

## ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ GEOMORPHOLOGY AND EVOLUTIONARY GEOGRAPHY

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-32-45>

УДК 551.89



### Голоценовые колебания относительного уровня Ладожского озера в районе Тайпаловского залива

А.О. Аксенов<sup>1,2,3✉</sup>, Д.Ю. Большианов<sup>1</sup>, С.А. Правкин<sup>1</sup>, Г.Б. Лебедев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

✉ [aoaksenov@aari.ru](mailto:aoaksenov@aari.ru)

ID АОА, 0000-0002-4950-4571; ДЮБ, 0000-0001-6974-3150; САП, 0000-0001-8521-7708

**Аннотация.** В течение голоцена уровень Ладожского озера неоднократно менялся. Вследствие этого побережье водоема характеризуется наличием аккумулятивных форм рельефа, образующих береговую морфосистему. Исследование этих палеомаркеров позволяет детализировать историю развития озера. В статье представлены результаты исследования участка побережья Ладожского озера в районе Тайпаловского залива. В работе представлены как новые данные, полученные методами геоморфологического профилирования, ОСЛ и радиоуглеродного датирования, так и интерпретация материалов предыдущих исследований, выполненных по разрезам отложений первой надпойменной террасы реки Вьон. В результате были идентифицированы две фазы подъема относительного уровня озера — бореал-атлантическая и суббореал-субатлантическая. Первая включает в себя две стадии, соотносимые соответственно с Анциловой и Литориновой трансгрессиями Балтийского моря. Во второй фазе, соотносимой с Ладожской трансгрессией, также выделены две стадии с временными рамками 3700–2600 л. н. и около 2500 л. н. Установлено, что береговая морфосистема Тайпаловского залива формировалась на протяжении всего голоцена под влиянием перечисленных фаз колебаний уровня.

**Ключевые слова:** Ладожское озеро, голоцен, геоморфологическое профилирование, колебания относительного уровня воды, ОСЛ-датирование, радиоуглеродное датирование

**Для цитирования:** Аксенов А.О., Большианов Д.Ю., Правкин С.А., Лебедев Г.Б. Голоценовые колебания относительного уровня Ладожского озера в районе Тайпаловского залива. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2025;71(1):32–45. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-32-45>

Поступила 13.11.2024

После переработки 17.01.2025

Принята 10.02.2025

© Авторы, 2024

© Authors, 2024

## Holocene relative level fluctuations of Lake Ladoga in the Taipalovskii Bay area

Aleksei O. Aksenov<sup>1,2,✉</sup>, Dmitriy Yu. Bolshiyarov<sup>1</sup>, Sergei A. Pravkin<sup>1</sup>,  
Georgii B. Lebedev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute,  
St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

✉ [aoaksenov@aari.ru](mailto:aoaksenov@aari.ru)

 AOA, 0000-0002-4950-4571; DYB, 0000-0001-6974-3150; SAP, 0000-0001-8521-7708

**Abstract.** During the Holocene, the level of Lake Ladoga was constantly changing. As a result, the coastal area of the water basin is characterized by the presence of accumulative landforms creating coastal morphosystems. The study of these paleomarkers allows us to detail the history of the lake's development. This paper presents the results of a study of the Lake Ladoga Taipalovskii Bay coastal area. To achieve the aim geomorphological profiling of the Taipalovskii Bay coastal morphosystem was executed. It was supported with sediment sampling from sand landforms (beach ridges, barrier ridges, strandplains) and peatbogs for age determination using OSL and radiocarbon dating techniques. In summary, three peat cores and three coastal landforms were sampled during the fieldwork. It resulted in three OSL-datings and nine radiocarbon datings, which are presented in this paper. In addition, the materials of previous studies carried out on the sediment sections of the Vyun River first terrace were correlated with the data obtained. As a result, two phases of the relative lake-level rising were identified — Boreal-Atlantic and Subboreal-Subatlantic. The first one includes two stages corresponding with the *Ancylus* and *Littorina* transgressions of the Baltic Sea. During the Boreal (*Ancylus*) stage the relative lake-level reached its maximum around 8100 years BP. Its shoreline is marked at the altitude of 17–18 m above sea-level (a. s. l.). The Atlantic (*Littorina*) maximum shoreline, with an age around 6500 BP, is assumed to be at 14–15 m a. s. l. The end of the Atlantic-onset of the Subboreal climatic phase is characterized by lake-level decline. The second phase of lake-level rising started 3600–3700 years BP. This stage is correlated with the Ladoga transgression. The maximum rising of the transgression is defined at the altitude of 14 m with an age around 2600 years BP. After the maximum stage a second one is reported as well, which is determined at 2500 years BP. A shoreline at 11,5 m a. s. l. marks this event. As a result, it was established that the coastal morphosystem of Taipalovskii Bay was formed throughout the Holocene under the influence of the level fluctuation phases listed.

**Keywords:** Lake Ladoga, the Holocene, geomorphological profiling, relative water-level fluctuations, OSL-dating, radiocarbon dating

**For citation:** Aksenov A.O., Bolshiyarov D.Yu., Pravkin S.A., Lebedev G.B. Holocene relative level fluctuations of Lake Ladoga in the Taipalovskii Bay area. *Arctic and Antarctic Research*. 2025;71(1):32–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-32-45>

Received 13.11.2024

Revised 17.01.2025

Accepted 10.02.2025

### Введение

Проблема колебаний уровня Ладожского озера в голоцене является одним из фундаментальных вопросов палеогеографии северо-запада России. Несмотря на более чем вековую историю исследований, единой концепции об истории изменения уровня этого водоема до сих пор не существует. Наиболее распространенная модель изменений уровня предполагает две фазы его повышения и три фазы снижения [1]. Первая регрессия произошла на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена.

Предполагается, что уровень в это время опустился ниже современного. Об этом свидетельствуют признаки древних береговых линий, выделенные на дне озера [2]. После этого началась фаза подъема уровня, вызванная подпором со стороны Балтики Анциловым озером, максимум которой пришелся на 8500 л. н. [3]. В среднем голоцене уровень вновь понизился. Предполагается, что береговая линия в этот период находилась примерно на современном уровне [4] или ниже [5]. Около 5000 л. н. начался этап поднятия уровня, известный как Ладожская трансгрессия. Его начало связано с прорывом Сайменской системы озер и образованием стока в Ладожское озеро через реку Вуоксу [6]. Предполагается, что в это же время сток из озера в Балтийское море через Хейниокский пролив (цепочка озер и рек на Карельском перешейке) прекратился вследствие изостатического поднятия суши в районе северного Приладожья [7]. В интервале 3100–2800 л. н. уровень достиг максимальной отметки, которая различными авторами оценивается в интервале от 14 до 22 м абсолютной высоты [8]. В дальнейшем произошел прорыв вод озера в его юго-восточной части (Мгинско-Тосненский водораздел) в Балтийское море с образованием реки Невы. В результате уровень постепенно понижался вплоть до современного [9].

Авторами данной работы были проведены полевые исследования на побережье Тайпаловского залива. Залив расположен в западной части Ладожского озера, в него впадает река Бурная (рис. 1а, б). Побережье представляет собой береговую морфосистему, которая сформирована серией параллельных хорошо выраженных валов. Последний и наиболее высокий из них представляет собой береговой бар. Ю. Айлио, первым исследовавший этот участок, предположил, что эта форма рельефа возникла во время максимальной стадии Ладожской трансгрессии [10]. За ним сформированы два болота: эвтрофное Умпалампи и олиготрофное Тройное. Западные края болот ограничены древним береговым уступом, выполненным во флювиогляциальных отложениях позднего неоплейстоцена.

Река Бурная, впадающая в залив, возникла в 1818 г., после прорыва узкого перешейка между Ладожским и Суходольским (Суванто) озерами. В результате уровень Суходольского озера, сток из которого шел в направлении Вуоксы, опустился с 17,6 до 10 м [11]. Направление стока изменилось в сторону Ладожского озера. Второе понижение уровня Суходольского озера произошло в 1857 г. вследствие искусственного прорыва Лосевской протоки. Тогда уровни воды Вуоксы и Суходольского уравнились на абсолютной высоте 8,7 м и к настоящему времени опустились до 6,5 м [11].

Целью данной работы является детализация истории развития Ладожского озера, в том числе определение трансгрессивно-регрессивных событий, повлиявших на формирование береговой морфосистемы побережья Ладожского озера, определение влияния неотектонических движений на положение береговых линий. Для этого использованы новые геолого-геоморфологические данные, а также выполнено обобщение материалов предыдущих исследователей по этому району.

## **Методы**

В рамках полевых работ на побережье Тайпаловского залива были выполнены геоморфологическое профилирование береговой морфосистемы, а также бурение скважин в болоте Тройное. Бурение осуществлено при помощи торфяного бура в 3 точках. Скважины 3264 и 3265 выполнены у западного края болота рядом с древним береговым уступом. Скважина 3267 заложена у восточного края, сильно заросшего лесом.

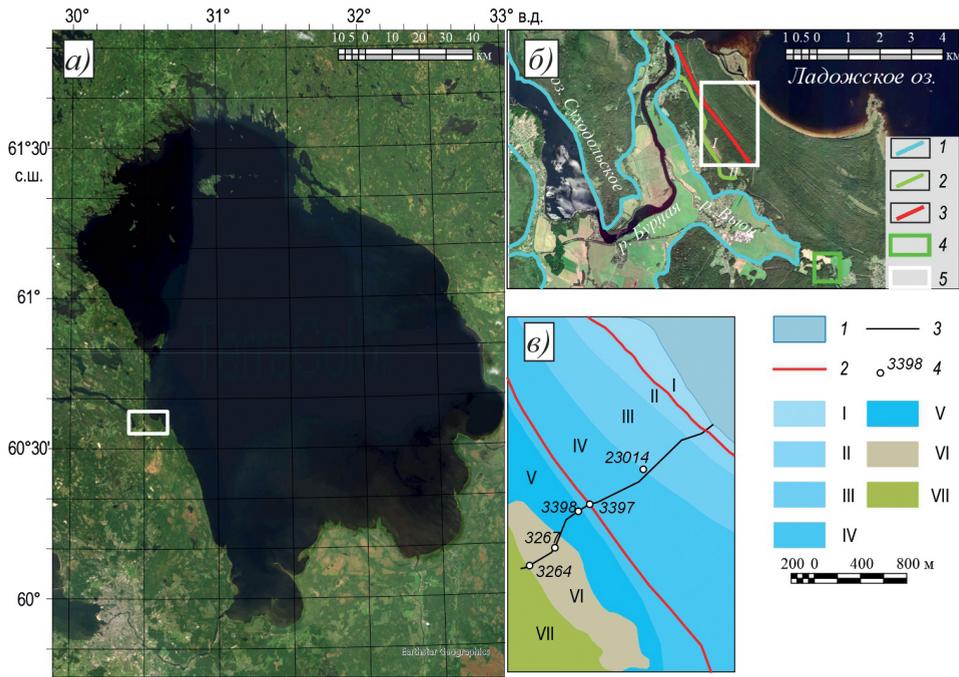


Рис. 1. Карта фактического материала.

*a* — местоположение Тайпаловского залива (белый прямоугольник), спутниковый снимок Earthstar Geographics [12]; *б* — побережье Тайпаловского залива, спутниковый снимок Maxar [12]; *1* — контуры Суходольского озера до 1818 г., *2* — древний береговой уступ, *3* — береговой бар, *4* — местоположение разрезов террасы реки Выон, по литературным данным, *5* — район работ; *в* — геоморфологическая схема и фактический материал: *1* — акватория Ладожского озера, *2* — береговые бары, *3* — геоморфологический профиль, *4* — точки отбора образцов; *I* — современный пляж и 5,7–6,4-метровая поверхность береговой террасы; *II* — 7,2–8-метровая поверхность береговой террасы, осложненная береговыми валами и торфяниками в межваловых понижениях; *III* — 8–11,5-метровая поверхность береговой террасы, осложненная береговыми валами и торфяниками в межваловых понижениях; *IV* — 11,5–16,1-метровая поверхность береговой террасы, осложненная береговыми валами; *V* — 15–16-метровая поверхность береговой террасы, осложненная холмисто-западинным микрорельефом; *VI* — верховой торфяник, 16,5 м; *VII* — флювиогляциальная гряда, осложненная береговым уступом

Fig. 1. Map of factual material.

*a* — location of Taipalovsky Bay (white rectangle), satellite image by Earthstar Geographics [12]; *б* — Taipalovsky Bay coastline, satellite image by Maxar [12]; *1* — contours of Sukhodol'skoye Lake before 1818, *2* — ancient cliff, *3* — barrier ridge, *4* — location of terrace sections of the Vyun River based on literature data, *5* — research area; *в* — geomorphological map and factual material: *1* — water area of Lake Ladoga, *2* — barrier ridges, *3* — geomorphological profile, *4* — sampling points; *I* — modern beach and the 5.7–6.4-meter surface of the coastal terrace; *II* — 7.2–8-meter surface of the coastal terrace complicated by beach ridges and peat bogs in inter-ridge depressions; *III* — 8–11.5-meter surface of the coastal terrace complicated by beach ridges and peat bogs in inter-ridge depressions; *IV* — 11.5–16.1-meter surface of the coastal terrace complicated by beach ridges; *V* — 15–16-meter surface of the coastal terrace complicated by hummocky-depression microrelief; *VI* — raised peat bog, 16.5 m; *VII* — fluvio-glacial ridge complicated by a cliff

Геоморфологическое профилирование проведено с помощью оптического нивелира ГЕОВОХ № 8-26 со стандартным квадратным отклонением  $\pm 2,0$  мм на 1 км. Профиль проведен от уреза воды Ладожского озера до бровки древнего берегового уступа через вышеописанные скважины с привязкой к пункту геодезической сети (рис. 1в).

Для возрастной привязки были отобраны образцы песка береговых форм рельефа для оптически стимулированного люминесцентного датирования (ОСЛ) и органогенных отложений из скважин для радиоуглеродного датирования. ОСЛ-датирование по зернам кварца выполнено в лаборатории оптически стимулированной люминесценции Института Карпинского. Его результаты представлены в табл. 1. Радиоуглеродное датирование произведено в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института наук о Земле СПбГУ [13] (табл. 2). Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы “OxCal 4.4.4” (калибровочная кривая “IntCal 20”) [14].

Полученные геоморфологические, литостратиграфические и геохронологические данные в дальнейшем были сопоставлены с опубликованными материалами по строению отложений первой надпойменной террасы реки Вьюн (рис. 1б). Последняя является притоком реки Бурной. Используются разрезы Г.Ц. Лака [15], И.В. Делюсиной [16], О.М. Знаменской [17] и Э. Хюппя [18, 19]. Абсолютная высота террасы точно не определена, в разных источниках она варьируется от 12 до 16 м. За высоту кровли рассматриваемых разрезов взята средняя отметка 14 м, при этом стоит учитывать, что, вероятно, это значение не постоянно и меняется от разреза к разрезу. Геохронологические и литологические данные по разрезу III Г.Ц. Лака подкреплены диатомовым анализом, разрезы IV, V, VI И.В. Делюсиной, О.М. Знаменской и Э. Хюппя также изучены спорово-пыльцевым методом.

Таблица 1

**Результаты ОСЛ-датирования кварцевых зерен отложений береговых форм**

Table 1

**OSL-dating results of quartz minerals from coastal deposits**

№ лаб.	№ полевой	Глубина отбора от поверхности, м	Фракция, мкм	Мощность дозы, Гр/тыс. лет	Кол-во навесок принятых/отклоненных	Палеодоза, Гр pIR OSL	Возраст, тыс. л. н.
RGI-1172	3398-1	1,1	90–250	1,50±0,07	13/5	12,2±1,1	8,1±0,8
RGI-1173	3397-1	1,1	180–250	1,59±0,07	5/13	7,9±0,5	5,0±0,4
RGI-1174	23-014-1	1,45	180–250	1,65±0,08	18/0	4,1±0,3	2,5±0,2

Таблица 2

**Результаты радиоуглеродного датирования отложений болота Тройное**

Table 2

**Results of radiocarbon dating of peatbog Troinoie depoists**

№ лаб.	№ полевой	Материал датирования	Глубина отбора от поверхности, м	Радиоуглеродный возраст, <sup>14</sup> C л. н.	Калиброванный возраст, кал. л. н.
ЛУ-9566	3264-1	Торф	1,2	1260±70	1180±80
ЛУ-9567	3264-2	Торф	1,93–2,03	1470±110	1390±110
ЛУ-9568	3264-3	Торф с гиттией	2,68–2,78	2600±110	2660±150
ЛУ-9569	3264-4	Торф с гиттией	3,5–3,6	4750±140	5450±180
ЛУ-9570	3264-5	Торф	4,0–4,1	6480±160	7370±150
ЛУ-9571	3264-6	Гиттия	4,12–4,22	6910±120	7760±110
ЛУ-9572	3267-1	Торф	1,4	4660±100	5370±150
ЛУ-9573	3265-2	Пески с гиттией	4,03–4,08	6510±160	7400±150
ЛУ-9574	3265-3	Гиттия	3,88-4,03	2590±90	2650±130

### Результаты

На рис. 2 представлен геоморфологический профиль, пройденный от уреза озера до бровки флювиогляциального уступа. На нем выделяются несколько генетически однородных поверхностей (рис. 1б). У уреза озера фиксируются современный пляж и терраса, высота которой составляет 5,7–6,4 м. Терраса ограничена абразионным уступом, выполненным в береговом баре. Ее уклон составляет 0,76°.

Выше расположена относительно субгоризонтальная поверхность на высоте 7,2–8 м, осложненная береговыми валами и низовыми торфяниками в межваловых понижениях. На ее бровке сформирован береговой бар, высота его дистального подножия составляет 7,8 м, высота гребня — 9,4 м. Относительная высота береговых валов составляет 1–1,5 м.

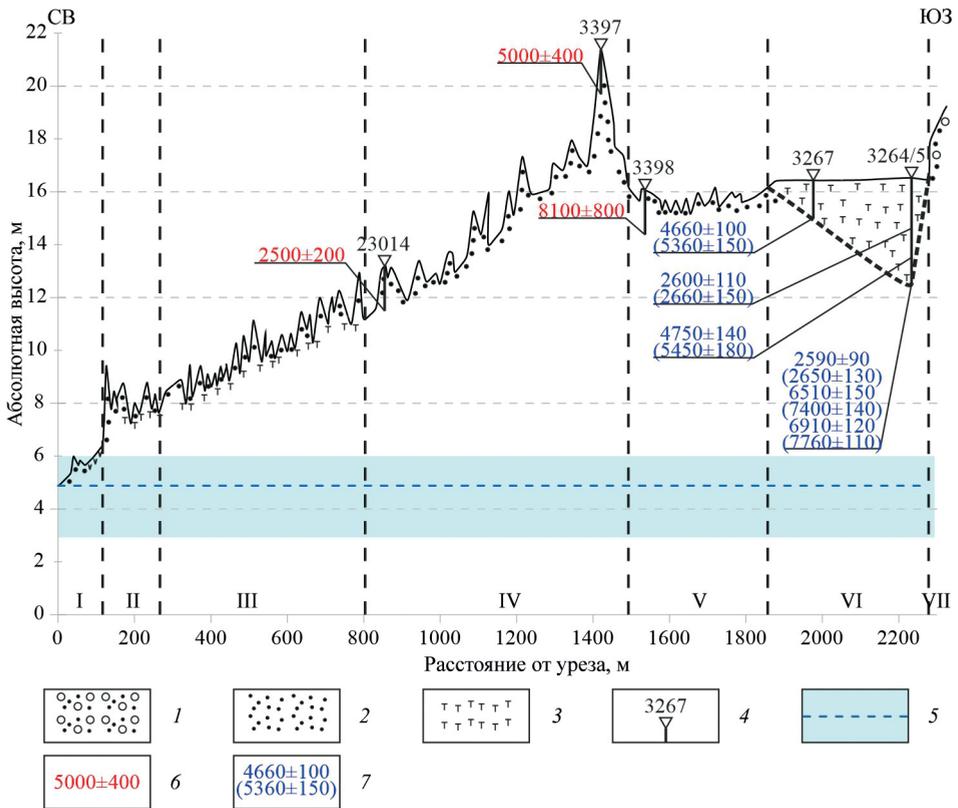


Рис. 2. Геоморфологический профиль через береговую морфосистему Taipalovskii залива: 1 — галечно-гравийно-песчаные отложения, 2 — пески, 3 — торфа, 4 — точки и глубины отбора образцов, 5 — уровень озера в день измерений, 6 — OSL-возраст отобранных образцов (л. н.), 7 — радиоуглеродный возраст отобранных образцов (<sup>14</sup>С л. н.), в скобках — калиброванные (кал. л. н.); I–VII — см. рис. 1б

Fig. 2. Geomorphological profile through the coastal morphosystem of Taipalovskii Bay: 1 — pebble-gravel-sand deposits, 2 — sands, 3 — peat, 4 — sampling points and depths, 5 — lake level on the day of measurements, 6 — OSL age of sampled materials (kyr BP), 7 — radiocarbon age of sampled materials (<sup>14</sup>C BP), calibrated ages (cal. BP) in parentheses; I–VII — see fig. 1b

На высотах 8–11,5 м расположена следующая поверхность. Она также осложнена береговыми валами и низовыми торфяниками, при этом ее уклон становится больше и достигает 0,4°. Относительная высота валов увеличивается с повышением поверхности, от 0,5 до 2 м. Межваловое расстояние довольно небольшое, около 15–20 м.

Следующая поверхность расположена на 11,5–16,1 м, при этом в межваловых понижениях исчезают торфяники. Средняя относительная высота валов и расстояние между ними больше — 1,5–2 м и 40–100 м соответственно. Уклон оценивается в 0,57°. По первому валу (ТН-23014), с глубины 1,45 м от поверхности его гребня, получен ОСЛ-возраст, который составил 2500±200 кал. л. н. (RGI-1174). Высота подножия вала составляет 11,5 м. У дистального края поверхности расположен

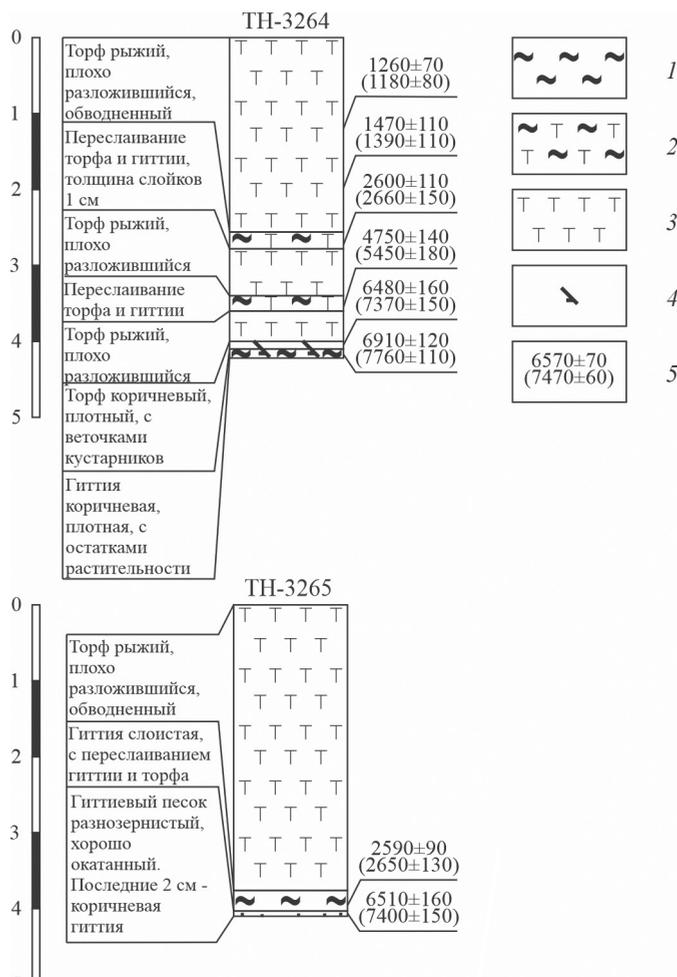


Рис. 3. Литологическое строение кернов 3264 и 3265: 1 — гиттия, 2 — гиттия торфянистая, 3 — торф, 4 — растительные макроостатки, 5 — радиоуглеродные датировки (<sup>14</sup>С л. н.), в скобках — калиброванные (кал. л. н.)

Fig. 3. Lithological structure of cores 3264 and 3265: 1 — gyttja, 2 — peaty gyttja, 3 — peat, 4 — plant macrofossils, 5 — radiocarbon dates (<sup>14</sup>C BP), calibrated ages (cal. BP) in parentheses

высокий береговой бар. Абсолютная высота его проксимального подножия составляет 17,0 м, дистального — 16,1, гребня — 21,4 м. На гребне бара, с глубины 1,1 м (ТН-3397), отобран образец для ОСЛ-датирования, возраст которого составил  $5000 \pm 400$  кал. л. н. (RGI-1173).

Далее от берегового бара поверхность террасы приобретает холмисто-западинную морфологию, уклон ее становится близким к нулю. Средняя абсолютная высота варьируется в пределах 15–16 м. В 30 м от берегового бара (ТН-3398) из песков, слагающих эту поверхность, получен ОСЛ-возраст  $8100 \pm 800$  кал. л. н. (RGI-1172).

Террасовую поверхность перекрывает верховой торфяник (болото Тройное). Абсолютная высота его поверхности составляет 16,5 м. Мощность его, по данным бурения, увеличивается по направлению от озера. Максимальная мощность вскрытого торфа равна 4,2 м. В его проксимальной части были вскрыты 1,4 м торфа (ТН-3398), радиоуглеродный возраст подошвы которого оценивается в  $4660 \pm 100$   $^{14}\text{C}$  л. н.

У дистального края торфяника пробурены две скважины (ТН-3264 и ТН-3265), глубина которых составляет 4,2 и 4,1 м соответственно. Описание литологического строения кернов представлено на рис. 3.

Болото ограничено абразионным уступом, сформированным на склоне гряды, сложенной флювиогляциальными отложениями (валуны, галька, гравий, песок). Абсолютная высота его бровки составляет 17,9 м. Нижняя часть уступа перекрыта болотными отложениями. Абсолютная высота тылового шва соответствует уровню забоя скважины ТН-3264, то есть 11,3 м.

### **Обсуждение результатов**

В результате корреляции полученных данных с литературными источниками выделены несколько фаз колебаний относительного уровня Ладожского озера в районе Тайпаловского залива (рис. 4). Эти фазы соотнесены с климатическими периодами, выделяемыми по схеме Блитта–Сернандера [20].

Голоценовая история изменений уровня Ладожского озера начинается с глубокой регрессии в пребореальном периоде [2, 5]. Судя по данным спорово-пыльцевого анализа разреза V (рис. 4), развитие Ладожского озера при уровне ниже современного продолжалось и в начале бореального периода [17]. Этой фазе соответствуют аллювиальные и подстилающие их озерные осадки, залегающие на абсолютной высоте 3–5 м. Субэральные обстановки в этот период подтверждаются и датировками погребенных торфов, вскрытых в обнажениях реки Бурной на 8–9 м абсолютной высоты [21, 22]. Возраст подошвы органогенной толщи составляет  $9430 \pm 60$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $10690 \pm 130$  кал. л. н., ГИН-11438), кровли —  $8460 \pm 100$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $9430 \pm 110$  кал. л. н., ЛУ-3527). 8400 л. н. относительный уровень воды превышает отметку 8–9 м. Схожие датировки получены по древесным остаткам из песков в рядом расположенном разрезе —  $8490 \pm 230$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $9510 \pm 320$  кал. л. н., ГИН-11436) и  $8370 \pm 150$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $9320 \pm 180$ , ГИН-11437) [22].

Отложения первой голоценовой трансгрессии отмечены во всех изученных разрезах присутствием озерных отложений, представленных песками, алевритами, гиттиями. Спорово-пыльцевые и геохронологические данные позволяют отнести эту фазу к бореал-атлантическому периоду [16–18]. Диатомовый анализ отложений террасы реки Вьюн свидетельствует о мелководных, лагунных обстановках осадконакопления в этот период [15]. Возраст максимальной стадии этой трансгрессии определяется ОСЛ-датировкой песков, отобранной из второй террасы побережья Тайпаловского

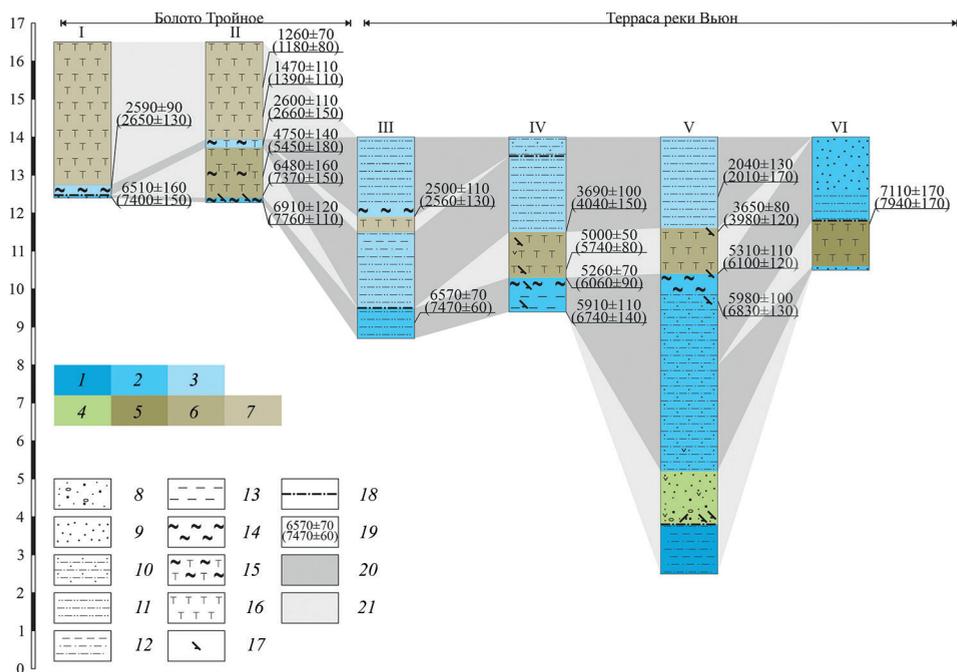


Рис. 4. Литолого-генетическая корреляция разрезов болота Тройное и террасы реки Выюн: I — керн 3264, II — керн 3265, III — разрез Г.Ц. Лака [15], IV — разрез И.В. Делюсиной [16], V — разрез О.М. Знаменской [17], VI — разрез Э. Хюппя [18, 19]. 1 — озерные отложения пребореального и бореального периодов, IHPb-br(?); 2 — озерные отложения бореального и атлантического периодов, IHat; 3 — озерные отложения бореального периода, IHsb; 4 — аллювиальные отложения пребореального и бореального периодов, aHPb-br(?); 5 — болотные отложения бореального и атлантического периодов, pHPb-at; 6 — болотные отложения атлантического и суббореального периодов, pHat-sb; 7 — болотные отложения субатлантического периода, pHsa; 8 — пески разноразмерные с галькой и гравием; 9 — пески мелко- и среднезернистые; 10 — песчаные алевриты; 11 — алевриты; 12 — глинистые алевриты, алевритистые глины; 13 — глины; 14 — гиттии; 15 — торфянистые гиттии; 16 — торфа; 17 — растительные макроостатки; 18 — эрозионный горизонт; 19 — радиоуглеродные датировки ( $^{14}\text{C}$  л. н.), в скобках — калиброванные (кал. л. н.); 20 — трансгрессивные фазы; 21 — регрессивные фазы

Fig. 4. Lithological-genetic correlation of sections from the Troinoe bog and the terrace of the Vyun River: I — core 3264, II — core 3265, III — section by G.Ts. Lak [15], IV — section by I.V. Delusina [16], V — section by O.M. Znamenskaya [17], VI — section by E. Huypä [18, 19]. 1 — Preboreal-Boreal lake deposits, IHPb-br(?); 2 — Boreal-Atlantic lake deposits, IHat; 3 — Subboreal lake deposits, IHsb; 4 — Alluvial deposits of the Preboreal-Boreal, aHPb-br(?); 5 — Boreal-Atlantic bog deposits, pHPb-at; 6 — Peat deposits of the Atlantic-Subboreal, pHat-sb; 7 — Peat deposits of the Subatlantic, pHsa; 8 — Sands with pebbles and gravel; 9 — Fine- and medium-grained sands; 10 — Sandy silts; 11 — Silts; 12 — Clayey silts and silty clays; 13 — Clays; 14 — Gytija; 15 — Peaty gytija; 16 — Peat; 17 — Plant macrofossils; 18 — Erosion horizon; 19 — Radiocarbon dates ( $^{14}\text{C}$  BP), calibrated ages (cal. BP) in parentheses; 20 — Transgressive phases; 21 — Regressive phases

залива на высоте 15–16 м — 8100±800 кал. л. н. (RGI-1172), поскольку прочие датировки отобраны с более низких уровней. Существование трансгрессивной фазы (Анциловой) в этот период подтверждается и предыдущими исследованиями. Ее развитие связывается с проникновением вод Анцилового озера в котловину Ладожского [1, 18].

Особый интерес представляет разрез VI, изученный Ю. Айлио. В нем две пачки озерных отложений описанной выше трансгрессии разделяет пласт погребенного торфа на высоте 11–12 м. Палинологические данные относят накопление этого торфа к концу бореального периода и началу атлантического [18]. По кровле толщи получен радиоуглеродный возраст  $7110 \pm 170$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $7940 \pm 170$  кал. л. н., SU-28) [19]. Близкая по возрасту датировка получена по разрезу на реке Бурной, где на высоте около 13,5 м обнаружен погребенный торф, возраст кровли которого составил  $7560 \pm 50$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $8360 \pm 60$  кал. л. н., ЛУ-3528) [21]. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что бореал-атлантическая трансгрессия включала в себя две стадии — бореальную и атлантическую. После бореального максимума около 8100 л. н. уровень опустился до 11 м как минимум. В атлантическом периоде вновь началось повышение уровня, в результате чего 7500–7100  $^{14}\text{C}$  л. н. торфяники были затоплены водами второй стадии. Понижение уровня началось около 6900–6500  $^{14}\text{C}$  л. н., что отмечено в разрезах I и II (скважины 3265 и 3264) изменением литологического состава с гиттий и песков на торф. Максимальный уровень второй стадии сложно определить ввиду отсутствия прямой корреляции с береговыми формами. Поскольку пески возраста  $8100 \pm 800$  кал. л. н. не перекрыты более молодыми толщами, ее высоту можно оценить в пределах 14–15 м.

Стоит отметить, что временные рамки атлантической (второй) стадии совпадают с Литориновой трансгрессией Балтийского моря. По результатам исследования малых озер Карельского перешейка возраст начала трансгрессии оценивается 7700–7600  $^{14}\text{C}$  л. н. [23]. Максимальный относительный уровень, высота которого составляет около 10 м, был достигнут около 6500  $^{14}\text{C}$  л. н. Такая хорошая корреляция с атлантической трансгрессией Ладожского озера позволяет утверждать, что ее причина заключается в подпоре водоема со стороны Балтийского моря. Тем не менее отложения этой фазы почти не встречаются Южном Приладожье. Озерные осадки атлантического возраста известны в разрезе урочища Калач [8, 16, 24, 25]. Кровля этой толщи находится на абсолютной высоте 8 м. В юго-западной части Приладожья, в донных отложениях озера Воляярви, урез которого находится на 16 м абс. высоты, возрастным интервалом от 6200 до 5200  $^{14}\text{C}$  л. н. датирован переход от обстановок осадконакопления в крупном бассейне к условиям малого озера [26].

К бореал-атлантической трансгрессии следует отнести и 5-метровый береговой бар. ОСЛ-возраст  $5000 \pm 400$  кал. л. н. (RGI-1173), полученный по его отложениям, соответствует периоду регрессии (см. ниже). Это вызывает сомнения в достоверности полученной датировки. Вероятнее всего, возраст бара соотносится с возрастом холмисто-западной поверхности, которая представляет собой результат штормового заплеска наносов через бар. Следовательно, образование последнего относится к первой (бореальной) стадии трансгрессии. Проксимальное подножие вала находится на высоте 17 м, дистальное — 17,7 м. Уровень воды не мог подняться выше бровки абразионного уступа, высота которой составляет 17,9 м. Отсюда можно сделать вывод, что максимальный относительный уровень первой стадии бореал-атлантической трансгрессии достиг высоты 17–18 м.

В интервале от 6500 до 5300  $^{14}\text{C}$  л. н. субаквальное осадконакопление сменилось субэральным болотным. Отложения атлантического регрессивного этапа представлены в разрезах II, IV, V погребенными торфами. Непрерывное накопление торфа в интервале 5300–3600  $^{14}\text{C}$  л. н. на абсолютных высотах около 10–12 м, пред-

ставленное в разрезах IV и V, свидетельствует о том, что в этот период уровень озера опустился ниже этих высотных отметок, если биогенные отложения в этих разрезах (рис. 4) действительно накапливались в болотных обстановках, а не в условиях подтопления озером. По данным исследований погребенных торфов Южного Приладожья, уровень озера в это время опускался примерно до уреза современного водоема [4]. Материалы изучения донных отложений озера позволяют предполагать и более низкое положение береговой линии [5]. В то же время в разрезе II, в толще торфяных отложений на абсолютной высоте 13,7–14,0, фиксируются прослой гиттии с возрастом  $4750 \pm 140$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $5450 \pm 180$  кал. л. н., ЛУ-9569). Поскольку установлено, что уровень Ладожского озера в этот момент находился значительно ниже, накопление гиттий, вероятно, связано с более влажным периодом, что привело к обводнению торфяника. Близкий возраст получен и по подошве торфа в ТН-3267 —  $4660 \pm 100$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $5360 \pm 150$  кал. л. н., ЛУ-9572), что также свидетельствует о субэаральных условиях на этом участке.

Около 3700–3600  $^{14}\text{C}$  л. н. происходит смена торфяного осадконакопления субаквальным. Этот этап соотносится с началом Ладожской трансгрессии. Отложения данной фазы подъема уровня с суббореально-субатлантическими спорово-пыльцевыми спектрами [16, 17] представлены во всех исследованных разрезах за исключением разреза Э. Хюппя (VI). Состав диатомовых характеризует в целом лагунные обстановки осадконакопления [15]. Стратиграфия исследованных разрезов позволяет расчленить этот этап на две стадии. В разрезе III между отложениями, коррелируемыми с осадками Ладожской трансгрессии, расположен прослой торфа. Радиоуглеродный возраст его кровли составляет  $2500 \pm 110$   $^{14}\text{C}$  л. н. ( $2560 \pm 130$  кал. л. н., ТА-514). В IV разрезе этой пачке соответствует эрозионный горизонт между двумя толщами озерных отложений. Таким образом, можно прийти к выводу, что около 2500 л. н. началась вторая стадия Ладожской трансгрессии. ОСЛ-возраст песков берегового вала, высота подножия которого 11,5 м, составляет  $2500 \pm 200$  кал. л. н. (RGI-1174), что позволяет соотнести его с береговой линией максимального уровня второй стадии. Двухстадиальное развитие Ладожской трансгрессии предполагалось и ранее на других участках побережья [1]. По материалам исследований террас Восточного Приладожья также предположено существование поздней фазы подъема уровня. Там был обнаружен погребенный аллохтонный торф, возраст которого оценивается в 2200  $^{14}\text{C}$  л. н. [1].

Высоту и возраст первой стадии трансгрессии можно определить по отложениям, вскрытым в разрезах I и II. Эти толщи представлены гиттиями, возраст которых составил  $2590 \pm 90$   $^{14}\text{C}$  л. н. и  $2600 \pm 110$   $^{14}\text{C}$  л. н. Высота кровли этих осадков в разрезе II составляет 13,9 м. Эту отметку и следует принять за максимальную высоту первой стадии Ладожской трансгрессии. О том, что уровень воды не превышал 14 м в этом районе, свидетельствует непрерывное осадконакопление торфа в ТН-3267 с 4700–4600  $^{14}\text{C}$  л. н. Высота подошвы разреза составляет 14,0 м. Данный вывод не согласуется с общепринятыми представлениями об увеличении высотного положения береговых линий Ладожской трансгрессии с юга на север. По представлениям Ю. Айлио, максимальная высота относительного уровня трансгрессии в районе Тайпаловского залива составляет 20,6 м [10], по данным Э. Хюппя — 16 м [18]. Оценки высоты поднятия относительного уровня на южном побережье варьируются от 14 до 19 м [1,8,27]. Следовательно, можно утверждать, что береговая

линия Ладожской трансгрессии на побережье Тайпаловского залива находится на одной высоте или даже ниже в сравнении с палеоуровнями Южного Приладожья. В результате последующей регрессии сформировались террасовые поверхности на более низких высотах.

### **Заключение**

В результате проведенного исследования был детализирован ход изменений относительного уровня Ладожского озера в районе Тайпаловского залива. Подтверждено существование двух трансгрессий — бореал-атлантической и суббореал-субатлантической (Ладожской). Бореал-атлантический подъем относительного уровня воды включал в себя две стадии — бореальную и атлантическую. Максимум первой фазы пришелся на 8100 л. н., высота уровня при этом достигла 17–18 м. В это же время был сформирован береговой бар побережья Тайпаловского залива. В атлантическую стадию относительный уровень достиг высоты около 14 м в интервале 6900–6500 л. н. После этого в конце атлантической климатической фазы уровень опустился, что привело к формированию торфяников на рассматриваемом участке.

Также установлено и двухстадиальное развитие Ладожской трансгрессии. Первая стадия подъема воды достигла максимума около 2600 л. н. Ее береговая линия прослеживается на абсолютной высоте 14 м. Такой вывод противоречит принятым представлениям об увеличении высоты положения древних береговых линий Ладожской трансгрессии с юга на север вследствие гляциоизостатического перекоса Приладожья. Вторая стадия началась после 2500 л. н. Ее максимальный уровень оценивается в 11,5 м. При последующем снижении уровня сформировались нижележащие поверхности береговых террас, морфология которых осложнена береговыми валами.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены многократные колебания уровня воды Ладожского озера в голоцене, которые и привели к формированию всей береговой системы побережья Тайпаловского залива.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** 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/>.

**Вклад авторов.** Аксенов А.О. составил основной текст статьи, подготовил графический материал, проинтерпретировал полученные данные, участвовал в полевых работах. Большианов Д.Ю. участвовал в написании и обсуждении текста статьи, а также в полевых работах. Правкин С.А. участвовал в написании и обсуждении текста статьи, а также в полевых работах. Лебедев Г.Б. участвовал в полевых работах.

**Competing interests.** Authors declare no conflict of interests.

**Funding.** The study was conducted with the support of a grant from the Russian Science Foundation № 23-27-00273 “An assessment of Lake Ladoga level decrease rate in the last 3000 years obtained from results of coastal landforms absolute dating”, <https://rscf.ru/project/23-27-00273/>.

**Authors' contribution.** Aksenov A.O. wrote the major part of the manuscript, prepared graphic illustrations, interpreted the material used, took a part in the fieldwork. Bolshiyarov D.Yu. participated in writing and discussing the manuscript, and in the fieldwork. Pravkin S.A. participated in writing and discussing the manuscript, and in the fieldwork. Lebedev G.B. participated in the fieldwork.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кошечкин Б.И., Экман И.М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера. В кн. *Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера*. СПб.: РГО; 1993. С. 49–60.
2. Aksenov A.O., Krastel S., Rybalko A.E., Fedorov G.B. Geomorphological evidence of Lake Ladoga Holocene regressions after the Baltic Ice Lake drainage (derived from sediment echosounder data). *Limnology and Freshwater Biology*. 2022;(4):1378–1380. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1378>
3. Кошечкин Б.И. Основные этапы развития береговой зоны. В кн. Квасов Д.Д. (ред.). *История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки*. Л.: Наука; 1990. С. 35–36.
4. Бобровникова Е.М., Шитов М.В. Свирская лагунно-баровая система (поздний голоцен, юго-восточное Приладожье). *Труды Кольского Научного центра*. 2019;6(1):42–51. <https://doi.org/0.25702/KSC.2307-5252.2019.6.006>  
Bobrovnikova E.M., Sheetov M.V. Svir Lagoon-Bar System (Late Holocene, South-Eastern Ladoga Area). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS*. 2019;6(1): 42–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.006>
5. Subetto D.A., Davydova N.N., Rybalko A.E. Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1998;140:113–119. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(98\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(98)00032-7)
6. Delusin I., Donner J. Additional evidence of the Holocene transgression in Lake Ladoga on the basis of an investigation of the beach deposits on the island Mantsinsaari. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 1995;67(2):39–50. <https://doi.org/10.17741/bgsf/67.2.003>
7. Лудикова А.В. Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа. *Известия Русского Географического общества*. 2015;147(4):38–51.  
Ludikova A.V. Diatom evidences for the Mid-Holocene Lake Ladoga transgression. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2015;147(4):38–51. (In Russ.)
8. Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н., Козырев М.Г. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера. В кн. *Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера*. СПб.: РГО; 1993. С. 61–73.
9. 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;174(1):113–123.
10. Ailio J. Geographische entwicklung des Ladogasees in postglazialer zeit und ihre beziehung zur steinzeitlichen besiedelung. *Fennia*. 1915;45:157.
11. Исаченко Г.А. Вуоксинская эпопея. *Приозерский краеведческий альманах*. 2001;2(1):7–33.
12. World Imagery: [Electronic resource]. URL: [https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Imagery/MapServer](https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer) (accessed: 25.10.2024).
13. Арсланов Х.А. *Радиоуглерод: геохимия и геохронология*. Л.: Изд-во Ленинградского государственного университета; 1987. 300 с.
14. Reimer P.J., Austin A.W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., Van Der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 2020;62(4):725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>

15. Лак Г.Ц. *Диатомовая флора морских и озерных надморенных отложений в котловине Ладожского озера*. Петрозаводск: Карелия; 1976. 64 с.
  16. Delusin I. *The Holocene Pollen Stratigraphy of Lake Ladoga and the Vegetational History of Its Surroundings*. Helsinki: Suomalainen Tiedeakatemia; 1991. 67 p.
  17. Знаменская О.М., Ананова Е.Н. Новые данные по истории западного побережья Ладожского озера. В кн. *История озер северо-запада*. Л.: Наука; 1967. С. 132–140.
  18. Нуурпää Е. Beitrage zur Kenntnis der Ladoga- und Ancylustransgressionen. *Bulletin de la Commission Geologique de Finlande*. 1943;128(15):139–178.
  19. Нуурпää Е., Тоивонен А.В.Р., Исола А. Geological survey of Finland radiocarbon measurements. *Radiocarbon*. 1964;6:110–111.
  20. Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., Donner J.J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*. 1974;3:109–126. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1974.tb00669.x>
  21. Верзилин Н.Н., Клейменова Г.И., Севастьянов Д.В. Трансформация гидрографической сети и лимногляциальных комплексов Карельского перешейка в поздне-последледниковье. *Вестник Санкт-Петербургского Университета. Серия 7. Геология. География*. 2001;(2):40–50.
  22. Nikonov A.A., Shlyukov A.I. Timing of deglaciation on the Karelian isthmus (based on physical methods). *Doklady Earth Sciences*. 2002;387(9): 1048–1051.
  23. Miettinen A., Savelieva L., Subetto D., Dzhinoridze R., Arslanov Kh., Hyvärinen H. Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history. *Boreas*. 2007;36(4):441–458. <https://doi.org/10.1080/03009480701259284>
  24. Арсланов Х.А., Делюсина И.В., Козырева М.Г., Кошечкин Б.И. Возраст береговых образований по радиоуглеродным и палинологическим данным. В кн. Квасов Д.Д. (ред.). *История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки*. Л.: Наука; 1990. С. 26–33.
  25. Бискэ Ю.С., Сумарева И.В., Шитов М.В. Позднеголоценовое сейсмическое событие в юго-восточном Приладожье. I. Принципы исследования и деформационные текстуры. *Вестник Санкт-Петербургского Университета. Серия 7. Геология. География*. 2009;(1):3–25.
  26. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. *Стратиграфия донных озер Карельского перешейка*. М.: ГЕОС; 2019. 117 с.
  27. Шитов М.В., Бискэ Ю.С., Плешивцева Э.С., Потапович А.А. Сумарева И.В. Стоянки А.А. Иностранцева и голоценовая тектоника Южного Приладожья. Геологический контекст. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2019;64(4):628–650. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.408>
- Sheetov M.V., Biske Yu.S., Pleshivtseva E.S., Potapovitch A.A., Sumareva I.V. Archaeological sites of A.A. Inostrantsev and Holocene tectonics of South Ladoga region: Geological context. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*. 2019;64(4):628–650. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.408>