

Litho- and biostratigraphy of the Holocene sediments in the southern part of Lake Ladoga



Kuznetsov D.D.*, Ludikova A.V., Revunova A.V.

Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences – SPC RAS, Sevastyanova str. 9, St. Petersburg 196105, Russia

ABSTRACT. We present the results of study sediment core, taken in the southern part of Lake Ladoga at the depth of 44 m. The sediments are gray silt with total thickness of 0.8 m. Diatom and loss-on-ignition and grain-size analyzes and radiocarbon dating were carried out. The retrieved sediments formed during the Holocene starting from the regression of the Ancylus Lake at the Baltic ca. 10,200 cal. BP. Changes in the composition of diatom assemblages and the dynamics of organic accumulation correspond to the typical scenarios that we recorded in the Holocene sediments in the central part of Lake Ladoga. No sedimentary hiatuses were recorded. Thus, it has been established that aquatic, relatively deep-water conditions existed in this part of the Ladoga basin starting from the Early Holocene with the accumulation of fine-grained sediments.

Keywords: the Holocene, Lake Ladoga, lake sediments, loss on ignition, diatom analyses

For citation: Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Revunova A.V. Litho- and biostratigraphy of the Holocene sediments in the southern part of Lake Ladoga // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 469-474. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-469

1. Introduction

Paleoreconstructions of the dynamics of the shoreline of Lake Ladoga and its environment in the Holocene have been carried out since the end of the 19th century (e.g. The history..., 1990). However, a number of unresolved issues still remain including the reconstruction of the sedimentation conditions that existed in the southern part of the Ladoga depression.

The southern part of Lake Ladoga is characterized by relatively shallow depths (up to 50 m). The surface sediments here are mainly represented by sands, gravel and pebbles (Subetto, 2009). Sediment studies carried out here in the late 1950s – early 1960s revealed the clays underlying the sands pollen-dated to the Early Holocene (Semenovich, 1966). However, later studies recorded sedimentary hiatuses in the sediment sequences in the southern part of the lake and concluded that subaerial conditions existed here in the first half of the Holocene (Lake..., 2002). The position of the southern coastline of Lake Ladoga during the Yoldia low-level stage of the Baltic Sea was drawn along the present 50-m isobath (ibid.). Lake Ladoga also experienced several transgressive stages. During the Ancylus transgression stage of the Baltic Sea (ca. 10,700-10,200 cal. BP) the lake-level rise to its present

level was suggested that ended with the level drop and drying of the southern part of the Ladoga bottom (The history..., 1990). According to other data, the lake-level rise only reached the present 20-m isobath (Lake..., 2002). The next high-level stage occurred in the second half of the Holocene when during the Ladoga transgression the southern coastal lowlands were flooded, and some researchers distinguish two stages of rise in lake level during this period (The history..., 1990). After the termination of the Ladoga transgression, ca. 3300 cal. BP, the level of Lake Ladoga dropped to its present 5 m above sea level.

Due to the existing uncertainty in the characteristics of sedimentation conditions in the southern part of the Ladoga basin, the works on the revision of this issue have been initiated. One of the objectives of the study included sediment sampling and characterization of the Early Holocene sediments in the southernmost parts of the basin.

2. Materials and methods

Sediment cores were collected in the southern part of Lake Ladoga in the summer of 2023 from the Poseidon Research Vessel using a gravity corer. At station 10, at a depth of 44 m, a core with a thickness

*Corresponding author.

E-mail address: dd.kuznetsov@mail.ru (D.D. Kuznetsov)

Received: June 05, 2024; **Accepted:** June 28, 2024;

Available online: August 26, 2024



of 0.8 m was retrieved. Loss-on-ignition (LOI), diatom and grain-size analyzes as well as radiocarbon dating using accelerator mass spectrometry were carried out. Species identification of the scales and bones of a fish found in the lowermost part of the sediment core was performed (Kuznetsov et al., 2023). Ignition was carried out at a temperature of 550°C for 6 hours. Due to the insufficient volume of material, grain-size analysis was only performed for a fine fraction of sediments (≤ 0.1 mm) using the pipette method.

3. Results and discussion

The results of radiocarbon dating showed that the sediment sequence covers most of the Holocene starting from the time of regression of Ancylus Lake ca. 10,200 cal. BP. The retrieved sediments are represented by gray sandy silt with the upper 10 cm being light brown and black. The average organic matter content was ca. 5% ranging from 2.2% to 8.7%. The lowest LOI values are typical for sediments of the Early Holocene. In the middle part of the section corresponding to the climatic optimum a notable peak in the organic matter content was recorded. In the second half of the Holocene, a sharp decrease in LOI values occurs. Similar patterns were previously identified in other sediment cores in Lake Ladoga (Kuznetsov and Subetto, 2021).

Based on the grain-size analysis the sediments were described as silts with variable admixture of fine sand and silty sand. The proportion of fine sand in the sediments of the first half of the Holocene is 13-42%, with an average value of 25%. In the second half of the Holocene, starting from 4000-3500 cal. BP synchronously with the decrease in organic matter content, the proportion of fine sand increases to 24-56% with an average value of 42%. The obtained radiocarbon dates suggest that these changes could be associated with the termination of the Mid-Holocene Ladoga transgression.

The Early Holocene sediments are characterized with a low diatom concentrations and a relatively high proportions of benthic diatoms, which is also typical for the other sediment sequences in Lake Ladoga (Kostrova et al., 2019; Ludikova and Kuznetsov, 2021). Subsequently, the diatom assemblages with an absolute predominance of planktonic *Aulacoseira islandica* formed and the diatom concentrations increased reflecting an improvement in climatic and environmental conditions, and together with an increase in the organic matter content indicating an increase in the productivity of the lake ecosystem. A further increase in the diatom concentrations and a co-dominance of planktonic *Aulacoseira subarctica* are characteristic for the sediments of the second half of the Holocene (Ludikova and Kuznetsov, 2021).

In the bottommost part of the sediments, fish vertebrae and scales belonging to the river perch (*Perca fluviatilis* L., 1758) were found (Kuznetsov et al., 2023). Perch is a cold-loving species and belongs to the earliest fish invaders of Lake Ladoga (The history..., 1998). The reconstructed size of the Early-Holocene specimen is comparable to the present one of the same age. The size of the perch is largely determined by its diet,

which includes various groups of organisms – crustaceans, insects, mollusks, fish (Sterligova et al., 2016). It can be suggested therefore that the composition of the Ladoga biota was quite diverse in the Early Holocene, and multi-level food chains could have formed.

4. Conclusions

The structure and composition of the studied sediments, the dynamics of organic accumulation that corresponds to the standard pattern for Lake Ladoga, and changes in the composition of diatom assemblages indicate the continuous sedimentation starting from the termination of the Ancylus transgression in the Early Holocene.

It can be argued therefore that in the considered part of the Ladoga basin aquatic, relatively deep-water conditions with the accumulation of fine-grained sediments existed in the Early Holocene.

Finding of the remains of the river perch in the Early Holocene sediments confirms the hypothesis of the early invasion of cold-loving fish species in the Ladoga basin.

The drop in the organic matter content observed synchronously with the onset of the increase in the proportion of fine sand fraction and roughly corresponds to the termination of the Mid-Holocene Ladoga transgression.

Acknowledgements

The study contributes to the State Research Program of the Institute of Limnology – SPC RAS (no FFZF-2024-0001). The authors express their gratitude to the captain and the crew of the Poseidon Research Vessel and all participants of the field and laboratory works for their help.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Kostrova S.S., Meyer H., Bailey H.L. et al. 2019. Holocene hydrological variability of Lake Ladoga, northwest Russia, as inferred from diatom oxygen isotopes. *Boreas* 48: 361-376. DOI:[10.1111/bor.12385](https://doi.org/10.1111/bor.12385)
- Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Askeev I.V. et al. 2023. Holocene sediments of the southern part of Lake Ladoga – survey of the 1960s, results of 2023 and a unique find of the Early Holocene perch. *Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia* 10:377-380. DOI:[10.24412/2687-1092-2023-10-377-380](https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-377-380) (in Russian)
- Kuznetsov D.D., Subetto D.A. 2021. Holocene organic sedimentation in Lake Ladoga. *Geomorfologiya* 52(2): 63-71. DOI:[10.31857/S043542812102005X](https://doi.org/10.31857/S043542812102005X) (in Russian)
- Lake Ladoga. Past, present and future. 2002. Saint-Petersburg: Nauka Publ. (in Russian)
- Ludikova A.V., Kuznetsov D.D. 2021. Siliceous microalgae in the Lake Ladoga sediments and their significance in paleolimnological reconstructions. *Izvestia RGO [Proceedings of Russian Geographical Society]* 153(6): 46-64. DOI:[10.31857/S0869607121060033](https://doi.org/10.31857/S0869607121060033) (in Russian)

Semenovich N.I. 1966. Bottom sediments of Lake Ladoga. Moscow-Leningrad: Nauka Publ. (in Russian)

Sterligova O.P., Il'mast N.V., Savosin D.S. 2016. Perch *Perca fluviatilis* (Percidae) in different types of Karelian water bodies. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Obshchaya biologiya* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Biology] 2(155): 57-62. (in Russian)

Subetto D.A. 2009. Lake sediments: paleolimnological reconstructions. Saint-Petersburg, Herzen University Publ. (in Russian)

The history of Lakes Ladoga, Onega, Pskov-Chudskoye, Baikal and Khanka. 1990. Leningrad: Nauka Publ. (in Russian)

The history of pleistocene lakes of the East European plain. 1998. Saint-Petersburg: Nauka Publ. (in Russian)

Лито- и биостратиграфия голоценовых отложений южной части Ладожского озера

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Кузнецов Д.Д.* , Лудикова А.В., Ревунова А.В.

Институт озероведения – СПб ФИЦ РАН, ул. Севастьянова, 9, С.-Петербург 196105, Россия

АННОТАЦИЯ. Исследована колонка донных отложений Ладожского озера, отобранная в южной части акватории с глубины 44 м. Отложения представлены серым алевритом. Общая мощность составила 0,8 м. Проведены диатомовый, гранулометрический анализы, радиоуглеродное датирование, определены потери при прокаливании. Вскрытые отложения формировались на протяжении голоцена, начиная со времени регрессии Анцилового озера около 10200 кал. л.н. Изменения в составе диатомовых комплексов и динамика органонакопления соответствует типичному сценарию, фиксируемому нами в голоценовых отложениях центральной части Ладожского озера. Перерыв осадконакопления не обнаружено. Таким образом установлено, что в рассматриваемой части котловины Ладожского озера в раннем голоцене существовали субаквальные, сравнительно глубоководные условия с накоплением тонкоразмерных осадков.

Ключевые слова: голоцен, Ладожское озеро, озерные отложения, потери при прокаливании, диатомовый анализ

Для цитирования: Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Ревунова А.В. Лито- и биостратиграфия голоценовых отложений южной части Ладожского озера // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 469-474. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-469

1. Введение

Палеорекострукции динамики береговой линии Ладожского озера и параметров его среды в голоцене проводятся, начиная с конца XIX в. (напр. История..., 1990). К настоящему времени остался ряд нерешенных вопросов, среди которых реконструкция условий осадконакопления, существовавших в южной части современной акватории.

Южная часть Ладожского озера характеризуется относительно небольшими глубинами (до 50 м). Поверхность отложений здесь сложена преимущественно песчаными и гравийно-галечными осадками (Субетто, 2009). В ходе работ, проводившихся здесь в конце 1950-х – начале 1960-х гг. вскрытые под песками глинистые отложения были датированы по данным спорово-пыльцевого анализа раннеголоценовым возрастом (Семенович, 1966). Однако в более поздних работах отмечается перерыв в осадконакоплении в отложениях южной части озера и делается вывод о существовании здесь в первой половине голоцена субаэральных условий (Ладожское..., 2002). Положение береговой линии Ладожского озера на юге во время иольдиевой стадии Балтийского моря проводится

по современной изобате около 50 м (там же). В истории озера отмечается несколько трансгрессивных эпизодов. Подъем уровня до современных отметок в стадию анциловой трансгрессии Балтики (около 10700-10200 кал. л.н.) закончился спадом и осушением южной части современной акватории (История..., 1990). По другим данным этот подъем достигал только современной 20-метровой изобаты (Ладожское..., 2002). Второй подъем уровня происходил во второй половине голоцена, когда в ходе ладожской трансгрессии произошло затопление южных прибрежных низменностей, причем некоторыми исследователями в этот период выделяется два этапа подъема уровня (История..., 1990). После завершения ладожской трансгрессии около 3300 кал. л.н., уровень Ладожского озера понизился до современных 5 м над у.м.

В связи с имеющейся неопределенностью в характеристике условий осадконакопления для данной части акватории нами начаты работы по ревизии этого вопроса. Одной из целей исследования является отбор и характеристика раннеголоценовых отложений в наиболее южных частях котловины.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: dd.kuznetsov@mail.ru (Д.Д. Кузнецов)

Поступила: 05 июня 2024; Принята: 28 июня 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



2. Материалы и методы

Колонки донных отложений были отобраны в южной части Ладожского озера летом 2023 г. с борта НИС Посейдон гравитационной трубкой системы ГОИН. На станции 10 на глубине 44 м отобрана колонка мощностью 0,8 м. Определены потери при прокаливании, проведены диатомовый и гранулометрический анализы, радиоуглеродное датирование с использованием ускорительной масс-спектрометрии, определение видовой принадлежности рыбы, чешуя и кости, которой были обнаружены в нижней части отложений (Кузнецов и др., 2023). Прокалывание проводилось при температуре 550°C в течение 6 часов. Гранулометрический анализ из-за недостаточного объема материала проводился только для тонкой фракции отложений (для фракции менее 0,1 мм) пипеточным методом.

3. Результаты и обсуждение

Результаты радиоуглеродного датирования показали, что полученная колонка охватывает большую часть голоцена, начиная со времени регрессии Анцилового озера около 10200 кал. л.н. Вскрытые отложения представлены серым опесчаненным алевритом, верхние 10 см светло-бурого и черного цвета. Содержание органического вещества составило в среднем около 5%, при диапазоне значений 2,2-8,7%. Самые низкие значения ППП характерны для осадков раннего голоцена. В средней части разреза, соответствующей эпохе климатического оптимума отмечен четко выраженный пик содержания органического вещества. Во второй половине голоцена происходит резкое снижение значений ППП. Подобные закономерности ранее отмечались в других колонках ладожских отложений (Кузнецов и Субетто, 2021).

Гранулометрический анализ позволил охарактеризовать исследованные отложения как песчаные и песчанистые алевриты и алевритовый песок. При этом в отложениях первой половины голоцена доля тонкого песка составляет 13-42%, при среднем значении 25%. Во второй половине голоцена, начиная с 4000-3500 кал. л.н. параллельно с уменьшением содержания органического вещества, содержание тонкого песка увеличивается до 24-56% при среднем значении 42%. Полученный возраст позволяет предположить, что данные изменения могли быть связаны с завершением среднеголоценовой ладожской трансгрессии.

Отложения раннего голоцена характеризуются низким содержанием створок диатомовых водорослей, и сравнительно высокой долей диатомей бентоса, что характерно и для других разрезов ладожских осадков (Лудикова и Кузнецов, 2021; Kostrova et al., 2019). Впоследствии формируются монодоминантные диатомовые комплексы с абсолютным преобладанием планктонной *Aulacoseira islandica*, увеличиваются концентрации створок диатомей, отражающие улучшение природно-климатических обстановок и вместе с увеличением

содержания органического вещества свидетельствующие о повышении продуктивности экосистемы. Дальнейший рост содержания створок диатомей в осадках и появление планктонной *Aulacoseira subarctica* в качестве со-доминанта характерно для осадков второй половины голоцена (Лудикова и Кузнецов, 2021).

В отложениях, залегающих в основании разреза обнаружены фрагменты рыбы: позвонки и чешуя речного окуня (*Perca fluviatilis* L., 1758) (Кузнецов и др., 2023). Окунь является холодолюбивой формой и относится к первым вселенцам Ладожского озера (История озер..., 1998). Реконструированный размер раннеголоценовой особи сопоставим с таковым для современного окуня такого же возраста. Размер окуня в значительной степени обусловлен питанием, которое включает в себя разнообразные группы организмов – ракообразных, насекомых, моллюсков, рыб (Стерлигова и др., 2016). Вероятно, можно говорить о том, что в раннеголоценовое время состав ладожской биоты был достаточно разнообразным, что позволяло существовать многоуровневым пищевым цепям.

4. Заключение

Строение и состав исследованной колонки донных отложений, динамика органонакопления, соответствующая стандартному ходу накопления органического вещества для Ладожского озера, и изменения в составе диатомовых комплексов свидетельствуют об отсутствии перерывов осадконакопления, начиная со времени завершения анциловой трансгрессии в раннем голоцене.

Можно утверждать, что в рассматриваемой части котловины Ладожского озера в раннем голоцене существовали субаквальные, сравнительно глубоководные условия с накоплением тонкоразмерных осадков.

Находка остатков речного окуня в отложениях указанного периода подтверждает гипотезу о раннем заселении холодолюбивых видов рыб в ладожский бассейн.

Падение содержания органического вещества синхронно с началом роста содержания тонкопесчаной фракции и датируется приблизительно периодом завершения ладожской трансгрессии.

Благодарности

Исследование осуществлено при поддержке государственной программы ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН (FFZF-2024-0001). Авторы выражают глубокую благодарность капитану и команде НИС Посейдон и всем участникам полевых и лабораторных работ за их помощь

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки. 1990. Л.: Наука. 280 с.

История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. 1998. СПб.: Наука. 406 с.

Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Аськеев И.В. и др. 2023. Донные отложения южной части Ладожского озера: результаты исследований 1960-х гг., новые данные и уникальная находка остатков раннеголоценового окуня. Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России 10: 377-380. DOI: [10.24412/2687-1092-2023-10-377-380](https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-377-380)

Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. 2021. Голоценовое накопление органического вещества в донных отложениях Ладожского озера. Геоморфология 52(2): 63-71. doi:[10.31857/S043542812102005X](https://doi.org/10.31857/S043542812102005X)

Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. 2002. СПб.: Наука. 327 с.

Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д. 2021. Кремнистые микроводоросли в донных отложениях Ладожского озера и их роль в палеолимнологических реконструкциях. Известия РГО 153(6): 46-64. doi: [10.31857/S0869607121060033](https://doi.org/10.31857/S0869607121060033)

Семенович Н.И. 1966. Донные отложения Ладожского озера. М.-Л.: Наука. 124 с.

Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Савосин Д.С. 2016. Окунь *Perca fluviatilis* (Percidae) разнотипных водоемов Карелии. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Общая биология 2(155): 57-62.

Субетто Д.А. 2009. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена. 339 с.

Kostrova S.S., Meyer H., Bailey H.L. et al. 2019. Holocene hydrological variability of Lake Ladoga, northwest Russia, as inferred from diatom oxygen isotopes. *Boreas* 48: 361-376. DOI: [10.1111/bor.12385](https://doi.org/10.1111/bor.12385)