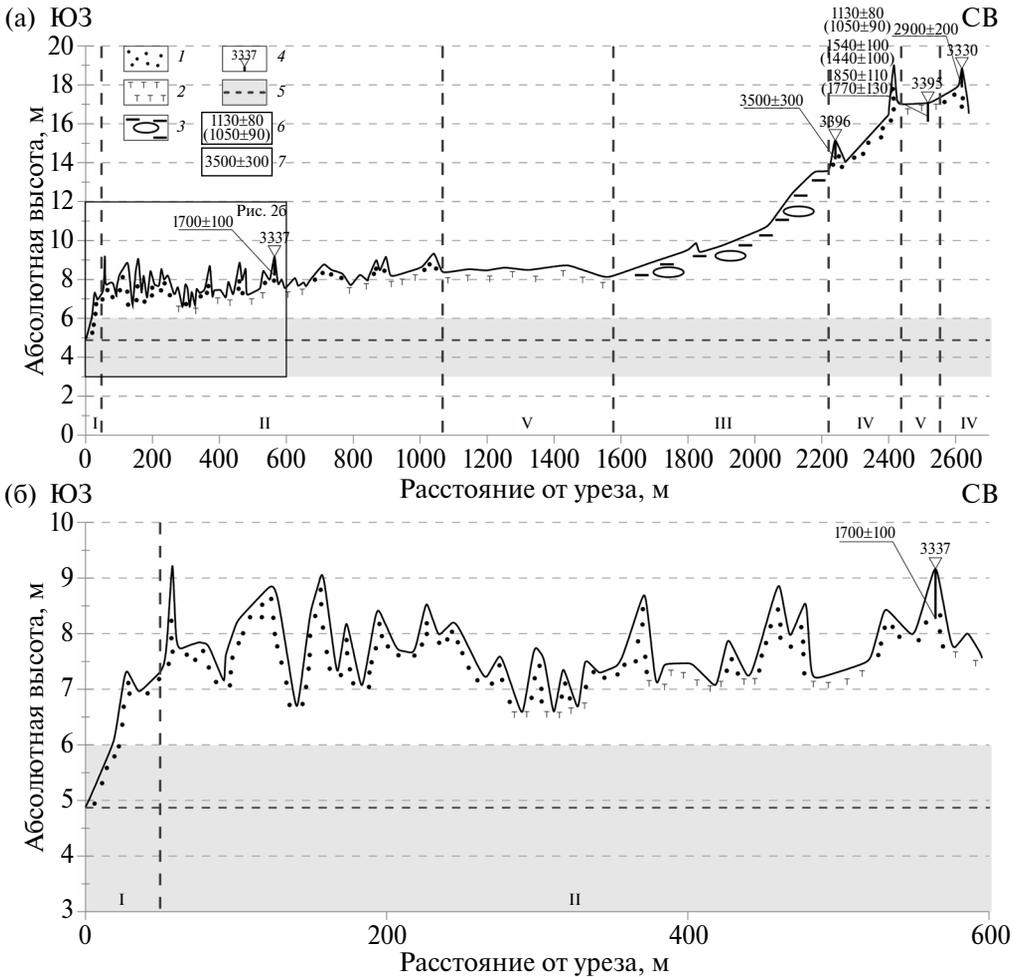


Рис. 2. (а) — геоморфологический профиль Storozhno участка исследования. (б) — увеличенный фрагмент профиля. Условные обозначения: 1 — пески; 2 — торфа; 3 — валунные суглинки; 4 — точки отбора образцов; 5 — уровень Ладожского озера во время проведения полевых исследований и амплитуда многолетних изменений по [25]; 6 — радиоуглеродный возраст, ^{14}C л.н., в скобках — кал. л.н.; 7 — ИКСЛ даты, кал. л.н. I — современный пляж и 7.3-метровая аккумулятивная поверхность; II — 6.5–8.1-метровая аккумулятивная поверхность; III — 8.1–13.2-метровая абразионная поверхность; IV — 13.2–16.5-метровая аккумулятивная поверхность; V — торфяники.

Fig. 2. (a) — geomorphological profile of the Storozhno research site. (b) — enlarged fragment of the profile. Legend: 1 — sand; 2 — peat; 3 — boulder clay; 4 — sampling sites; 5 — Lake Ladoga level during field studies and the amplitude of long-term changes [25]; 6 — radiocarbon datings, ^{14}C BP, cal. BP in parentheses; 7 — IRSL datings, cal BP. I — beach zone and 7.3-meter accumulative surface; II — 6.5–8.1-meter accumulative surface; III — 8.1–13.2-meter abrasional surface; IV — 13.2–16.5-meter accumulative surface; V — peat bogs.

характеристики и литологический состав слагающих их отложений. Первая поверхность представляет собой небольшую 15-метровую площадку, ограниченную снизу береговым валом пляжа полного профиля, а сверху — абразионным уступом, выполненном на проксимальном склоне вышележащего вала. Тыловой шов уступа находится на высоте 7.3 м. Уклон террасы составляет 1.3° .

Выше, на абсолютных высотах от 6.5 до 8.1 м, сформирована следующая аккумулятивная поверхность. На расстоянии от 50 до 270 м от уреза воды она осложнена береговыми валами, частично перевеянными эоловыми процессами. За счет этого амплитуда изменения высоты достигает 2.3 м. Далее валы не имеют признаков эоловой переработки, они хорошо выдержаны по простиранию, котловины выдувания и дюнные формы отсутствуют. В межваловых понижениях сформированы низинные торфяники. Относительная высота валов варьирует от 0.5 до 2 м. Нами было описано строение одного из валов (ТН-3337). Высота его подножия составляет 8.0 м, вершины — 9.2 м. Слагающие его отложения представлены мелкозернистыми и тонкозернистыми среднеокатанными кварцевыми песками с зёрнами полевошпатовых (5–10%) и слюдистых (5–10%) минералов. Возраст песков из основания вала, на глубине 90 см от поверхности, составил 1700 ± 100 кал. л.н. (RLQG 2812-024) (табл. 1). Ближе к тыловому шву террасы береговые валы исчезают, поверхность перекрывается мезотрофным торфяником, сформированным на высоте 8.1–8.7 м.

На наиболее высоких поверхностях Стороженского полуострова выделены 3 береговых вала. Нижний вал имеет высоту подножия 13.6 м, а вершины — 15.1 м. Его разрез (ТН-3396) имеет двучленное строение. Верхняя часть разреза (0–119 см от поверхности) представлена желтовато-серыми разнозернистыми хорошо сортированными кварц-полевошпатовыми песками с примесью зёрен гранатовых и слюдистых минералов. В нижней части (119–140 см) уже наблюдаются серые разнозернистые пески с небольшим содержанием алеврита и среднеразмерной гальки. Они характеризуются субгоризонтальной слоистостью, определяющейся по изменению цвета. ИКСЛ возраст песков с глубины 130 см составил 3500 ± 300 кал. л.н. (RLQG-2816-024). Диатомовый анализ отложений нижней толщи показал наличие сильно обедненного пресноводного диатомового комплекса из преобладающих планктонных *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen, *A. subarctica* (O. Müller) Haworth emend. Genkal, единичных бентосных *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cleve, *P. viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg.

На высоте 16.5 м сформированы два крупных вала с относительной высотой 2.5 и 2.4 м. Второй вал принадлежит к системе валов, обращенных в сторону восточного берега полуострова. Отложения вала представлены мелко- и среднезернистыми песками, переслаивающимися с гравием. ИКСЛ датирование образца песка с глубины 120 см (160 см от вершины вала) дало возраст 2900 ± 200 кал. л.н. (RLQG-2732-122). Створок диатомовых водорослей в отобранных песках обнаружено не было.

Таблица 1. Результаты ИК-ОСЛ датирования отложений береговых валов

Table 1. Results of IRSL dating of coastal ridge deposits

Номер образца	Лаб. №	Материал датирования	Глубина отбора от поверхности, см	Возраст, л.н.	U, ppm	Th, ppm	K, %
3330-1	RLQG 2732-122	Песок	120	2900 ± 200	0.65	2.45	1.87
3337-1	RLQG 2812-024	Песок	90	1700 ± 100	1.17	2.06	1.65
3396-1	RLQG 2816-024	Песок	130	3500 ± 300	0.73	2.61	1.70

*Геоморфологический профиль и хронология береговых образований
Нижне-Свирского заповедника*

Профиль, построенный на Нижне-Свирском участке, позволяет детально рассмотреть геоморфологическое строение ближних к Ладожскому озеру береговых образований. На профиле, проведенном от уреза воды, выделяются три поверхности. Первая, расположенная у уреза, представлена современным аккумулятивным пляжем полного профиля. Абсолютная высота тылового подножия вала составляет 6 м, его гребня — 6.5 м. Выше расположена 6.0–7.8-метровая поверхность. Она осложнена тремя береговыми валами. В понижениях сформированы низовые торфяники. Характерно, что, в сравнении с профилем Стороженского участка, ширина этой поверхности больше — около 32 м.

Следующая поверхность представляет собой трансгрессивный комплекс, состоящий из берегового бара и причлененного к нему вала. Его проксимальное подножие расположено на 6 м, дистальное — на 6.7 м. Подножие бара находится на высоте 7.6–7.8 м, его гребень — на 10 м. На то, что данный комплекс имеет трансгрессивное происхождение, указывает его морфология. Морфометрические параметры превышают параметры соседних валов, а его подножие находится на более высоких абсолютных высотах.

Дальше от берега сформирована поверхность на высотах 6.2–6.9 м. На ней наблюдаются береговые валы с низовыми торфами в межваловых понижениях. Профиль постепенно повышается по направлению от берега.

По подзолистым почвам этих образований получено несколько радиоуглеродных датировок [32]. По первому валу 5.6–6-метровой поверхности получен возраст 130 ± 80 кал. л.н. (70 ± 25 ^{14}C л.н.) (табл. 2). Возраст, определенный по почвам с гребня бара, составил 140 ± 80 кал. л.н. (135 ± 30 ^{14}C л.н.). На 6.2–6.9-метровой поверхности получены две даты: по ближнему к берегу валу возраст оценен в 510 ± 30 кал. л.н. (455 ± 25 ^{14}C л.н.), по дальнему — 1590 ± 25 ^{14}C л.н. (1470 ± 40 кал. л.н.). Если предположить, что возраст формирования почв соответствует возрасту завершения формирования береговой формы, то можно прийти к выводу, что формирование берегового бара завершилось около 140 кал. л.н., следовательно, в это время уровень отступил ниже 7.6 м. Как будет продемонстрировано ниже, такая хронология изменений уровня не подтверждается анализируемыми данными, следовательно, радиоуглеродная дата, полученная по почвам берегового бара, исключена из дальнейшей интерпретации.

*Литоология, состав диатомовых водорослей и радиоуглеродная хронология
отложений торфяников*

В межваловом понижении двух замыкающих валов изученной береговой системы расположен мезотрофный торфяник Большой Мох. Абсолютная высота поверхности торфяника по данным нивелирования составляет 17.1 м. В скважине ТН-3395 (рис. 4а) вскрыты следующие слои:

0.00–1.07 м — торф сфагновый;

1.07–1.16 м — постепенный переход от торфа к слоистой коричневой гиттии с зернами полимиктового песка;

1.16–1.44 м — коричневая гиттия с зернами песка; вниз по разрезу увеличивается количество песка, появляются обломки гравийной и галечной размерности.

В гиттии установлены многочисленные цисты пресноводных золотистых водорослей, пресноводные диатомовые водоросли — “единично” *Pinnularia microstauron*, единичные обломки створок *Aulacoseira islandica*, *Eunotia* sp., *Pinnularia* spp.

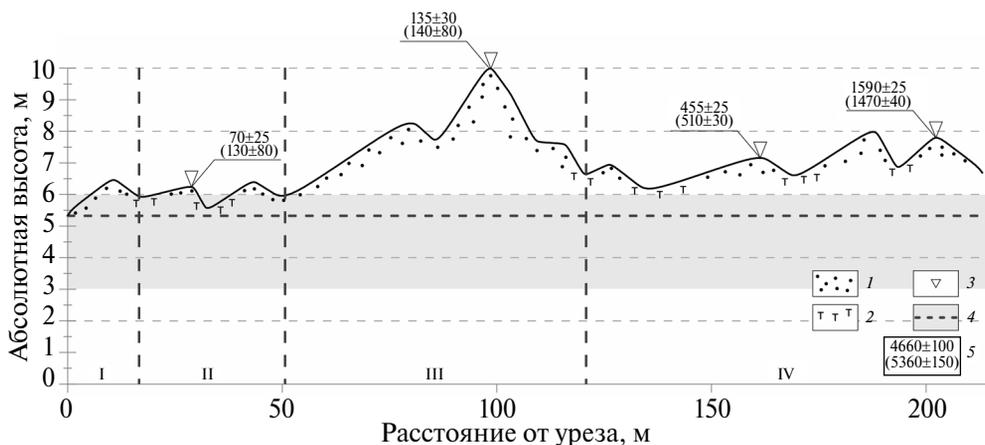


Рис. 3. Геоморфологический профиль Нижне-Свирского участка исследования. Условные обозначения: 1 — пески; 2 — торфа; 3 — точки отбора образцов; 4 — уровень Ладожского озера во время проведения полевых исследований и амплитуда многолетних изменений [25]; 5 — радиоуглеродный возраст, ¹⁴C л.н., в скобках — кал. л.н. I — современный пляж; II — 5.6–6-метровая аккумулятивная поверхность; III — аккумулятивный трансгрессивный комплекс, 6–10 м; IV — 6.2–6.9-метровая аккумулятивная поверхность.

Fig. 3. Geomorphological profile of the Nizhnesvirsky research site. Legend: 1 — sand; 2 — peat; 3 — sampling sites; 4 — Lake Ladoga level during field studies and the amplitude of long-term changes [25]; 5 — radiocarbon dates, ¹⁴C BP, cal. BP in parentheses; I — beach zone; II — 5.6–6-meter accumulative surface; III — transgressive complex; IV — 6.2–6.9-meter accumulative surface.

Таблица 2. Радиоуглеродные даты, полученные из работ предыдущих исследователей
Table 2. Radiocarbon dates from previous researches

Лаб. №	Материал датирования	Радиоуглеродный возраст, ¹⁴ C л.н.	Калиброванный возраст, кал. л.н.	Источник
Ле-6518	Торф	1260 ± 30	1200 ± 50	[27]
Ле-6519	Торф	1820 ± 60	1720 ± 80	[27]
Ле-6520	Торф	1480 ± 40	1360 ± 40	[27]
Ле-6521	Торф	1580 ± 80	1470 ± 80	[27]
Ле-6522	Болотная почва	2130 ± 120	2110 ± 160	[27]
Ле-6680	Пойменная почва	570 ± 70	580 ± 50	[27]
Ле-6681	Болотная почва	1280 ± 300	1220 ± 300	[27]
Ле-6875	Пойменная почва	650 ± 80	610 ± 50	[27]
Ле-6879	Болотная почва	850 ± 100	790 ± 90	[27]
-	Подзолистая почва	1590 ± 25	1470 ± 40	[31]
-	Подзолистая почва	445 ± 25	510 ± 30	[31]
-	Подзолистая почва	135 ± 30	140 ± 80	[31]
-	Подзолистая почва	70 ± 25	130 ± 80	[31]

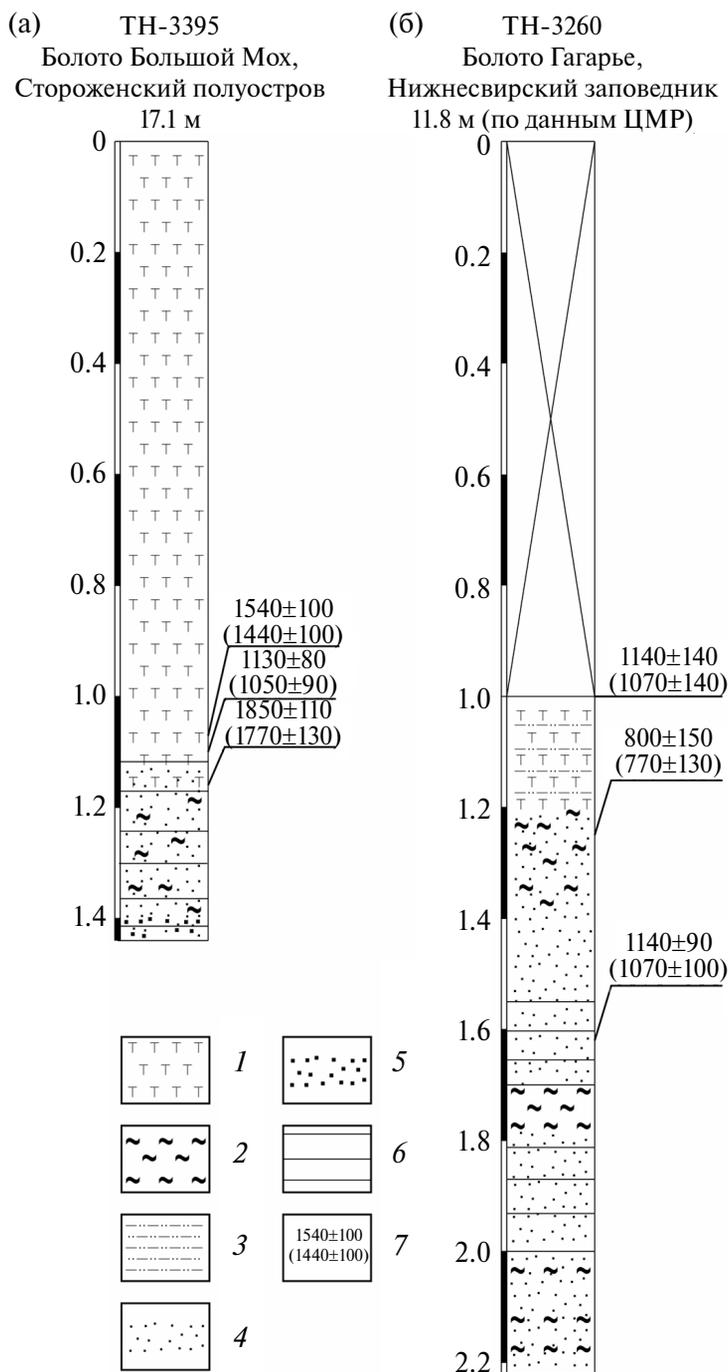


Рис. 4. Разрезы кернов ТН-3395 (а) и ТН-3260 (б). Условные обозначения: 1 — торф; 2 — гиттия; 3 — алеврит; 4 — песок; 5 — гравий и галька; 6 — субгоризонтальная слоистость; 7 — радиоуглеродный возраст, ^{14}C л.н., в скобках — кал. л.н.

Fig. 4. Core sections of TN-3395 (a) and TN-3260 (b). Legend: 1 — peat; 2 — gyttia; 3 — silt; 4 — sand; 5 — gravel and pebble; 6 — laminated bedding; 7 — radiocarbon dates, ^{14}C BP, cal. BP in parentheses.

На контакте гиттии с торфом в интервале 100–121 см получены три радиоуглеродные даты (табл. 3). Радиоуглеродный возраст, полученный по нижней части торфа, равен 1440 ± 100 кал. л.н. л.н. (1540 ± 100 ^{14}C , ЛУ-11170). Образец торфа с гиттией, отобранный ниже, датирован 1050 ± 90 кал. л.н. (1130 ± 80 ^{14}C л.н., ЛУ-11168). Возраст нижележащей гиттии равен 1770 ± 130 кал. л.н. (1850 ± 110 ^{14}C л.н., ЛУ-11169). Таким образом, имеет место возрастная инверсия. Скорость осадконакопления в торфяниках Ленинградской области на протяжении голоцена составляла от 0.5 до 1.0 мм/год [8]. Скорость осадконакопления с учетом только датировок ЛУ-11168 и ЛУ-11169 равна 0.086 мм/год, что значительно меньше среднего значения в регионе. Если считать верными даты ЛУ-11170 и ЛУ-11169, то этот показатель будет равен 0.27 мм/год, что является более правдоподобным значением. Следовательно, дата 1050 ± 90 кал. л.н. (1130 ± 80 ^{14}C л.н., ЛУ-11168) исключается из дальнейшей интерпретации.

Болото Гагарье расположено на побережье Свирской губы. С запада оно ограничено береговым баром, коррелируемым с максимальной стадией Ладожской трансгрессии [7, 33], с юга — заливом Кут-Лахта (старица реки Свирь). Здесь была заложена скважина ТН-3260 глубиной 2.22 м (рис. 4б). Высота устья не была определена, по данным топографических карт, она составляет около 11.8 м. Описание полученного керна представлено ниже (сверху вниз):

0.0–1.0 м — керна нет, водный слой;

1.0–1.2 м — торф низинный с небольшим количеством алеврита;

1.2–1.55 м — песок гиттиевый с растительными волокнами на глубинах 1.27–1.3 и 1.36–1.55 м;

1.55–1.7 м — песок, переслаивающийся с алевритовым песком серого цвета;

1.7–1.78 м — гиттия с песком;

1.78–2 м — песок мелкозернистый горизонтально-слоистый, кварцевый;

2–2.08 м — гиттия с песком;

2.08–2.22 м — песок мелкозернистый, желтовато-серый с тонкими коричневыми прослоями гиттии.

В песках в интервале 2.08–2.22 м обнаружен пресноводный планктонный комплекс диатомей, богатый численно и обедненный в видовом отношении

Таблица 3. Результаты радиоуглеродного датирования отложений торфяников Большой Мох (ТН-3395) и Гагарье (ТН-3260)

Table 3. Radiocarbon dating results of the peat-bogs Bolshoi Mokh (Site 3395) and Gagar'e (Site 3260) deposits

Номер образца	Лаб. №	Материал датирования	Глубина отбора от поверхности, см	Радиоуглеродный возраст, л.н.	Калиброванный возраст, кал. л.н.
3395-5	ЛУ-11170	Торф	105	1540 ± 100	1440 ± 100
3395-1	ЛУ-11168	Торф с гиттией	112	1130 ± 80	1050 ± 90
3395-2	ЛУ-11169	Гиттия	118	1850 ± 110	1770 ± 130
3260-2	ЛУ-9562	Торф	100	1140 ± 140	1070 ± 140
3260-3	ЛУ-9563	Растительные волокна	125	800 ± 150	770 ± 130
3260-5	Лу-9564	Растительные волокна	162	1140 ± 90	1070 ± 100

(всего 8 видов), а также немногочисленные (до 2% от общего состава установленных микрофоссилий) цисты золотистых водорослей. В диатомовом комплексе доминирует пресноводный планктонный вид *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen (66% от общего состава комплекса), также в диатомовом комплексе заметны пресноводные планктонные *Handmannia comta* (Ehrenberg) Kociolek et Khursevich et emend Genkal (6%), *Stephanodiscus rotula* (Kützing) Hendeby (4%) и *Cyclotella schumannii* (Grunow) Håkansson (2%). Комплекс диатомей отражает формирование озерных отложений, достаточно глубоководных (приоритет принадлежит типично планктонным формам), в относительно холодноводном палеоводоеме с щелочной активной реакцией среды. В песках с интервала 1.78–2 м диатомовый комплекс аналогичен установленному в нижней толще, только очень обедненный численно. В небольшом количестве установлен пресноводный планктонный вид *Aulacoseira islandica*. Также обнаружены единичные створки пресноводных видов *Stephanodiscus rotula*, *S. minutulus* (Kützing) Cleve et Möller, *Tetracyclus emarginatus* (Ehrenberg) W. Smith.

По керну получены три радиоуглеродных даты (см. табл. 3). Возраст кровли торфа составляет 1070 ± 140 кал. л.н. (1140 ± 140 ^{14}C л.н., ЛУ-9562). Из гиттии получен возраст 770 ± 130 кал. л.н. (800 ± 150 ^{14}C л.н., ЛУ-9563). По растительным волокнам из переслаивающихся песков в интервале 1.55–1.7 м получена дата 1140 ± 90 ^{14}C л.н. (1070 ± 100 кал. л.н., ЛУ-9564). Как и в случае с предыдущим керном, результаты датирования показывают возрастную инверсию. По результатам сравнения рассчитываемых скоростей роста торфяника со средней скоростью по Ленинградской области [8], исключена дата 1070 ± 140 кал. л.н. (1140 ± 140 ^{14}C л.н., ЛУ-9562).

Обсуждение

Впервые элементы геоморфологии Стороженского полуострова были описаны Ю. Айлио [33], который пытался определить уровень максимума Ладожской трансгрессии по высоте расположения береговых валов. Он выделил два вала в районе деревни Загубье, которые, однако, не были соотнесены с береговой линией максимальной стадии Ладожского озера за счет их низкого положения. Основание и вершина первого находятся на высотах 13 и 15.1 м соответственно, второго — на 10.6 и 12.1 м. В текущем исследовании установлено, что на полуострове сформированы береговые валы на более высоких отметках. Подножия двух наиболее высоко расположенных валов находятся на высоте 16.5 м. ИКСЛ-возраст, полученный по отложениям одного из этих валов, составляет 2900 ± 200 кал. л.н. Эта дата достаточно близка ко времени завершения Ладожской трансгрессии. Д.Б. Малаховский с соавторами [20, 37] по отложениям торфа в долине реки Невы датировал образование последней и завершение трансгрессии возрастом 3200–3000 кал. л.н. Датирование времени изоляции малых озер от Ладожского озера также позволяет оценить время прорыва р. Невы и завершения Ладожской трансгрессии около 3400–3200 кал. л.н. [41, 42]. Близкий возраст (3320 ± 40 кал. л.н.) получен и по результатам изучения донных отложений Финского залива, где зафиксирован перерыв в осадконакоплении, связанный с прорывом реки Невы [43]. Таким образом, можно прийти к выводу, что формирование самых высоких валов Стороженского полуострова связано с завершением Ладожской трансгрессии. Следовательно, подножия валов на высоте 16.5 м идентифицируются нами как древняя береговая линия, соответствующая максимальному подъему воды. Оценки максимального уровня трансгрессии в Южном Приладожье довольно значительно разнятся. Ю. Айлио [33] пришел к выводу, что уровень озера поднимался до 18–19 м. Прослеживая абразионные уступы Южного

Приладожья, Е.Г. Шеффер, а позднее и Б.И. Кошечкин пришли к схожим выводам [15, 27]. К.К. Марков, анализируя нивелировки Айлио, понизил оценку высоты трансгрессии в пределах 14–15 м [21, 22]. Некоторые авторы также придерживаются подобной точки зрения [20, 30]. При этом М.В. Шитов [29] допускает, что береговые линии в этом районе могут быть зафиксированы на 17 м.

Высотное положение вала, описанного Ю. Айлио [33], близко к валу, изученному в нашем исследовании (13.6 м, ТН-3396), что позволяет предположить, что речь идет об одном и том же образовании. Из этого образования был получен ИКСЛ-возраст 3500 ± 300 кал. л.н., который древнее, чем возраст вышележащего вала и, соответственно, завершения Ладожской трансгрессии. Объяснить данную инверсию можно, предположив, что эта дата получена из трансгрессивных песков, подстилающих вал. Описанный нами разрез состоит из двух толщ. Нижняя, из которой получена дата, представлена горизонтально-слоистыми песками. В ней встречены типичные “ладожские” диатомовые [1, 12], в то время как образцы, отобранные из других валов, не содержали диатомовых водорослей. Результаты исследования разрезов урочища Калач в долине реки Свирь показывают, что в интервале от 3750 до 3400 кал. л.н. уровень Ладожского озера находился в пределах 12–14.5 м [7], что можно соотнести с полученным нами результатом.

Взгляды о следовавших за Ладожской трансгрессией изменениях уровня также разнятся. Часть исследователей придерживаются точки зрения о резком сокращении уровня до современных отметок в интервале от 3000 до 2600 кал. л.н. [2, 34, 35, 37]. Другие выделяют еще одну трансгрессивную стадию около 2100 кал. л.н. [16, 18]. Геоморфологические данные не позволяют сделать вывод о поднятии уровня озера в этот период в юго-восточном Приладожье. В интервале высот от 16.5 до 8 м не наблюдается трансгрессивных береговых форм. Поверхность имеет абразионный характер. В настоящее время вдольбереговые течения к побережью Стороженского полуострова переносят осадки из Свирской губы [4]. Отсутствие аккумуляции на данном этапе, вероятно, связано с достаточно отдаленным расположением устья реки Свирь.

Ниже 8 м фиксируется субгоризонтальная терраса, сформированная в результате проградации береговых валов друг на друга при относительно стабильном уровне озера. Террасовые поверхности на близких высотных отметках достаточно широко распространены в Южном Приладожье [27]. По одному из береговых валов этой поверхности получен ИКСЛ возраст 1700 ± 100 кал. л.н. Возраст образования почвы четвертого датированного берегового вала Нижне-Свирского заповедника составляет 1470 ± 40 кал. л.н. [32]. В разрезах террасы реки Волхов на высотах около 10 м возраст погребенных торфяников и болотных почв оценивается в интервале от 2100 до 1200 кал. л.н. [29]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что 2100 кал. л.н. уровень озера опустился ниже 10 м, и в дальнейшем уровень был относительно стабильным, на что указывает профиль террасы, который постепенно понижается от 8 до 6 м. Этот вывод противоречит представлениям о резком снижении уровня 3000–2600 кал. л.н.

В это время на осушенных территориях происходит постепенная эвтрофикация малых озер, возникших в результате изоляции их котловин по мере снижения уровня Ладожского озера. Вскрытые в скважине ТН-3395 гиттии содержат в себе большое количество цист золотистых водорослей. Данный класс водорослей на севере России обитает преимущественно в малых слабокислых водоемах [9]. В то же время створки пресноводных диатомовых водорослей представлены единичными

экземплярами. Следовательно, описанные гиттии накапливались в изолированном бассейне, и полученные даты контакта между гиттиями и торфами 1800–1400 кал. л.н. указывают на время перехода от обстановок осадконакопления малых озер к болотным.

Геолого-геоморфологические данные позволяют предположить развитие в конце позднего голоцена малоамплитудной положительной осцилляции уровня Ладожского озера. Геоморфологические свидетельства заключаются в формировании на бровке 6–8-метровой террасы берегового бара. Данная форма наблюдается по всему побережью Ладожского озера. Возникновение баров обуславливается трансгрессивным налеганием субаквальных волновых осадков на отложения береговых валов вследствие поднятия уровня [6]. Высота проксимального подножия этого образования составляет 7.6 м.

Геоморфологические наблюдения подтверждаются и геологическими данными. Литостратиграфическое описание разреза скважины ТН-3260 показывает следующую последовательность снизу вверх: пески–гиттии–пески–гиттии–торф. Диатомовый состав нижних слоев песка указывает на их формирование в глубоководных олиготрофных условиях Ладожского озера [11]. Такие виды, как *Aulacoseira islandica* (самый характерный доминирующий вид), а также *A. Granulata*, *Cyclotella radiosa*, *C. schumannii*, *Stephanodiscus rotula*, *Tabellaria fenestrata*, входят в состав в качестве доминант и субдоминант комплексов Ладожского озера начиная с позднего неоплейстоцена [19]. Такая интерпретация позволяет сделать вывод о формировании этой толщи при относительно высоком уровне, то есть во время Ладожской трансгрессии. Следовательно, вышележащие пески представляют собой образования более поздней трансгрессивной фазы. Для них получена дата 1070 ± 100 кал. л.н., по контакту между песками и вышележащими гиттиями — 770 ± 130 кал. л.н. Высота устья скважины по данным ЦМР [36] составляет 11.8 м, высота залегания контакта верхних песков и гиттий — 10.6 м. Следовательно, можно было бы утверждать, что около 1100 кал. л.н. уровень Ладожского озера находился на высотах выше 10 м. Однако это противоречит археологическим данным, согласно которым первые поселения в районе Старой Ладоги возникли на высоте около 10 м в середине VII века (около 1300 кал. л.н.) [23]. Вероятно, верхняя толща песков сформировалась в результате подпора со стороны Ладожского озера и затопления низменных пространств залива Кут-Лахта.

Другим свидетельством подъема уровня являются данные о геологическом строении 10-метровой террасы в долине реки Волхов [28]. В ней вскрыты отложения пойм, которые перекрывают отложения погребенных торфов и болотных почв. Возраст пойменных отложений составляет около 600 кал. л.н., возраст торфов и болотных почв — 2100–1200 кал. л.н. (в исследовании отмечено, что дата болотной почвы 790 ± 90 кал. л.н., вероятно, омоложена [28, с. 13]) (см. табл. 2). Замещение вверх по разрезу отложений субаэральных обстановок пойменными фациями указывает на поднятие уровня р. Волхов, что в свою очередь может быть связано с увеличением уровня принимающего водоема.

Таким образом, временные рамки малоамплитудного подъема уровня могут быть определены в интервале от 1200 до 600 кал. л.н. с пиком около 1100 кал. л.н. Максимальный уровень подъема воды достигал 7.6 м, что определяется по высоте подножия берегового бара. Дальнейшее снижение уровня до современных отметок хорошо реконструируется по датам почв береговых валов. Почвы вала, расположенного на высоте 6.2 м, сформировались 510 ± 30 кал. л.н., вала на высоте 6 м — 130 ± 80 кал. л.н., следовательно, уровень находился примерно на одной высоте.

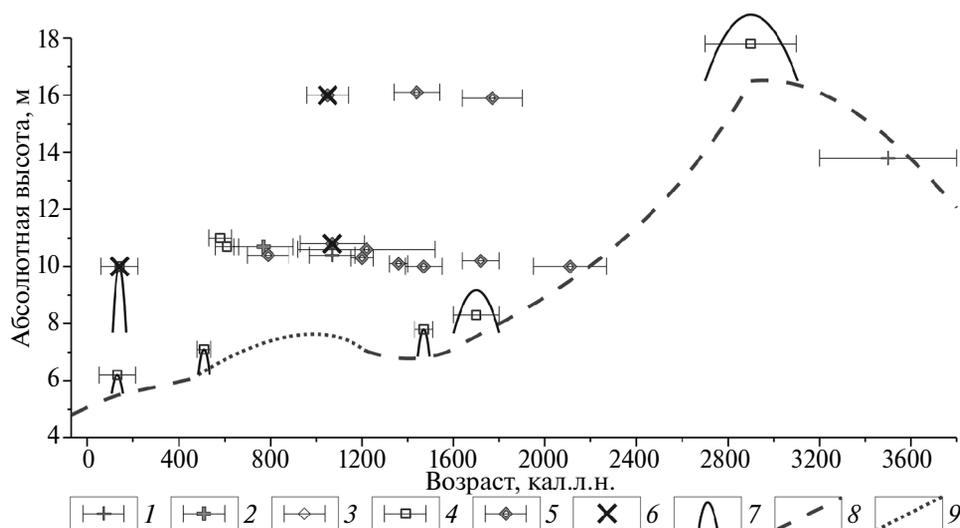


Рис. 5. Реконструкция изменений относительного уровня воды в Южном Приладожье. Условные обозначения: 1 — даты из отложений Ладожского озера; 2 — даты из отложений регрессивных контактов; 3 — даты из пойменных отложений; 4 — даты из отложений и почв береговых валов, привязанные к Балтийской системе высот; 5 — даты из отложений торфяников и изолированных озер; 6 — отклоненные даты; 7 — схематическое отображение датированных береговых форм рельефа: высота символа соответствует высоте формы, ширина — погрешности определения возраста; 8 — кривая колебаний уровня; 9 — предполагаемое поднятие уровня воды.

Fig. 5. Relative lake level fluctuations of Lake Ladoga. Legend: 1 — Lake Ladoga sediments datings; 2 — datings of regressive surface sediments; 3 — datings of floodplain sediments; 4 — datings of coastal bars sediments and soils, linked to Baltic Reference System; 5 — datings of peatbogs and isolated lakes sediments; 6 — excluded datings; 7 — schematic shapes of dated coastal landforms, where symbol size corresponds to landform height, symbol width corresponds to dating error; 8 — level fluctuations curve; 9 — suggested level uprise.

Учитывая, что скорость современного понижения уровня по инструментальным наблюдениям оценивается в 3.6 мм/год [25], можно допустить увеличение этого показателя за последние 100 лет.

Заключение

В результате анализа геолого-геоморфологических данных юго-восточного Приладожья определены позднеголоценовые изменения уровня Ладожского озера. Установлено, что береговая линия Ладожской трансгрессии в этом районе находится на 16.5 м н.у.м. Это не согласуется с данными предыдущих исследователей, которые определяли ее высоту на 14–15 м или 18–19 м абсолютной высоты.

Примерно 2900 кал. л.н. началось снижение уровня Ладожского озера. Геоморфологические данные указывают на постепенное равномерное понижение береговой линии, которое привело к формированию абразионной поверхности на высотах 8–14 м н.у.м. В интервале от 2100 до 1200 кал. л.н. уровень находился примерно на высотах 6–8 м н.у.м. В рельефе это отразилось в виде субгоризонтальной аккумулятивной поверхности с проградирующей последовательностью береговых валов.

Выдвинуто предположение о том, что в интервале 1200–600 кал. л.н. произошло незначительное поднятие уровня с амплитудой около 1.5 м. Это привело к формированию невысокого берегового бара на аккумулятивных берегах Ладожского озера. В дальнейшем уровень постепенно понижался до современного.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00273 “Оценка темпов снижения уровня Ладожского озера за последние 3000 лет по результатам абсолютного датирования береговых форм рельефа”, <https://rscf.ru/project/23-27-00273/>.

Список литературы

1. Абрамова С.А., Давыдова Н.Н., Квасов Д.Д. История Ладожского озера в голоцене по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов // История озер Северо-запада. Л.: Наука, 1967. С. 113–132.
2. Александровский А.Л., Арсланов Х.А., Давыдова Н.Н., Долуханов П.М., Зайцева Г.И., Кирпичников А.Н., Кузнецов Д.Д., Лавенто М., Лудикова А.В., Носов Е.Н., Савельева Л.А., Сапелко Т.В., Субетто Д.А. Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения северо-запада России // Доклады Академии наук. 2009. Т. 424, № 5. С. 682–687.
3. Амантов А.В., Спиридонов М.А. Геология Ладожского озера // Советская геология. 1989. № 4. С. 83–86.
4. Анохин В.М., Виноградова О.М., Пятов И.М., Дудакова Д.С. Вдольбереговое перемещение наносов в Ладожском озере по данным анализа тяжелой фракции песков в прибрежных отложениях // Известия Русского географического общества. 2023. Т. 155, вып. 3–4. С. 3–16.
5. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л.: Издательство Ленинградского государственного университета, 1987. 300 с.
6. Бадюкова Е.Н., Каплин П.А. Береговые бары // Геоморфология. 1999. № 3. С. 3–15.
7. Бобровникова Е.М., Шитов М.В. Свирская лагунно-баровая система (поздний голоцен, юго-восточное Приладожье) // Труды Кольского научного центра. 2019. Т. 6, вып. 1. С. 42–51.
8. Верзилин Н.Н., Клейменова Г.И. Особенности биогенного осадконакопления в голоцене на территории Ленинградской области // Известия Русского географического общества. 2005. Т. 137, вып. 1. С. 35–46.
9. Волошко Л.Н. Золотистые водоросли севера: экологические условия обитания // Астраханский вестник экологического образования. 2017. Т. 42, № 4. С. 45–56.
10. Геоморфология и четвертичные отложения северо-запада европейской части СССР (Ленинградская, Псковская и Новгородская области) / под ред. Д.Б. Малаховского, К.К. Маркова Л.: Наука, 1969. 256 с.
11. Давыдова Н.Н. Диатомовая флора голоценовых отложений Ладожского озера М.: Наука, 1968. С. 97–102.
12. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли — индикаторы экологических условий водоемов в голоцене, Л.: Наука, 1985. 244 с.
13. Диатомовые водоросли (ископаемые и современные). Т. 1 / под ред. А.И. Прошкиной-Лавренко. Л.: Наука, 1974. 403 с.
14. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия: История озер СССР) / под ред. Д.Д. Квасова, Г.Г. Мартинсона, А.В. Раукас. Л.: Наука, 1989. 280 с.
15. Кошечкин Б.И., Адаменко И.В., Арсланов Х.А., Джиноридзе Р.Н., Хомутова В.И. Береговые образования голоценовой трансгрессии в Южном Приладожье // Известия Русского географического общества. 1992. Т. 124, вып. 6. С. 541–547.
16. Кошечкин Б.И., Экман И.М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб.: РГО, 1993. С. 49–60.

17. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья [Атлас] / под ред. В.А. Румянцева, СПб.: Нестор-История, 2015. 200 с.
18. Лак Г.Ц., Эрман И.М. О трансгрессиях Ладожского озера в голоцене // Доклады Академии Наук СССР. 1975. Т. 222, № 1. С. 175–178.
19. Лудикова А.В. Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа // Известия Русского географического общества. 2015. Т. 147, вып. 4. С. 38–51.
20. Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н., Козырева М.Г. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб.: РГО, 1993. С. 61–73.
21. Марков К.К. Последледниковая история юго-восточного побережья Ладожского озера // Вопросы географии. 1949. № 12. С. 213–220.
22. Марков К.К., Порецкий В.С., Шляпина Е.В. О колебаниях уровня Ладожского и Онежского озер в последледниковое время // Труды комиссии по изучению Четвертичного периода. 1934. Т. 4, вып. 1. С. 71–129.
23. Платонова Н.И., Григорьева Н.В., Миляев П.А., Курбатов А.В., Лапшин В.А., Лалазаров С.В., Александровский А.Л., Кулькова М.А., Бутова Н.А., Пономаренко Е.В., Прайс Т.Д., Скрипкин В.В., Шитов М.В., Сениченкова Т.Б. Новое в археологии Старой Ладogi: материалы и исследования. СПб.: ИИМК РАН, 2022. 732 с.
24. Распопов И.М., Вилинбахов В.Б., Горелова Э.М., Кириллова В.А. Ладога. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1969. 190 с.
25. Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / под ред. С.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева, М.: РАН, 2021. 640 с.
26. Шведов С.Д. Отчет о результатах работ по объекту “ГДП-200 листов Р-36-XXXIII, XXXIV (Южно-Ладожская площадь)”. СПб.: АО “ПКГЭ”, 2015.
27. Шеффер Е.Г. Некоторые черты развития южного Приладожья в голоцене // Вестник Ленинградского университета. Геология. География. 1967. Т. 12, вып. 2. С. 159–162.
28. Шитов М.В., Бискэ Ю.С., Плешивцева Э.С., Мараков А.Я. Позднеголоценовые изменения уровня реки Волхов в районе Старой Ладogi // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2005. вып. 4. С. 3–16.
29. Шитов М.В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб.: СПбГУ, 2007. 17 с.
30. Шитов М.В., Багдасарян Т.Э., Бобровникова Е.М., Максимов Ф.Е., Потапович А.А., Сумарева И.В. Голоценовая история Ладожского озера // Мат-лы V всероссийской конф. с международным участием “Динамика экосистем в голоцене”. М.: Медиа-ПРЕСС, 2019. С. 348–351.
31. Эрман С.В. Современные вертикальные движения земной поверхности на Карельском перешейке и близлежащих территориях // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2006. Т. 81, вып. 6. С. 23–32.
32. Abakumov E.V., Polyakov V.I., Orlova K.S. Podzol development on different aged coastal bars of Lake Ladoga // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2019. No. 48. P. 6–31. <https://doi.org/10.17223/19988591/48/1>
33. Ailio J. Geographische entwicklung des Ladogasees in postglazialer zeit und ihre beziehung zur steinzeitlichen besiedelung // Fennia. 1915. Vol. 45. 157 p.
34. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze E.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia // Quaternary International. 2009. Vol. 203, No. 1–2. P. 33–51. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09020226>

35. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements // *Quaternary International*. 2010. Vol. 220, No. 1–2. P. 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.022>
36. Hawker L., Neal J. FABDEM V1-0, 2021. <https://doi.org/10.5523/bris.25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>
37. Malachovskij D.B., Delusin I.V., Gej N.A., Dginoridze R.N. Evidence from the Neva River Valley, Russia, of the Holocene history of Lake Ladoga // *Fennia*. 1996. Vol. 174(1). P. 113–123.
38. Molodkov A., Bitinas A. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania // *Boreas*. 2006. Vol. 35(2). P. 244–254. <https://doi.org/10.1080/03009480600584915>
39. Naumenko M.A. Lake Ladoga digital bathymetric models: development approaches and insight for limnological investigations // *Limnological Review*. 2020. Vol. 20(2). P. 65–80. <https://doi.org/10.2478/limre-2020-0008>
40. Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern HEMISPHERE RADIO-CARBON AGE CALIBRATION CURVE (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62(4). P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
41. Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // *Quaternary International*. 2012. Vol. 260. P. 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.005>
42. Saarnisto M., Grönlund T. Shoreline displacement of Lake Ladoga — new data from Kilpolansaari // *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 322. P. 205–215. <https://doi.org/10.1007/BF00031829>
43. Virtasalo J.J., Ryabchuk D., Kotilainen A.T., Zhamoida V., Grigoriev A., Sivkov V., Dorokhova E. Middle Holocene to present sedimentary environment in the easternmost Gulf of Finland (Baltic Sea) and the birth of the Neva River // *Marine Geology*. 2014. Vol. 350. P. 84–96.
44. World Imagery [Электронный ресурс]. URL: https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer (дата обращения: 25.10.2024).

New Insight into the Late Holocene Lake-Level Changes of Lake Ladoga in the Southern Ladoga Region

**A.O. Aksenov^{1,2,3,*}, D.Yu. Bolshiyarov¹, S.A. Pravkin¹,
G.B. Lebedev¹, Z.V. Pushina^{1,4}, P.S. Zubkova⁵**

¹*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

²*St Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

³*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

⁴*FSBI “VNIIOkeangeologia”, Saint-Petersburg, Russia*

⁵*Nizhnesvirsky Nature Reserve, Lodeynoe Pole, Saint-Petersburg, Russia*

*E-mail: aksenov2801@gmail.com

Received 04.12.2024

Revised 28.04.2025

Accepted 13.05.2025

This study presents the results of research detailing the fluctuations of the Lake Ladoga relative water-level in the southern Ladoga region during the period following the conclusion of the Ladoga transgression. Fieldwork was conducted on the Storozhno Peninsula and in the Nizhnesvirsky Nature Reserve. The methodology includes geomorphological profiling, peat coring, diatom analysis, infrared stimulated luminescence, and radiocarbon dating of collected sediments. It was established that

during the maximum stage of the transgression, 2900 cal. yrs BP, the lake's level in this area reached an absolute elevation of 16.5 meters, marked by beach ridges located at this height. Between 2100 and 1200 cal. yrs BP, the average level stabilized at 6–8 meters, resulting in the formation of an accumulative strandplain with numerous beach ridges. It is hypothesized that between 1200 and 500 cal. yrs BP, a low-amplitude rise in the lake's level occurred, leading to the formation of a barrier ridge at the 7.6 m altitude.

Keywords: Lake Ladoga, Late Holocene, level fluctuations, Ladoga transgression, coastal landforms, IR-OSL dating, radiocarbon dating, diatom analysis

References

1. Abramova S.A., Davydova N.N., Kvasov D.D. Istorija Ladozhskogo ozera v golocene po dannym sporovo-pyl'cevogo i diatomovogo analizov // Istorija ozer Severo-zapada. L.: Nauka, 1967. S. 113–132.
2. Aleksandrovskii A.L., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Doluchanov P.M., Zaitseva G.I., Kirpichnikov A.N., Kuznetsov D.D., Lavento M., Ludikova A.V., Nosov E.N., Savel'eva L.A., Sapelko T.V., Subetto D.A. New data on the Ladoga transgression, the Neva River formation, and agricultural development of northwestern Russia // Doklady Earth Sciences. 2009. Vol. 425, N 2. P. 274–278. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09020226>
3. Amantov A.V., Spiridonov M.A. Geologija Ladozhskogo ozera // Sovetskaja geologija. 1989. № 4. S. 83–86.
4. Anohin V.M., Vinogradova O.M., Pjatov I.M., Dudakova D.S. Vdol'beregovoe peremeshhenie nanosov v Ladozhskom ozere po dannym analiza tjazhelej frakcii peskov v pribrezhnyh otlozhenijah // Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2023. T. 155, vyp. 3–4. S. 3–16.
5. Arslanov H.A. Radiouglerod: geohimija i geohronologija. L.: Izdatel'stvo Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta, 1987. 300 s.
6. Badjukova E.N., Kaplin P.A. Beregovye bary // Geomorfologija. 1999. № 3. S. 3–15.
7. Bobrovnikova E.M., Shitov M.V. Svirskaja lagunno-barovaja sistema (pozdnij golocen, jugo-vostochnoe Priladozh'e) // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra. 2019. T. 6, vyp. 1. S. 42–51.
8. Verzilin N.N., Klejmenova G.I. Osobennosti biogennogo osadkonakoplenija v golocene na territorii Leningradskoj oblasti // Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2005. T. 137, vyp. 1. S. 35–46.
9. Voloshko L.N. Zolotistye vodorosli severa: jekologicheskie uslovija obitanija // Astrahanskij vestnik jekologicheskogo obrazovanija. 2017. T. 42, № 4. S. 45–56.
10. Geomorfologija i chetvertichnye otlozhenija severo-zapada evropejskoj chasti SSSR (Leningradskaja, Pskovskaja i Novgorodskaja oblasti) / pod red. D.B. Malahovskogo, K.K. Markova L.: Nauka, 1969. 256 s.
11. Davydova N.N. Diatomovaja flora golocenovyh otlozhenij Ladozhskogo ozera M.: Nauka, 1968. S. 97–102.
12. Davydova N.N. Diatomovye vodorosli — indikatory jekologicheskikh uslovij vodoemov v golocene, L.: Nauka, 1985. 244 s.
13. Diatomovye vodorosli (iskopaemye i sovremennye). T. 1 / pod red. A.I. Proshkinoj-Lavrenko. L.: Nauka, 1974. 403 s.
14. Istorija Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Bajkala i Hanki (Serija: Istorija ozer SSSR) / pod red. D.D. Kvasova, G.G. Martinsona, A.V. Raukas. L.: Nauka, 1989. 280 s.
15. Koshechkin B.I., Adamenko I.V., Arslanov H.A., Dzhinoridze R.N., Homutova V.I. Beregovye obrazovanija golocenovej transgressii v Juzhnom Priladozh'e // Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva. 1992. T. 124, vyp. 6. S. 541–547.

16. Koshechkin B.I., Jekman I.M. Golocenovye transgressii Ladozhskogo ozera // *Jevoljucija prirodnyh obstanovok i sovremennoe sostojanie geosistemy Ladozhskogo ozera*. SPb: RGO, 1993. S. 49–60.
17. Ladozhskoe ozero i dostoprimechatel'nosti ego poberezh'ja [Atlas] / pod red. V.A. Rumjanceva, SPb: Nestor-Istorija, 2015. 200 s.
18. Lak G.C., Jekman I.M. O transgressijah Ladozhskogo ozera v golocene // *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1975. T. 222, № 1. S. 175–178.
19. Ludikova A.V. Svidetel'stva srednegolocenovoj transgressii Ladozhskogo ozera po dannym diatomovogo analiza // *Izvestija Russkogo geograficheskogo obshhestva*. 2015. T. 147, vyp. 4. S. 38–51.
20. Malahovskij D.B., Arslanov H.A., Gej N.A., Dzhinoridze R.N., Kozyreva M.G. Novye dannye po golocenovoj istorii Ladozhskogo ozera // *Jevoljucija prirodnyh obstanovok i sovremennoe sostojanie geosistemy Ladozhskogo ozera*. SPb: RGO, 1993. S. 61–73.
21. Markov K.K. Poslednikovaja istorija jugo-vostochnogo poberezh'ja Ladozhskogo ozera // *Voprosy geografii*. 1949. № 12. S. 213–220.
22. Markov K.K., Poreckij V.S., Shljapina E.V. O kolebanijah urovnja Ladozhskogo i Onezhskogo ozer v poslednikovoe vremja // *Trudy komissii po izucheniju Chetvertichnogo perioda*. 1934. T. 4, vyp. 1. S. 71–129.
23. Platonova N.I., Grigor'eva N.V., Miljaev P.A., Kurbatov A.V., Lapshin V.A., Lalazarov S.V., Aleksandrovskij A.L., Kul'kova M.A., Burova N.A., Ponomarenko E.V., Prajs T.D., Skripkin V.V., Shitov M.V., Senichenkova T.B. Novoe v arheologii Staroj Ladogi: materialy i issledovanija. SPb.: IIMK RAN, 2022. 732 s.
24. Raspopov I.M., Vilinbahov V.B., Gorelova Je.M., Kirillova V.A. Ladoga. Petrozavodsk: Karel'skoe knizhnoe izd-vo, 1969. 190 s.
25. Sovremennoe sostojanie i problemy antropogennoj transformacii jekosistemy Ladozhskogo ozera v uslovijah izmenjajushhegosja klimata / pod red. S.A. Kondrat'eva, Sh.R. Pozdnjakova, V.A. Rumjanceva, M.: RAN, 2021. 640 s.
26. Shvedov S.D. Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu "GDP-200 listov P-36-XXXIII, XXXIV (Juzhno-Ladozhskaja ploshhad)". SPb: AO "PKGJe", 2015.
27. Sheffer E.G. Nekotorye cherty razvitija juzhnogo Priladozh'ja v golocene // *Vestnik Leningradskogo universiteta. Geologija. Geografija*. 1967. T. 12, vyp. 2. S. 159–162.
28. Shitov M.V., Biskje Ju.S., Pleshivceva Je.S., Marakov A.Ja. Pozdnegolocenovye izmenenija urovnja reki Volhov v rajone Staroj Ladogi // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Serija 7. Geologija. Geografija*. 2005. vyp. 4. S. 3–16.
29. Shitov M. V. Golocenovye transgressii Ladozhskogo ozera. Avtoref. dis. ... kand. geol.-miner. nauk. SPb.: SPbGU, 2007. 17 s.
30. Shitov M.V., Bagdasarjan T.Je., Bobrovnikova E.M., Maksimov F.E., Potapovich A.A., Sumareva I.V. Golocenovaja istorija Ladozhskogo ozera // *Mat-ly V sserossijskoj konf. s mezhdunarodnym uchastiem "Dinamika jekosistem v golocene"*. M.: Media-PRESS, 2019. S. 348–351.
31. Jenman S.V. Sovremennye vertikal'nye dvizhenija zemnoj poverhnosti na Karel'skom pereshejke i blizlezhashhij territorijah // *Bjulleten' Moskovskogo obshhestva ispytatelej prirody. Otdel geologicheskij*. 2006. T. 81, vyp. 6. S. 23–32.
32. Abakumov E.V., Polyakov V.I., Orlova K.S. Podzol development on different aged coastal bars of Lake Ladoga // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2019. No. 48. P. 6–31. <https://doi.org/10.17223/19988591/48/1>
33. Ailio J. Geographische entwicklung des Ladogasees in postglazialer zeit und ihre beziehung zur steinzeitlichen besiedelung // *Fennia*. 1915. Vol. 45. 157 p.
34. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze E.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. The Baltic Sea and Ladoga

Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia // *Quaternary International*. 2009. Vol. 203, No. 1–2. P. 33–51. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09020226>

35. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements // *Quaternary International*. 2010. Vol. 220, No. 1–2. P. 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.022>

36. Hawker L., Neal J. FABDEM V1-0, 2021. <https://doi.org/10.5523/bris.25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>

37. Malachovskij D.B., Delusin I.V., Gej N.A., Dginoridze R.N. Evidence from the Neva River Valley, Russia, of the Holocene history of Lake Ladoga // *Fennia*. 1996. Vol. 174(1). P. 113–123.

38. Molodkov A., Bitinas A. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania // *Boreas*. 2006. Vol. 35(2). P. 244–254. <https://doi.org/10.1080/03009480600584915>

39. Naumenko M.A. Lake Ladoga Digital Bathymetric Models: Development Approaches and Insight for Limnological Investigations // *Limnological Review*. 2020. Vol. 20(2). P. 65–80. <https://doi.org/10.2478/limre-2020-0008>

40. Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62(4). P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>

41. Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // *Quaternary International*. 2012. Vol. 260. P. 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.005>

42. Saarnisto M., Grönlund T. Shoreline displacement of Lake Ladoga — new data from Kilpolansaari // *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 322. P. 205–215. <https://doi.org/10.1007/BF00031829>

43. Virtasalo J.J., Ryabchuk D., Kotilainen A.T., Zhamoida V., Grigoriev A., Sivkov V., Dorokhova E. Middle Holocene to present sedimentary environment in the easternmost Gulf of Finland (Baltic Sea) and the birth of the Neva River // *Marine Geology*. 2014. Vol. 350. P. 84–96.

44. World Imagery [Electronic data]. URL: https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer (access date: 25.10.2024).