

Reconstruction of changes in sedimentation conditions of lakes of the Barents Sea coast during their isolation from the sea in the Holocene (Mustatunturi Ridge, Kola region)

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYShikhirina K.A.^{1,*}, Tolstobrov D.S.²¹Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Embankment, St. Petersburg, 191186, Russia²Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 14 Fersmana Str., Apatity, 184209, Russia

ABSTRACT. In this short communication presented a reconstruction of the isolation process of 4 lakes located on the coast of the Barents Sea (Musta-Tunturi ridge). The reconstruction was carried out on the basis of a lithological description of lakes' bottom sediments, interpreted as transition zone sediments from marine to lake sedimentation conditions. The lithological description was compiled based on the results of grain-size and LOI (losses on ignition) analyses of 4 lakes' bottom sediments and its radiocarbon dating. An assumption about the role of tectonic and climatic factors in the isolation of lake basins was made.

Keywords: bottom sediments of lakes, sea level change, Barents Sea, Late Glacial, Holocene

For citation: Shikhirina K.A., Tolstobrov D.S. Reconstruction of changes in sedimentation conditions of lakes of the Barents Sea coast during their isolation from the sea in the Holocene (Mustatunturi Ridge, Kola region) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 676-683. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-676

1. Introduction

One of the paleogeographic research methods is studying the development of lake basins, the bottom sediments of which could be a source of information about the conditions of their formation. In recent years, the isolated basins method proposed by Scandinavian scientists (Donner et al., 1977) has been used to determine the nature of bottom sediments formation conditions in lake basins formed as a result of sea regression. The method is based on determining the spatial and temporal position of the insulating contact – the transition zone from the sea to the freshwater lake, in the columns of bottom sediments from the basins of lakes. The territory of the northeast of the Fennoscandian Shield is a classic area for studying changes in the position of the sea coastline associated with neotectonic movements of the Earth's crust. Late Glaciation Ice Sheet (Ramsai, 1898) caused the uplift of the territory during the Late Pleistocene and Holocene, and continues today, albeit at a much lower rate and with a gradually decreasing trend (Lavrova, 1960). Such works were carried out on the Barents Sea coast of the Kola region in the areas of the village Dalnie Zelentsy (Snyder et al., 1997), Nickel (Corner et al., 1999) and Polyarny (Corner et al.,

2001), in the valley of the Tuloma River (Tolstobrov et al., 2015; 2016), as well as on the White Sea coast of the Kola Peninsula and Karelia (Kolka et al., 2013; 2014; 2015). At the same time, there remain areas of the Barents Sea Murmansk coast for which there is no data. Lithology was described in the previous abstract about first results of this work (Tolstobrov et al., 2021), some other results of this research were also presented in 3 previous papers (Tolstobrov et al., 2021; 2023; Shikhirina et al., 2022).

2. Materials and methods

In July 2021 the expedition took place and bottom sediments of 8 lakes located on elevations 11.0-83.5 m were sampled. Four of them that have been chosen to be analyzed on LOI and grain-size are located on elevations: SR-1 (11.0 m), SR-5.2 (27.0 m), SR-2 (31.2 m) and SR-7.2 (83.5 m). The radiocarbon dating was proceeded.

Both analyses were performed according to the standard methodology (GOST 17.4.4.02-84) in the laboratory of Rational Environmental Management of the Faculty of Geography of Herzen University. To perform

*Corresponding author.

E-mail address: kristinashikhirinaa@gmail.com (K. Shikhirina)

Received: June 11, 2024; **Accepted:** July 05, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



the LOI analysis, the samples were ignited at 550°C, prepared and weighted before and after the ignition to count the losses of weight. It is interpreted as the loss of organic matter (Meyers and Teranes, 1999). After comparison of different methods, the Estonian one was chosen (Vaasma, 2008): every sample was mixed with 40% hydrogen peroxide and heated up to 80°C until the reaction stopped. Grain-size analysis was performed using LaSca-1C Laser Particle Size Analyzer. The fractions were determined according to Kachinsky (Kachinsky, 1965).

3. Results and discussion

SR-7.2 (83.5 m). Gravel and other large particles of slightly smaller dimensions are found in the upper part of facies I, which can be a marker of seismic activity during the isolation period and possibly indicates the leading role of the tectonic factor in the lake isolation. Facies II is a transition zone from the marine to the lake type of sedimentation: siltstone sediments are changing to gyttja, this is a zone of the smallest average diameters with a dominance of fine-powdered and medium-powdered particles. It is characterized by the upward increase in the organic matter content from 4% in facies I to 30% with the smallest average particle diameter throughout the core and the dominance of medium dust particles in the fractional distribution (in the absence of larger particles). These characteristics of the facies indicate the lake water level increase and sedimentation conditions of deeper lake with a dominance of coarse remnants of higher plants in the organic part of the sediment, as indicated by the brown color and its olive tint of the gyttja. The dating of the sediment of the transition zone had not yet been performed. In the lower part of facies III with a higher content of organic matter, there is an obscure layering, indicating a frequent climate warming and cooling periods changings.

SR-2 (31.2 m). The boundary between the marine sediments facies (I) and the facies of the transition zone sediments (II) is smooth, probably the isolation from the sea occurred quickly, but not abruptly. Facies II is only 2 cm of 1.81 cm uncovered sediments in this lake. According to the petrographic description it consists of sand with a brown gyttja (with a yellowish tint). Grain-size analysis revealed the following particle ratio: 33.50% (fine dust), 25.87% (medium dust) 34.81% (coarse dust), 15.77% (fine sand) and 4.11% (medium sand). The formation of the facies occurred in the early Preboreal: radiocarbon dating of the higher sediments confirmed an age of 10930 ± 140 cal. years.

SR-5.2 (27.0 m). During the Holocene the lake went through isolation stage twice. The transition between the horizon of facies I and II is sharp, which indicates the nature of the isolation. Due to the lack of dating, now it can only be assumed that this event belongs to the Preboreal period and occurred no earlier than 10930 ± 140 cal. years ago, when lake SR-2 located 4 meters above was isolated. The transition zone of the lake SR-2 sediments is thin; it can be assumed that the isolation of lake SR-5 occurred faster. However, it is difficult to prove the cause: was it caused

by the uplift of this area or the sea level lowering itself. The sharp boundary between lake and marine sediments probably associated with the Middle Holocene transgression Tapes (Tolstobrov et al., 2021; Tolstobrov et al., 2023). The lower layer of marine sediments contains inclusions of gravel, crushed stone and pebbles up to 3x1.5 cm, wood remains and other undecayed plants remains. The characteristics of the boundary and the inclusions observed indicate a sharp sedimentation conditions change. This change was caused or correlated with a catastrophic event that led to accumulation of coarse-grained material at the bottom of the lake. It can be assumed that this event was the Storegga tsunami in the Middle Holocene (Bondevik et al., 1997), which revealed in this lake sediments more clear than in lake SR-2 sediments. The horizon is characterized by a low content of organic matter and a dominance of silt in the grain-size composition with large inclusions. Facies II, which lies above marine sediments, is a loose dark brown gyttja with sand filled with plant remains. The containment of organic matter increases significantly up the horizon (from 30 to 47%), fine dust and silt particles dominate in the grain-size composition (70-80% in total). The dark color indicates a significant dominance of coarse detritus over fine detritus. Probably, during this period the lake was not completely isolated from the sea, which could explain the accumulation of plant remains due to the wash. The approximate age of the sediment can be assumed by comparing the petrographic description of this core and the other one sampled in this lake. Radiocarbon showed about 7.500 cal. years, which indicates the horizon formation occurred later the Tapes transgression reached its peak. Excluding the factors that could potentially affect the radiocarbon dating the glacial isostatic adjustment as the isolation cause could be assumed. Probably the lake level also got lower during this period. Nevertheless, due to the lack of radiocarbon dating for the samples of this core now it is only possible to assume that the first isolation of the lake in the Holocene occurred in the Boreal period. In the Atlantic period the lake basin was a part of the sea bottom because the Tapes transgression. After the sea regression during the Subboreal and Subatlantic periods the lake conditions became the same as it could be observed today.

SR-1 (11.0 m). Facies II (10 cm of 90 cm uncovered sediments) represents a transition zone from marine sedimentation conditions to lake conditions. The boundary between this and the lower facies is sharp, which indicates a relatively high rate of isolation. The formation of the higher part of this facies occurred 4830 ± 150 cal. years ago, at the beginning of the Subboreal, a warmer period relative to today's conditions, but characterized by a cooling trend. Probably, the isolation of the lake occurred during the period of the Holocene Climate Optimum. This is also proved by the organic matter containment getting higher from 12% in marine sediments to 25%. The sediments are consisting of layered gyttja with silt. The mineral part of the sediment is characterized by an abrupt increase in the average particle size (from 7 to 15 μm), coarse dust significantly prevails over fine dust, which was

characteristic of the marine sediment facies. Such a change in the fractional distribution of particles size indicates a change in pelagic conditions to littoral ones. The boundary between the precipitation facies of the transition zone and the overlying facies of gyttja is smooth, indicating the smooth desalination of the lake and the establishment of freshwater lake conditions. In the lower part of the facies, plant remains are observed.

4. Conclusion

In all four lakes were uncovered not only lake but also marine genesis sediments. According to the results of radiocarbon dating, the lake located 31.2 meters above sea level, passed through isolation stage in the early Holocene (10930 ± 140 cal. years ago). In this and two other lakes located below, the deepest uncovered marine sediments consist of gray sand, but the higher located SR-7.2 (83.5 m) deepest marine sediments consist of clay with sand and siltstone of gray color with a blue tint, which allows to make an assumption about the periglacial conditions of its formations. The sediment formation and isolation of the lake probably occurred in the Late Pleistocene. Lake SR-5.2 passed through the isolation stage in the Preboreal period, but SR-1 at the end of the Subboreal period. It was suggested that the role of tectonic and climatic factors in the isolation of the studied lake basins: SR-7.2 isolation could be caused by the glacial isostatic adjustment, as indicated by the results of grain-size analysis. The petrographic description suggests a correlation between the isolation of SR-1 and lowering of the Barents Sea level during the climatic cooling at the boundary of the Subboreal and the Subatlantic periods.

Acknowledgements

Authors appreciate Pronina A. V, Kostromina N. A., Nikolaeva S. B., Koroleva A. O., Komarov A. O. and Staforkin A. A. for the field work assistance.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education of Russia (projects no. 073-03-2022-040/2 and no. 073-03-2023-049/3).

Conflict of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Bondevik S., Svendsen J.I., Mangerud J. 1997. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegg tsunami in shallow sea basins and coastal lakes of western Norway. *Sedimentology* 44: 1115-1131. DOI: [10.1046/j.1365-3091.1997.d01-63.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1997.d01-63.x)
- Corner G.D., Kolka V.V., Yevzerov V.Ya. et al. 2001. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia. *Global and Planetary Change* 31: 153-175.
- Corner G.D., Yevzerov V.Ya., Kolka V.V. et al. 1999. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia. *Boreas* 28(1): 146-166. DOI: [10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x)
- Donner J., Eronen M., Jungner H. 1977. The dating of the Holocene relative sealevel changes in Finnmark, North Norway. *Norsk geografisk Tidsskrift [Norwegian Journal of Geography]* 31: 103-128.
- Kachinsky N.A. 1965. *Physics of soils*. Higher School. Part 1. (in Russian)
- Kolka V.V., Evzerov V.Ya., Meller Ya.Y. et al. 2013. Sea level movement in the Late Pleistocene-Holocene and stratigraphy of bottom sediments of isolated lakes on the southern shore of the Kola Peninsula, near the village of Umba. *Izvestia Rossiiskoi Akademii Nauk. Seria Geographicheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series]* 1: 73-88. (in Russian)
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Shelekhova T.S. et al. 2014. The temporal sequence of the White Sea coastline movement in the Holocene according to the study of bottom sediments of lakes in the Kuzema region (North Karelia). *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva [Proceedings of the Russian Geographical Society]* 146(6): 14-26. (in Russian)
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Shelekhova T.S. et al. 2015. Restoration of the relative position of the White Sea level in the Late Glacial and Holocene according to lithological, diatom analyses and radiocarbon dating of bottom sediments of small lakes in the area of the village. Chupa (North Karelia). *Vestnik MSTU [Herald of the Murmansk State Technical University]* 18(2): 255-268. (in Russian)
- Lavrova M.A. 1960. *Quaternary geology of the Kola Peninsula*. Publishing House of the USSR Academy of Sciences.
- Meyers P. A., Teranes J. L. 1999. *Sediment organic matter. Tracking environmental changes using lake sediments: Vol. 2: Physical and geochemical methods*. Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers. 239-269.
- Ramsai W. 1898. About the geological development of the Kola Peninsula in the Quarter. *Fennia* (in German)
- Shikhirina K.A., Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N. 2022. Barents Sea coastline dynamics in the Holocene in the Kola region: grain-size and LOI analyses of lake sediments. *Limnology and Freshwater Biology* 4: 1583-1585.
- Snyder J.A., Forman S.L., Mode W.N. et al. 1997. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia. *Boreas* 26: 329-346.
- Tolstobrov D.S., Kolka V.V., Tolstobrova A.N. et al. 2016. The experience of chronological correlation of coastal relief forms of the Holocene sea in the depression of the Tuloma River and the Kola Bay. *Vestnik MSTU [Herald of the Murmansk State Technical University]* 19 (1/1): 142-150. (in Russian)
- Tolstobrov D.S., Nikolaeva S.B., Tolstobrova A.N. et al. 2021. Lithology of bottom sediments of lakes on the Murmansk coast of the Barents Sea (the area of the Mustatunturi ridge and the Sredny Peninsula, Murmansk region). In: *Annual Conference on the Results of Expeditionary Research "Rel'yef i chetvertichnyye obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii [Relief and Quaternary Formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia]"*, pp. 235-239. (in Russian)
- Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N., Kolka V.V. et al. 2015. Postglacial uplift of the Earth's crust in the northwestern part of the Kola region. *Vestnik MSTU [Herald of the Murmansk State Technical University]* 18(2): 295-306. (in Russian)
- Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N., Kolka V.V. et al. 2018. Possible traces of Holocene tsunamis in lake bottom sediments near the village. Teriberka (Kola Peninsula, Russia). *Trudy KarSC RAS (9) Ser. Limnologia. Okeanographia*. 92-102. (in Russian)
- Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N., Shikhirina K.A. 2023. Preliminary data on changes in the Barents Sea level in the area of the Mustatunturi Ridge, northwest of the Murmansk

region. Proceedings of the Fersman scientific session of the
GI KSC RAS 20: 211–217. DOI: [10.31241/FNS.2023.20.026](https://doi.org/10.31241/FNS.2023.20.026).
(in Russian)

Vaasma T. 2008. Granulometric analysis of lake sediments: comparison of pretreatment methods. *Estonian Environmental Journal* 57(4).

Реконструкция изменений условий осадконакопления озер побережья Баренцева моря в период их изоляции от моря в голоцене (хребет Мустатунтури, Кольский регион)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYШихирина К.А.^{1*}, Толстобров Д.С.²¹РГПУ им. А.И. Герцена Санкт-Петербург, наб. реки Мойки 48, 191186, Россия²ГИ КНЦ РАН Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана 14, 184209, Россия

АННОТАЦИЯ. В данном кратком сообщении приводится реконструкция процесса изоляции 4-х озер, расположенных на побережье Баренцева моря в окрестностях хребта Мустатунтури. Реконструкция выполнялась на основе литологического описания горизонтов донных осадков озера, интерпретируемых как фация осадков переходной зоны от морских условий осадконакопления к озерным. Литологическое описание было составлено по результатам гранулометрического анализа, анализа потерь массы вещества при прокаливании и радиоуглеродного датирования. Выдвинуты предположения о роли тектонического и климатического факторов в изоляции озерных бассейнов.

Ключевые слова: донные отложения озер, изменения уровня моря, Баренцево море, Валдайское оледенение, голоцен

Для цитирования: Шихирина К.А., Толстобров Д.С. Реконструкция изменений условий осадконакопления озер побережья Баренцева моря в период их изоляции от моря в голоцене (хребет Мустатунтури, Кольский регион) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 676-683. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-676](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-676)

1. Введение

Одним из методов палеогеографических исследований является изучение развития озерных бассейнов, донные отложения которых представляют собой источник информации об условиях их формирования. Метод изолированных бассейнов (Donner et al., 1977), использованный в данной работе, предполагает изучение развития береговой линии морей путем реконструкции условий формирования донных отложений в озерных бассейнах, сформировавшихся в результате регрессии моря. Таким образом, трансгрессивно-регрессивные процессы моря могут быть реконструированы посредством изучения седиментогенеза в озерных бассейнах, прошедших через стадию изоляции от акватории морского бассейна. Территория северо-востока Фенноскандии является классической областью для изучения изменений положения морской береговой линии, связанных с неотектоническими движениями земной коры. Валдайское покровное оледенение, покрывающее данную территорию в эпоху плейстоцена (Ramsai, 1898), стало

причиной гляциоизостатического поднятия территории в позднем плейстоцене и голоцене, продолжающегося и сегодня, но со значительно меньшей и постепенно снижающейся скоростью (Лаврова, 1960). Похожие работы для мурманского берега Баренцева моря проводились в окрестностях поселка Дальние Зеленцы (Snyder et al., 1997), Никель (Corner et al., 1999) и Полярный (Corner et al., 2001), в долине реки Тулома (Толстобров и др., 2015; 2016), а также на побережье Белого Моря (Колька и др., 2013; 2014; 2015). Однако, остается не до конца изученной значительная западная часть мурманского берега Баренцева моря. Литология исследуемых в данной работе колонок донных осадков была описана ранее (Толстобров и др., 2021), некоторые результаты этого исследования также были частично представлены в 3 статьях (Толстобров и др., 2021; 2023; Shikhirina et al., 2022).

2. Материалы и методы

Полевые работы проводились в июле 2021 года. Отобраны колонки донных осадков в 8 озерных

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: kristinashikhirinaa@gmail.com (К.А. Шихирина)

Поступила: 11 июня 2024; Принята: 05 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



котловинах, расположенных на высотных отметках от 11,0 до 83,5 метров над современным уровнем моря. Четыре из восьми колонок донных отложений были выбраны как наиболее репрезентативные для проведения гранулометрического анализа, а также анализа потерь массы вещества при прокаливании (ППП). Таким образом, в качестве объектов были выбраны безымянные озера с рабочими названиями: СР-1 (11,0 м), СР-5.2 (27,0 м), СР-2 (31,2 м) и СР-7.2 (83,5 м). Проведено радиоуглеродное датирование выбранных горизонтов колонок СР-1, СР-2 и СР-7.2.

Анализы были выполнены по стандартной методике (ГОСТ 17.4.4.02-84) в научно-исследовательской лаборатории «Рационального природопользования» факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена. Анализ ППП проводился по следующей методике: образцы просушивались при 105° С, растирались в керамической ступе, взвешивались, прокаливались при 550° С, повторно взвешивались. Рассчитанная массовая доля вещества, потерянная при прокаливании, интерпретировалась как доля органического вещества в пробе (Meyers and Teranes, 1999). Для гранулометрического анализа был выбран метод лазерной дифракции с использованием лазерного анализатора LaSca-1С. Пробоподготовка осуществлялась по методике Т. Vaasma (Vaasma, 2008): к пробам был добавлен 40% пероксид водорода, затем пробы нагревались до 80° С, по мере испарения оксида углерода пероксид водорода добавлялся до завершения активной реакции. Фракции минеральной части осадка определялись согласно классификации Н. А. Качинского (Качинский, 1965).

3. Результаты и обсуждение

СР-7.2 (83,5 м). В верхней части фации I встречается гравий и другие крупные частицы несколько меньшей размерности, которые могут быть маркером сейсмической активности в период изоляции и, возможно, таким образом указывать на ведущую роль именно тектонического фактора в изоляции данного озера от морской акватории. Фация II представляет собой переходную зону от морского к озерному типу осадконакопления: алевроитовые осадки постепенно сменяются гиттиевыми, в данной части разреза выделяется зона наименьших средних диаметров с преобладанием мелкопылеватых и среднепылеватых частиц. Характеризуется резким ростом вверх по разрезу содержания органического вещества от 4% в фации I до 30% в совокупности с наименьшим средним диаметром частиц по всему разрезу и преобладанием во фракционном распределении среднепылеватых частиц (при отсутствии более крупных частиц). Данные характеристики фации указывают на подъем уровня воды в озере и более глубоководные условия осадконакопления с преобладанием в органической части осадка именно грубого детрита – остатков высших растений, на что указывает коричневый цвет и его оливковый оттенок гиттии. На момент написания

работы еще не было выполнено датирование осадка переходной зоны. В нижней части фации III с более высоким содержанием ОВ отмечается неясная слоистость, указывающая на частую смену периодов потепления и похолодания.

СР-2 (31,2 м). Граница между фацией морских осадков (I) и фацией осадков переходной зоны (II) плавная, вероятно, изоляция от моря произошла быстро, но не резко. Фация II крайне мало мощная, 2 см при мощности вскрытых осадков в 1,81 см, по петрографическому описанию песок с коричневой гиттией с желтоватым оттенком. Гранулометрический анализ показал следующее соотношение частиц: 33,50% (мелкая пыль), 25,87% (средняя пыль) 34,81% (крупная пыль), 15,77% (мелкий песок) 4,11% (средний песок). Формирование фации произошло в раннем пребореале: радиоуглеродный анализ вышележащего осадка показал возраст 10930 ± 140 кал. лет.

СР-5.2 (27,0 м). В течение голоцена озеро проходило процесс изоляции от акватории моря дважды. Переход между горизонтом фации I и II резкий, что указывает на соответствующий характер изоляции. В силу отсутствия датировки, на данном этапе можно только предположить, что данное событие относится к пребореальному периоду и произошло не ранее 10930 ± 140 кал. лет назад, когда прошло стадию изоляции озеро СР-2, расположенное на 4 метра выше. Учитывая наличие маломощной переходной зоны в озере СР-2, можно предположить, что процесс изоляции озера СР-5 происходил быстрее, однако, сказать, было это вызвано поднятием данного участка или же понижением уровня самого моря, затруднительно. Граница между озерными осадками и морскими осадками, вероятно, среднеголоценовой трансгрессии Тапес (Толстобров и др., 2021; Толстобров и др., 2023) неровная, нижний слой морских осадков содержит включения гравия, щебня и гальки до $3 \times 1,5$ см, фрагменты древесины и другие неразложившиеся остатки высшей растительности. Такой характер границы и включения указывают на резкую смену условий седиментогенеза, вызванную (или коррелирующую с катастрофическим событием, которое обусловило аккумуляцию грубообломочного материала в котловине озера. Можно предположить, что этим событием стало цунами Стурегга, проявившееся в данном озере сравнительно больше (Bondevik et al., 1997), чем в осадках озера СР-2. Характеризуется горизонт малым содержанием органического вещества и преобладанием в гранулометрическом составе илистой фракции, если не учитывать редкие, но крупные включения. Фация II, залегающая выше морских осадков, это наполненная растительными осадками рыхлая темно-коричневая гиттия с песком. Доля органического вещества значительно возрастает вверх по горизонту (с 30 до 47%), в гранулометрическом составе доминируют мелкопылеватые и илистые частицы (70-80% суммарно). Темный цвет указывает, однако, на значительное преобладание грубого детрита над тонким. Вероятно, в этот период озеро не было окончательно изолировано от

моря, что могло бы объяснить аккумуляцию остатков высшей водной растительности вследствие приобья. Приблизительный возраст осадка при сопоставлении по петрографическому описанию с другой колонкой, отобранной в данном озере, но для которой было выполнено датирование (около 7500 кал. лет назад), указывает нам на то, что формирование горизонта произошло позже того момента, как трансгрессия Тапес достигла своего пика: если исключить факторы, которые потенциально могли бы повлиять на определение возраста, то можно сделать предположение о тектонической причине изоляции бассейна от акватории моря. Возможно, в этот период уровень озера также понизился. Тем не менее, в силу отсутствия корректных датировок проб данной колонки, на данном этапе возможно лишь предположить, что первая в голоцене изоляция озера произошла в бореальном периоде, затем в атлантическом озере вновь стало частью акватории моря, испытав влияние трансгрессии Тапес, а после регрессии моря тогда же стало стабилизироваться. В течение суббореального и субатлантического периодов озеро оставалось практически в том же состоянии, что наблюдается сегодня.

СР-1 (11,0 м). Фация II (мощностью 10 см при мощности вскрытых осадков в 90 см) представляет собой переходную зону от морских условий осадконакопления к озерным и генетически занимает промежуточное положение. Граница между ней и низезалегающей фацией резкая, что указывает на сравнительно высокую скорость изоляции от моря. Формирование наиболее высоко залегающей части фации произошло 4830 ± 150 кал. лет назад, в начале суббореала, более теплого по отношению к сегодняшним условиям периода, однако характеризующегося трендом к похолоданию. Вероятно, изоляция озера произошла в период среднеголоценового климатического оптимума. На это также указывает доли органического вещества вверх по разрезу с 12% в морских осадках до 25%. Осадки представлены слоистой гиттией с алевритом. Минеральная часть осадка характеризуется скачкообразным ростом среднего диаметра частиц (от 7 до 15 мкм), крупная пыль значительно преобладает над мелкой, что было характерно для фации морского осадка. Такой изменение фракционного распределения частиц указывает на смену пелагиальных условий литоральными. Граница между фацией осадков переходной зоны и вышезалегающей фацией органогенных гиттиевых осадков постепенная, свидетельствующая о постепенном опреснении водоема и установлению пресноводных озерных условий. В нижней части фации отмечаются растительные макроостатки.

4. Выводы

Во всех четырех озерах удалось вскрыть осадки не только озерного, но и морского генезиса. По результатам радиоуглеродного анализа озеро, расположенное на 31,2 метрах над современным уровнем моря, прошло стадию изоляции в раннем

голоцене 10930 ± 140 кал. лет назад. В данном и еще двух озерах, расположенных ниже, наиболее глубоко залегающие морские осадки представлены серым песком, однако, наиболее высоко расположенное СР-7.2 (83,5 м) отличается тем, что его наиболее глубоко залегающий горизонт представлен глиной с песком и алевритом серого цвета с синим оттенком, что позволяет сделать предположение о перигляциальных условиях его формирования. Вероятно, формирование осадка и изоляция озера относятся к позднему плейстоцену. Озеро СР-5.2 прошло стадию изоляции в пребореальном периоде, СР-1 в конце суббореального. Было выдвинуто предположение о роли тектонического и климатического факторов в изоляции изученных озерных котловин. Изоляция СР-7.2 могла быть вызвана гляциоизостатическим поднятием, на что указывают результаты гранулометрического анализа. Петрографическое описание позволяет предположить связь изоляции СР-1 с происходившим на границе суббореала и субатлантика похолоданием и снижением уровня Баренцева моря.

Благодарности

Авторы выражают благодарность участникам полевых работ: А. В. Прониной, Н. А. Костроминой, С. Б. Николаевой, А. О. Королевой, А. О. Комарову, А. А. Стафоркину.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках реализации государственных заданий РФ № 073-03-2022-040/2 (проект «Палеогеография, развитие гидрографической сети и динамика уровней бассейнов на периферии Фенноскандинавского щита в позднем плейстоцене и голоцене») и № 073-03-2023-049/3 (проект «Эволюция озерного осадконакопления в условиях меняющегося климата: позднплейстоценовое и современное озерное осадконакопление в гляциальных и перигляциальных условиях (по данным из озер полярных регионов (Антарктика и Арктика) и озер Восточно-Европейской равнины»)).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Качинский Н. А. 1965. Физика почв. М.: Высшая школа. Ч. 1. 324 с.
- Колька В.В., Евзеров В.Я., Меллер Я.И. и др. 2013. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене-голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба. Известия РАН. Серия Географическая (1): 73–88.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С. и др. 2014. Временная последовательность перемещения береговой линии Белого моря в голоцене по данным изучения донных отложений озер района Кузема (Северная Карелия).

Известия РГО 146 (6): 14–26.

Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С. и др. 2015. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе пос. Чупа (северная Карелия). Вестник МГТУ 18 (2): 255–268.

Лаврова М.А. 1960. Четвертичная геология Кольского полуострова. Л.: Издво АН СССР. 234 с.

Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Шихирина К.А. 2023. Предварительные данные об изменении уровня Баренцева моря в районе хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области. Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН (20): 211–217.

Толстобров Д.С., Колька В.В., Толстоброва А.Н. и др. 2016. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе. Вестник МГТУ 19 (1/1):142–150.

Толстобров Д.С., Николаева С.Б., Толстоброва А.Н. и др. 2021. Литология донных отложений озер на мурманском побережье Баренцева моря (район хребта Мустатунтури и полуострова Средний, Мурманская область). Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России 8: 235–239.

Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Колька В.В. и др. 2015. Постледниковое поднятие земной коры в северо-западной части Кольского региона. Вестник МГТУ 18 (2): 295–306.

Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Колька В.В. и др. 2018. Возможные следы голоценовых цунами в озёрных донных отложениях в районе пос. Териберка (Кольский полуостров, Россия). Труды КарНЦ РАН. Серия Лимнология. Океанология (9): 92–102.

Bondevik S., Svendsen J.I., Mangerud J. 1997. Tsunami

sedimentary facies deposited by the Storegg tsunami in shallow sea basins and coastal lakes of western Norway. *Sedimentology* 44: 1115–1131. DOI: [10.1046/j.1365-3091.1997.d01-63.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1997.d01-63.x)

Corner G.D., Kolka V.V., Yevzerov V.Ya. et al. 2001. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia. *Global and Planetary Change* 31: 153–175.

Corner G.D., Yevzerov V.Ya., Kolka V.V. et al. 1999. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia. *Boreas* 28(1): 146–166. DOI: [10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x)

Donner J., Eronen M., Jungner H. 1977. The dating of the Holocene relative sealevel changes in Finnmark, North Norway. *Norsk geografisk Tidsskrift. [Norwegian Journal of Geography]* 31: 103–128.

Meyers P. A., Teranes J. L. 1999. Sediment organic matter. Tracking environmental changes using lake sediments: Vol. 2: Physical and geochemical methods. Dordrecht–Boston–London: Kluwer Academic Publishers. 239–269.

Ramsai W. 1898. About the geological development of the Kola Peninsula in the Quarterarz. *Fennia* (in German)

Shikhirina K. A., Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N. 2022. Barents Sea coastline dynamics in the Holocene in the Kola region: grain-size and LOI analyses of lake sediments. *Limnology and Freshwater Biology* 4: 1583–1585.

Snyder J.A., Forman S.L., Mode W.N. et al. 1997. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia. *Boreas* 26: 329–346.

Vaasma T. 2008. Granulometric analysis of lake sediments: comparison of pretreatment methods. *Estonian Environmental Journal* 57(4).