

УДК 551.89

СОЕДИНЕНИЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С БАЛТИЙСКИМ МОРЕМ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ — НОВЫЕ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

© 2022 г. Д. Д. Кузнецов^{1,*}, Д. А. Субетто², А. В. Лудикова¹

Представлено академиком РАН А.А. Тишковым 16.05.2022 г.

Поступило 16.05.2022 г.

После доработки 30.05.2022 г.

Принято к публикации 02.06.2022 г.

Представлены результаты хроно- и литостратиграфического изучения донных отложений пяти малых озер, расположенных в северной части Карельского перешейка на трассе гипотетического палеосоединения между Ладожским озером и Балтийским морем до образования р. Невы во второй половине голоцена. Литостратиграфическая последовательность в изученных озерах свидетельствует о смене активных гидродинамических условий обстановками озерного осадконакопления около 3000–3500 кал. л.н., что указывает на прекращение существования балтийско-ладожского соединения в результате гляциоизостатических движений и формирования нового стока из Ладожского озера через р. Неву.

Ключевые слова: Карельский перешеек, Ладожское озеро, Балтийское море, Гейниокский пролив, озерные отложения, голоцен

DOI: 10.31857/S2686739722600746

ВВЕДЕНИЕ

В течение послеледниковой истории Ладожского озера его морфометрические и гидрологические характеристики существенно менялись вследствие изменения уровня и конфигурации балтийских палеобассейнов и гляциотектонических движений. Более чем столетняя история палеогеографических работ здесь до сих пор не привела к детальной и однозначной реконструкции голоценового палеостока из Ладожского озера (см., напр., [1, 2] и литературу там). В данной работе приводятся новые сведения о лито- и хроностратиграфии донных отложений озер, расположенных в северной низменной части Карельского перешейка. Здесь, по мнению многих исследователей, существовало соединение между Ладожским озером и Балтийским морем, т.н. Гейниокский пролив, по которому происходил сток из озера вплоть до образования р. Невы около

3500 кал. л.н. (см., напр., [3–5]). В то же время рядом авторов и прорыв Невы, и существование Гейниокского пролива ставится под сомнение (см., напр., [6]). Одной из причин подобных противоречивых взглядов следует назвать недостаточно проработанный из-за малого количества датировок, хронологический каркас. Данная работа вводит в научный оборот данные по лито- и хроностратиграфии озерных отложений, позволяющие подтвердить существование в этой части Карельского перешейка обстановок осадконакопления с активными гидродинамическими условиями вплоть до 3000–4000 кал. л.н.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использован метод изоляционных бассейнов, широко применяемый в палеогеографических реконструкциях положения береговых линий морей. Изменения в литологическом и микрофлористическом составе донных отложений серии разновысотных озер фиксируют изоляцию от морского бассейна, а датирование переходных горизонтов дает возможность построить хронологию перемещения береговой линии моря. Данный метод применяется также для изучения трансгрессивно-регрессивных этапов развития крупных пресноводных водоемов, испытывавших на протяжении своей геологической истории

¹ Институт озероведения Российской академии наук — Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: dd_kuznetsov@mail.ru

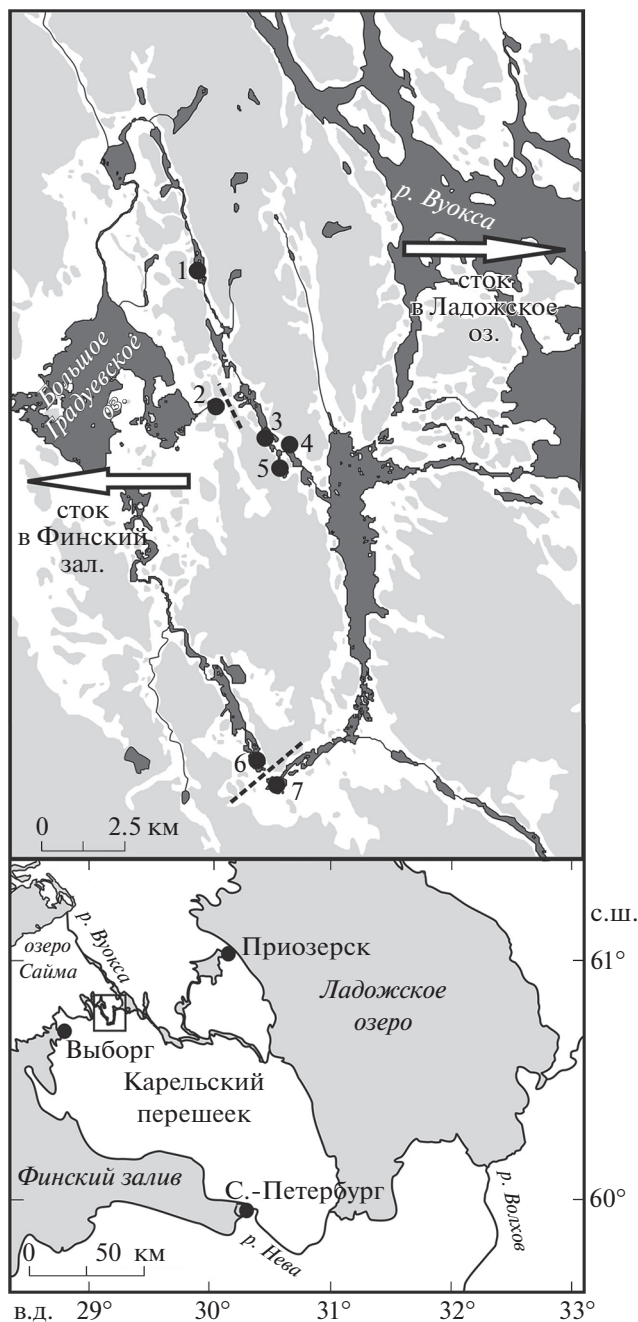


Рис. 1. Местоположение изученных и упоминаемых в тексте озерных разрезов. 1 – Воробьиное; 2 – Лунное; 3 – Малое Макаровское; 4 – Без названия; 5 – Хамеенлампи; 6 – Ламское; 7 – Макаровское. Пунктирной линией – положение современного балтийско-ладожского водораздела. Серым цветом – территория, расположенная выше двадцатиметровой изогипсы.

значительные изменения уровня, таких, например, как Ладожское озеро [7, 8].

Изучены донные отложения 5 озер (рис. 1), расположенных в северной части Карельского перешейка на гипотетической трассе северной протоки Гейниокского палеопролива между Ма-

каровским (11.5 м над у.м., бассейн Ладожского озера) и Большим Градуевским (9.5 м над у.м., бассейн Балтийского моря) озерами [9]. Колонки отложений отбирались русским торфяным буром из глубоководных частей озера с катамарана (озера Воробьиное и Хамеенлампи) или со сплавины (озера Малое Макаровское, Лунное и Без названия). Урез воды Воробьиного озера 16 м над у.м., Малого Макаровского 15 м над у.м., остальных 14 м над у.м. (данные топографической карты первой половины XX в., где они даются с округлением до 1 м, соответственно погрешность составляет не меньше 0.5 м). Озера соединены протоками, некоторые из которых имеют признаки антропогенного происхождения. Течение в протоках не отмечено, некоторые из них сухие (август 2020 г.).

Литостратиграфическое описание сделано в поле. Анализ потерь при прокаливании (ППП) проведен в Институте озероведения РАН по стандартной методике (550°C в течение 6 ч). Диатомовый анализ выполнен для донных отложений озера Лунного. Радиоуглеродное датирование образцов с нижней границы гиттии проведено с помощью ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в университете Джорджии (University of Georgia) и в Институте географии РАН. Анализировался общий органический углерод (ТОС). Калибровка дат осуществлена в программе OxCal 4.4 с использованием калибровочной кривой IntCal 20 [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вскрытые во всех пяти озерах отложения имеют сходную литостратиграфическую последовательность (рис. 2). В основании разрезов вскрыты минерогенные отложения, преимущественно глины, иногда ленточные. Выше во всех разрезах встречен прослой разнозернистого песка с гравием, его мощность лежит в диапазоне 1–40 см. Верхняя часть разрезов сложена гиттией мощностью до 2–3 м. В разрезах, отобранных со сплавины, гиттия сменяется торфянистыми отложениями.

Динамика содержания органического вещества соответствует выделенным литостратиграфическим горизонтам (рис. 2). В минерогенной нижней части разреза ППП составляют 0.4–3%. Выше начинается резкий рост содержания органики, заканчивающийся в нижних сантиметрах гиттии. Далее вверх по разрезу содержание органического вещества в осадках стабильно высокое и в среднем составляет 30–45%; его резкий рост до 78% отмечен в одном из разрезов в верхних горизонтах гиттии непосредственно под сплавиной.

Возраст начала органонакопления, под которым понимается формирование гиттии, лежит в интервале 2500–4500 кал. л.н. (табл. 1). Основной

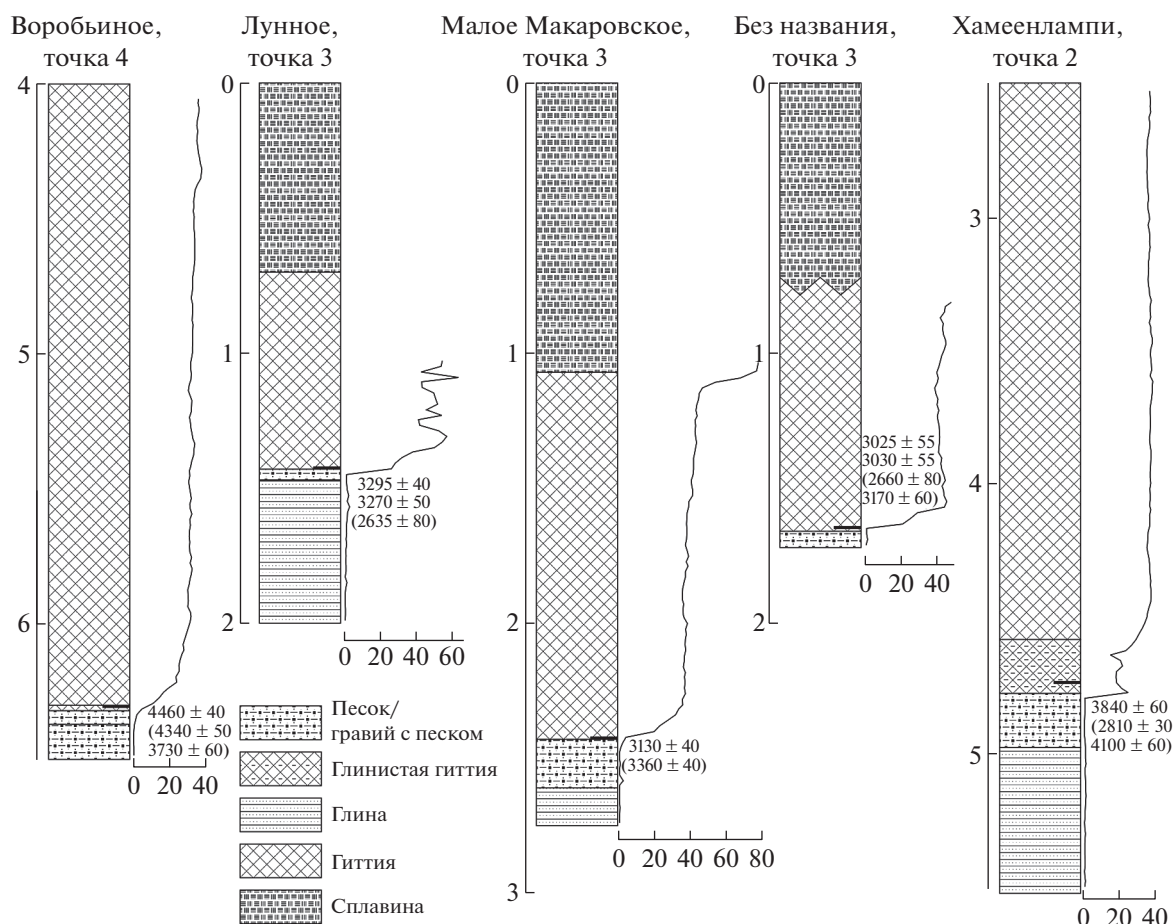


Рис. 2. Литостратиграфия и результаты анализа ППК. По оси ординат – глубина от поверхности воды/сплавина, м; по оси абсцисс – ППК, %. Черные прямоугольники – положение датированных образцов, указан калиброванный возраст, в скобках приведены даты, полученные с аналогичных стратиграфических границ в других точках пробоотбора в данном водоеме.

массив дат укладывается в диапазон 3000–3500 кал. л.н. (рис. 3).

Диатомовый анализ донных отложений озера Лунного позволил выделить 3 основных этапа его развития. Ранний этап, отложения которого представлены плотными серыми глинами, характеризовался наименее благоприятными условиями для развития диатомовых водорослей. Об этом свидетельствуют их крайне низкие концентрации (<42 тыс. в 1 г сухого осадка). Отмечаются морские диатомеи, переотложенные из осадков микулинского межледниковья. На следующем этапе переход к накоплению песчано-гравийных отложений отмечен ростом содержания створок диатомей, увеличением их видового разнообразия. Появляется характерный для голоценовых отложений Ладожского озера комплекс видов: *Aulacoseira islandica*, *Cymbella sinuata*, *Ellerbeckia arenaria*, *Navicula jaernefeltii*, *N. jentzschii*, *Stephanodiscus neoastraea* и др. Органогенные отложения следующего этапа характеризуются дальнейшим увеличе-

нием концентраций диатомей (>100 млн створок в 1 г сухого осадка) и доминированием видов-обитателей малых озер со слабокислой реакцией среды. Представители “ладожских” видов диатомей в небольших количествах отмечаются в начале данного этапа, но затем исчезают из состава диатомовых комплексов.

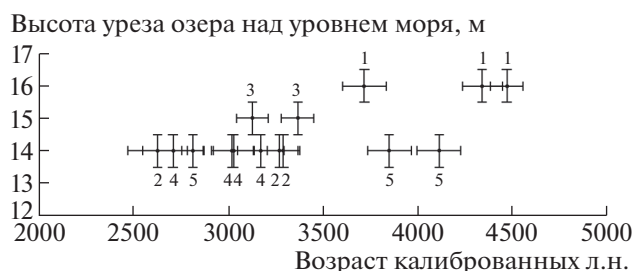


Рис. 3. Возраст начала органонакопления в изученных озерах. Названия озер соответствуют номерам на рис. 1.

Таблица 1. Список радиоуглеродных дат

№ IGAN _{AMS}	Озеро, точка, керн	Глубина от поверхности воды, м	¹⁴ C дата, л.н.	Калиброванный возраст, среднее ±σ, (диапазон с вероятностью 95.4%)
8924	Воробьиное 2 керн 1	7.93–7.94	3905 ± 30	4340 ± 50 (4420–4250)
8925	Воробьиное 4, керн 5	6.30–6.31	3985 ± 30	4460 ± 40 (4530–4360)
8929	Воробьиное 7, керн 13	6.03–6.04	3455 ± 25	3730 ± 60 (3830–3640)
8931	Лунное 1, керн 1	1.38–1.40	2540 ± 25	2635 ± 80 (2740–2500)
8933	Лунное 3, керн 3	1.46–1.47	3085 ± 30	3295 ± 40 (3370–3220)
8935	Лунное 3, керн 4	1.42–1.43	3055 ± 30	3270 ± 50 (3360–3180)
8937	Без названия 1, керн 1	1.48–1.49	2550 ± 25	2660 ± 80 (2750–2520)
8939	Без названия 3, керн 3	1.65–1.66	2890 ± 30	3025 ± 55 (3150–2890)
8940	Без названия 3, керн 3	1.64–1.65	2895 ± 30	3030 ± 55 (3160–2940)
8941	Без названия 4, керн 4	1.60–1.61	2990 ± 30	3170 ± 60 (3330–3070)
8942	Хамеенлампи 1, керн 1	3.42–3.43	2720 ± 25	2810 ± 30 (2870–2760)
8943	Хамеенлампи 2, керн 2	4.705–4.715	3555 ± 30	3840 ± 60 (3960–3720)
8948	Хамеенлампи 3, керн 8	5.75–5.76	3750 ± 25	4100 ± 60 (4230–3990)
8950	Малое Макаровское 2, керн 2	2.90–2.91	3140 ± 25	3360 ± 40 (3450–3260)
8952	Малое Макаровское 3, керн 3	2.42–2.43	2965 ± 20	3130 ± 40 (3210–3070)

ОБСУЖДЕНИЕ

Смена минерогенного осадконакопления органическим и накопление гиттии с высоким содержанием органического вещества являются характерной особенностью голоценового озерного седиментогенеза на северо-западе Европейской части России [1]. В водоемах Карельского перешейка, развивавшихся изолированно с позднеледниковья, радиоуглеродные даты подошвы гиттии соответствуют началу голоцена. В ходе раннеголоценовой трансгрессии Анцилового озера (пресноводного водоема, существовавшего в современной балтийской котловине) и среднеголоценовой ладожской трансгрессии значительная часть территории Карельского перешейка была затоплена. В расположенных здесь малых озерах начало органонакопления соответствует времени их изоляции от указанных бассейнов, что, в свою очередь, зависит от их гипсометрического и пространственного положения.

Во всех изученных разрезах лежащие в основании глинистые осадки формировались в условиях крупных глубоководных низкопродуктивных водоемов. Содержание органического вещества в них не превышает 3.0%. Ленточные глины, вскрытые в разрезе Воробьиного озера, типичны для отложений Балтийского ледникового озера (БЛО), существовавшего здесь в позднеледниковье. Осадки БЛО многократно описаны в основании разрезов донных отложений озер низменной части Карельского перешейка (напр., [1, 2]).

После спуска БЛО около 11 700 кал. л.н. в озерах Карельского перешейка, расположенных на

более высоких отметках, начинает накапливаться гиттия. В изученных же нами озерных отложениях наблюдается другая стратиграфическая последовательность. Здесь разнозернистые пески с дресвой и гравием, перекрывающие глины БЛО, свидетельствуют о существовании активных гидродинамических условий. Эти условия прекращаются, начиная с 4000–4500 кал. л.н., и только после этого начинает формироваться гиттия.

Такое позднее начало органонакопления может быть объяснено существованием на трассе изученных озер пролива с сильным течением, скорость которого не позволяла накапливаться тонкому органогенному материалу. Также возможно, что некие осадки здесь формировались, но были размывы в ходе экстремально сильного эрозионного события, после которого и началось озерное осадконакопление. Известно несколько гидрологических событий катастрофического масштаба на данной территории – спуск БЛО около 11 700 кал. л.н., прорыв р. Вуоксы, которая изменила направление своего стока и стала впадать в Ладожское озеро около 5700–5900 кал. л.н., прорыв р. Невы около 3700 кал. л.н. [11]. Но вне зависимости от времени формирования песчано-гравийных отложений, присутствие в них створок из характерного комплекса “ладожских” видов диатомей указывает на то, что в период перед изоляцией котловины изученных озер имели связь с Ладожским озером.

Результаты палеолимнологических исследований, выполненных на Макаровском и Ламском озерах, расположенных в 8 км южнее, на т.н. юж-

ной протоке Гейниокского пролива, в общем, согласуются с полученной нами реконструкцией. Там начало накопления гиттии, залегающей на песчано-алевритовых отложениях определено в 3000–4000 кал. л.н. [12–14]. Расчетные параметры палеостока через Гейниокский палеопролив в общем сопоставимы с современными гидрологическими характеристиками р. Невы [15].

Таким образом, синхронное начало около 3000–4000 кал. л.н. формирования гиттии на песчано-гравийных отложениях в котловинах озер с современными отметками 14–16 м над у.м., расположенных в северной части современного балтийско-ладожского водораздела, позволяют подтвердить существование до этого времени здесь соединения между Ладожским озером и Балтийским морем с активными гидродинамическими условиями, неблагоприятными для формирования гиттии. Прекращение этого соединения ввиду его осушения, как следствия изостатического поднятия территории, привело к началу озерного осадконакопления в изолировавшихся многочисленных котловинах, расположенных на трассе палеопролива.

Мощность вскрытых органогенных осадков, отобранных из открытых частей водоемов, меняется по площади, но не превышает 2–3 м. Скорость накопления гиттии составила около 0.2–0.8 мм/год, что сопоставимо со скоростями голоценового осадконакопления в озерах севера Русской равнины и прилегающих территорий.

Процесс изоляции был значительно растянут по времени. Даже в пределах одной озерной котловины органонакопление не начиналось одновременно, временной разрыв мог достигать тысячи лет. Это свидетельствует о постепенном ходе изоляции, когда при сохранении течения в основном створе в удаленных от него частях озерной котловины уже начинали устанавливаться гидродинамические условия, благоприятные для накопления гиттии. Наибольшая часть полученных дат из подошвы гиттии лежит в диапазоне 3000–3500 кал. л.н., что позволяет определить время прекращения функционирования Гейниокского палеопролива данным интервалом. Однако окончательное установление условий, благоприятных для органонакопления, по всей площади озерной котловины могло произойти позднее. Наиболее молодые даты подошвы гиттии (2500–2750 кал. л.н.) получены в двух точках в озерах Лунном и Без названия.

Несмотря на незначительное отличие изученных озер по высоте (14–16 м над у.м.), прослеживается зависимость времени начала органонакопления от абсолютной отметки уреза — наиболее ранние даты подошвы (4250–4530 кал. л.н.) гиттии получены для отложений Воробьиного озера, расположенного выше всех остальных.

Полученные данные предполагают постепенное поднятие территории в качестве основной причины прекращения стока по Гейниокскому проливу. Прорыв р. Невы около 3700 кал. л.н. и последовавшее за ним падение уровня Ладожского озера наложились на идущий процесс и ускорили его.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер позднеплейстоценовой и голоценовой седиментации в озерных отложениях современного водораздела между Балтийским морем и Ладожским озером в северной низменной части Карельского перешейка позволяет выделить несколько этапов развития водных бассейнов: 1 — этап большого олиготрофного бассейна (ленточные и гомогенные глины/ППП — 0.4–3.0%/БЛО, Анциловое (?) озеро); 2 — этап активных гидродинамических условий (разнозернистые пески, иногда с гравием/ППП — 0.3–2.5%/канал стока из Ладожского озера); 3 — этап малого озера (гиттии/ППП — 9–78% (средние значения 30–45%)/малые озера с замедленным водообменом).

Мощность гиттий незначительна и не превышает 2–3 м, скорость ее накопления составила около 0.2–0.8 мм/год.

Время прекращения существования Гейниокского соединения между Ладожским озером и Балтийским морем определено в 3000–3500 кал. л.н., притом что первые признаки уменьшения стока через него отмечены уже 4500–4000 кал. л.н., а окончательное установление озерных обстановок осадконакопления в котловинах озер, расположенных на трассе палеопролива на современных отметках 14–16 м над у.м., произошло не позднее 2700–2500 кал. л.н.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают огромную признательность А.В. Орлову, Е.С. Дудоркину и всем участникам полевых и лабораторных работ за неоценимую помощь.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проведено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН по теме № 0154-2019-0001 (Д.Д. Кузнецов, А.В. Лудикова) и при поддержке министерства просвещения РФ по программе № FSZN-2020-0016 (Д.А. Субетто).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Субетто Д.А.* Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 343 с.
2. *Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А.* Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. М.: ГЕОС, 2019. 120 с.
3. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки. Л.: Наука, 1990. 280 с.
4. *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: Изд-во РГО, 1993. С. 61–73.
5. *Кошечкин Б.И., Эрман И.М.* Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб: Изд-во РГО, 1993. С. 49–60.
6. *Верзилин Н.Н.* Новые данные о голоценовой истории Ладожского озера и Невы // ДАН. 1995. Т. 342. № 2. С. 251–253.
7. *Лудикова А.В.* Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа // Известия РГО. 2015. Т. 147. Вып. 4. С. 38–51.
8. *Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Сапелко Т.В.* Использование метода “изоляционных бассейнов” при реконструкции изменений уровня Ладожского озера // Всероссийская конференция по крупным внутренним водоемам (V Ладожский симпозиум). Сб. научных трудов конф. СПб.: Лемма, 2016. С. 247–253.
9. *Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Лудикова А.В., Орлов А.В., Шаталова А.Е., Дудоркин Е.С., Тумская В.В.* Новые сведения об отложениях Гейниокского пролива (Карельский перешеек) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. 2020. № 7. С. 318–321. <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10751>
10. *Bronk Ramsey C.* Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. Radiocarbon. 2009. V. 51(1). P. 337–360.
11. *Alenius T., Gerasimov D., Sapelko T., Ludikova A., Kuznetsov D., Golyeva A., Nordqvist K.* Human-environment Interaction during the Holocene along the Shoreline of the Ancient Lake Ladoga: A Case Study Based on Palaeoecological and Archaeological Material from the Karelian Isthmus, Russia // The Holocene. 2020. V. 30. № 11. P. 1622–1636.
12. *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., Saveleva L.A.* The Baltic Sea and Ladoga Lake Transgressions and Early Human Migrations in North-western Russia // Quaternary International. 2009. V. 203. P. 33–51.
13. *Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Minina M.V., Druzhinina O.A.* Palaeorunoff from Lake Ladoga to the Baltic Sea during the Holocene // Hydrosphere. Hazard processes and phenomena. 2020. V. 2. Iss. 2. P. 148–157. <https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.148>
14. *Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Лудикова А.В.* Гидрографическая сеть северной части Карельского перешейка в голоцене по данным о строении отложений малых озер // Геоморфология. 2015. № 1. С. 54–69.
15. *Субетто Д.А., Аверичкин О.Б., Кузнецов Д.Д.* Расчеты палеостока по Балтийско-Ладожскому соединению в северной части Карельского перешейка // Известия РГО. 2009. Вып. 5. С. 37–51.

THE CONNECTION BETWEEN LAKE LADOGA AND THE BALTIC SEA IN THE LATE HOLOCENE – NEW PALAEOOLIMNOLOGICAL DATA

D. D. Kuznetsov^{a, #}, D. A. Subetto^b, and A. V. Ludikova^a

^a Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences – St.-Petersburg Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russian Federation

^b Herzen State Pedagogical University of Russia, St.-Petersburg, Russian Federation

[#]E-mail: dd_kuznetsov@mail.ru

The paper presents the results of chronological and lithostratigraphic studies of five small lakes located in the northern part of the Karelian Isthmus, where the hypothetical connection between Lake Ladoga and the Baltic existed until the River Neva breakthrough in the south, at the 2nd half of the Holocene. Stratigraphic sequences of the study lakes demonstrate the transition from turbulent environments to low-energetic lacustrine sedimentation ca. 3000–3500 cal. BP. This indicates the termination of the northern Ladoga-Baltic connection as a result of isostatic uplift and the formation of the new Lake Ladoga outlet, the River Neva.

Keywords: Karelian Isthmus, Lake Ladoga, Baltic Sea, Hejnjoki Straight, lake sediments, the Holocene