



ФИЦ
КНЦ
РАН



Всероссийская конференция
и полевой симпозиум

«МОРСКИЕ И ОЗЁРНЫЕ БАССЕЙНЫ ВОСТОЧНОЙ ПЕРИФЕРИИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА В ЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

10-15
СЕНТЯБРЯ
2024



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр Российской академии наук»
Геологический институт Кольского научного центра РАН
при поддержке
Института географии РАН,
ФГБУ ВНИИ Океангеология,
факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена,
ЦАСД МГУ им. М. В. Ломоносова
Беломорской биологической станции МГУ им. М. В. Ломоносова

**МОРСКИЕ И ОЗЁРНЫЕ БАССЕЙНЫ
ВОСТОЧНОЙ ПЕРИФЕРИИ
БАЛТИЙСКОГО ЩИТА В ЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ**

Всероссийская конференция
и полевой симпозиум
10–15 сентября
2024

Апатиты
2024

Научный журнал

Морские и озёрные бассейны восточной периферии Балтийского щита в четвертичное время:
Материалы Всероссийской конференции и полевого симпозиума (г. Апатиты, 10–15 сентября, 2024)

Ответственные редакторы

д.г.-м.н. А. Е. Рыбалко,
к.г.н. О. П. Корсакова

Редакционный совет

к.г.н. Д. В. Баранов, к.б.н. Е. А. Боровичёв, к.г.-м.н. А. А. Вашков, к.г.-м.н. Н. Е. Зарецкая,
к.б.н. М. Н. Кожин, д.и.н. Е. М. Колпаков, М. А. Комагорова, к.б.н. Е. Д. Краснова,
к.г.н. Ю. А. Кублицкий, к.г.н. А. В. Лудикова, к.г.н. Т. Ю. Репкина, к.г.-м.н. Д. В. Рябчук,
д.г.н. Д. А. Субетто, к.г.н. Е. Е. Талденкова, к.т.н. М. Ю. Токарев,
к.г.-м.н. Д. С. Толстобров, к.т.н. С. В. Шварёв

ISBN 978-5-91137-520-1

Адрес редакции: 184209, Ферсмана 14, г. Апатиты, Мурманская область

Электронная версия: <https://rio.ksc.ru/knigi/2024/>

© Коллектив авторов, 2024
© Геологический институт Кольского научного центра РАН, 2024

Предисловие редакторов

Уважаемые коллеги!

10–15 сентября 2024 г. проводились Всероссийская конференция и полевой симпозиум «Морские и озёрные бассейны восточной периферии Балтийского щита в четвертичное время». В ходе двухдневного заседания, состоявшегося 11–12 сентября в актовом зале ФИЦ КНЦ РАН, представлено 30 научных докладов, которые вошли в предлагаемый Вашему вниманию научный журнал. На обсуждение участникам конференции были вынесены общие вопросы четвертичной геологии и геоморфологии морских и озёрных побережий, общие вопросы четвертичной палеогеографии и геоархеологии беломорской депрессии, юго-восточной Прибалтики. Обсуждались также вопросы эволюции приледниковых бассейнов, развития морских трансгрессий и их соотношения с оледенениями, вопросы неотектоники и гляциоизостазии Балтийского щита, а также развития связанных с ними изолированных бассейнов, вопросы трансформации морских и озёрных экосистем под влиянием естественных и антропогенных факторов. При этом внимание уделено методам изучения морских и озёрных отложений и их применению при палеогеографических и неотектонических реконструкциях. В научном заседании приняли участие ученые и исследователи из Апатитов, Санкт-Петербурга, Москвы, Петрозаводска, Калининграда, Казани, Орла, Еревана. Они представляли ГИ КНЦ РАН, ИППЭС КНЦ РАН, ФГБУ «ВНИИОкеангеология», ИГ РАН, ГИН РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, СПбГУ, РГПУ им. А. И. Герцена, ПетрГУ, ИППИ РАН, ИО РАН, ИНОЗ РАН, ПИН РАН, ИА РАН, ФИЦ Биотехнологии РАН, ФГБУ ААНИИ, ИПЭН АН РТ, КФУ, ОГУ им. И. С. Тургенева, ООО «Морской центр», Минмузей РАН, ИБ НАН РА, НИЦ Прибалтийская археология. Большой интерес вызвала и трехдневная экскурсия на Кандалакшском берегу Белого моря, где демонстрировались объекты, изученные при выполнении гранта РНФ 22-17-00081 «Последний гляциоседиментационный цикл Белого моря: морфо-, лито- и климатостратиграфия, корреляция морских и континентальных архивов».

От имени организационного и программного комитетов благодарим всех участников конференции, авторов докладов и статей, представленных в журнале.

Рыбалко А. Е., д.г.-м.н., глнс ФГБУ «ВНИИОкеангеология»
Корсакова О. П. к.г.н., доцент, внс ГИ КНЦ РАН

Результаты оптико-люминесцентного датирования голоценовых береговых образований Ладожского озера

А. О. Аксенов, Д. Ю. Большианов, С. А. Правкин, Г. Б. Лебедев

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург,
aoaksenov@aari.ru

Аннотация. Данная работа основана на материалах исследований береговых форм рельефа Ладожского озера. Определение их возраста, в совокупности с данными нивелирования, позволяет детализировать историю изменений уровня водоема в голоцене. Для изучения выбраны два объекта на побережье Ладожского озера: Стороженский полуостров на южном побережье и Тайпаловский залив на западном. Для аккумулятивных террас Стороженского п-ова характерны хорошо выраженные древние береговые валы. Проведенные исследования на этом участке позволяют точно определить время кульминации Ладожской трансгрессии и уровень озера в это время. На побережье Тайпаловского залива помимо системы валов фиксируется крупный береговой бар высотой до 5 м. ОСЛ-датировки указывают на то, что эта форма рельефа сформировалась не во время последнего трансгрессивного этапа, как предполагалось ранее, а имеет более древний, вероятно литориновый возраст. В итоге, полученные данные позволяют сравнить динамику уровня озера на разных участках, тем самым переходя к определению влияния тектонических движений.

Ключевые слова: Ладожское озеро, ОСЛ-датирование, береговая геоморфология, колебания уровня водоема, Ладожская трансгрессия, голоцен.

Results of Optically Stimulated Luminescence Dating of Holocene Shoreline Formations of Lake Ladoga

A. O. Aksenov, D. Yu. Bolshiyanov, S. A. Pravkin, G. B. Lebedev

Arctic and Antarctic Research Institute, aoaksenov@aari.ru

Abstract. This work is based on the research materials of shoreline landforms of Lake Ladoga. Determining their age, combined with leveling data, allows for a detailed history of water level changes in the Holocene. Two sites on the coast of Lake Ladoga were selected for the study: the Storozhensky Peninsula on the southern shore and the Taipalovsky Bay on the western shore. The accumulative terraces of the Storozhensky Peninsula are characterized by well-defined ancient beach ridges. The research conducted in this area allows for the precise determination of the timing of the Ladoga transgression's culmination and the lake's level during this period. In addition to the system of ridges, the coast of Taipalovsky Bay features a large barrier ridge up to 5 meters high. OSL dating indicates that this landform did not form during the last transgressive stage, as previously thought, but has an older, likely Littorina age. As a result, the obtained data allow for a comparison of lake level dynamics in different areas, thereby advancing towards determining the influence of tectonic movements.

Keywords: Lake Ladoga, OSL dating, shoreline geomorphology, water-level fluctuations, Ladoga Transgression, the Holocene.

Введение

Голоценовая история развития Ладожского озера изучается уже более ста лет. На сегодняшний день опубликовано довольно большое количество работ, посвященных этой проблеме (Марков, 1949; Кошечкин, Экман, 1993; Малаховский и др., 1993; Шитов, 2007 и т.д.). Все предлагаемые реконструкции колебаний уровня этого водоема основаны на результатах радиоуглеродного датирования органического материала (торф, гиттия, растительные остатки) в совокупности с методами относительной хронологии (спорово-пыльцевой, диатомовый анализы). В связи с этим была предпринята попытка изучения колебаний уровня Ладожского озера путем определения абсолютной высоты и датирования образований, формировавшихся непосредственно в береговой зоне палеоводоема – береговых террас, валов и баров. В данной работе представлены предварительная интерпретация полученных результатов.

Для исследования были выбраны два участка побережья, сложенные аккумулятивными береговыми отложениями. Стороженский полуостров расположен в Южном Приладожье. Здесь, в урочище Вокрушево сформированы параллельные дугообразные береговые валы, между которыми залегают низовые торфяники. Побережье Тайпаловского залива находится в Западном Приладожье. Здесь, в отличие от Стороженского п-ова, систему береговых валов замыкает береговой бар высотой 5 м. За баром наблюдается терраса, которая затем переходит в верховой торфяник Тройное.

Методы

Для определения высоты береговых форм рельефа было выполнено геометрическое нивелирование с оптическим нивелиром ГЕОБОХ № 8–26 со стандартным отклонением ± 2.0 мм на 1 км. ОСЛ-датирование образцов, полученных в Тайпаловском заливе, выполнено в лаборатории оптически стимулированной люминесценции Института Карпинского (Санкт-Петербург). Анализ выполнен по зернам кварца. Возраст отложений Стороженского п-ова определен в научно-исследовательской лаборатории геохронологии четвертичного периода «GeoAge» (Таллин). Анализ произведен по методике оптически инфракрасно-стимулированной люминесценции, с использованием зерен полевого шпата.

Результаты и обсуждение

На Стороженском п-ове датированы три вала (табл. 1). Возраст отложений наиболее верхнего вала, подножие которого расположено на 16.5 м, составил 2900 ± 100 л. н. Эта датировка соответствует интервалу завершения Ладожской трансгрессии 2800–3100 л. н. (Saarnisto, 2012), следовательно, мы можем утверждать, что 2900 л. н. началось снижение уровня озера ниже 16.5 м, что привело к возникновению первых береговых валов.

По отложениям берегового вала, расположенного на высоте 13.6 м получен возраст 3500 ± 300 л. н. Ожидалось, что датировка будет более молодой в сравнении с той, что получена по вышележащему валу, и позволит проследить скорость позднеголоценового снижения уровня. В итоге фиксируется инверсия возрастов. Это связывается с тем, что предположительно были отобраны отложения, соответствующие фазе подъема уровня. Диатомовый анализ этих осадков показал наличие богатой диатомовой флоры Ладожского озера, что не характерно для других изученных валов, образцы отложений которых всегда оказывались «немыми».

Последняя датировка получена из берегового вала, расположенного на 7–8-метровой террасе, наблюдающейся по всему Южному Приладожью. Коррелируя полученную датировку с литературными данными (Шитов и др., 2005; Шитов и др., 2019), предполагается, что формирование данной террасы произошло в период стагнации уровня Ладожского озера 2100–800 л. н.

Таблица 1. Результаты ИК-ОСЛ датирования отложений Стороженского полуострова
Table 1. Results of IR-OSL dating of deposits from the Storozhensky Peninsula

Лабораторный номер	Возраст, тыс. л. н.	Абс. высота отбора, м
RLQG 2732-122	2.9 ± 0.2	17.3
RLQG 2816-024	3.5 ± 0.3	13.9
RLQG 2812-024	1.7 ± 0.1	8.3

На побережье Тайпаловского залива также датированы три образования. Первая датировка получена у дистального подножия берегового бара, на 15–16-метровой террасе. Она оказалась равна 8100 ± 800 л. н. Возраст отложений из самого берегового бара составил 5000 ± 400 л. н. По береговому валу, расположенному ближе к берегу, с абсолютной высотой подножия 11.5 м, получен возраст 2500 ± 200 л. н. Можно предположить, что наблюдается закономерное уменьшение возраста по направлению к берегу. Но данные предыдущих исследований не подтверждают подобный вывод. Результаты изучения разрезов и скважин в долине реки Вьюн, расположенной к югу от исследуемого участка, позволяют установить как минимум три голоценовых трансгрессивно-регрессивных

цикла, соответствующих раннему голоцену (первая половина бореала), среднему голоцену (вторая половина бореала – первая половина атлантика) и позднему голоцену (вторая половина атлантика – суббореал) (Знаменская, Ананова, 1967). Таким образом, мы предполагаем, что полученные датировки относятся к трем разным циклам колебаний уровня воды, следовательно изучаемая береговая морфосистема образовывалась на протяжении всего голоцена.

Таблица 2. Результаты ОСЛ датирования отложений Тайпаловского залива

Table 2. Results of OSL dating of deposits from the Taipalovsky Bay

Лабораторный номер	Возраст, тыс. л. н.	Абс. высота отбора, м
RGI-1172	8.1 ± 0.8	15.2
RGI-1173	5.0 ± 0.4	19.5
RGI-1174	2.5 ± 0.2	11.5

Полученные предварительные результаты уже позволяют делать некоторые выводы о разнице тектонического режима на изучаемых территориях. Так на Стороженском п-ове максимальный подъем уровня вод во время Ладожской трансгрессии достигал 16.5 м, в то время как в Тайпаловском заливе признаков подъема воды в позднем голоцене выше 14–15 м не наблюдается. Кроме того, в то время как в Южном Приладожье данные предыдущих исследователей позволяют выделить только одну трансгрессию (Ладожскую), геологические данные позволяют выделить три трансгрессивных этапа. Дальнейшие исследования, в том числе с помощью ОСЛ-датирования позволяют уточнить уже имеющиеся данные.

Благодарности

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

Литература

1. Знаменская О. М., Ананова Е. Н. Новые данные по истории западного побережья Ладожского озера // История озер северо-запада. Ленинград. Изд-во: Наука, 1967. С. 132–140.
2. Кошечкин Б. И., Экман И. М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. Санкт-Петербург. Изд-во: РГО, 1993. С. 49–60.
3. Малаховский Д. Б., Арсланов Х. А., Гей Н. А., Джиноридзе Р. Н., Козырев М. Г. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. Санкт-Петербург. Изд-во: РГО, 1993. С. 61–73.
4. Марков К. К. Последледниковая история юго-восточного побережья Ладожского озера // Вопросы географии. 1949. № 12. С. 213–220.
5. Шитов М. В., Бискэ Ю. С., Плешивцева Э. С., Мараков А. Я. Позднеголоценовые изменения уровня реки Волхов в районе Старой Ладogi // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия: Геология. География. 2005. № 4. С. 3–16.
6. Шитов М. В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Автореф. дис. ... к.г.-м.н. СПбГУ. 2007. 16 с.
7. 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. Т. 64. № 4. С. 628–650. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.408>.
8. Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // Quaternary International. 2012. V. 260. P. 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.005>.

Особенности поздненеоплейстоцен-голоценового рельефообразования котловины Ладожского озера

А. О. Аксенов, А. Е. Рыбалко

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, a.aksenov@spbu.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты изучения геоморфологического строения дна Ладожского озера. Материалы для исследования получены в результате интерпретации комплекса сейсмоакустических данных, собранных за последние 30–40 лет. Установлена ярко выраженная по оси водоема геоморфологическая зональность рельефа. Рельеф северной глубоководной части котловины представлен конструктивно-денудационным и озерным нефелоидным генетическими типами. Для центральной части озера характерен ледниковый и водно-ледниковый рельеф, сформированный во время невисской краевой стадии дегляциации осташковского оледенения. Южное мелководье сложено аккумулятивными ледниково-озерными и абразионными озерными равнинами. Здесь наиболее хорошо выражены древние береговые линии, свидетельствующие о понижении уровня водоема ниже современного. Отдельно выделяются флювиальный и флювиально-нефелоидный типы рельефа, формы которых азонально расположены на поверхности дна. Полученные сведения позволяют детализировать палеогеографические реконструкции развития Ладожского озера в поздне- и послеледниковье.

Ключевые слова: Ладожское озеро, сейсмоакустика, субаквальная геоморфология, морфолитогенез, поздне- и послеледниковая эпоха.

Features of the Late Pleistocene-Holocene morphogenesis of the Lake Ladoga basin

A. O. Aksenov, A. E. Rybalko

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, a.aksenov@spbu.ru

Abstract. This study presents the results of examining the geomorphological structure of the bottom of Lake Ladoga. The research materials were obtained through the interpretation of a complex seismoacoustic data collected over the past 30–40 years. A pronounced geomorphological zonation along the axis of the water body has been established. The relief of the northern deep-water part of the basin is represented by structural-denudative and lake nepheloid genetic types. The central part of the lake is characterized by glacial and glaciofluvial reliefs formed during the Neva marginal stage of the Ostashkov glaciation deglaciation. The southern shallow waters are composed of accumulative glacial-lacustrine and abrasional lacustrine plains. Here, paleo-shorelines features, indicating a lower water level than the present, are most prominently expressed. Fluvial and fluvio-nepheloid relief types are distinguished separately, with their forms azonally located on the bottom surface. The obtained data allow for detailed paleogeographic reconstructions of the Lake Ladoga development during the Late and Post-glacial.

Keywords: Lake Ladoga, seismoacoustics, subaqueous geomorphology, morpholithogenesis, the Late- and Postglacial stage.

Введение

Ладожское озеро – самый большой по площади водоем Европы – расположено на юго-восточной периферии Балтийского кристаллического щита. История его поздненеоплейстоцен-голоценового развития изучалась неоднократно и представлена в других работах (например, Subetto et al., 1998; Andreev et al., 2019). Тем не менее, для уточнения различных ключевых событий палеогеографии озера необходим анализ геоморфологического строения. Несколько работ, касающихся исследований рельефа также были ранее опубликованы (Амантов, Амантова, 2014; Анохин и др., 2016; Беляев и др., 2020; Lebas et al., 2021), тем не менее в них использовалось довольно ограниченное количество материалов. Настоящее исследование базируется на обобщении всех имеющихся сейсмоакустических данных в целях изучения геоморфологического строения Ладожского озера.

Данные и методы

Используемые материалы включают в себя несколько наборов сейсмоакустических данных, собранных в разные годы разными организациями. Наибольшее количество данных, включающих в себя материалы непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) и геолокационного профилирования (ГЛ), получено в рамках работ отдела региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ в 1987–1995 гг. Подробное описание методики получения и обработки данных представлено в (Амантов, 1991). В 2013 г. на акватории Ладожского озера были проведены исследования в рамках российско-германского проекта PLOT. В ходе работ были полученные данные сейсморазведки высокого разрешения (СВР) и акустического профилирования (АПр), покрывающие всю площадь озера, но с редкой сетью профилей (Lebas et al., 2021). В 2014 и 2015 гг. сотрудниками Института наук о Земле СПбГУ, Центра морских исследований МГУ и Института водных проблем севера КарНЦ РАН также были выполнены сейсмоакустические исследования на озере (Беляев и др., 2020; Аксенов и др., 2023). В 2014 г. полевые работы были сосредоточены на северной части озера и выполнялись в ультравысокой модификации (СУВР). Работы 2015 г. были нацелены на южную половину озера, где была проведена сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР).

Результаты и обсуждение

Для анализа геоморфологии дна озера необходимо иметь представление о сеймостратиграфическом расчленении верхней части осадочной толщи. Сеймостратиграфия верхней части осадочной толщи представлена четырьмя сейсмокомплексами, соотносимыми с отложениями последнего гляциоседиментационного цикла (Аксенов и др., 2023). Первые два комплекса коррелируются соответственно с ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями осташковского оледенения. Их перекрывает комплекс, интерпретируемый как ледниково-озерные отложения Балтийского Ледникового озера. Цикл замыкается сейсмокомплексом, который соотносится с голоценовыми озерными осадками.

Волновая картина сейсмокомплексов, их пространственное распределение и морфология отражающих горизонтов в совокупности с геологическими данными донного пробоботбора (Субетто, 2009) позволяют интерпретировать генезис выделяемых форм рельефа. Денудационный рельеф представлен следующими типами: денудационно-конструктивный, эрозионный флювиальный и абразионный озерный. Аккумулятивная группа включает в себя ледниковый, водно-ледниковый, ледниково-озерный, флювиально-озерный и озерный типы.

Распределение типов по дну озера имеет зональный характер. Так, в северной части котловины широко представлены конструктивно-денудационными линейно расчлененными грядово-ложбинными равнинами и пологоволнистыми озерными нефелоидными равнинами. Формирование рельефа этой части котловины обусловлено длительными денудационными процессами с ледниковой препарировкой в неоплейстоцене и последующей озерной седиментацией в послеледниковье.

Большая часть поверхности центральной части Ладожского озера, на глубинах от 50 до 100 м сложена ледниковыми грядово-западинными равнинами фронтальной дегляциации. Здесь выделяются и отдельные линейные формы, сложенные ледниковыми (краевые гряды) и водно-ледниковыми отложениями (маргинальные и радиальные озы, приледниковые конусы выноса талых ледниковых вод). Формирование этого специфического комплекса форм рельефа происходило во время не-вской стадии дегляциации осташковского оледенения. Выделяются два параллельных пояса краевых образований, связанных со стагнацией или осцилляторными подвижками ледникового фронта. Южный пояс протягивается от Тайпаловского залива до Кондушского побережья. Северный пояс вытянут от острова Коневец до острова Мантайсинаари.

Южная часть озера преимущественно занята аккумулятивными слабонаклонно-слоистыми ледниково-озерными равнинами и абразионными террасированными равнинами. Формирование первых происходило в условиях седиментации Балтийского Ледникового озера. Предполагается, что после спуска приледникового водоема, на границе позднего неоплейстоцена-голоцена, уровень

озера опустился ниже современного (Subetto et al., 1998). Это отражается в наблюдаемых древних береговых линиях. Выделяются несколько палеоуровней на изобатах 12, 20 и 40 м.

Флювиальный и флювиально-нефелоидный типы рельефа, в отличие от всех перечисленных выше, аazonальны. Формы этих типов представлены погребенными долинами и открытыми долинами. Наиболее широко они представлены в южной части озера, отдельные долины достигают северной части водоема и могут наблюдаться до глубин около 100 м. Наиболее крупной из этих долин является Волховско-Мантсинсаарская морфоструктура, представляющая собой впадину, вытянутую вдоль восточного побережья (Амантов, Амантова, 2014). В ней фиксируются голоценовые толщис осадков, имеющие аномально большую мощность, что, вероятно, является результатом нефелоидной седиментации с участием подводных течений. Этими специфическими осадками и сформированы флювиально-нефелоидные равнины, занимающие борта и днище впадины.

Результаты данного исследования позволяют уточнить представления о ключевых событиях поздне- и послеледниковой истории Ладожского озера, в том числе провести корреляцию выделенных краевых стадий с соседними регионами, определить динамику уровня озера после спуска Балтийского Ледникового озера, проанализировать влияние озерных гидродинамических процессов на распределение поступающего вещества.

Благодарности

Работа выполнена за счет финансирования Санкт-Петербургского государственного университета, проект D.Mendelev 2021: «Геоморфологическое строение котловины Ладожского озера, пространственное распределение форм подводного рельефа и факторы развития в Поздне- и Послеледниковую эпоху».

Литература

1. Аксенов А. О., Рыбалко А. Е., Наumenко М. А., Токарев М. Ю., Субетто Д. А. Строение рельефа котловины Ладожского озера по результатам интерпретации сейсмоакустических и батиметрических данных // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 4. С. 26–39. <https://doi.org/10.31857/S2949178923040035>.
2. Амантов А. В. Опытнo-методические работы по совершенствованию методики картирования дочетвертичных комплексов применительно к пресноводным бассейнам окраины Балтийского щита и составление схематической геологической карты Ладожского озера м-ба 1 : 500 000 (со снятым четвертичным покровом). Санкт-Петербург. Изд-во: СЗПГО-ВСЕГЕИ. 1991. 195 с.
3. Амантов А. В., Амантова М. Г. Развитие котловины Ладожского озера с позиций ледниковой теории // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 5–14.
4. Анохин В. М., Наumenко М. А., Нестеров Н. А. Рельеф дна Ладожского озера и его связь с дизъюнктивами // Известия Русского географического общества. 2016. Т. 148. № 2. С. 44–52.
5. Беляев П. Ю., Рыбалко А. Е., Субетто Д. А. Геоморфология Ладожского озера. Новые данные // Астраханский вестник экологического образования. 2020. Т. 59. № 5. С. 142–154. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2020-19-5-142-154>.
6. Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. Санкт-Петербург. Изд-во: РГПУ им. А. И. Герцена. 2009. 343 с.
7. Andreev A. A., Shumilvskikh L. S., Savelieva L. A., Gromig R., Fedorov G. B., Ludikova A., Wagner B., Wennrich V., Brill D., Melles M. Environmental conditions in northwestern Russia during MIS 5 inferred from the pollen stratigraphy in a sediment core from Lake Ladoga // Boreas. 2019. V. 48. No. 2. P. 377–386. <https://doi.org/10.1111/bor.12382>.
8. Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Görtz C., Averages T., Subetto D., Naumenko M., Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga // Quaternary Science Reviews. 2021. V. 251. P. 106637. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106637>.
9. Subetto D. A., Davydova N. N., Rybalko A. E. Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1998. V. 140. P. 113–119. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(98\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(98)00032-7).

Динамика последнего ледникового покрова в южной части Кольского региона

А. А. Вашков, О. Ю. Носова, О. П. Корсакова, Д. С. Толстобров

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, a.vashkov@ksc.ru

Аннотация. Во время последнего оледенения территория современного Белого моря была перекрыта Беломорским ледниковым потоком. В южной части Кольского региона этот поток продвигался в восточном и северо-восточном направлении, а его северная периферия граничила с малоактивной ледниковой лопастью. В максимум последнего оледенения и во время фаз его сокращения на этом рубеже были сформированы краевые ледниковые образования Терских Кейв. В их строении установлены как напорные конечно-моренные образования с гляциодислокациями, так и системы маргинальных озв. В западной части региона положение края ледника фиксируется цепочкой флювиогляциальных дельт. Во время похолодания в позднем дриасе в регионе действовало несколько ледниковых лопастей, краевая зона которых в основном находилась в приледниково-морском бассейне. Корреляция краевых образований в Кольском регионе позволяет установить шесть основных этапов сокращения ледника в вепсовскую, крестецкую, лужскую (карельскую), невскую (сямозерскую) фазы, а также в фазы салпаусселька I и II.

Ключевые слова: Кольский полуостров, Белое море, ледниковый поток, краевые образования, маргинальные озёра, гляциодислокации.

Dynamics of the last glaciation in the southern part of the Kola region

A. A. Vashkov, O. Yu. Nosova, O. P. Korsakova, D. S. Tolstobrov

Geological Institute of KSC RAS, Apatity a.vashkov@ksc.ru

Abstract. During the last glaciation, the area of the modern White Sea was covered by the White Sea Ice Stream. In the southern part of the Kola region, this stream moved in an easterly and northeasterly direction, and its northern periphery bordered on a low-active glacial lobe. During the maximum of the last glaciation and during the stages of its reduction, ice marginal formations of the Terskie Keivy were formed at this boundary. The Terskie Keivy contains both marginal push-moraine formations with glaciotectionic deformations and systems of marginal eskers. In the western part of the region, the position of the glacier margin is marked by a chain of glaciofluvial deltas. During the Younger Dryas cooling, several glacial lobes were active in the region, the marginal zone of which was mainly located in the periglacial-marine basin. The correlation of the ice marginal formations in the Kola region allows us to determine six main stages of glacier reduction in the Vepsa, Krestsy, Luga (Karelia), Neva (Syamozero) stages, as well as in the Salpausselkä Stage I and II.

Keywords: Kola Peninsula, White Sea, ice stream, end moraines, marginal eskers, glaciotectionic deformations.

Введение

Южная часть Кольского региона во время последнего оледенения около 17 тысяч лет назад (тыс. л. н.) была перекрыта Скандинавским ледниковым покровом. Его мощность и скорость движения в регионе во время последнего ледникового максимума была неравномерной. Наибольшая масса льда продвигалась по котловине современного Белого моря в виде крупного ледникового потока, названного Беломорским (Стрелков и др., 1976; Евзеров, Николаева, 2000; Геологическая..., 2012; Boyes et al., 2023). Морфологически выраженные поднятия разделяли этот ледниковый поток на несколько крупных лопастей. Одна из них продвигалась по территории современного Горла Белого моря (Svendsen et al., 2004; Astakhov et al., 2016). Северный фланг Беломорского ледникового потока ограничен полосой краевых образований под общим названием Терские Кейвы (Лаврова, 1960; Стрелков и др., 1976). Их генезис в восточной части Кольского региона сопоставлялся с ледораздельной зоной Беломорского потока с самостоятельным Понойским ледниковым щитом (Стрелков и др., 1976; Ekman, Ilyin, 1991; Евзеров, Николаева, 2000; Геологическая..., 2012), либо с другой лопастью скандинавского ледника. В последнем случае предполагалось разнонаправлен-

ное действие ледниковых потоков на разных этапах развития оледенения с поэтапным формированием Терских Кейв (Hätterstrand et al., 2007; Boyes et al., 2023). В юго-западной части Кольского региона также предполагалось действие нескольких ледниковых лопастей с ледораздельными зонами по Мунозерской возвышенности (Колька, 1998) и по гряде Вересельга (Лаврова, 1960; Стрелков и др., 1976). Краевые образования здесь традиционно сопоставлялись с несколькими фазами активизацией последнего оледенения, в том числе с фазой салпаусселька I во время похолодания позднего дриаса (Ekman, Ilyin, 1991; Евзеров, Николаева, 2000; Boyes et al, 2023).

В 2017–2023 гг. при помощи комплекса геологических и геоморфологических методов было обследовано несколько фрагментов Терских Кейв и краевых образований в юго-западной части Кольского региона. Фактический материал был получен в ходе литологического описания ледниковых отложений, при помощи структурного метода исследования ледниковых текстур и гляциодислокаций, путем определения петрографического состава ледниковых отложений и при помощи комплекса морфометрических методов исследования современного рельефа (Вашков, Носова, 2021).

Результаты и их обсуждение

В ходе работ в районе Ондомозерских Кейв (рис. 1 а) было установлено, что их грядово-холмистый рельеф представлен комплексом флювиогляциальных отложений, в том числе отложений камов и озв. На отдельных участках флювиогляциальные отложения деформированы и перекрыты маломощным покровом абляционной морены. Маломощная базальная морена, насыщенная обломками, принесенными с юга, юго-запада и запада с поверхности гряд выявлена только

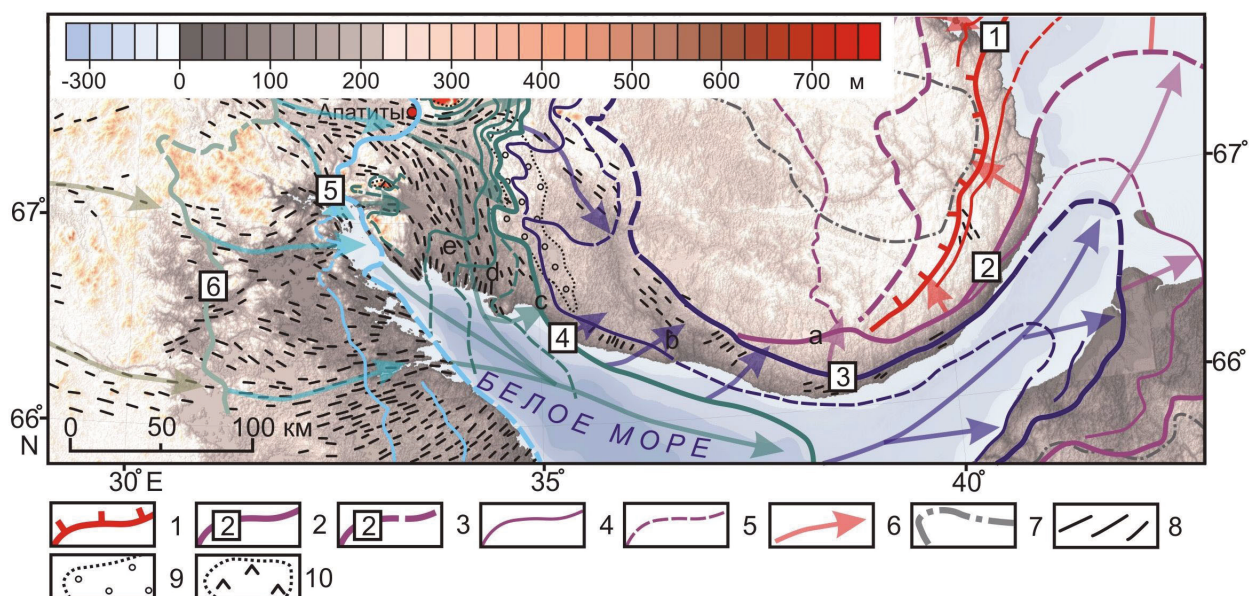


Рис. 1. Схема динамики последнего ледникового покрова в южной части Кольского региона: 1 – положение ледораздельной зоны в максимум последнего оледенения; 2 – фазы сокращения ледника с краевыми образованиями, номерами обозначены: 2 – крестецкая, 3 – лужская (карельская), 4 – невская (сямозерская), 5 – салпаусселька I, 6 – салпаусселька II; 3 – то же, без краевых образований либо в море; 4 – осцилляции ледникового края с краевыми образованиями; 5 – то же, без краевых образований или в море; 6 – направление движения ледника; 7 – территория без ледниковых отложений в центре Кольского полуострова; 8 – друмлины (включая скальные друмлины); 9 – ледораздельная возвышенность; 10 – области развития горного оледенения.

Fig. 1. Scheme of the dynamics of the last glaciation in the southern part of the Kola region: 1 – position of the ice-divide zone of the last glacial maximum; 2 – stages of glacier reduction with marginal formations, numbers indicate: 2 – Krestsy, 3 – Luga (Karelia), 4 – Neva (Syamozero), 5 – Salpausselkä I, 6 – Salpausselkä II; 3 – the same, without marginal formations or in the sea; 4 – oscillations of the glacier margin with ice marginal formations; 5 – the same, without marginal formations or in the sea; 6 – direction of glacier flow; 7 – area without glacial deposits in the center of the Kola Peninsula; 8 – glacial lineations; 9 – ice-divide upland; 10 – areas of mountain glaciation.

на их южном слоне. Также основная морена в виде слоя мощностью до 2 м и в виде небольших линз была установлена в разрезе борта долины р. Стрельна в месте пересечения ей Ондомозерских Кейв. Комплекс ледниковых отложений может быть сопоставлен с краевыми напорными образованиями с надстройкой из маргинальных озов, камов и лимнокамов.

Структурные и текстурные особенности отложений Терских Кейв в районе севернее д. Варзуга (рис. 1 б) позволяют отнести их к флювиогляциальным супрагляциальным, фации открытых водотоков. На это указывает характерная сортировка материала, наличие слоистости и преобладание гравийной и песчаной фракций. Падение слоистости в грядах указывает на то, что сток водно-ледниковых потоков осуществлялся преимущественно в восточном направлении. Поверхность гряд перекрыта маломощными абляционными моренами сплывания (флоу-тиллам) (Носова, Вашков, 2021). Эти отложения формировались при сползании сильно обводненного грязекаменного материала с тающего ледника, расположенного с юга и севера от будущих гряд.

Строение ледниковых отложений моренной равнины к северу и югу от Терских Кейв на этом участке однотипное. В кровле установлена абляционная морена мощностью от 0.3 до 1.4 м, ниже которой залегает базальная морена со сланцеватой текстурой и упорядоченной ориентировкой гальки и валунов. Мощность этой морены обычно составляет 2–4 м, юго-западнее д. Варзуга может достигать 5–10 м. Замеры ориентировки сланцеватости показывают, что ледник, формировавший покров базальной морены севернее и южнее Терских Кейв, перемещался преимущественно с юга на север и с юго-запада на северо-восток. Петрографический состав базальной морены на всем исследованном участке также схожий. При доминирующем содержании подстилающих пород наблюдается смешение материала, принесённого с севера, северо-запада (нефелиновые сиениты, основные эффузивы, слюдяные гнейсы и сланцы), с запада (метагаббро-милониты/плагиосланцы, фенизитизированные граниты и песчаники) и юга (породы терской свиты для участков исследования, расположенных севернее области коренного развития данных пород). Для базальных тиллов моренной равнины к северу от Терских Кейв отмечено высокое сходство петрографического состава с базальными тиллами моренной равнины, расположенной южнее. Это хорошо заметно по содержанию пород терской свиты, в том числе зеленовато-серых алевролитов. Полученные данные указывают на формирование базальных морен равнины севернее и южнее Терских Кейв в области развития одной ледниковой лопасти. Их формирование происходило на относительно небольшом удалении от зоны предельного распространения ледниковой лопасти Беломорского потока.

В юго-западной части Кольского полуострова в районе н. п. Мосеево и Умба (рис. 1 с, d) установлено две полосы краевых образований. Они соответствуют двум фазам сокращения Скандинавского ледникового покрова в позднем плейстоцене и их осцилляциям. Структурные и литологические исследования ледниковых отложений и определение морфометрических характеристик ледникового рельефа позволили установить в строении комплексов краевых образований гляциодислокации чешуйчато-надвигового и складчатого типа. В строении полос краевых образований установлены чешуйчато-надвиговые гляциодислокации, которые выражены в рельефе в виде отдельных крупных гряд и параллельно-грядовых массивов. Отдельные фрагменты представлены невысокими грядами с гляциоскладками в ядрах, в состав которых вовлечены рыхлые породы ледникового ложа (Вашков, Носова, 2021). Осцилляторные краевые образования представлены в основном цепями небольших гряд и холмов. В их строении установлены морены краевых складок и, реже, чешуйчатые морены, переслаивающиеся с флювиогляциальными отложениями. В пределах гряды Вересельга (рис. 1 е) промежуточные рубежи сокращения ледникового покрова представлены дельтовыми флювиогляциальными осадками.

Структурные исследования гляциодислокаций и анализ петрографического состава базальных морен установили, что во время фаз формирования краевых образований этого района ледник по-прежнему наиболее активно продвигался по котловине Белого моря, в восточном направлении. Каждая фаза сокращения ледникового покрова сопровождалась краткосрочными осцилляторными подвижками. Последующая дегляциация котловины Белого моря протекала быстро и носила черты ареальной. Это привело к тому, что во время потепления аллерёд на этой территории,

а также северо-западнее уже могли формироваться осадки приледникового водоёма (Система..., 2017; Korsakova et al, 2020). Во время фазы салпаусселька I к этому приледниковому бассейну выходили несколько ледниковых лопастей и языков, движение которых фиксируется по положению субгляциальных друмлинов и ребристых морен (Boyes et al, 2023).

Выводы

Изучение строения, вещественного состава и структурных особенностей ледниковых отложений позволили уточнить генезис и механизм формирования краевых образований последнего оледенения в Кольском регионе. Их корреляция между собой, а также с данными по прилегающим территориям позволили построить схему динамики последнего ледникового покрова в регионе (рис. 1). Краевые образования были сформированы в шесть основных этапов. Первые 4 из них соответствуют последнему ледниковому максимуму и фазам сокращения оледенения в последние 17–14 тыс. л. н. Две заключительные фазы соответствуют похолоданию позднего дриаса 12.7–11.6 тыс. л. н. В южной части Кольского региона формирование краевых образований связано с периферией Беломорского ледникового потока, севернее которого действовали менее активные ледниковые лопасти. После потепления аллерёд в юго-западную часть региона проникали только отдельные ледниковые лопасти и языки, которые не перекрывали современную котловину Белого моря.

Благодарности

Работа выполнялась при поддержке гранта РНФ № 22-17-00081 и в рамках госзадания по теме ГИ КНЦ РАН FMEZ-2024-0007.

Литература

1. Вашков А. А., Носова О. Ю. Краевые ледниковые образования в районе пос. Умба (юго-запад Кольского полуострова) // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 2. С. 39–51.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия: Балтийская. Лист Q–(35), 36 (Апатиты). Объяснительная записка / Гл. ред. Ю. Б. Богданов. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 456 с.
3. Евзеров В. Я., Николаева С. Б. Пояса краевых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.
4. Колька В. В. Мунозерская островная возвышенность // Вестник Мурманского государственного технического университета. 1998. Т. 1. № 3. С. 79–88.
5. Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.–Л. Изд-во: Наука, 1960. 233 с.
6. Носова О. Ю., Вашков А. А. Петрографический состав крупнообломочной фракции тиллов западного сегмента ледникового аккумулятивного комплекса Терских Кейв (юг Кольского полуострова) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 86. С. 11–22.
7. Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история / Отв. ред. А. П. Лисицын. М. Из-во: Научный мир, 2017. 1030 с.
8. Стрелков С. А., Евзеров В. Я., Кошечкин Б. И. и др. История формирования рельефа и рыхлых отложений северо-восточной части Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука, 1976. 164 с.
9. Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M. Glaciomorphological Map of the Russian Federation // Quaternary International. 2016. V. 420. P. 4–14.
10. Boyes B. M., Linch L. D., Pearce D. M., Nash D. J. The last Fennoscandian Ice Sheet glaciations on the Kola Peninsula and Russian Lapland (Part 2): Ice sheet margin positions, evolution, and dynamics // Quaternary Science Reviews. 2023. V. 300.
11. Ekman I., Iljin V. Deglaciations the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A.S.S.R. and adjacent Areas // Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines / eds. Rainio H., Saarnisto M. Guide 32. 1991. P. 73–99.
12. Hattestrand C., Kolka V., Stroeven A.P. The Keiva ice marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: a key component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian Ice Sheet // Boreas. 2007. V. 36. P. 352–370.
13. Korsakova O., Tolstobrov D., Nikolaeva S., Kolka V. Lake Imandra depression in the Late Glacial and early Holocene (Kola Peninsula, north-western Russia) // Baltica 2020. V. 33. No. 2. P. 177–190.
14. Svendsen J. I., Alexanderson H., Astakhov et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // Quaternary Science Reviews. 2004. V. 23. P. 1229–1271.

История развития оз. Антюх-Ламбина (Кандалакшский берег Белого моря) по результатам исследования донных отложений

И. М. Греков¹, Л. С. Сырых¹, Л. Б. Назарова²

¹ РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, ivanmihgrekov@gmail.com

² Казанский федеральный университет, Казань

Аннотация. В работе представлены результаты комплексного исследования донных отложений оз. Антюх-Ламбина (Кандалакшский берег). Исследуемое озеро расположено к югу от оз. Колвица и связано с ней узким проливом. По результатам исследования установлены основные этапы развития озера и окружающей среды с раннего голоцена до современного времени. Литологический анализ свидетельствует о непрерывности седиментации на протяжении всего исследуемого периода. В развитии озера выделяется четкий переход от солоновато-водных к пресноводным условиям. Опреснение воды и увеличение накопления органического вещества приводит к увеличению биоразнообразия микробионтов. Накопление органики происходит постепенно на протяжении всего развития озера. Количественная реконструкция средних летних температур воздуха и глубины воды выполнены на основе хирономидного анализа. С раннего голоцена глубина воды и средние летние температуры постепенно увеличивается.

Ключевые слова: палеолимнология, Голоцен, Кандалакшский берег, донные отложения, хирономиды, литология, Антюх-Ламбина, Кольский полуостров.

History of the lake Antyukh-Lambina (Kandalaksha coast, White sea) based on multi-proxy studies of bottom sediments

I. M. Grekov¹, L. S. Syrykh¹, L. B. Nazarova²

¹ Herzen University, Saint-Petersburg, ivanmihgrekov@gmail.com

² Kazan (Volga) Federal University, Kazan

Abstract. The paper presents the results of multi-proxy investigation of bottom sediments of Antiukh-Lambina lake. The age of the studied sediments starts from the early Holocene. Lithological analysis indicated continuous sedimentation during the Holocene. Diatom analysis showed that at the initial stages of development the lake was represented by a brackish water body. Desalination of water leads to an increase in the biodiversity of microbionts. The accumulation of organic matter occurs gradually throughout the development of the lake. Quantitative reconstruction of mean July air temperatures and water depth was carried out on the basis of chironomid analysis. During the studied period, water depth and mean summer temperatures gradually increased.

Keywords: paleolimnology, Holocene, Kandalaksha coast, chironomids, lake sediments, Antiukh-Lambina, Kola peninsula.

Введение

Донные отложения малых озер являются важными архивами информации об изменении природной среды. Донные отложения включают минеральную и органогенную составляющие, которые формируются как в самом озере, так и приносятся извне, с водосбора. Комплексные исследования с применением различных методов при изучении природного архива донных отложений дают представление о смене условий существования озера и ближайших территорий. Озеро Антюх-Ламбина является интересным с точки зрения изучения природным архивом. Бассейн озера имеет оригинальное местоположение в районе воздействия четвертичных оледенений, неотектонических движений, колебаний уровня Белого моря и развития природной среды в позднеледниковье и голоцене. Донные отложения озера Антюх-Ламбина могут дать большой набор информации о развитии территории при их комплексном изучении.

Объект исследований

Озеро Антюх-Ламбина (67.09° с.ш., Е 33.16° в.д.), площадью около 200 м², расположено на южном берегу озера Колвицкого, отделено от которого отрогом гряды Вилласельга. Озеро вытянутой формы и имеет одну с Колвицким озером высоту 59 м над уровнем моря. В озеро втекает ручей с ЮВ стороны, берущий начало в Колвицких тундрах. С озером Колвицким соединено узким проливом, через который проходит сток и водообмен.

Результаты

Исследованная колонка донных отложений оз. Антюх-Ламбина, мощностью ~ 2.95 м, отобрана с глубины 4 м поршневым буром. Пробы донные отложений были изучены комплексом методов: литологический, радиоуглеродное датирование, потери массы органики при прокаливании (ППП), палеоботанические и микропалеонтологические. Донные отложения представлены последовательным переходом от серых алевритистых глин в нижней части разреза к бурой гиттии с переходной зоной между ними (Греков и Колька, 2016). Видимых нарушений в литологической последовательности отложений не выявлено, что говорит о непрерывности процессов седиментации на протяжении всего голоцена. По результатам радиоуглеродного датирования, формирование глинистых отложений нижней части разреза началось в пребореале. На основе результатов радиоуглеродного датирования, литостратиграфии и PPP в изученном разрезе донных отложений можно выделить 3 основные зоны. В нижней части разреза (6.94–6.66 м), в период формирования глинистой толщи содержание органики незначительное, около 1–2 %, что говорит о существовании большого низкопродуктивного, предположительно приледникового водоема. Выше по разрезу в переходной зоне (6.66–6.19 м) отмечается колебание содержания органического вещества (3.5–7 %) глинистая фракция сменяется на алеврит с гиттией, т. е. фиксируется переход от минерального осадконакопления к органогенному. Выше по разрезу (6.19–6.00 м) можно обозначить литологическую фацию резкой сменой алеврита на алевритистую гиттию с увеличением содержания органики до 14 %. Далее до конца разреза (6.00–4.05 м) наблюдается стабильная продуктивность водоёма с небольшими колебаниями значений содержания органики (10–15 %). Четкая смена условий от солоноводного водоёма к пресноводному на раннем этапе существования озера в раннеголоценовый период установлена по результатам диатомового анализа (Лудикова и Греков, 2017). С изменениями в литостратиграфии и диатомовых согласуется динамика хирономидных сообществ. В нижних горизонтах (6.94–6.42 м) количество обнаруженных головных капсул хирономид сильно колеблется. Присутствие фитофильных таксонов родов *Orthoclasius* и *Cricotopus* могут свидетельствовать об изменении уровня воды в озере и подтоплении прибрежной территории. В данных горизонтах присутствует также *Chironomus plumosus*-type толерантный к низкому содержанию кислорода и нестабильным условиям окружающей среды. Реконструированные температуры и глубина воды в озере фиксируют динамику в данный период. С увеличением органики увеличивается разнообразие таксонов хирономид. Наблюдается смена доминантных таксонов: *Tanytarsus lugens*-type выше по разрезу сменяется *Sergentia coracina*-type и *Zalutschia*. Данные таксоны могут свидетельствовать об увеличении глубины и относительно холодных условиях на водосборе. В верхней части разреза доминантные таксоны представлены *Heterotrissocladius marcidus*-type, и *Heterotrissocladius maeaeeri*-type 1, которые свидетельствуют об эвтрофировании водоема. В целом смена хирономидных сообществ фиксирует небольшие колебания климата в регионе с характерным выделенным потеплением атлантического периода (Syrykh et al., 2016). При этом, согласно реконструкции, глубина озера увеличивается практически на протяжении развития всего озера. Изменение сообществ кладоцер (*Cladocera*) показывает сходную картину развития озера и изменения природно-климатических условий (Ибрагимова и др., 2017).

Выводы

Непрерывная последовательность накопления донных отложений оз. Антюх-Ламбина даёт возможность изучить историю формирования и развития окружающих территорий с раннего голоцена до современного времени. Результаты исследований возможно экстраполировать на Колвицкое озеро, являющееся самым большим на данной территории. Дополнительные исследования имеющейся колонки донных отложений позволят более детально изучить динамику условий природной среды в регионе.

Литература

1. Греков И. М., Колька В. В. Палеолимнологические исследования донных отложений озёр ЮЗ Кольского полуострова // Сб. трудов «Палеолимнология Северной Евразии. Опыт, методология, современное состояние». Якутск. 2016. С. 44–47.
2. Ибрагимова А. Г., Фролова Л. А., Греков И. М., Сырых Л. С. Изменение состава сообществ Cladocera (Brachiorpoda, Crustacea) в озере Антюх-Ламбина (Кольский полуостров, Мурманская область) в голоцене // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Петрозаводск. Изд-во: КарНЦ РАН, 2017. С. 592–597.
3. Лудикова А. В., Греков И. М. Предварительные результаты диатомового анализа проб донных отложений оз. Антюх-Ламбина (ЮЗ Кольского полуострова) // География арктических регионов 2017. СПб. Изд-во: Типография ООО «Старый город», 2017. С. 33–36.
4. Syrykh L., Nazarova L., Frolova L., Grekov I., Ibragimova A., Subetto D. Development of the lake ecosystem, palaeoclimate and palaeoenvironment on the Kola Peninsula (NW Russia) as reconstructed from sediment record of the Lake Antyukh-Lambina // SIL 2016 XXXIII congress 31 july – 5 august.

Искусственные морские водоемы севера Европейской территории России на разных этапах изоляции

Н. А. Демиденко ¹, А. С. Саввичев ²

¹ *Институт океанологии им. П. П. Шишова РАН, Москва, demidenko_nikola@mail.ru*

² *Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, savvichev@mail.ru*

Аннотация. Целью настоящего исследования было получение количественных гидрологических характеристик, интенсивности микробных процессов и седиментационных условий в водной толще и верхнем слое донных осадков в водоемах губы Канда и бассейне Кислогубской приливной электростанции. Результаты исследований в меромиктических водоемах губы Канда, искусственно отделенных от Кандалакшского залива железнодорожной фильтрующей дамбой на разной стадии изоляции, и опыт эксплуатации Кислогубской ПЭС и ее влиянии на режим бассейна, является важным фактором при прогнозировании зарождения сероводородного заражения при отделении морских водоемов от прилегающих акваторий моря, проектированию Северной ПЭС в губе Долгой Баренцева моря и экологическим последствиям сооружения защитных дамб и плотин, эстакад и насыпей при прокладке дорог.

Ключевые слова: губа Канда, Кислогубская ПЭС, меромиктические водоемы, гидрологический режим, стратификация, сероводородное заражение, донные осадки.

Artificial marine reservoirs in the north of the European territory of Russia at different stages of isolation

N. A. Demidenko ¹, A. S. Savvichev ²

¹ *Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, demidenko_nikola@mail.ru*

² *Vinogradsky Microbiological Institute, Research Center of Biotechnology of RAS, Moscow, savvichev@mail.ru*

Abstract. The aim of this study was to obtain quantitative hydrological characteristics, intensity of microbial processes and sedimentation conditions in the water column and upper layer of bottom sediments in the Kanda Bay and the basin of the Kislogubskaya tidal power plant. The results of studies in the meromictic reservoirs of the Kanda Bay, artificially separated from the Kandalaksha Gulf by a railway filtering dam at different stages of isolation, and the experience of the operation of the Kislogubskaya TPP and its impact on the basin regime, are an important factor in predicting the origin of hydrogen sulfide contamination during the separation of marine water bodies from the adjacent sea areas, the design of the Northern TPP in the Long Barents Sea Bay and the environmental consequences of the construction of protective dams and dikes, overpasses and embankments when laying roads.

Keywords: Kanda Bay, Kislogubskaya TPP, meromictic reservoirs, hydrological regime, stratification, hydrogen sulfide contamination, bottom sediments.

Введение

Гидрологические, гидрохимические и экологические исследования в морских изолированных бассейнах становятся все более актуальными в связи с возрастающим влиянием хозяйственной деятельности человека, в первую очередь на прибрежные экосистемы. Морское гидротехническое строительство – сооружение защитных дамб и плотин, эстакад и насыпей для прокладки дорог, создание рабочих бассейнов приливных электростанций и т. п. – связано во многих случаях с необходимостью отсечения морских заливов, эстуариев, полузакрытых участков прибрежных акваторий и сопровождается уменьшением их естественного водообмена с морем. К искусственно изолированным морским акваториям относятся бассейны приливных электростанций, заливы и эстуарии, защищаемые дамбами от наводнений, отсекаемые железнодорожными и автомобильными насыпями, рыбоводные садки и т. д.

Морские полузакрытые бассейны отличаются высокой биологической продуктивностью и большими запасами хозяйственно ценных растений и животных. Перекрытие эстуариев может приводить к сокращению и полному исчезновению популяций проходных рыб, ограничению их ареалов. В промышленных районах изоляция части морского бассейна приводит к увеличению в воде загрязняющих веществ. При критической величине снижения водообмена в зарегулированных бассейнах могут происходить необратимые повреждения экосистем и полная потеря биологических ресурсов – макрофитов, моллюсков, рыб и т. п.

Регион исследований

В меромиктических водоемах с повышенной стратификацией, водообмен которых с открытым морем затруднен мелководным порогом или иной преградой, в результате деятельности бактерий–сульфатредукторов в донном осадке и в воде котловины может накапливаться сероводород. Меромиктические водоёмы характеризуются наличием анаэробной зоны в менимелимнионе. Осадок заражен обычно сильнее, чем вода, имеет на поверхности черный налет. Черный цвет по всей его толще указывает на постоянство заражения. Примером крайнего проявления такой изоляции водоема может служить оз. Могильное на о. Кильдин в Баренцевом море, которое отделено от моря естественной фильтрующей перемычкой (Реликтовое ..., 1975).

В естественных морских водоемах с узким горлом и мелководным порогом, приводящим к понижению водообмена с морем, отмечается наличие сероводорода в придонном горизонте, но сохраняется в целом морской облик флоры и фауны. К таким водоемам можно отнести самый верхний бассейн в губе Ивановской на Восточном Мурмане, прибрежные губы ковшового типа и оз. Мертвое в Долгой губе Большого Соловецкого острова, солончатые лагуны и желоба (бухта Биофильтров, губа Лобаниха) на разных этапах изоляции и детально исследованные меромиктические озера–«изгои» в окрестностях Беломорской биостанции МГУ имени Н. А. Перцова (Краснова и др., 2020).

Искусственно отсеченные водоемы с полностью или частично уменьшенным водообменом образовались в неглубоких прибрежных лагунах ковшового типа вдоль искусственной дамбы, построенной в 1856 г., и соединяющей о. Большой Соловецкий с о. Большая Муксалма, Филипповские садки, построенные в середине XVI в., на о. Большом Соловецком, оз. Большие Хрусломины

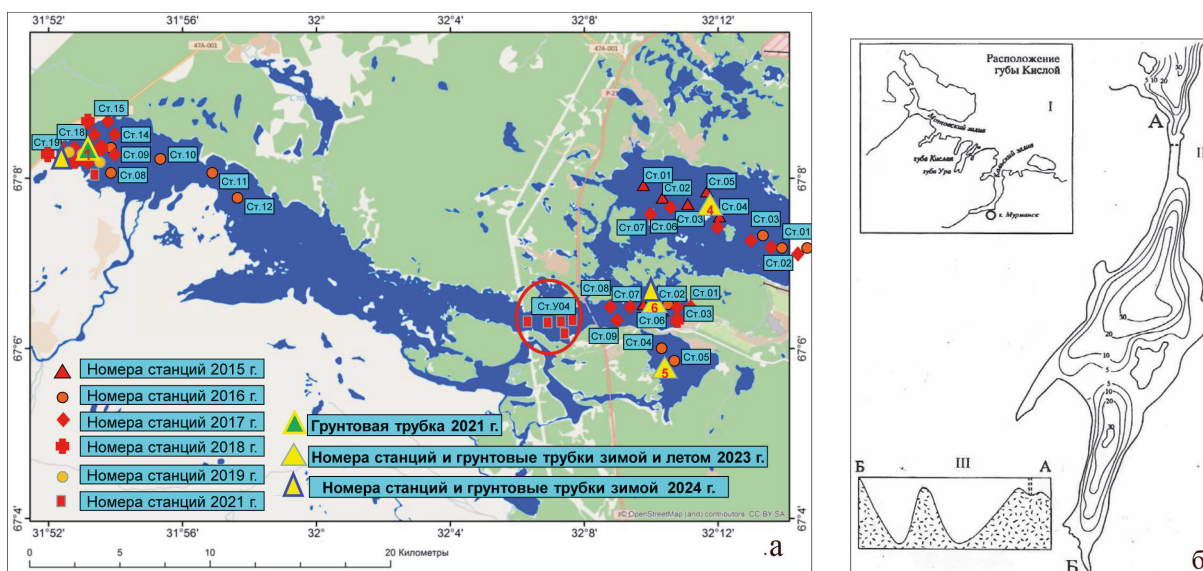


Рис. 1 а, б. Схема губы Канда с номерами гидролого-биологических станций 2015–2024 гг. (1 а). Местоположение Кислогубской ПЭС в Баренцевом море (I), карта глубин в изобатах (II), профиль губы Кислой (III), горло и кутовая часть губы (А, Б), пунктир – створ плотины (1 б).

Fig. 1 a, b. Scheme of Kanda bay with numbers of hydrological and biological stations in 2015–2024 (1 a). Location of the Kislogubskaya TPP in the Barents Sea (I), depth map in isobaths (II), profile of the Kislaya bay (III), throat and upper part of the bay (A, B), dotted line – dam site (1 b).

и оз. Банное на побережье Кандалакшского залива на о. Олений в губе Ковда, отделенные от моря искусственной дамбой в 1897 г. для целей опреснения и использования паровыми машинами лесозавода, губы Канда в вершине Кандалакшского залива Белого моря с 1916 г. после строительства железнодорожной дамбы и с середины 1960-х годов XX в. после строительства автомобильной трассы (рис. 1 а), в губе Кислой Баренцева моря (Западный Мурман) после строительства в 1965–1968 гг. Кислогубской приливной электростанции (рис. 1 б).

Обсуждение результатов

Шхерный район вершины Кандалакшского залива – губа Канда был отделен фильтрующей дамбой от Белого моря. С началом Первой мировой войны резко активизировались работы по созданию железной дороги на Мурман. В конце 1916 г. была нарушена свободная связь губы Канда с Белым морем. При строительстве автодороги М18 «Кола» (Санкт-Петербург – Мурманск) в 1968 г. через центральную часть губы Канда была построена еще одна фильтрующая дамба и мост. Водобмен между кутовой частью и остальной губой был резко ограничен. С тех пор происходит процесс изменения гидролого-гидрохимических и биологических условий в губе Канда (Саввичев и др., 2017).

В зимние и летние периоды 2015–2024 гг. были проведены инструментальные измерения гидролого-гидрохимических параметров и количественные характеристики интенсивности микробных процессов в водной толще и верхнем слое донных осадков в отделенных водоемах губы Канда, опубликованных в работах (Саввичев и др., 2017, 2023).

Элементный анализ донных осадков в кутовой части губы Канда был определен с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра СПЕКТРОСКАН МАКС-VGS: MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$, P_2O_5 , $\text{S}_{\text{общ}}$, Co , Ni , Cu , Zn , Sr , Ba , Pb . Для оценки содержания органического вещества были измерены потери при прокаливании (ППП). Исходя из элементного состава осадков резкая смена режима осадконакопления соответствует горизонту 15–16 см. Исходя из этого скорость осадконакопления в верхней части донной колонки составляет 1.5–1.6 мм/год. Постепенное увеличение значений потери при прокаливании в верхней части колонки говорит об эвтрофикации водоема и появлении анаэробной зоны. Одновременные пики железа и серы говорят об отложении сульфидов в зоне сероводородного заражения (рис. 2).

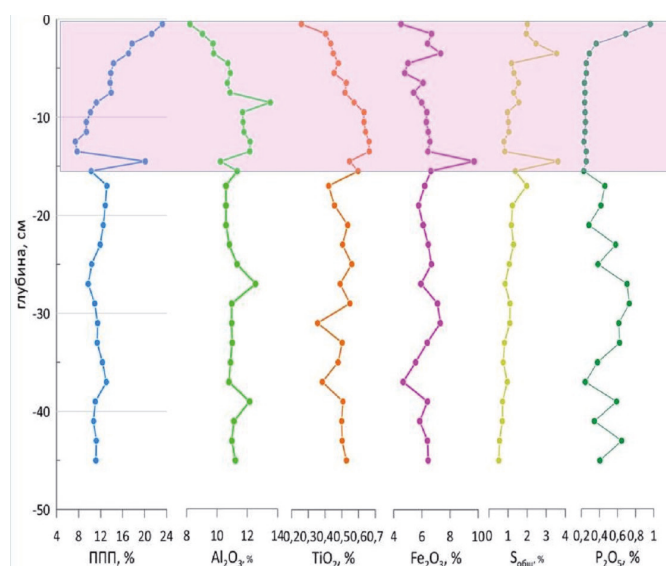


Рис. 2. Элементный состав донных осадков в водоеме кутовой части губы Канда в марте 2021 г.

Fig. 2. Elemental composition of bottom sediments in the reservoir of the upper part of the Kanda Bay in March 2021.

Бассейн опытной Кислогубской приливной электростанции (ПЭС) – это губа Кислая, представляющая собой вытянутую узкую акваторию площадью 1.1 км². До сооружения Кислогубской ПЭС (в 1965–1968 гг.) водобмен с морем был свободный, прилив – правильный полусуточный. В 1968 г. была сдана в эксплуатацию первая и пока единственная в России экспериментальная ПЭС (Марфенин и др., 1985).

В летние периоды 1991–1994 гг. изучали гидрологическую структуру, видовое разнообразие, численность и распределение фито- и зоопланктона, бентосное сообщество в отсеченном бассейне Кислогубской ПЭС и в водах, прилежащих к плотине со стороны моря, губе Ура, Мотовского залива Баренцева моря (Современное..., 1995). Проведенные исследования ученых Мурманского морского биологического

института и МГУ им. М. В. Ломоносова показали изменения гидрологических характеристик водоема: уменьшилась амплитуда приливов и их цикличность, сильно опреснился поверхностный слой воды, прекратился водообмен между поверхностными и глубинными водами, изменился ледовый режим. Бентосные исследования констатировали деградацию донного населения: на месте прежнего морского литорального было обнаружено солоноватоводное сообщество, полностью исчез богатейший пояс макрофитов, резко сократился качественный и количественный состав бентоса, глубже 20 м донное население вымерло в результате сероводородного заражения (Семенов, 1988).

До строительства Кислогубской ПЭС исследователи отмечали богатство и разнообразие донной фауны всех биотопов. Биота имела морской облик, солоноватоводные элементы обитали в вершине губы. Постоянное население и растительность составляли 210–220 видов, обычных для губ Мурмана. В результате зарегулирования губы Кислой значительно усилилось действие природных факторов, которые и ранее отрицательно влияли на морские компоненты биоты. Опреснение резко увеличивалось при снижении водообмена до 20 % и ниже во время неправильной двухсменной эксплуатации ПЭС и длительных ее остановок при закрытых водоводах. Во время строительства ПЭС устье губы 4 года было перекрыто дамбой, и бассейн ПЭС превращался в пресноводно-морской мезомиктический водоем (Семенов, 1988). Спустя 20 лет, следы сильного опреснения прослеживались по морской биоте (отсутствие литотамниа, мертвая ракушка и др.). Признаки сероводородного заражения вод и донных осадков отмечались и в средней части бассейна, и в его вершине глубже 15–20 м (Современное..., 1995).

В апреле 2024 г. сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова и Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН проведены исследования гидрологической структуры и микробных процессов в двух котловинах губы Кислой бассейна Кислогубской ПЭС. Было установлено, что придонный сероводородный слой отсутствовал. Признаки сероводородного заражения отмечались в верхнем слое донных осадков – гидротроилите, имеющего черный цвет, и связанный с деятельностью сульфидогенного микробного сообщества. Так как в последние годы остановлена плановая работа турбин Кислогубской ПЭС, то через открытые водоводы проходит постоянный приток морских вод. Адвекция холодных вод, насыщенных кислородом, достаточна для вентиляции придонных слоев губы Кислой и полного окисления сероводорода, который образуется в результате жизнедеятельности бактерий–сульфатредукторов.

В различные годы разрабатывались проекты превращения морских заливов в опресненные водоемы. В бассейне Баренцева моря в губе Долгой-Восточной ведутся изыскания и проектные работы по строительству Северной приливной электростанции.

Выводы

Практическая значимость исследования гидрологического режима и микробных процессов в водоемах, отделенных от основного морского бассейна, связана с необходимостью прогноза негативных последствий сероводородного заражения в искусственно замкнутых частях морских акваторий, появившихся в результате вмешательства человека, а также с реакцией морских экосистем на появление придонной аноксической зоны – тренда, наблюдаемого по всему Мировому океану. В связи с более быстрым протеканием биологических процессов в искусственных морских бассейнах из-за влияния технических сооружений на гидрологические характеристики, исследование антропогенных мезомиктических водоемов может послужить моделью при реконструкции изменений прибрежных экосистем в процессе их природной изоляции от моря.

Благодарности

Исследования выполнены в ИО РАН в рамках Госзадания № FMWE–2024–0020.

Литература

1. Краснова Е. Д., Мардашова М. В. Как морской залив превращается в озеро // Природа. 2020. № 1. С. 16–27. DOI:10.7868/S0032874X20010020.

2. Марфенин Н. Н., Малютин О. И., Пантюлин А. Н., Перцова Н. М., Усачев И. Н. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. М. Изд-во: МГУ, 1995. 125 с.
3. Реликтовое озеро Могильное / Отв. ред. В. И. Гуревич и Р. Я. Цееб. Л. Изд-во: Наука, 1975. 298 с.
4. Семенов В. Н. Классификация морских бассейнов бореально-арктической зоны: экологический подход. Апатиты. Изд-во: КФАН СССР, 1988. 26 с.
5. Современное состояние и перспективы исследований экосистем Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых / Отв. Г. Г. Матишов. Мурманск. 1995. 107 с.
6. Саввичев А. С., Демиденко Н. А., Краснова Е. Д., Калмацкая О. В., Харчева А. И., акад. РАН Иванов М. В. Микробные процессы в губе Канда – меромиктического водоема, искусственно отделенном от Белого моря // ДАН. 2017. Т. 474. № 5. С. 637–641. DOI:10.7868/S0869565217050243.
7. Саввичев А. С., Демиденко Н. А., Кадников В. В., Беленкова В. В., Русанов И. И., Горленко В. М. Состав микробных сообществ как индикатор состояния водоемов, расположенных на морском побережье (на примере залива Канда, Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиология. 2023. Т. 92. № 6. С. 595–608. DOI: 10.31857/S002636562360032.

Новые данные о позднеледниковье юго-восточной Прибалтики

О. А. Дружинина¹, А. А. Бурко¹, И. М. Греков¹, Л. И. Лазукова¹, Л. Н. Назарова¹, А. В. Пронина¹,
А. И. Рудинская¹, И. Н. Сходнов², К. Г. Филиппова¹

¹ РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, *olga.alex.druzhinina@gmail.com*

² НИЦ Прибалтийская археология, Калининград

Аннотация. Проведены исследования позднеледниковых разрезов Куликово и Утиное Болото (Калининградская область) методами литологического, геохронологического, диатомового, палинологического, геохимического, хирономидного и микробиоморфного анализов. На основе данных анализа разреза Куликово описаны этапы развития приледникового палеоводоема, существовавшего в пределах современного побережья юго-восточной части Балтийского моря в период беллинг – аллеред (14.3–13.4 тыс. кал. л. н.). Составлена подробная характеристика позднеплейстоценовой биоты палеоводоема Куликово, обнаружены более 200 таксонов диатомовых водорослей. Впервые для Прибалтики на основе нового источника информации, данных микробиоморфного (фитолитного) анализа, а также результатов детального антракологического анализа разрезов проведена реконструкция локальной позднеледниковой растительности, и, в частности, описана роль древесных пород в составе растительного покрова в интервале беллинг – аллеред.

Ключевые слова: позднеледниковье, юго-восточная Прибалтика, палеогеография, приледниковый водоем, древесная растительность.

New data on the Late Glacial of the south-eastern Baltic region

O. A. Druzhinina¹, A. A. Burko¹, I. M. Grekov¹, L. I. Lazukova¹, L. N. Nazarova¹, A. V. Pronina¹,
A. I. Rudinskaya¹, I. N. Skhodnov², K. G. Filippova¹

¹ Herzen University, Saint-Petersburg, *olga.alex.druzhinina@gmail.com*

² Scientific Research Center Peribaltic Archaeology, Kaliningrad

Abstract. Late glacial sections of Kulikovo and Utinoe Boloto (Kaliningrad Oblast) were studied using lithological, geochronological, diatom, palynological, geochemical, chironomid and microbiomorph analyses. The stages of development of the palaeobasin, which existed within the limits of the modern coast of the south-eastern part of the Baltic Sea during the Bølling-Allerød period (14.3–13.4 ka), are described. A detailed characterisation of the Late Pleistocene biota of the Kulikovo palaeobasin was made, and more than 200 taxa of diatom algae were found. A reconstruction of local late glacial vegetation was carried out, and, in particular, the role of woody species in the composition of vegetation cover in the Bølling-Allerød interval was described based on a new source of information, microbiomorph (phytolith) analysis data, and the results of detailed anthracological analysis of the sections.

Keywords: Late Glacial, south-eastern Baltic, palaeogeography, glacial basin, woody vegetation.

Введение

В 2022–2023 гг. в Калининградской области начато изучение двух позднеледниковых разрезов – Куликово (54°56' N, 20°21' E) и Утиное Болото (54°46' N, 22°25' E). Оба объекта экспонируют отложения постледниковых водоемов, возникших в бёллинге – среднем дриасе. Комплексные палеогеографические исследования разрезов направлены на реконструкцию процессов, формировавших природную среду региона в конце плейстоцена и в голоцене.

Материалы и методы

Разрезы исследуются комплексом методов, среди которых литологический (гранулометрия, потери при прокаливании, карбонатность, магнитная восприимчивость), геохронологический, диатомовый, палинологический, геохимический, хирономидный и микробиоморфный анализы (Дружинина и др., 2023; Druzhinina et al., 2023).

Результаты и обсуждение

На основе данных анализа разреза Куликово описаны этапы развития приледникового палеоводоема, существовавшего в пределах современного побережья юго-восточной части Балтийского моря в период беллинг – аллеред (14.3–13.4 тыс. кал. л. н.). Выделены 8 этапов в динамике физико-химических и биологических процессов, протекавшие в палеоводоеме на протяжении исследуемого интервала, описана реакция абиотических и биотических компонентов водной системы и окружающих ландшафтов на коротко-периодные позднеледниковые колебания климата (продолжительностью несколько десятилетий – столетий), а также на изменения гидрологических условий, вероятно, связанные с деградацией мертвого льда и активным формированием молодой позднеплейстоценовой гидрографической сети. Составлена подробная характеристика позднеплейстоценовой биоты палеоводоема. Обнаружены более 200 таксонов диатомовых водорослей, описаны экологические группы по степени их толерантности к температуре воды, солености, глубине, степени трофности водоема и т. д. Обзор региональных публикаций по данной тематике показал, что выявленное число таксонов диатомовых является уникальным по количеству и разнообразию для позднеледникового Прибалтики. Вероятно, это разнообразие связано с чувствительностью биоты к динамике изменений позднеледниковой природной системы, а также с высокой степенью разрешения исследования (Druzhinina et al., 2023).

Впервые для Прибалтики на основе нового источника информации, данных микробиоморфного (фитолитного) анализа, а также результатов детального антракологического анализа (определения типа сгоревшего палеоботанического материала) двух разрезов, Куликово и Утиное Болото, проведена реконструкция локальной позднеледниковой растительности юго-восточной части данного региона; в частности, описана роль древесных пород в составе растительного покрова в интервале беллинг – аллеред; охарактеризована динамика локальных позднеплейстоценовых растительных сообществ от пионерных до становления настоящих лесов. Полученные результаты указывают на почти непрерывное локальное присутствие древесной (хвойной и лиственной) растительности, уже со среднего дриаса (не позднее ~13980 кал. л. н.). Корреляция этих данных с полученными палинологическими материалами свидетельствует о том, что примерно с 13900 ± 160 кал. л. н. начинается постепенный рост процентного содержания древесной растительности и уже с начала аллереда, 13840 ± 140 кал. л. н. это значение не опускается ниже 60 %, достигая 80 % около 13450 ± 170 кал. л. н., к середине периода. Исследование также выявило реакцию древесной растительности на холодные события GI-1b и GI-1c2, выразившуюся в резком, но относительно коротком сокращении древесных пород в эти промежутки времени (Дружинина и др., 2023).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00113, <https://rscf.ru/project/22-17-00113>.

Литература

1. Дружинина О. А., Филиппова К. Г., Лазукова Л. И., Гольева А. А., Рудинская А. И., Бурко А. А., Сходнов И. Н. Древесная растительность в пионерных позднеледниковых ландшафтах Прибалтики: результаты антракологического и фитолитного анализов // Общество. Среда. Развитие. 2023. Вып. 4. С. 282–286.
2. Druzhinina O., Rudinskaya A., Filippova K., Lazukova L., Lavrova N., Zharov A., Skhodnov I., Burko A., van den Berghe K. The Bølling–Allerød Transition in the Eastern Baltic: Environmental Responses to Climate Change // Biology. 2023. V. 12. P. 821. <https://doi.org/10.3390/biology12060821>.

Антропогенная трансформация ландшафтов юго-восточной Прибалтики в эпоху камня

О. А. Дружинина¹, И. Н. Сходнов², А. А. Бурко¹

¹ РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, olga.alex.druzhinina@gmail.com

² НИЦ Прибалтийская археология, Калининград

Аннотация. Проведен анализ и обобщение региональных палеоэкологических и археологических данных и составлено представление о раннем антропогенном воздействии на ландшафты юго-восточной Прибалтики в эпоху камня. Палеогеографические (оз. Камышовое, оз. Чистое, бол. Козье) и археологические данные (памятники культуры цедмар и восточной группы приморской культуры шнуровой керамики) рассмотрены сквозь призму новейших из имеющихся для региона опубликованных результатов палеогенетических исследований. Выделены 3 этапа с нарастающей интенсивностью хозяйственной деятельности, отличающиеся степенью трансформации ландшафтов и видами антропогенного воздействия. Установлено, что, начиная с 5200 кал. л. н. земледелие, вероятно, занимает постоянное место в стратегии жизнеобеспечения древнего населения юго-восточной Прибалтики, происходит увеличение его роли в трансформации природной среды.

Ключевые слова: возникновение земледелия, палеоэкология, археология, мезолит, неолит, юго-восточная Прибалтика.

Anthropogenic transformation of landscapes in the south-eastern Baltic region during Prehistory

О. А. Druzhinina¹, I. N. Skhodnov², A. A. Burko¹

¹ Herzen University, Saint-Petersburg, olga.alex.druzhinina@gmail.com

² Scientific Research Center Peribaltic Archaeology, Kaliningrad

Abstract. Regional palaeoenvironmental and archaeological data have been analysed and summarised, and a picture of the early anthropogenic impact on the landscapes of south-eastern Baltic territory during the Stone Age has been drawn up. Palaeogeographical (Kamyshovoe Lake, Chistoe Lake, Kozje Bog) and archaeological data (the Zedmar culture and the Corded Ware culture) have been considered through the light of the latest published results of palaeogenetic research available for the region. Three stages with increasing intensity of economic activity, differing in the degree of landscape transformation and types of anthropogenic impact, were identified. It has been established that, starting from 5200 cal yr BP, farming probably took a permanent place in the subsistence strategy of the ancient population of the south-eastern Baltic, and its role in the transformation of the natural environment increased.

Keywords: emergence of agriculture, palaeoecology, archaeology, Mesolithic, Neolithic, south-eastern Baltic.

Введение

Земледелие как явление, изменившее жизнь человечества, является предметом интенсивного изучения во всех регионах мира. Особую сложность и интерес представляет изучение этого явления за пределами ареала известных раннеземледельческих культур, в «нестепных» регионах, таких как лесная зона умеренных широт Европы. За последние два-три десятилетия произошел качественный скачок в знаниях о возникновении раннеземледельческих практик на этой территории. Если в конце XX в. общим научным консенсусом было мнение, что земледелие в этом регионе возникло не ранее железного века, то палинологические и археологические исследования последних десятилетий позволили зафиксировать гораздо более раннее возникновение земледельческой деятельности, а именно: с неолита. Например, одни из самых ранних датировок получены в Германии (6300–6000 кал. л. н.), Скандинавии (7200–6200 кал. л. н.), Литве (6400–6300 кал. л. н.) (Druzhinina et al., 2023; Druzhinina, 2023). В то же время археологические и палеогенетические данные свидетельствуют о том, что в лесных районах умеренных широт жизненные стратегии охотников-собирателей, скорее всего, сохранялись довольно долго, по крайней мере до конца неолита (Druzhinina, 2023).

Это особенно актуально для Прибалтики, тогда как более южные территории (Германия, Польша) в неолите были гораздо активнее вовлечены в процессы раннего земледелия и сельскохозяйственного землепользования. В связи с этим палеоэкологическое изучение юго-восточной Прибалтики (Калининградская область, Россия) представляет большой интерес, поскольку эта территория находится на самом стыке взаимодействия более южных «раннеземледельческих» и северных «охотничье-собираТЕЛЬСКИХ» культур.

В рамках работы над данным направлением в 2023 г. были обобщены полученные за последние несколько лет палинологические данные по озёрным и болотным отложениям и имеющаяся археологическая информация о культуре цедмар и восточной группе приморской культуры шнуrowой керамики, что позволило выделить несколько этапов древней хозяйственной деятельности на юго-востоке Прибалтики.

Материалы и методы

Палеоэкологические данные были получены в ходе исследований озер Камышовое и Чистое, торфяника Козье в 2021–2023 гг. (Napreenko et al., 2021; Druzhinina et al., 2023), а также торфяника Цедмар в 1970-х (Тимофеев, 1996). В работе использованы археологические материалы, полученные в ходе раскопок памятников культуры цедмар (Тимофеев, 1996), а также стоянок Прибрежное и Ушаково, относящихся к культуре шнуrowой керамики (Зальцман, 2019). Раскопки на этих объектах сопровождались детальными геохронологическими и зооархеологическими исследованиями.

Результаты и обсуждение

Первый этап древнейшей антропогенной деятельности охватывает значительную часть мезолита и начало неолита (10300–6500 кал. л. н.). В это время наблюдается локальное обезлесение. Вероятно, леса целенаправленно выжигались для различных хозяйственных целей, в том числе, для распространения определенных видов растений, например, лещины (*Corylus*). Лещина играла важную роль не только в мезолитическом рационе, но и использовалась в различных хозяйственных целях (для изготовления утвари) и в качестве топлива, и преднамеренное выжигание леса для распространения этой культуры феномен, известный в археологии и палеоэкологии (Bishop et al., 2015). Кривая пыльцы *Corylus* в изученных разрезах оз. Камышовое и Чистое колеблется между 20 и 40 % на протяжении всего мезолита. Следует отметить одновременное высокое содержание и пики лещины и папоротника орляка (*Pteridium aquilinum*, до 18 %) в палинологическом спектре оз. Камышового, который активно распространяется на выжженных территориях, заброшенных полях и пастбищах и, согласно исследованиям макроботанических остатков на археологических памятниках, сам являлся частью диеты мезолитического населения (Divišová and Šída, 2015).

На следующем этапе, в первой половине неолита (примерно с 6500 кал. л. н.), усиливается антропогенная нагрузка на окружающую среду. Увеличение числа растений-индикаторов антропогенной деятельности (сорные, пастбищные и луговые) свидетельствует о расширении площади открытых пространств и эксплуатации леса. Пики *Pteridium* совпадают с пиками на кривой микроуглей, *Onagraceae* (кипрейные) появляются на протяжении всего периода, что свидетельствует о продолжающемся выжигании лесов. На этом этапе появляются первые свидетельства сельскохозяйственной деятельности, представленные костями одомашненных животных (крупного рогатого скота, коз и овец) и орудиями обработки почвы, найденными в археологическом комплексе Цедмар. В пыльцевом спектре также отмечен *Plantago lanceolata*, который считается одним из самых надежных индикаторов антропогенной деятельности и, в частности, выпаса скота. Присутствие пыльцы *Cerealia* в культурных слоях памятников Цедмар указывает на самые ранние попытки возделывания злаков.

Начиная с 5200 кал. л. н. земледелие, вероятно, занимает постоянное место в стратегии жизнеобеспечения древнего населения юго-восточной Прибалтики. На это указывают многочисленные признаки возделывания зерновых культур: от палинологических данных до археологических свидетельств, представленных находками каменных мотыг, зернотерок, пестиков. Этот период характеризуется продолжающейся антропогенной нагрузкой на ландшафты. Увеличивается количество

и разнообразие индикаторов антропогенной деятельности (*Plantago*, *Artemisia*, *Chenopodium*, *Cirsium*, *Taraxacum* и др.), растёт число микроуглей в озерных отложениях. Распространение земледелия на этом этапе, скорее всего, связано с носителями культуры шнуrowой керамики, о чем свидетельствуют результаты палеогенетических исследований в Прибалтике и имеющийся для региона археологический материал (Druzhinina, 2023).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00113, <https://rscf.ru/project/22-17-00113>.

Литература

1. Зальцман Э. Б. Восточная группа приморской культуры. Анализ материалов поселенческих комплексов: Материалы спасательных археологических исследований. М. Изд-во: Институт археологии РАН, 2019. Т. 26. Ч. 1. 688 с.
2. Тимофеев В. И. Памятники типа Цедмар. Неолит Северной Евразии. М. Изд-во: Наука, 1996. С. 162–166.
3. Bishop R. R., Church M. J., Rowley-Conwy P. A. Firewood, food and human niche construction: the potential role of Mesolithic hunter–gatherers in actively structuring Scotland's woodlands. *Quat. Sci. Rev.* 2015. V. 108. P. 51–75. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.11.004>.
4. Divišová M., Šída P. Plant Use in the Mesolithic Period. *Archaeobotanical Data from the Czech Republic in a European Context – a Review. IANSA*, VI/1/ 2015. P. 95–106.
5. Druzhinina O., Stančikaitė M., Gedminienė L., Vaikutienė G., Lavrova N., Kublitsky J., Subetto D. Anthropogenic impact on the landscape of the Vishtynets Upland (Kaliningrad region, SE Baltic) in prehistory and Middle Ages: A multi-proxy palaeoenvironmental study. 2023. QI <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.05.016>.
6. Druzhinina O. Prehistoric farming in the south-eastern Baltic (Kaliningrad Region, Russia): new data and state-of-the-art // *Documenta Praehistorica*. L. 2023. DOI: 10.4312/dp.50.12.
7. Napreenko M., Napreenko-Dorokhova T., Matul A. Reconstructing the Holocene environments in the Russian sector of the Neman Delta area, Kaliningrad Region // *Geological Quarterly. Police Geological Institute*. 2021. V. 65. No 2. doi: 10.7306/gq.1600.

Об особенностях морских промыслов энеолитического населения северо-западной части Белого моря (по данным изучения костных остатков и каменного инвентаря)

А. М. Жульников¹, И. В. Аськеев², А. О. Аськеев²

¹ Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, rockart@yandex.ru

² Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, archaeozoologist@yandex.ru, art.regulus@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты археозоологического анализа остеологических коллекций, полученных с двух энеолитических стоянок, расположенных на западном берегу Кандалакшской губы. Целью исследования является получение данных о стратегии охоты на тюленей в северо-западной части побережья Белого моря. Результаты исследований демонстрируют высокую значимость кольчатой нерпы и гренландского тюленя в охотничьей добыче у обитателей изученных стоянок. С промыслом морских животных связана подавляющая часть каменного инвентаря, обнаруженного на стоянках: наконечники метательного вооружения из сланца и кремня; угловые сланцевые ножи, видимо, для снятия шкур; кварцитовые молотки с желобками (для привязывания на рукоять), скорее всего, для умерщвления молодых ластоногих. Тюлени были основными поставщиками мяса, кожи и жира для жителей энеолитических стоянок Северного Беломорья.

Ключевые слова: кольчатая нерпа, гренландский тюлень, лахтак, обыкновенный тюлень, энеолит, морская охота.

On the peculiarities of marine fisheries of the Eneolithic population of the northwestern part of the White Sea (according to the study of bone remains and stone tools)

A. M. Zhul'nikov¹, I. V. Askeyev², A. O. Askeyev²

¹ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, rockart@yandex.ru

² The Institute of Problems in Ecology and Mineral Wealth, Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, archaeozoologist@yandex.ru, art.regulus@mail.ru

Abstract. The article presents the results of an archaeozoological analysis of osteological collections obtained from two Eneolithic sites located on the western shore of the Kandalaksha Bay. The aim of the study is to obtain data on the strategy of hunting seals in the northwestern part of the White Sea coast in the Eneolithic. The research results demonstrate the high importance of the ringed seal and the Greenland seal in hunting prey among the inhabitants of the studied sites. The vast majority of the stone tools found at the sites are associated with the fishing of marine animals: tips of throwing weapons made of slate and flint; angular slate knives, apparently for skinning; quartzite hammers with grooves (for binding to the handle), most likely for killing young pinnipeds. Seals were the main suppliers of meat, skin and fat for the inhabitants of the Eneolithic sites of the Northern White Sea.

Keywords: ringed seal, harp seal, bearded seal, common seal, Eneolithic, marine hunting.

Введение

Остеологические остатки морских животных, обнаруженные на археологических памятниках Белого моря (рис. 1), являются наиболее достоверным свидетельством существования в древности в Прибеломорье морского зверобойного промысла.

Наиболее ранние признаки промысла ластоногих на Белом море зарегистрированы на стоянках Кандалакшского залива (губы): стоянки Кереть XIX (мезолит) (Тарасов, 2007), Нива XX, XXI, Колвица III, IV (ранний неолит) (Савватеев, Верещагин, 1978). Помимо костей нерпы на этих стоянках собраны костные остатки копытных (лось, северный олень), бобра, волка (Савватеев, Верещагин, 1978), птицы и неопределенных крупных млекопитающих (не копытных) (Тарасов, 2007). На раннеэнеолитических стоянках в низовье рек Кемь (Путкинская III, VIII) и Выг (Ерпин Пудас I (вершина острова)), расположенных в юго-западной части Прибеломорья (Онежская губа) кости ла-

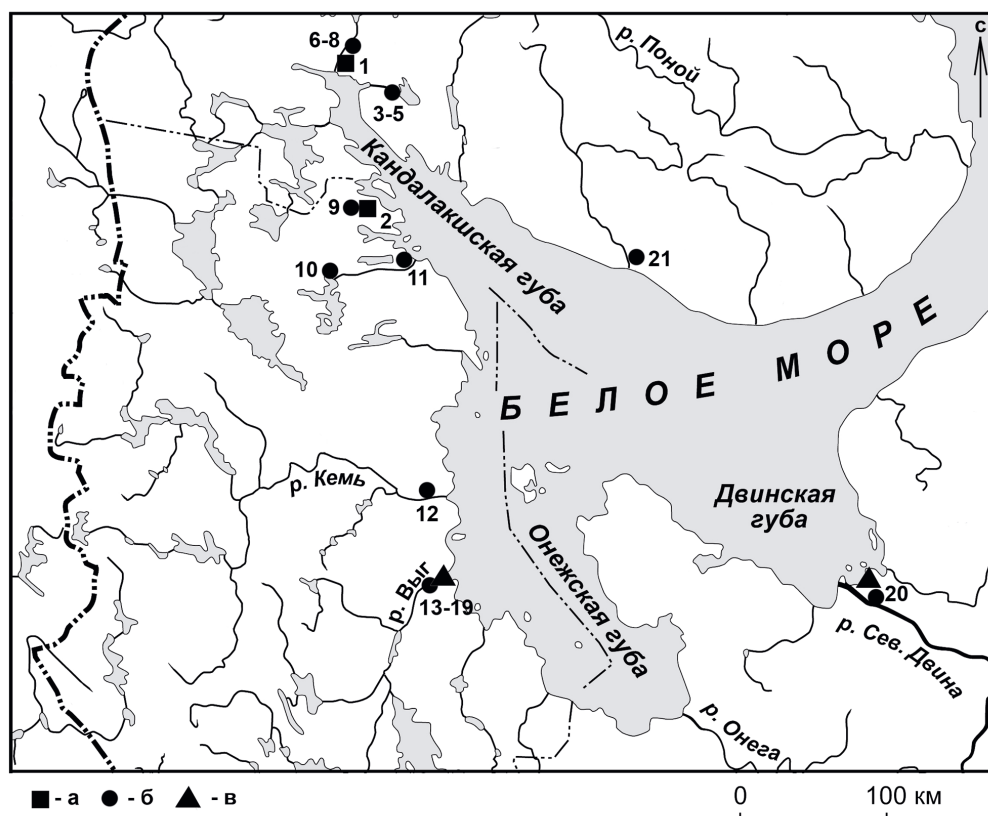


Рис. 1. Картограмма расположения стоянок с находками костей морских животных в Прибеломорье: а – стоянки с проанализированным в статье остеологическим материалом, б – иные стоянки с находками костей тюленей и тюленеобразных, в – стоянки с находками костей китообразных. 1 – Нива X; 2 – Нильмозеро III; 3–5 – Колвица III, IV, IX; 6–8 – Нива XII, XX, XXI; 9 – Нильмозеро V; 10 – Кереть I; 11 – Кереть XIX; 12 – Кемь I; 13–19 – Ерпин Пудас I, Залавруга IV; Золотец I, VI, VII, Остров Шойрукшин, Порог Шойрукшин; 20 – Кузнечиха; 21 – Кузомень.

Fig. 1. A cartographic diagram of the location of sites with finds of bones of marine animals in the White Sea: а – sites with osteological material analyzed in the article, б – other sites with finds of seal and seal-like bones, в – sites with finds of cetacean bones. 1 – Niva X; 2 – Nilmozero III; 3–5 – Kolvitsa III, IV, IX; 6–8 – Niva XII, XX, XXI; 9 – Nilmozero V; 10 – Keret I; 11 – Keret XIX; 12 – Kem I; 13–19 – Erpin Pudas I, Zalavruga IV; Zolotets I, VI, VII, Shoirukshin Island, Shoirukshin Threshold; 20 – Kuznechikha; 21 – Kuzomen.

стоногих не обнаружены, а представители лесной фауны в остеологическом материале представлены в изобилии (Савватеев, Верещагин, 1978). Кости китообразных найдены всего на двух поселениях южной части побережья Белого моря (рис. 1): Залавруга IV (энеолит – ранний железный век), Кузнечиха (энеолит) (Смирнов, 1941; Савватеев, Верещагин, 1978). Наблюдаемые локальные и хронологические различия в морском промысле могут быть связаны со спецификой природных условий Кандалакшского залива (губы) (изрезанность его берегов, обилие островов, наличие множества мелких морских заливов), которые в Западном Прибеломорье, видимо, наиболее благоприятны для обитания ластоногих.

Актуальным для изучения хронологических и локальных различий в древних морских промыслах на побережье Белого моря является получение сведений о составе добываемых животных, об их возрастных особенностях, способах разделки и потребления, времени промысла и т. д. Эти данные могут быть получены путем применения современных методов исследования имеющихся остеологических коллекций.

Археологические и археозоологические данные

Исследованы костные остатки с двух археологических стоянок побережья Белого моря: Нильмозеро III и Нива X.

Стоянка Нильмозеро III открыта в 1974 г. Ю. В. Титовым. Поселение занимает восточный и северный край возвышения на южном берегу протоки в восточной части озера Нижнее Нильмозеро (рис. 1). На территории стоянки зафиксирована крупная жилищная впадина. В раскопе, заложенном А. М. Жульниковым в 2015 г. (178 м²), обнаружено десять крупных кострищ, две кладки из валунов, несколько хозяйственных ям в которых собраны многочисленные костные остатки животных. Большая часть орудий, найденных на стоянке Нильмозеро III, изготовлена из кварца. В основном это скребки. В коллекции кремневых изделий выделяются серия обломков наконечников стрел и дротиков, несколько ножей и скребков. В ходе раскопок найдены обломки наконечников стрел и дротиков из сланца, кварцитовый молоток с желобком для привязывания к рукояти, обломки сланцевых рубящих орудий. В коллекции керамики с Нильмозеро III имеются фрагменты от шести сосудов энеолитической керамики типа Оровнаволок, датированной на территории Карелии радиоуглеродным методом концом IV – первой половиной III тыс. до н. э. (Жульников, 2022).

Стоянка Нива X находится на левом берегу р. Нива (рис. 1). В древности стоянка располагалась на берегу узкого морского залива неподалеку от устья реки. На стоянке Ю. В. Титовым и П. Э. Песонен в 1972–1974 гг. исследовано 500 кв. м. На территории поселения, по данным Ю. В. Титова, имеется четыре впадины от полуземляночных жилищ. На поселении частично раскопано полуземляночное жилище, обнаружена каменная кладка неясного назначения, выявлены каменные очаги и многочисленные кострища, насыщенные кальцинированными костями (Песонен, 1977). Начальный этап заселения стоянки (комплекс ромбоямочной керамики) относится к первой половине IV тыс. до н. э. Судя по данным планиграфии и составу инвентаря, стоянка наиболее активно посещалась населением с пористой гребенчато-ямочной керамикой типа Залавруга, датированной третьей четвертью IV тыс. до н. э. (Жульников, Тарасов, 2021).

Общее количество изученных костных остатков: Нильмозеро III – 1103 экз. и Нива X – 82 экз.

Все исследованные костные остатки принадлежали 4 видам животных из парвотряда ластоногих (Pinnipedia) из семейства настоящих тюленей (Phocidae) (табл. 1). Определение материала производилось на основе сравнительной коллекции Лаборатории биомониторинга Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань. Видовая принадлежность определялась для всех элементов скелета. Индивидуальный возраст различных видов ластоногих определялся по степени развития костей (Hodgetts, 1999; Storå, 2000, 2002; Горлова, 2012; Горлова, Васюков, 2013). В процессе определения были проведены измерения костей (Ericson, Stora, 1999). Данные измерения использовались для исключения анализа нескольких костей от одной особи, а также и для определения возрастных и размерных показателей.

Основу исследованной коллекции составили кости, и их фрагменты. Сохранность и анатомический состав остатков от различных видов очень схож между двумя памятниками. Средняя сохранность: Нильмозеро III – 17.5 % и Нива X – 15 %. В тоже время на Нильмозеро III общее количество и разнообразие костных остатков по слоям и объектам значительно различаются. Наибольшая концентрация и разнообразие костных фрагментов животных выявлена в горизонте 2.

Сохранность костей показывает на их повреждения, имевшие место до захоронения, во время захоронения в период проведения раскопок и во время перевозки. Таким образом, изучаемые костные остатки до 80 % раздроблены, кроме того, большинство костных остатков сосредоточено в определенных участках в виде отдельных мест скопления. Такое состояние и распределение костных остатков, как правило, относится к кухонным остаткам и местам разделки животных. Эти данные подтверждают, что разделка туш, для наиболее массовых и некрупных видов тюленей проводилась на территории данных поселений. На это также указывает и большое количество фаланг пальцев, метаподий и их фрагментов и др. дистальных элементов ласт.

Анализ анатомического состава (встречаемость различных скелетных элементов) показали различия между разными видами, но не между двумя памятниками (табл. 1). Анализ материала выявил высокое число дистальных элементов ласт (метаподий и фаланг пальцев и пр.) для кольчатой нерпы и гренландского тюленя, в тоже время они не были выявлены для крупного вида тюленей – лахтака.

Достаточно большая часть костей (до 35 %) имеют явные следы разделки: рубки, резки, соскабливания и пр.

Судя по видовому и анатомическому составу костных остатков, единственным агентом их накопления на данных стоянках был морской охотничий промысел.

Таблица 1. Число костных остатков на двух древних поселениях Белого моря
Table 1. The number of bone remains in two ancient settlements of the White Sea

ВИД	Нильмозеро III	Нива X
1. Кольчатая нерпа (<i>Pusa hispida</i>)	538 (48.8 %)	47 (57.3 %)
2. Гренландский тюлень (<i>Pagophilus groenlandicus</i>)	162 (14.7 %)	12 (14.6 %)
3. Лахтак (<i>Erignathus barbatus</i>)	19 (1.7 %)	–
4. Обыкновенный тюлень (<i>Phoca vitulina vitulina</i>)	5 (0.4 %)	–
Неопределимые до вида костные остатки ластиногих (<i>Pinnipedia</i>)	379 (34.4 %)	23 (28 %)

О возникновении специализации в морском промысле в конце неолита – энеолите, помимо проанализированных костных остатков, свидетельствует появление в инвентаре поселений Канда-лакшского залива многочисленного метательного охотничьего вооружения, в том числе изготовленного из местных материалов (сланец, шифер) (Жульников, 2022). Отметим в этой категории каменного инвентаря значительную долю наконечников дротиков, что характерно и для многих других стоянок южного побережья Кольского полуострова (Гурина, 1997) эпохи раннего металла. Выявленные в раскопе на Нильмозеро III многочисленные «размытые» пятна кострищ, расположенные на незначительном расстоянии друг от друга, могут быть интерпретированы как признак многократного (с перерывами в зависимости от времени промысла?) пребывания здесь группы людей с целью разделки добычи, заготовки мяса и жира, обработки шкур. Неподалеку от таких производственных площадок на стоянках Нильмозеро III, Нива X находились полуземляночные жилища, предназначенные для проживания в зимнее время. Не исключено наличие на этих поселениях остатков наземных жилищ, функционировавших в летнее время.

Заключение

По археозоологическим данным (численное соотношение костей, оценка возраста добываемых особей и прочие, а также способы и методы разделки туш), можно сказать, что тюлени были главными поставщиками мяса, кожи и жира для жителей энеолитических стоянок Северо-Западного Прибеломорья. Обитатели этих стоянок добывали все виды ластиногих, встречавшихся в данном регионе. Подавляющая часть каменного инвентаря, обнаруженного на энеолитических стоянках Кандалакшского залива, очевидно, связана с промыслом морского зверя и переработкой добычи.

Литература

1. Горлова Е. Н. Промысел кольчатой нерпы (*Pusa hispida*) морскими зверобоями Чукотки в позднем голоцене // Российская археология. 2012. № 3. С. 149–157.
2. Горлова Е. Н., Васюков Д. Д. Три вида ластиногих в добыче морских зверобоев северо-восточного побережья Чукотки // Зоологический журнал. 2013. Т. 92. № 9. С. 1064–1064.
3. Гурина Н. Н. История культуры древнего населения Кольского полуострова. СПб. Изд-во: Центр «Петербургское Востоковедение», 1997. 240 с.
4. Жульников А. М. Энеолитические стоянки озера Нижнее Нильмозеро в Северо-Западном Прибеломорье: особенности топографии и хронология // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 6. С. 191–201.
5. Жульников А. М., Тарасов А. Ю. О происхождении и хронологии асбестовой керамики геометрического стиля типа Войнаволоков // Российская археология. 2021. № 4. С. 21–34.
6. Песонен П. Э. О двух древних поселениях в низовье р. Нива // Советская археология. 1977. № 1. С. 126–138.

7. Савватеев Ю. А., Верещагин Н. К. Охотничье-промысловые животные и каменный инвентарь населения Карелии и южной части Кольского полуострова эпохи неолита и раннего металла // Мезолитические памятники Карелии. Петрозаводск. Изд-во: Карельский филиал АН СССР, 1978. С. 181–215.
8. Смирнов В. И. Стоянка на р. Кузнечихе в г. Архангельске // Краткие сообщения Института истории материальной культуры. 1941. № IX. С. 90–98.
9. Тарасов А. Ю. Археологические исследования в нижнем течении реки Керети в северном Прибеломорье в 2004–2006 гг. // Комплексные гуманитарные исследования в бассейне Белого моря. Петрозаводск. Изд-во: Острова, 2007. С. 43–53.
10. Ericson Per G. P., Store J. A manual to the skeletal measurements of the seal genera *Halichoerus* and *Phoca* (Mammalia: Pinnipedia). Stockholm: Department of Vertebrate Zoology. Sw. Museum Nat. History. 1999. 25 p.
11. Hodgetts L. M. Animal Bones and Human Society in the Late Younger Stone Age of Arctic Norway / Durham theses, Durham University. V. 1, 2. 1999. 189 p. <http://etheses.dur.ac.uk/4491>.
12. Storå J. Skeletal development in the Grey seal, the Ringed seal, the Harbour seal and the Harp seal. Epiphyseal Fusion and Life History // *Archaeozoologia*. 2000. V. 11. P. 199–222.
13. Storå J. Neolithic seal exploitation on the Åland Islands in the Baltic Sea on the basis of epiphyseal fusion data and metric studies // *Intern. J. Osteoarchaeology*. 2002. V. 12. P. 49–64.

Терский берег Белого моря в голоцене: новые данные аналитических исследований

Н. Е. Зарецкая ^{1,2}, Т. Ю. Репкина ^{1,2}, О. С. Шилова ³, Н. Н. Луговой ^{1,3}, Ф. А. Романенко ³

¹ Институт географии РАН, Москва, n_zaretskaya@inbox.ru, t-repkina@yandex.ru

² ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург;

³ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, o.olyunina@mail.ru; lugovoy-n@ya.ru; faromanenko@mail.ru

Аннотация. В результате комплексных исследований, проведённых на Терском берегу Белого моря, мы подтвердили существующие представления об общем тренде снижения высот одновозрастных древних береговых линий в восточном направлении. Также выявлена возрастная «мозаичность» строения поверхности морской террасы, которая, по нашим предварительным данным, сформировалась вследствие как минимум двух повышений относительного уровня Белого моря – в конце раннего – начале среднего (~ 9.5–8.5 кал. т. л. н.) и в конце среднего – начале позднего (~ 6.5–4.5 кал. т. л. н.) голоцена, после чего произошло плавное перемещение береговой линии до современного положения.

Ключевые слова: постгляциальная история побережья Белого моря, древние береговые формы рельефа, диатомовый и радиоуглеродный анализы.

The Tersky coast of the White Sea in the Holocene: new results of analytical studies

N. E. Zaretskaya ^{1,2}, T. Yu. Repkina ^{1,2}, O. S. Shilova ³, N. N. Lugovoy ^{1,3}, F. A. Romanenko ³

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, n_zaretskaya@inbox.ru; t-repkina@yandex.ru

² VNIIOkeangeologiya, St. Petersburg;

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, o.olyunina@mail.ru; lugovoy-n@ya.ru; faromanenko@mail.ru

Abstract. As a result of interdisciplinary studies carried out on the Tersky coast of the White Sea, we have confirmed the existing ideas about the general trend of decreasing heights of the synchronous ancient coastlines in the eastern direction. We also revealed the age ‘mosaic’ structure of the marine terrace surface, which, according to our preliminary data, was formed as a result of at least two relative level rises of the White Sea – at the end of the Early – beginning of the Middle (~9.5–8.5 cal. kyr BP) and at the end of the Middle – beginning of the Late (~6.5–4.5 cal. kyr BP) Holocene, after which the shoreline smoothly moved to its present-day position.

Key words: postglacial history of the White Sea coast, ancient coastal landforms, diatom and radiocarbon analyses.

Введение

В 2017–2018 гг. были проведены комплексные исследования по изучению Терского берега (северо-западное побережье пролива Горло). Целью данной работы была реконструкция истории развития Терского берега в голоцене в контексте общей истории Белого моря и прилегающих территорий во время его последнего гляциоседиментационного цикла.

Материалы и методы

Материалы исследования были собраны на четырёх ключевых участках от устья р. Чаваньги до устья р. Пулонги. Полевые исследования включали геоморфологическое профилирование побережья (комплекс террас от современного берега до наиболее древней береговой линии). Также на побережье проводилось ручное бурение (бур Ejkelcamp), литостратиграфическое изучение разрезов террас и кернов скважин, и отбор образцов на радиоуглеродный и диатомовый анализы. Радиоуглеродное датирование выполнено в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии.

гии Геологического института РАН, диатомовый анализ – в НИ лаборатории геоэкологии Севера Географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова.

Результаты и обсуждение

На побережье выделены два уровня, отличающихся по морфологии и генезису рельефа. Верхний уровень (от 25–30–45 м н. у. м. до 10–30 м, понижаясь с запада на восток) представлен плоскими и пологоволнистыми заболоченными террасами и террасовидными поверхностями с многочисленными криогенными формами. Террасы примыкают к моренным грядам и холмам последнего оледенения, или занимают понижения между ними. По данным микропалеонтологических исследований и единичных радиоуглеродных дат террасы верхнего уровня относили к образованиям позднеледниковой трансгрессии (Кошечкин и др., 1973; Астафьев и др., 2012), датированной в беломорском регионе интервалом ~ 13.5–10.8 т. л. н. (Колька, Корсакова, 2017). По данным наших наблюдений рельеф поверхности не имеет следов «морской» обработки. Это подтверждается и результатами диатомового анализа: в образцах, отобранные из отложений, подстилающих покровные торфяники, распространённые на этой поверхности, были обнаружены только пресноводные виды. Возраст подошвы торфяников – раннеголоценовый (10.4–9.8 кал. т. л. н.).

Верхний и нижний уровни разделяет отчетливый абразионный уступ, выработанный в отложениях ледникового комплекса или коренных породах. Уступ прослеживается вдоль всего берега, и мог быть выработан, по-видимому, уже в голоценовое время.

На нижнем уровне (от < 15–20 м до < 7–10 м н. у. м., с запада на восток) развиты аккумулятивные и/или абразионные формы берегового рельефа, близкие по строению к формирующимся на современных берегах. В устьях некоторых рек террасы нижнего уровня также разделены абразионными уступами. Нижний уровень сопоставляли с колебаниями относительного уровня моря во время одной или нескольких голоценовых трансгрессий (Кошечкин и др., 1973; Астафьев и др., 2012; Колька, Корсакова, 2017; Агафонова и др., 2020). Морской генезис поверхности подтверждается и данными диатомового анализа. Предварительные результаты радиоуглеродного датирования и диатомового анализа верхней части чехла террас позволяют предположить, что формирование этого уровня было метакронным. Мы можем «проследить» формирование уровня «не моложе» 9.5–9 кал. т. л. н. (в начале трансгрессии Тапес), и уровня, сформировавшегося 6.5–4.5 кал. т. л. н., по-видимому, в её конце.

Выводы

Наши данные подтверждают представления (Колька, Корсакова, 2017) об общем тренде снижения высот одновозрастных древних береговых линий в восточном направлении. Однако мы наблюдаем интересное явление – возрастную «мозаичность» строения поверхности морской террасы, когда разновозрастные фрагменты оказываются на одних и тех же уровнях. Это подводит нас к предварительному выводу о том, что нижний уровень сформировался вследствие как минимум двух повышений относительного уровня Белого моря – в конце раннего – начале среднего (~ 9.5–8.5 кал. т. л. н.) и в конце среднего – начале позднего (~ 6.5–4.5 кал. т. л. н.) голоцена, после чего произошло плавное перемещение береговой линии до современного положения.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ, грант номер 22-17-00081.

Литература

1. Агафонова Е. А., Полякова Е. И., Романенко Ф. А. Диатомовые водоросли в голоценовых отложениях Терского берега Белого моря в связи с историей его развития в послеледниковое время // Арктика и Антарктика. 2020. № 2. С. 1–16.
2. Астафьев Б. Ю., Богданов Ю. Б., Воинова О. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Л. Q-37. Архангельск. Объяснительная записка. СПб. Изд-во: Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2012. 302 с.

3. Колька В. В., Корсакова О. П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря / ред. акад. РАН А. П. Лисицын. М. Изд-во: Научный мир, 2017. Т. 4. С. 214–241.
4. Кошечкин Б. И., Каган Л. Я., Кудлаева А. Л., Малясова Е. С., Первунинская Н. А. Береговые образования поздне- и послеледниковых морских бассейнов на юге Кольского полуострова // Палеогеография и морфоструктуры Кольского полуострова. Л. Изд-во: Наука, 1973. С. 87–131.

Реконструкция Привалдайского приледникового озера по данным геологического картирования масштаба 1:200 000

М. А. Комагорова

Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, Москва, egorova.com@gmail.com

Аннотация. Сделана реконструкция Привалдайского приледникового бассейна по закартированным отложениям на всех территориях, где фиксировались озерно-ледниковые осадки лужской стадии дегляциации. Используются карты масштаба 1:200 000 в основном первого поколения для лучшей корреляции условных обозначений и границ. Реконструкция сопоставлена с моделями границ лужской и крестецкой стадий дегляциации по нескольким авторам – классическим реконструкциям середины XX в. и современным западным моделям, сделанным на основе цифрового рельефа. Полученная реконструкция наложена на собственную модель приледникового бассейна на основе FABDEM. Также выделены и сопоставлены зафиксированные на картах этих территорий сохранившиеся абразионные уступы с высотами. Все работы выполнены в программе Q-ГИС-3.34, что позволит использовать в дальнейшем полученные результаты для моделирования гляциоизостатических движений земной коры.

Ключевые слова: Привалдайское приледниковое озеро, лужская стадия дегляциации, реконструкции приледниковых озёр, спуск приледниковых озёр, озерно-ледниковые отложения.

A Reconstruction of Privaldai Proglacial Lake Based on 1:200 000 Geologic Mapping Data

M. A. Komagorova

Fersman Mineralogical Museum, Moscow, egorova.com@gmail.com

Abstract. The Privaldai proglacial lake has been reconstructed using mapped deposits within all areas where glaciolacustrine sediments of the Luga deglaciation stage are found. We utilized maps at a scale of 1 : 200 000 (mainly first-generation maps) to facilitate correlation of map symbols and boundaries. The reconstruction was collated with models on the boundaries of the Luga and Krestets deglaciation stages after different authors, i. e. classical mid-20th century reconstructions and modern western digital relief models. The resulting reconstruction was overlain on our own FAB-based model of the proglacial basin. We also identified and compared extant abrasion scarps at varied elevations recorded on the maps of these territories. The work was done in Q-GIS-3.34 so that the results obtained can be further used to simulate glacioisostatic crustal movements.

Keywords: Privaldai proglacial lake, Luga deglaciation stage, reconstructions of proglacial lakes, proglacial lake outburst, glaciolacustrine deposits.

Введение

Реконструкции и модели приледниковых озёр и границ оледенений, как правило, базируются на современных цифровых моделях рельефа и учитывают геологические данные. Такие модели существуют и для севера-запада Европы, в том числе России (Svendsen et al., 2004; Kalm, 2006; Gorlach et al., 2017 и др.). Эти реконструкции, как и классическая работа Д. Д. Квасова (Квасов, 1975), покрывают огромные территории и зачастую не позволяют опереться на них в решении локальных задач. Целью нашей реконструкции было воссоздание границ Привалдайского приледникового озера, существовавшего в Приильменской низменности и на прилегающих территориях во время лужской стадии дегляциации последнего Валдайского оледенения таким образом, чтобы в дальнейшем можно было использовать эту реконструкцию для изучения направления стока этого озера и изменений его уровня.

Методы

Для реконструкции были использованы карты четвертичных образований масштаба 1:200 000 из комплектов: О-36-XIV (1961), О-36-XIII (Шмаенок, 1968), О-35-XII, О-36-VII, О-35-XVIII, О-35-XXIV, О-36-XIX, О-36-XX (Саммет, 1977), О-36-VIII (Селиванова, 1963), О-36-IX (Мокри-

енко, 1966), О-36-II (Недригайлова, 1986), О-36-III (Селиванова 1966), Р-36-XXXII-XXXIII (Яновский, 1978) Также были рассмотрены материалы к листам О-36-XV (Видгорчик, 1968) и О-36-XXI (Мокриенко, 1968), но в реконструкцию последние два листа фактически не попали, так как озерно-ледниковые образования на этих территориях относятся к более ранним стадиям дегляциации.

Листы были загружены в программу Q-ГИС-3.34 и соединены между собой. Таким образом получилось единая карта территории, где зафиксированы отложения лужской стадии дегляциации и приледникового бассейна, с ней связанного. Для центрального листа изучаемой площади, на который попадает само современное озеро Ильмень (О-36-XIV) существует карта масштаба 1:200 000, изданная в 2007 г. (Вербицкий, 2007), но границы отложений, а также индексы на ней невозможно соотнести с картами более ранних поколений, поэтому была использована карта первого поколения (Малаховский, 1960).

Оконтуривание приледникового бассейна проводилось по следующему принципу – с захватыванием территорий, полностью или частично покрытых осадками с индексами Ig_{Lz} . На части листов отложения приледникового озера крестецкой и лужской стадий дегляциации не расчленены или границы разных озерных отложений входят в противоречие – в этих случаях в контур предполагаемого озера захватывались и отложения с индексом Ig_{Kr} . В спорных и непонятных случаях, если, например, контур предполагаемого бассейна не совпадал с рельефом местности, границы наносились корреляционно, то есть по рельефу. Ко всем листам были изучены материалы отчетов и объяснительных записок.

Результаты

На рисунке 1 тонкой черной линией с косой штриховкой внутри контура показаны границы озерно-ледниковых отложений, зафиксированных съёмочными партиями при картировании данных территорий. Темной голубой заливкой показана модель – уровень озера 45 м по рельефу FABDEM. В целом очертания озера по картам и реконструкция совпадают, однако западная узкая часть, которая в большей части публикаций исследователей этой территории рассматривается как канал стока приледникового озера, получается гипсометрически выше, чем само озеро. Однако осадки озерно-

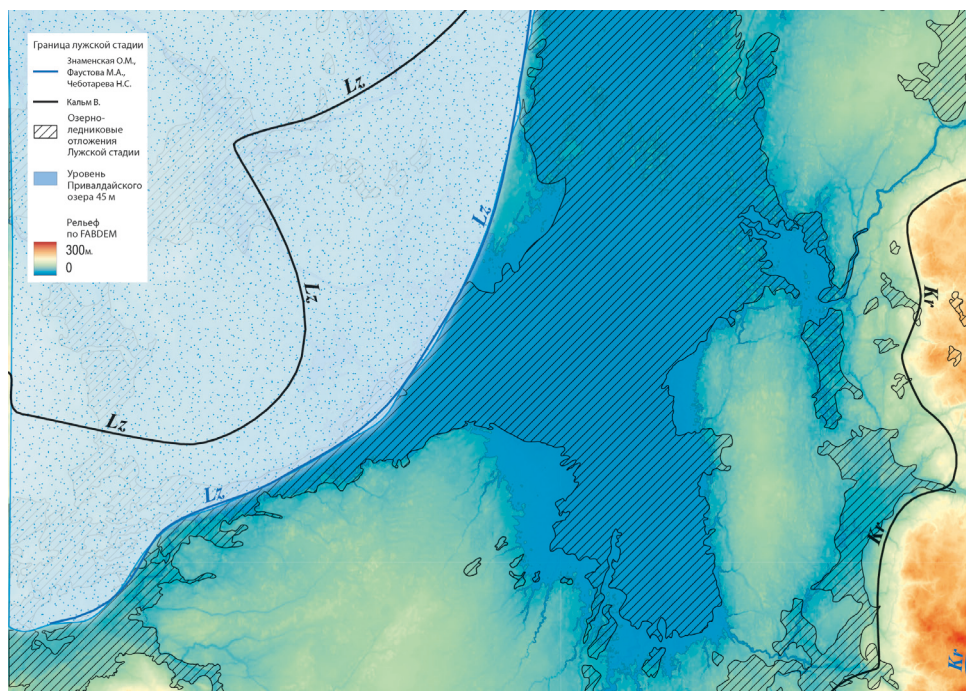


Рис. 1. Реконструкции приледникового бассейна по озерно-ледниковым отложениям, модель озера с уровнем 45 м и границы крестецкой и лужской стадий дегляциации по разным авторам.

Fig. 1. Reconstructions of a proglacial basin using glaciolacustrine deposits, a lake model at a 45 m level, and the boundaries of the Krestets and Luga deglaciation stages after different authors.

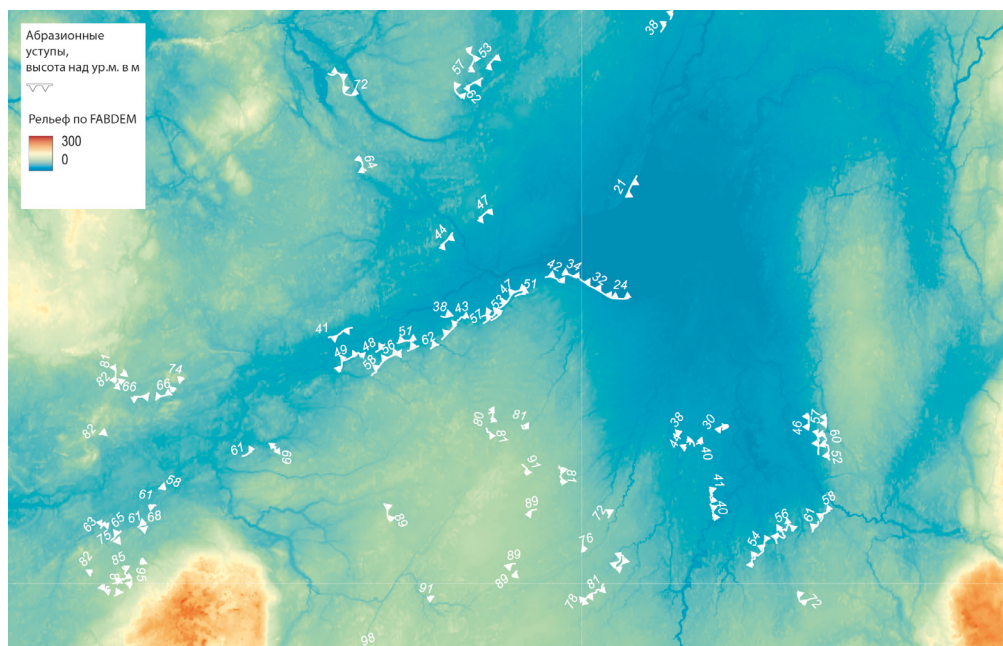


Рис. 2. Абразионные уступы различных высот на картах четвертичных отложений масштаба 1:200 000.

Fig. 2. Abrasion scarps at varied elevations on the maps of Quaternary deposits at a scale of 1:200 000.

приледникового бассейна на этой площади зафиксированы. Границы лужской стадии дегляциации на рисунке показаны в реконструкции Калма (Kalm, 2006) черной линией без заливки и М. А. Фаустовой и Н. С. Чеботаревой (Герасимов и др., 1982) светлой заливкой. Для того, чтобы покрыть «водой» все отложения, зафиксированные на этих площадях, нужно задать уровень озера не менее 65 м. То есть при уровне озера 45 м и менее сток на запад уже был невозможен, а отложения, зафиксированные за пределами его контуров, относятся к водоемам более раннего возраста.

На многих листах карт исследуемой территории повсеместно авторами фиксируются абразионные уступы высотой от 20 до 110 м (рис. 2). Некоторые из авторов съемки, например, Э. Ю. Саммет, относят уступы выше 78–80 м к приледниковым водоемам крестецкой стадии дегляциации, а все, что ниже этой отметки – к лужской стадии, то есть к деятельности Привалдайского приледникового озера. Но, как видно на рисунке 1, крестецкая стадия покрывала льдом всю территорию Приильменской низменности и соседние водоемы, с ней связанные, находились, вероятно, южнее и севернее Валдайской возвышенности и были отдельными озерами, а не гигантским бассейном.

Конфигурация и соотношение уступов высотой 40 м также очерчивают контуры предполагаемого стока Привалдайского озера на запад, в Порховском районе уступов ниже 60 м не фиксируется, что дает основания предполагать, что озеро в этой части территории спустилось до современного состояния достаточно быстро.

Обсуждение и выводы

Выводы о размерах приледникового водоема и взаимоотношениях с краем ледника можно сделать и по реконструкциям из публикаций прошлых лет, но цифровая модель дает возможность использовать ее в программе SELEN и реконструировать гляциоизостатические колебания земной коры. Это может объяснить, каким образом в рельефе территории фиксируются уступы высотой более 65 м, хотя очевидно, что уровень приледникового бассейна не мог быть выше. Эти же колебания, возможно, смогут дать объяснение падениям уровня этого озера с шагом в десять метров и прояснят вопрос, в какой момент приледниковый водоем перестал дренироваться на запад и получил сток в северном направлении.

Благодарности

Автор выражает благодарность М. А. Комагорову за помощь в подготовке графических файлов.

Литература

1. Вербицкий В. Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 / В. Р. Вербицкий и др. // Изд-е 2-е. Серия Ильменская. Лист О-36-XIV (Великий Новгород). Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 255 с.
2. Видгорчик М. Е. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000, серия Ильменская. Лист О-36-XV. Объяснительная записка / Видгорчик М. Е., Зельдина Е. А. // Министерство геологии СССР Министерство геологии РСФСР северо-западное геологическое управление. М. Изд-во: Недра, 1968.
3. Герасимов И. П., Величко А. А. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. Атлас-монография / Структура и динамика последнего Европейского ледникового покрова (Карта 2) / Составили О. М. Знаменская, М. А. Фаустова, Н. С. Чеботарева. М. Изд-во: Наука, 1982. С. 43.
4. Квасов Д. Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л. Изд-во: Наука, 1975. 278 с.
5. Малаховский Д. Б. Геологическое строение и гидрогеологические условия района озера Ильмень / Отчет о геолого-гидрогеологической съемке листа О-36-XIV (Новгород) в масштабе 1: 200 000. 1959–60 гг.
6. Малаховский Д. Б. и др. Главное управление Геологии и охраны недр при совете министров РСФСР Северо-Западное геологическое управление, Ленинградская геологическая экспедиция. Л., 1960.
7. Мокриенко З. М. Геологическое строение и гидрогеологические условия района Малая Вишера – Будогощь / Отчет о комплексной геологической съемке масштаба 1:200000 лист О-36-IX 1966 г. / Мокриенко З. М. и др. // Министерство геологии РСФСР северо-западное территориальное геологическое управление Ленинградская комплексная геологическая экспедиция. Л. 1966
8. Мокриенко З. М. Геологическое строение и гидрогеологические условия района Демянск – Лычково / Отчет о комплексной геологической съемке масштаба 1:200000 лист О-36-XXI 1968 г. / Мокриенко З. М. и др. // Министерство геологии РСФСР северо-западное территориальное геологическое управление Ленинградская комплексная геологическая экспедиция. Л. 1968.
9. Недригайлова И. С. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000 / Недригайлова И. С. и др. // Серия Ильменская, лист О-36-II. Объяснительная записка. Объяснительная записка. Министерство геологии СССР Северо-западное территориальное геологическое управление. М. 1986
10. Саммет Э. Ю. Геологическое строение и гидрогеологические условия бассейна верхнего течения рек Луги, Плюсы, Шелони и нижнего течения реки Ловати / Отчет о комплексном геолого-гидрологическом доизучении территории листов О-35-XII, О-36-VII, О-35-XVIII, О-35-XXIV, О-36-XIX, О-36-XX в масштабе 1:200000 1973–76 гг. / Саммет Э. Ю. и др. // Министерство геологии РСФСР Северо-западное территориальное геологическое управление Ленинградская комплексная геологическая экспедиция. Л. 1977.
11. Селиванова В. А. Геологическое строение и гидрогеологические условия бассейна среднего течения реки Волхов / Отчет Чудовской партии о геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1:200000 1960–61 гг. лист О-36-VIII (район г. Чудова) / Селиванова В. А. и др. // Главное управление геологии и охраны недр при совете министров РСФСР северо-западное геологическое управление Ленинградская комплексная геологическая экспедиция. Л. 1963.
12. Селиванова В. А. Отчет о геолого-гидрогеологической съемке бассейна нижнего течения р. Волхов в масштабе 1:200000 1964–65 гг лист О-36-III / Селиванова В. А. и др. // Министерство геологии РСФСР Северо-западное территориальное геологическое управление Ленинградская комплексная геологическая экспедиция Л. 1966.
13. Шмаенок А. И. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000 / Шмаенок и др. // Серия Ильменская. лист О-36-XIII. Объяснительная записка. Министерство геологии СССР Северо-западное территориальное геологическое управление. Л. «Недра» 1968.
14. Gorlach, A., Hang, T. & Kalm, V.: GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus. *Boreas*. 10.1111/bor.12223. ISSN 0300-9483.
15. Svendsen J. I., Alexanderson H., Astakhov V. I., Demidov I., Dowdeswell J. A., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H. W., Ing_olfsson, _ O., Jakobsson M., Kjaer K. H., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J.-P., Lys_a, A., Mangerud J., Matiouchkov A., Murray A., McEoller P., Niessen F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert C., Siegert M., Spielhagen R. & Stein R. 2004: Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Science Review*. V. 23. P. 1229–1271.
16. Kalm V. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciation. *Quaternary Science Reviews*. 2006. V. 25. P. 960–975.
17. Яновский А. С. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000/ Яновский А. С. и др. // Серия Ильменская, листы Р-36-XXXII-XXXIII. Объяснительная записка. Министерство геологии СССР Северо-западное территориальное геологическое управление. М. 1978.

Донные отложения из котловин озёр Выдра-Ламбина и Половинная Ламбина в Колвицкой депрессии (юго-запад Кольского полуострова)

О. П. Корсакова^{1,2}, Д. С. Толстобров¹, А. Н. Толстоброва^{1,2}

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, o.korsakova@ksc.ru; d.tolstobrov@ksc.ru; a.tolstobrova@ksc.ru

² ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург

Аннотация. Литологическое строение донных отложений из котловин изученных озёр, диатомовые данные и данные радиоуглеродного датирования показали, что в Колвицкой депрессии, наследуемой долинами рек Колвица и Тикша, береговая линия моря 10610 ± 220 лет назад находилась на высоте примерно 75 м н. у. м. и 7270 ± 90 – на высоте примерно 43 м н. у. м. В разрезах донных отложений этим пространственным и временным рубежам соответствует смена минерогенных отложений с морскими и солоноватоводными диатомеями органогенными осадками с пресноводными диатомовыми.

Ключевые слова: литология, радиоуглеродное датирование, диатомовые водоросли, береговая линия моря.

Bottom sediments from Vydra-Lambina Lake and Polovinnaya Lambina Lake basins in the Kolvitskaya depression (south-western Kola Peninsula)

O. P. Korsakova^{1,2}, D. C. Tolstobrov¹, A. N. Tolstobrova^{1,2}

¹ Geological Institute KSC RAS, Apatity, o.korsakova@ksc.ru; d.tolstobrov@ksc.ru; a.tolstobrova@ksc.ru

² FSBI VNIIOkeanogeologia, St. Petersburg

Abstract. The lithological composition of bottom sediments from the basins of the studied lakes, as well as diatom and radiocarbon dating data showed that in the Kolvitskaya depression, inherited by the Kolvitsa and Tiksha river valleys, the sea shoreline 10610 ± 220 years ago located at an altitude of about 75 m a. s. l. and 7270 ± 90 years ago – at an altitude of about 43 m a. s. l. In the bottom sediment successions, these spatial and temporal boundaries correspond to the change of minerogenic sediments with marine and brackish-water diatoms by organogenic sediments with freshwater diatoms.

Keywords: lithology, radiocarbon dating, diatoms, sea shoreline.

Введение

Донные отложения озёр являются традиционным объектом изучения для реконструкции положения и миграции береговой линии моря в позднеледниково́е и в голоцене, для восстановления истории развития озёрных котловин и прилегающей к ним поверхности. На протяжении многих лет подобные исследования ведутся на побережье Кандакшского залива и Бассейна Белого моря, в результате чего накоплен обширный фактический материал, проведены соответствующие реконструкции, связанные с дегляциацией, гляциоизостазией, перемещением относительного уровня Белого моря (Колька и др., 2012, 2013; Корсакова и др., 2016; Артющков и др., 2020; Ludikova et al., 2022; и др.). Материал постоянно пополняется новыми данными, что позволяет скорректировать уже имеющиеся результаты и внести разные по важности нюансы в получаемые реконструкции и интерпретации.

Донные отложения из котловин малых озёр Выдра-Ламбина и Половинная Ламбина изучаются для уточнения положения береговой линии Кандакшского залива Белого моря в связи с эволюцией его побережья на заключительных стадиях дегляциации и в голоцене.

Район исследования

Колвицкая депрессия расположена на юго-западе Кольского полуострова. Ее наследуют долины рек Колвица и Тикша, т. к. Колвицкая депрессия между выступами коренного фундамента

в виде массивов Лувеньгских и Елка тундр на севере и Колвицких тундр на юге соответствует впадине на поверхности дочетвертичных пород. Она широтно простирается на 25 км от Колвицкой губы Кандалакшского залива с глубиной до 70 м до оз. Колвицкое с урезом воды 58 м над уровнем моря (н. у. м.). Находится между поясами краевых образований, по последним данным сопоставленных с невской рецессивной стадией и стадией Сальпаусселька I (Вашков, Носова, 2022), дистальнее краевых формирований, соответствующих позднему дриасу (12.7–11.2 тыс. л. н. (кал.)).

Котловина оз. Выдра-Ламбина с урезом воды 75.6 м н. у. м. находится на северном склоне Колвицкой депрессии и вытянута с юго-востока на северо-запад на 315 м при ширине 73–82 м. Озеро слабопроточное, является истоком реки Выдра – правого притока р. Колвица. Глубина воды в озере составляет 2.1–2.5 м.

Котловина оз. Половинная Ламбина с урезом воды 43–44 м н. у. м. расположено в осевой части Колвицкой депрессии у дороги Кандалакша-Умба. Озеро вытянуто с запад-юго-запада на восток-северо-восток на 165 м. Наибольшая ширина его 83–84 м в запад-юго-западной части, на остальной части уменьшается до 52 м. Глубина воды – 3.6 м. Озеро имеет скрытый сток в р. Колвица, которая находится от него к югу на расстоянии около 220 м.

Методы исследования

Донные отложения из озерных котловин изучались в полевых условиях в 2022 г. Бурение проводилось с платформы на катамаране русским торфяным пробоотборником. Длина каждого керна составляла один метр, диаметр 75 мм; керны отбирались с перекрытием в несколько сантиметров. В поле проводились их описание по визуально определяемым признакам (мощность, состав, текстуры, включения, цвет), опробование на радиоуглеродное (^{14}C) датирование и диатомовый анализ. Высотное положение уреза воды определялось по крупномасштабным топокартам. Координаты бурения в оз. Выдра-Ламбина – 67.10448° с. ш., 33.03116° в. д., в озере Половинная Ламбина – 67.08186° с. ш., 33.08106° в. д.

Диатомовый анализ выполнялся экспресс-методом, без приготовления постоянных препаратов. Видовая принадлежность створок диатомовых водорослей определялась в соответствии с онлайн-базой Algaebase (Guiry, Guiry, 2024).

^{14}C датирование проводилось традиционным методом в Санкт-Петербургском государственном университете по принятым там методикам.

Литологическое строение разрезов и возраст донных отложений

Донные осадки в оз. Выдра-Ламбина представлены последовательностью слоев (описание снизу вверх):

1) на глубине 500–445 см вскрыт алевроит серый с тонко-зернистым (т/з) песком и с единичными зернами крупнозернистого (к/з) песка и гравия, неяснослоистый, слоистость обусловлена переслаиванием слойков, которые отличаются разным количеством песка. На глубине 488–492 см отмечается отчетливый прослой песка преимущественно средне-крупнозернистого (с/з-к/з). В интервале 492–500 см – прослой мелко-зернистого (м/з) песка. Вверх по разрезу отмечено уменьшение содержания зерен песчаной размерности и появление глины. Переход в вышележащий интервал постепенный, неровный, с затеками;

2) на глубине 445–438 см представлена гиттия с алевроитом светло-коричневато-оливкового цвета, с небольшим количеством песка, однородная, неслоистая. Переход в вышележащий слой волнистый, четкий. С глубины 445–438 см отобрана ^{14}C проба, возраст отложений составил 10610 ± 220 калиброванных лет назад (л. н.(кал.)) (табл. 1);

3) на глубине 438–250 см вскрыта гиттия темно-коричневая, однородная, в нижней части на глубине 438–428 см отмечено незначительное количество минеральных частиц. Верхние 20 см сильно разжижены. С глубины 438–432 см отобрана ^{14}C проба, возраст отложений составил 10090 ± 190 л. н. (кал.) (табл. 1).

Таблица 1. Данные ^{14}C датирования донных отложений изученных озёр
Table 1. ^{14}C dating data of bottom sediments from the studied lake basins

Датированные отложения	^{14}C возраст, лет	Калиброванный возраст (календарный), кал. лет*
Выдра Ламбина, глубина 445–438, гиттия с алевритом	9350 ± 140	10610 ± 220
Выдра Ламбина, глубина 438–432, гиттия,	9000 ± 120	10090 ± 190
Половинная Ламбина, глубина 407–401, гиттия с алевритом	6350 ± 70	7270 ± 90
Половинная Ламбина, глубина 401–396, гиттия с алевритом	6010 ± 80	6860 ± 110

Примечание: * – значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «OxCal 4.4.4» (калибровочная кривая «IntCal 20» (Bronk Ramsey, 2020)).

Донные осадки в оз. Половинная Ламбина представлены также тремя слоями (снизу вверх:

1) на глубине 440–407 см вскрыт песок т/з-м/з серого цвета с алевритом, единичными зернами к/з песка и лейстами слюды; содержание алеврита увеличивается вверх по разрезу. Отмечается тонкая слоистость. На границе с вышележащим слоем присутствуют растительные макроостанки;

2) на глубине 407–396 см вскрыто тонкое переслаивание алеврита и гиттии в интервале 407–406 см, выше залегает прослой серого песка мощностью 2–3 мм. Над песком в интервале 408–396 см вскрыта гиттия с алевритом, имеющая пятнистую текстуру. С глубины 407–401 и 401–396 см отобраны ^{14}C пробы, возраст отложений соответственно составил 7270 ± 90 и 6860 ± 110 л. н. (кал.) (табл. 1);

3) на глубине 396–310 см в керне вскрыта гиттия коричневого-темно-коричневого цвета, слоистая, с единичными растительными останками, редкими лейстами слюды. В верхней части разреза в интервале 348–300 см гиттия становится монотонной, разжиженной.

Диатомовые водоросли

В образцах из донных отложений оз. Выдра-Ламбина на глубине 460–459 см (верхняя В образцах из донных отложений оз. Выдра-Ламбина на глубине 460–459 см (верхняя часть слоя 1) выявлены обломки *Nitzschia* sp., обломки галофила *Tabularia fasciculata*, створки мезогалофа *Cocconeis scutellum*. На глубине 447–446 см (у кровли слоя 1) также выявлены обломки *Nitzschia* sp., выявлены мезогалофы *Mastogloia* sp., *Nitzschia* sp., *Navicula hanseatica*, *Navicula* sp., целые створки и обломки галофильных видов *Tabularia fasciculata*, *Ctenophora pulchella*, *Epithemia sorex*, встречен индифферент *Cocconeis placentula*. На глубине 441–440 (базальная часть слоя 2) встречены створки индифферентных видов *Cocconeis placentula*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Epithemia adnata*, олигогалофы *Pinnularia* sp. 1, *Pinnularia* sp. 2, *Stauroneis* sp., галофобов *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia* sp. 1 и *Eunotia* sp. 2, а также обломки створок галофильных видов *Tabularia fasciculata*, *Navicula* sp.

В донных отложениях оз. Половинная Ламбина в образце на глубине 420–419 см (средняя часть слоя 1) выявлены мезогалофы *Mastogloia* sp., *Rhopalodia gibberula*, *Navicula hanseatica*, мезогалоф/галофил *Nitzschia* sp., галофилы *Tabularia fasciculata*, *Ctenophora pulchella*, индифферент *Epithemia parallela*. На глубине 404–403 см (приподошвенная часть слоя 2) присутствуют пресноводные *Pinnularia* sp. 1, *Aulacoseira* sp., галофобы *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia* sp. 1 и *Eunotia* sp. 2, *Frustulia saxonica*, галофил *Navicula rhynchotella*, индифференты *Tetracyclus glans*, *Meridion circulare*. В образце на глубине 391–390 см (нижняя часть слоя 2) – многочисленные пресноводные *Aulacoseira* sp., *Eunotia* sp. 1, *Cymbella aspera*, *Eunotia* sp. 2, *Pinnularia* sp. 1, *Pinnularia* sp. 2, галофоб *Tabellaria flocculosa*, индифферент *Tetracyclus glans*.

Обсуждение и выводы

В разрезах донных отложений положению береговой линии моря (относительного уровня моря) соответствует смена минерогенных отложений с морскими и солоноватоводными диатомеями органическими осадками с пресноводными диатомовыми.

Литологическое строение и диатомовый анализ показывает, что отчленение котловины оз. Выдра-Ламбина от моря произошло около 10610 л. н. (кал.) (табл. 1): в разрезе донных отложений осадки, отражающие это событие, вскрываются на глубине 450–445 см (слой 1), где встречены морские диатомовые, а выше по разрезу они исчезают. К этому времени прилегающая территория уже давно была свободной от ледника, а береговая линия моря находилась на высоте 75 м н. у. м.

Литологические и диатомовые данные из разреза донных отложений оз. Половинная Ламбина свидетельствуют, что береговая линия моря соответствует положению слоя 1, верхняя часть которого датирована примерно 7270 л. н. (кал.) (табл. 1). В разрезе донных отложений в слое 1 присутствуют морские диатомовые, в слое 2 и выше выявлены только многочисленные пресноводные. Это означает, что береговая линия моря в это время находилась на высоте 43 м н. у. м. Ее регрессия примерно за 3350 лет (с 10610 до 7260 л. н. (кал.)) составила около 32 м, а скорость, соответственно, около 9.5 см за 100 лет.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-00081, частично в соответствии с госзаданием по теме НИР FMEZ-2024-0007 ГИ КНЦ РАН.

Литература

1. Артюшков В. Е., Колька В. В., Чехович П. А. Существование слоя пониженной вязкости в земной коре древних кратонов как причина сильно дифференцированного характера послеледниковых поднятий // Доклады Российской академии наук. 2020. Т. 492. № 1. С. 76–81. <http://doi.org/10.31857/S2686739720050035>.
2. Васьков А. А., Носова О. Ю. Новая схема корреляции краевых образований последнего ледникового покрова в Кольском регионе // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 20–26. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.00>.
3. Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Д. Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озёр на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Известия РАН. Серия: Географическая. 2013. № 1. С. 73–88. <http://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88>.
4. Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Арсланов Х. А. Перемещение береговой линии Белого моря и гляциоизостатическое поднятие суши в голоцене (район поселка Кузема, северная Карелия) // ДАН. 2012. Т. 442. № 2. С. 263–267. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17313775>.
5. Корсакова О. П., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Шелехова Т. С. Литология и позднепоследниковая стратиграфия донных отложений из котловин изолированных бассейнов побережья Белого моря (на примере малого озера из района поселка Чупа, северная Карелия) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. Т. 24. № 3. С. 81–101. <http://doi.org/10.7868/S0869592X16030042>.
6. Bronk Ramsey C. Oxcal v4.4.4. Available at: <http://c14.arch.ox.ac.uk> (дата обращения 20.11.2023).
7. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 10.05.2024).
8. Ludikova A. V., Sapelko T. V., Kuznetsov D. D. On the marine limit on the Kandalaksha Coast, the White Sea: new data from Lake Kanozero, a huge isolation basin in the middle course of the River Umba // Limnology and Freshwater Biology. 2022. № 4. P. 1473–1475. <http://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1473>.

Влияние стоков апатит-нефелинового предприятия на диатомовую флору горного озера

А. Л. Косова, Д. Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, annkosova1976@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты диатомового анализа колонки донных отложений озера Комариного. Выявлены значительные изменения в видовом составе и структуре диатомовых комплексов, проявляющиеся в смене доминирующих видов, а также в изменениях общей численности, видового разнообразия.

Ключевые слова: диатомеи, донные отложения, горное озеро, апатит-нефелиновые месторождения, Хибины.

The influence of apatite-nepheline production effluent on the diatom flora of a mountain lake

A. L. Kosova, D. B. Denisov

Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, annkosova1976@yandex.ru

Abstract. The results of diatom analysis of the bottom sediment column of Lake Komarinoe are presented. Significant changes in the species composition and structure of diatom complexes were revealed, manifested in a change in dominant species, as well as in changes in the total abundance and species diversity.

Keywords: diatoms; sediments, mountain lake, apatite-nepheline deposits, Khibiny.

Введение

Мурманская область относится к наиболее промышленно развитым регионам Крайнего Севера России. Большинство предприятий Мурманской области начали свою деятельность в 1930-е годы XX в. Последствия их влияния на пресноводные водоемы представлены в работах (Моисеенко и др., 1997; Денисов, 2007; Кашулин и др., 2009; Даувальтер, Кашулин, 2015; Слукowski и др., 2020 и др.).

В 2006 г. Акционерное общество «Северо-Западная Фосфорная Компания» (АО «СЗФК») получило лицензию на право пользования недрами месторождения апатит-нефелиновых руд «Олений Ручей», расположенного в восточной части Хибинского горного массива. В зону воздействия нового горно-обогатительного комбината входят западная часть оз. Умбозеро, руч. Олений с притоками, оз. Комариное.

Целью данной работы является оценка изменения состава и структуры диатомовых комплексов в донных отложениях (ДО) оз. Комариного.

Материалы и методы

Материалом для анализа послужили ДО из озера Комариного, расположенного на юго-востоке Хибинского щелочного массива, в 8.9 км на северо-восток от пос. Коашва (Кашулин и др., 2012). Это небольшое (площадь 0.66 км²), по форме близкое к овальной, озеро ледникового происхождения, наибольшая длина которого – 1.53 км, наибольшая ширина – 0.65 км, максимальная глубина – 15 м, высота над уровнем моря 174 м.

Колонка ДО мощностью 24 см была отобрана в октябре 2021 г. с помощью пробоотборника открытого гравитационного типа (внутренний диаметр трубки 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой и ненарушенной транспортирована в лабораторию. В лабораторных условиях колонка была поделена на слои по 1 см. Диатомовый анализ ДО проведен по стандартной общепринятой методике (Диатомовый..., 1946; Давыдова, 1985), по схеме, используемой в ИППЭС КНЦ РАН (Методы..., 2019).

Результаты

В ДО оз. Комариного выявлено 154 вида из 46 родов. Наибольшее таксономическое разнообразие отмечается в родах *Eunotia* (19 видов), *Pinnularia* (16), *Gomphonema*, *Brachysira*, *Cymbella* и *Navicula* по 8 видов. Массовые виды и рода приведены на рисунке 1.

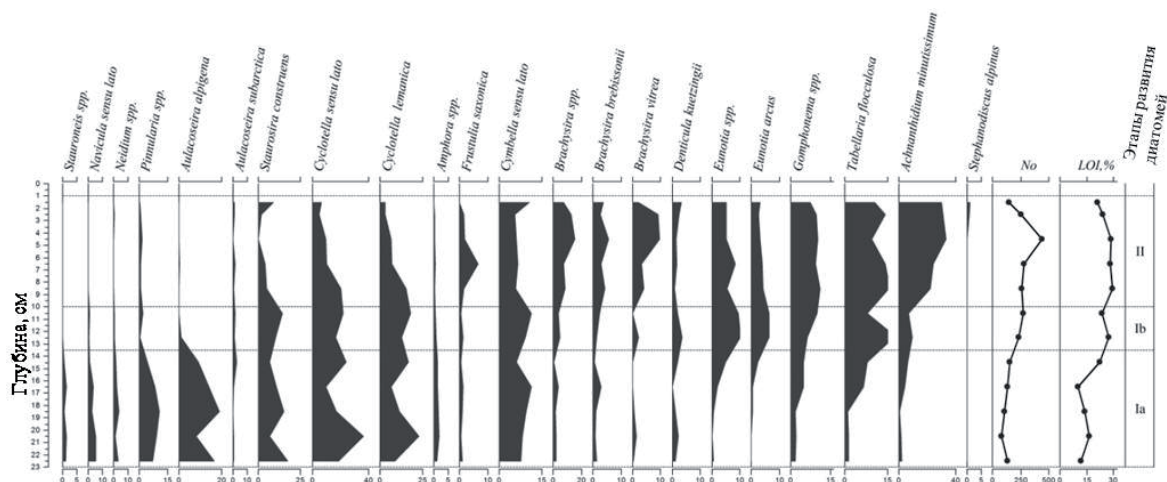


Рис. 1. Диатомовая диаграмма массовых и индикаторных видов (%) осадков оз. Комариного.

Fig. 1. Diatom diagram of mass and indicator species (%) of Lake Komarinoe sediments.

На основе изменения структуры, видового состава и относительной численности ДК выделено два этапа развития диатомовой флоры (рис. 1). первый этап, в свою очередь, подразделяется на два подэтапа.

Ia этап (23–14 см) характеризуется развитием в равных долях (30–40 %) планктонных и бентосных видов. Доминирующая роль принадлежит планктонным видам *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kramm., *Cyclotella bodanica* var. *lemanica* (O. Müll. ex Schröter) Bachm., характерные для небольших водоемов. В данном интервале ДО значителен вклад видов-обрастателей – *Staurosira construens* Ehrenberg, *Cymbella* spp., донных видов из рода *Pinnularia*. Единично отмечены реофильные виды *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh, *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R. M. Patrick. С глубины 17–16 см возрастает доля *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Gomphonema* spp.

По отношению к pH в нижней части колонки преобладают виды-индифференты и алкалифилы, что характерно для водоемов щелочного Хибинского горного массива. Выше по колонке наблюдается одновременное увеличение доли ацидофильных и снижение индифферентных видов.

На данном этапе формирования ДО оз. Комариного доля видов-индифферентов по отношению к солености достигает 79 %. Присутствуют незначительно галофилы (2–5 %).

Ib этап (13–10 см) – отмечаются существенные изменения состава и структуры ДК. Исчезает вид *Aulacoseira alpigena*, характерный для северных олиготрофных водоемов. Единично присутствуют *Navicula sensu lato*, *Neidium* spp., *Pinnularia* spp., при этом увеличивается доля бентосных ацидофильных видов за счет *Brachysira* spp. и *Eunotia* spp. Возрастает концентрация диатомовых створок до 235 млн ств./г, потери при прокаливании до 27 %, реконструированные значения pH соответствуют нейтральным условиям. Несмотря на преобладание индифферентных видов к по отношению к солености (до 78 %), в составе ДК увеличивается доля видов – галофобов, характерных для олиготрофных северных водоемов, а виды, предпочитающие повышенную минерализацию, встречаются единично.

II этап (9–1 см) – доминирующее положение занимает бентосный алкалифильный вид *Achnanthes minutissima* Kütz. (21–33 %) и планктонно-литоральный ацидофильный вид *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz. (10–15 %). На глубине 5–2 см возрастает доля *Brachysira* spp. (до 15 %). Значения концентрации диатомовых створок и ППП возрастают до слоя 5–4 см, затем наблюдается снижение этих показателей. В верхних слоях единично отмечен *Stephanodiscus alpinus* Grun., кото-

рый является надежным индикатором антропогенных преобразований, связанных с поступлением биогенных элементов и других загрязнителей. Индекс сапробности, рассчитанный по индикаторным видам, соответствует классу β -мезосапробных, т. е. умеренно загрязненных вод.

Таким образом, диатомовый анализ отражает олиготрофные условия в водоеме в течение накопления нижних слоев отложений. Существенные изменения отмечены с глубины 15–14 см: происходит смена доминирующих групп диатомей, исчезает олигосапробный вид *Aulacoseira alpigena*, что подтверждается самым высоким показателем сапробности (1.8) во всей колонке. Рост показателей содержания органического вещества и общей численности створок диатомей указывают на увеличение продуктивности в водоеме. Предположительно этот период соответствует 2010 г.

Результаты десятилетнего (2011–2020 гг.) гидрохимического мониторинга оз. Комариного (Даувальтер и др., 2021) показывают значительные изменения химического состава воды: вода озера из нейтральной превратилась в щелочную, растет содержание основных ионов и изменилось их соотношение (главным образом анионов), увеличилась минерализация воды, значительно выросло содержание соединений биогенных элементов, в первую очередь азота, и некоторых микроэлементов (Sr, Cu, Mo, F).

Как видно, из результатов многолетнего гидрохимического мониторинга, происходит защелачивание вод озера. При этом наблюдается развитие видов диатомовых из родов *Brachysira* и *Eunotia*, предпочитающих низкоминерализованные, слабокислые условия. Вероятно, это объясняется доступностью биогенных элементов, которые начали поступать в результате деятельности апатит-нефелинового производства.

Дальнейший анализ будет направлен на изучение распределения микроэлементов в ДО оз. Комариного и выявление закономерностей в реакции диатомовой флоры на происходящие изменения условий обитания.

Благодарности

Работа выполнена в рамках тем НИР № FMEZ-2022-0008, № FMEZ- FMEZ-2024-0014.

Литература

1. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., 1985. 244 с.
2. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Влияние деятельности горно-металлургических предприятий на химический состав озера Имандра, Мурманская область // Биосфера. 2015. Т. 7. № 3. С. 295–314.
3. Даувальтер М. В., Даувальтер В. А., Денисов Д. Б., Слукровский З. И. Загрязнение горного озера апатит-нефелинового производства // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 150–154. <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.027>.
4. Денисов Д. Б. Изменение гидрохимического состава и диатомовой флоры донных отложений в зоне воздействия горнорудного производства (Кольский п-ов) // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 6. С. 719–730.
5. Диатомовый анализ / Ред. А. И. Прошкина-Лавренко. Л. 1946. Т. 1. 240 с.
6. Кашулин Н. А., Денисов Д. Б., Сандимиров С. С. и др. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). Апатиты: КНЦ РАН, 2009. Т. 2. 282 с.
7. Кашулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А., Кудрявцева Л. П., Терентьев П. М., Денисов Д. Б., Вандыш О. И., Валькова С. А. Аннотированные экологический каталог озер Мурманской области (Восточная часть. Бассейн Белого моря). В 2 ч. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН. 2012. Ч. 1. 221 с.
8. Сандимиров С. С., Кудрявцева Л. П., Даувальтер В. А., Денисов Д. Б., Косова А. Л., Черепанов А. А., Вандыш О. И., Валькова С. А., Терентьев П. М., Королева И. М., Зубова Е. М., Кашулин Н. А. Методы экологических исследований водоемов Арктики: монография. Мурманск. Изд-во: МГТУ, 2019. 180 с.
9. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Каган Л. Я. Горные озера как индикатор загрязнения воздуха // Водные ресурсы, 1997. Т. 24. № 24. С. 600–608.

Как желтое вещество влияет на пигментный состав микробного сообщества в эвксинных лагунах и озерах?

Е. Д. Краснова¹, Е. А. Лабунская¹, В. И. Лобышев¹, Д. А. Воронов²

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, e_d_krasnova@mail.ru; styxelenalab@gmail.com; lobyshev@yandex.ru

² Институт проблем передачи информации РАН, Москва, da_voronov@mail.ru

Аннотация. В водоемах, отделяющихся от Белого моря из-за постгляциального поднятия берега, при усилении изоляции спектр света, доходящего до границы фотической зоны, постепенно смещается в сторону длинных волн: от преимущественно зеленого на морской акватории и в глубоких ковшовых губах, к зелено-оранжево-красному в лагунах, желто-оранжево-красному в меромиктических водоемах с пресным миксолимнионом и оранжево-красному в пресных озерах. Это связано с концентрацией повышением в рассматриваемом ряду концентрации гуминовых веществ (CDOM, «желтого вещества»), которые поглощают коротковолновый свет и уменьшают фотическую зону. Спектральный состав света согласуется с цветом фотосинтезирующих микроорганизмов, доминирующих в зоне хемоклина. При зеленом преимуществе получают микроорганизмы с красными пигментами в составе фотосинтетических антенн, а при оранжево-красном клетки с зеленой окраской. Связь между концентрацией гуминовых веществ в верхних горизонтах и пигментным составом микроорганизмов открывает возможность по остаткам пигментов в колонках анаэробных осадков оценивать стадию изоляции и соленость миксолимниона, а также приток темных гуминовых вод, связанный с заболачиванием водосбора.

Ключевые слова: хемоклин, бактериальная пластина, спектр света, CDOM, гуминовые вещества, фотосинтетические пигменты, меромиксия.

How does yellow matter affect the pigment composition of the microbial community in euxinic lagoons and lakes?

E. D. Krasnova¹, E. A. Labunskaya¹, V. I. Lobyshev¹, D. A. Voronov²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, e_d_krasnova@mail.ru; styxelenalab@gmail.com; lobyshev@yandex.ru

² Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow, da_voronov@mail.ru

Abstract. In coastal basins separated from the White Sea due to post-glacial uplift, the spectrum of light at the boundary of the photic zone gradually shifts towards long waves: from predominantly green (in marine area and in bucket bays) to green-orange-red in lagoons, then to yellow-orange-red in meromictic lakes with fresh mixolimnion and orange-red in fresh lakes. This is due to increase of concentration of humic substances (CDOM, «yellow substance»). They attenuate short-wavelength light and reduce the photic zone. The light spectra are consistent with the color of photosynthetic microorganisms that dominate in the chemocline zone. Under green light, microorganisms with red pigments in the photosynthetic antennae receive an advantage, and under orange-red light, cells with a green color are advantageous. The relationship between the concentration of humic substances in surface waters and the pigment composition of microorganisms opens up the opportunity of assessing the stage of isolation and salinity of the mixolimnion, as well as influx of humic waters from the catchment area based on the remains of pigments in columns of anaerobic sediments.

Keywords: chemocline, bacterial plate, light spectrum, CDOM, humic substances, photosynthetic pigments, meromixis.

Введение

В прибрежных меромиктических водоемах, которые образовались путем отчленения от Белого моря в результате послеледникового поднятия берега, нередко существуют прослойки ярко окрашенной воды с массовым развитием фотосинтезирующих микроорганизмов (Krasnova et al., 2018). Их цвет определяется составом пигментов микроорганизмов. В водоемах на ранних стадиях изоляции – в стратифицированных ковшовых губах и соленых лагунах прослойки обычно име-

ют красный цвет, в водоемах с пресной водой в поверхностном слое прослойки зеленые. При этом похожие цвета могут создавать разные микроорганизмы. В частности, красные оттенки имеют слои из коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, пурпурных серных бактерий и из криптофитовых водорослей, в том числе из рода *Rhodomonas*, а зеленый цвет – слои из зеленоокрашенной формы зеленых серных бактерий, одноклеточные зеленые водоросли или криптофитовые с клетками зеленого цвета. Выдвинута гипотеза, что цвет прослойки зависит от спектрального диапазона света, который доходит до окрашенного слоя. Фактором, определяющим оптические свойства воды, может служить окрашенная фракция растворенного органического вещества (CDOM, гуминовые вещества, «желтое вещество»), которая градуально меняется в изоляционном ряду. Данная работа посвящена проверке этой гипотезы. Пигменты фототрофных бактерий и водорослей хорошо сохраняются в анаэробных донных осадках меромиктических водоемов и используются в качестве палеоиндикатора (Рогозин и др., 2011; 2020; Зыков и др., 2012). По составу захороненных пигментов можно судить о стратификации в водоеме в прошлом и об истории изменений его солености. Закономерная смена пигментного состава фототрофов в хемоклине отделяющихся от моря водоемов позволяет использовать его как показатель стадии изоляции и реконструировать обстановку в водосборном бассейне по содержанию бактериальных и водорослевых пигментов в слоях осадка.

Материал и методы

В восьми водоемах в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ, а также на участке морской акватории, в августе 2022 г. и в июне 2023 г. выполнены измерения спектров проходящего света под водой на разной глубине с помощью погружного спектрометра «Ocean Optics USB 4000» (Ocean Insight, США), соединенного с компьютером и с погружаемым волоконно-оптическим зондом типа 7×UV200/220/290A1 длиной 10 м.

Гидрологические измерения включали определение температуры, солености воды и окислительно-восстановительного потенциала мультипараметровым кондуктометром-зондом YSI Pro (США); освещенность изменяли люксметром AR813A Lux Meter (Smart Sensor, China), модифицированным для погружения под воду.

В пробах воды, отобранных на разной глубине погружным насосом Mini Purger WP 4012 с силиконовой трубкой, определяли оптическую плотность для света с длиной волны 380 нм (D380), принятой для фотометрического определения цветности воды, на спектрофотометре Solar PB2201.

В пробах воды из хемоклина (переходной зоны между аэробной и анаэробной водными массами) под люминесцентным микроскопом Leica определяли доминирующие формы микроорганизмов.

Результаты

По степени изоляции от моря исследованные водные объекты выстраиваются в следующий ряд: 1) участок морской акватории в проливе Великая Салма; 2) ковшовая бухта Биофильтов, свободно обменивающаяся водой с открытым морем; 3) морская лагуна на Зеленом мысе, заполненная морской водой; 4) соленая лагуна «Озеро Кисло-Сладкое» с динамичным режимом солености; 5) искусственно отделенное от моря озеро Большие Хрусломены с солоноватым миксолимнионом (о. Олений, губа Ковда); 7) меромиктическое озеро Еловое с пресным миксолимнионом и соленой эвксинной зоной в нижней части озерной чаши; 8) меромиктическое озеро Трехцветное; 9) пресноводное озеро Ругозеро.

В этом ряду выявлены следующие тренды:

1) ослабевают приливные явления; 2) уменьшается соленость воды в поверхностном слое; 3) возникает устойчивая вертикальная стратификация; 4) возрастает цветность воды в поверхностном слое и увеличивается оптическая плотность в коротковолновом диапазоне, свидетельствующая об увеличении концентрации CDOM; 5) в придонной зоне образуется анаэробная зона с сероводородом (эвксинная аноксия), концентрация которого возрастает; 6) в хемоклине на границе распространения сероводорода появляется слой окрашенной воды с высокоплотной популяцией фототрофных микроорганизмов; 7) глубина, на которой расположен хемоклин, уменьшается; 8) цвет окрашенной прослойки меняется от розовой в бухте Биофильтов, к свекольно-красной в лагуне

на Зеленом мысе и оз. Кисло-Сладкое, далее к коричнево-бурой в оз. Еловое и изумрудно-зеленой в оз. Трёхцветное.

Измерения спектра проходящего света показали, что в море до глубины 10 м доходит преимущественно зеленый и желтый свет в диапазоне длин волн 500–600 нм (рис. 1). В бухте Биофильтров, которая представляет начальную стадию изоляции, до глубины 8–9 м, где располагается хемоклин со слабо-розовой окраской от пурпурных серных бактерий, доходит, в основном, зелено-желтая часть спектра (520–600 нм). В лагуне на Зеленом мысе хемоклин приходится на глубину 4.5–5.5 м, в оз. Кисло-Сладкое – на 3–3.5 м. В этих двух соленых лагунах микроорганизмы, обитающие в хемоклине, получают свет от зеленого до красного, преимущественно 520–610 нм. В них обычно развивается прослойка с цветением криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas*, а ниже редокс-перехода – коричневоокрашенная форма зеленых серных бактерий *Chlorobium phaeovibrioides* (Grouzdev et al., 2022). В оз. Еловое граница анаэробной зоны располагается на постоянной глубине 3 м и спектральный диапазон доходящего до нее света желто-оранжево-красный (550–700 нм). Это зона со смесью коричнево- и зелено-окрашенной форм зеленых серных бактерий. В оз. Трёхцветное эта граница находится на глубине 2 м и освещается в диапазоне 580–710 нм, и здесь всегда располагается слой с монокультурой зеленоокрашенных серных бактерий (Savvichev et al., 2022). В пресноводном оз. Ругозеро глубиной 10 м анаэробной зоны нет, тем не менее, вода в нем настолько темная, что фотическая зона, куда проникает более 0.1 % солнечной энергии, ограничена глубиной 3.5 м; до этой глубины доходит красный свет в диапазоне длин волн 615–710 нм, а еще дальше проходит лишь крайне слабый красный 620–700 нм.

Таким образом, определен еще один тренд: в изоляционном ряду водоемов спектр света, который доходит до границы фотической зоны, постепенно смещается в сторону более длинных волн

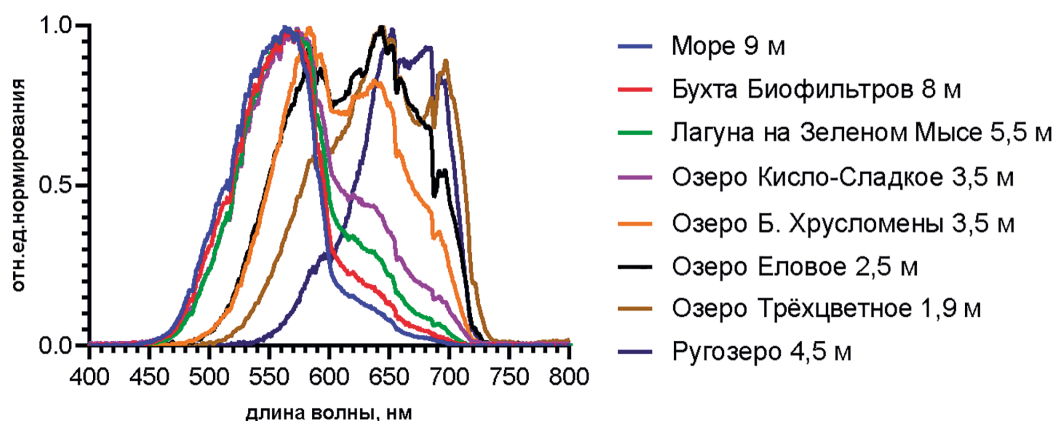


Рис. 1. Спектр солнечного света, проходящего сквозь воду до границы фотической зоны в стратифицированных водоемах, в разной степени изолированных от Белого моря, и в море на глубине 9 м.

Fig. 1. Spectrum of sunlight than passes through water to the boundary of the photic zone in stratified basins, isolated to varying degrees from the White Sea, and in the sea at a depth of 9 m.

от преимущественно зеленого (на прибрежной морской акватории и в глубоких ковшовых губах), к широкому зелено-оранжево-красному диапазону в лагунах, далее превращается в желто-оранжево-красную полосу в меромиктических водоемах с пресным миксолимнионом (верхней водной массой, которой ограничена сезонная циркуляция) и, в конечном итоге, сокращается до оранжево-красной полосы в пресных озерах с темной торфяной водой.

Измерения оптической плотности в коротковолновом диапазоне в пробах воды из поверхностного слоя показали наличие достоверной обратной корреляции между этой величиной и соленостью воды. Это указывает на наличие связи между стадией изоляции водоема, степенью опреснения поверхностного слоя воды и концентрацией CDOM.

Обсуждение

Спектр света на глубине прибрежных водоемов определяется двумя главными факторами: поглощением коротковолновой части спектра растворенными органическими веществами и поглощением длинноволновой части спектра водой. В водоемах с высокой концентрацией гуминовых веществ, большая часть которых поступает с водосбора вместе с пресным стоком, ультрафиолетовая и синяя части спектра исчезают уже в первом метре водной толщи. Темная вода плохо пропускает свет, фотическая зона там небольшая, и до ее границы еще доходит красный свет. В водоемах с морской водой влияние пресного стока слабое и гуминовых веществ значительно меньше. Свет в них проходит глубже, но толща воды поглощает красную часть спектра, из-за чего цветовая обстановка зеленая.

Доминирующая форма фототрофов хорошо согласуется со спектральным составом света. При доминировании зеленого света преимущество получают микроорганизмы с красными пигментами в составе фотосинтетических антенн (у бактерий – каротиноидами изорениератином, океноном, а у водорослей – фикоэритрином), а там, где преобладает оранжево-красный свет, условия подходят для клеток с зеленой окраской (с хлорофиллами, бактериохлорофиллами, каротиноидом хлоробактериумом и фикобилинами синего ряда – фикоцианином и аллофикоцианином).

Существование связи между концентрацией гуминовых веществ в поверхностных водах и пигментным составом микроорганизмов, образующих в хемоклине прослойки с высокой плотностью, открывает возможность для интерпретации пигментов, детектируемых в анаэробных осадках стратифицированных водоемов изоляционных бассейнов. По составу этих пигментов можно оценить стадию изоляции и соленость миксолимниона, а смена прослоек грунта с красными пигментами на прослойки с зелеными может говорить о притоке темных гуминовых вод, о заболачивании водосбора, а появление пигментов красного ряда – на восстановление связи с морем.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 24-24-00008.

Литература

1. Зыков В. В., Рогозин Д. Ю., Калугин И. А., Дарьин А. В., Дегерменджи А. Г. Каротиноиды в донных отложениях озера Шира как палеоиндикатор для реконструкции состояний озера (Россия, Хакассия) // Сибирский экологический журнал. 2012. Т. 4. С. 585–595.
2. Рогозин Д. Ю., Зыков В. В., Калугин И. А., Дарьин А. В., Дегерменджи А. Г. Каротиноиды фототрофных организмов в донных отложениях меромиктического озера Шира (Россия, Сибирь) как индикатор стратификации озера в прошлом // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2011. Т. 439. № 2. С. 282–285.
3. Рогозин Д. Ю., Зыков В. В., Бульхин А. О., Дегерменджи А. Г. Окенон в донных отложениях как палеоиндикатор изменений уровня соленого стратифицированного озера // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 1. С. 98–102. – DOI 10.31857/S2686739720070166.
4. Grouzdev D., Gaisin V., Lunina O., Krutkina M., Krasnova E., Voronov D., Baslerov R., Sigalevich P., Savvichev A., Gorlenko V. Microbial communities of stratified aquatic ecosystems of Kandalaksha bay (White Sea) shed light on the evolutionary history of green and brown morphotypes of Chlorobiota // FEMS Microbiology Ecology. 2022. V. 98:fiac103. DOI: 10.1093/femsec/fiac103.
5. Krasnova E., Matorin D., Belevich T., Efimova L., Kharcheva A., Kokryatskaya N., Losyuk G., Todorenko D., Voronov D., Patsaeva S. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 2018. V. 6. P. 1–16. DOI: 10.1007/s00343-018-7323-2.
6. Savvichev A. S., Babenko V. V., Lunina O. N., Letarova M. A., Boldyreva D. I., Veslopolova E. F., Demidenko N. A., Kokryatskaya N. M., Krasnova E. D., Gaisin V. A., Kostryukova E. S., Gorlenko V. M., Letarov A. V. Sharp water column stratification with an extremely dense microbial population in a small meromictic lake, Trekhtzvetnoe // Environmental Microbiology. 2018. V. 20. No 10. P. 3784–3797. DOI: 10.1111/1462-2920.14384.

Проблемы оценки максимальных уровней пра-Балтийского моря на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена

Ю. А. Кублицкий, Д. А. Субетто, А. Е. Шаталова, М. Ю. Демидионов

РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, uriy_87@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена истории развития стадий пра-Балтийского моря на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена. Показано, что, несмотря на долгую историю изучения этого вопроса, до сих пор существуют белые пятна, препятствующие формированию точной и целостной палеогеографической реконструкции региона в указанный временной интервал. Приведена краткая история развития наиболее древних стадий пра-Балтийского моря. Выявлены проблемы малой изученности как отложений Балтийского ледникового озера и Иольдиевого моря, так и максимального уровня анциловой трансгрессии. К таким проблемам можно отнести малое количество датированных трансгрессивных/регрессивных контактов и отсутствие точных абсолютных отметок порогов стока некоторых изученных озёр.

Ключевые слова: Балтийское ледниковое озеро, Иольдиевое море, Анциловое озеро, изоляция, трансгрессия, регрессия, радиоуглеродный возраст.

The problems of the maximum levels of the lake stages of the Pre-Baltic Sea estimation at the turn of the Late Neopleistocene and Holocene

Yu. A. Kublitskii, D. A. Subetto, A. E. Shatalova, M. Yu. Demidionov

A. I. Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, uriy_87@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the history of the development of the Pre-Baltic Sea stages at the turn of the Late Pleistocene and Holocene. It is shown that, despite the long history of studying this issue, there are still white spots that prevent the formation of an accurate and complete paleogeographic picture. A brief history of the development of the most ancient stages of the Pre-Baltic Sea is given. The problems of the low level of study of the sediments of the Baltic Ice Lake and the Yoldia Sea, as well as the maximum level of the Ancylus Lake transgression, are revealed. Such problems include the small number of dated transgressive/regressive contacts and the lack of accurate absolute marks of the runoff thresholds of some of the studied lakes.

Keywords: Baltic Ice lake, Yoldia Sea, Ancylus Lake, isolation, transgression, regression, radiocarbon age.

Для оценки роли глобальных, региональных и локальных природно-климатических факторов в формировании озерных отложений необходимо учитывать их положение относительно границ и глубин водоема, в котором они формируются. Изменения уровней палеобассейна Балтийского моря на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена проводятся более 200 лет, однако значительная часть этих исследований была посвящена литориновой и ладожской трансгрессиям. Краткая история развития более древних стадий пра-Балтийского моря представлена ниже.

В позднем плейстоцене вдоль отступающего ледника на юго-восточной периферии Фенно-скандинавского щита формировались крупные приледниковые водоёмы. В южной части образовалось Балтийское ледниковое озеро (БЛО), уровень которого достигал современных абсолютных отметок 60–80 м (в районе Карельского перешейка), в результате чего котловина современного Ладожского озера была затоплена его водами. Спуск БЛО произошел ~11500 кал. л. н. в связи с прорывом его вод в районе г. Биллинген (Центральная Швеция) после дегляциации этой местности (Björk, 1995), что привело к проникновению морских вод в котловину пра-Балтики и формированию Иольдиевого моря (уровень которого был ниже современного уровня моря и был вскрыт в Лахтинском разливе (Морозов, 2014) и в толще Нижнеосиновского болота на отметках ~ 15 м абс) (Dolukhanov et al., 2007). В это время сток Ладожского озера осуществлялся в северной части Карельского перешейка в районе современного Ладожско-Балтийского водораздела недалеко от пос. Вещево (Субетто, 2007; Кузнецов, Subetto et al., 2017; Субетто, 2019; Кузнецов и др., 2022).

В этот период развития Ладожского озера вследствие изостатического перекоса южная часть озера была осушена, а северная – наоборот, затоплена (Субетто, 2007).

После снятия ледниковой нагрузки по мере дегляциации Фенноскандинавский кристаллический щит начал испытывать изостатическое поднятие, результатом которого стало поднятия порога стока в Центральной Швеции, изоляции Балтики от Мирового океана и формирование пресного Анцилового озера. Максимальная высотная отметка его уровня достигается между 10900 и 9500 кал. л. н. (абсолютная высота 17 м в северной части Карельского перешейка и 8 м в восточной части Финского залива) (Dolukhanov et al., 2007; Mittenen et al., 2007). В это время формируется пролив между Ладожским озером и Анциловым озером в северной, низменной части Карельского перешейка. Замедление, а затем и прекращение изостатического подъёма в южной части Балтийского бассейна (при продолжающемся подъёме в северных районах) создавало условия для формирования нового канала стока – датских проливов, в результате чего около 10000 кал. л. н. произошла регрессия Анцилового озера и, как следствие, снижение уровня Ладожского озера. Происходит обмеление ладожско-балтийского пролива в северной части Карельского перешейка (15.4 м н. у. м.); обособляются многие озера Карельского перешейка (Кузнецов, Субетто 2019; Кузнецов и др., 2022).

Для систематизации материалов были использованы базы палеогеографических данных «PALEOLADOGA» (Минина и др., 2018) и «PaleoBasin» в международном формате HoleSea (Кублицкий и др., 2022). При составлении БД PaleoBasin использовались материалы изучения колонок донных отложений озёр и торфяников, археологических памятников, естественных обнажений. Выбирались объекты, имеющие абсолютные датировки и индикаторы изменения палеоуровней водоемов. Так, всего к региону Балтийского моря отнесены изученные объекты российской части восточного побережья Финского залива и Ладожского озера (включая Карельский перешеек) с общим количеством в 179 датировок, маркирующих изменения уровней пра-Балтики. Из этого количества всего 34 датировки, относящихся к рубежу позднего неоплейстоцена и голоцена, из которых 27 характеризуют хронологию регрессии Анцилового озера (табл. 1), и всего 7 датировок маркируют более ранние изменения.

Таблица 1. Количество датировок, маркирующих трансгрессивно-регрессивные стадии пра-Балтийского моря на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена
Table 1. The number of dates marking the transgressive-regressive stages of the Pre-Baltic Sea at the turn of the Late Pleistocene and Holocene

Событие	Количество датировок
Регрессия БЛО	3
Регрессия Иольдиевого моря	2
Максимальная стадия Анциловой трансгрессии	2
Регрессия Анцилового озера	27

Таким образом, несмотря на давнюю историю изучения изменения уровней пра-Балтийского моря, существует ряд проблем, препятствующих более детальным палеогеографическим реконструкциям. К таким проблемам относится малое количество датированных контактов изоляции от БЛО, что связано как с малым количеством органического вещества в отложениях этого этапа, так и с редкой встречаемостью этих отложений, поскольку отложения БЛО были перекрыты осадками Анцилового озера, которые подстилают средне и позднеголоценовые отложения. Некоторые колонки донных отложений подробно датированы, но рассматривались авторами в ключе реконструкции растительного покрова и палеоклимата (Gromig et al., 2019; Saveleva et al., 2019; Arslanov et al., 2001). Также крайне мало датировок, указывающих на хронологию Иольдиевого моря и начала Анциловой трансгрессии. Другая проблема заключается в отсутствии точных абсолютных отметок порогов стока изученных озёр (на топографических картах часто можно обнаружить противоречащие значения этого параметра). Также весьма интересным остается вопрос о том, что представляли собой озера Центральной возвышенности Карельского перешейка, которые не затопливались

БЛО и Анциловой трансгрессии. Результат аналитики имеющейся базы данных будет представлен на конференции.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>.

Литература

1. Кублицкий Ю. А., Шаталова А. Е., Баранская А. В., Орлов А. В., Леонтьев П. А., Греков И. М., Субетто Д. А., Репкина Т. Ю. Изменения уровней крупных водных объектов периферии Фенноскандинавского щита в позднем плейстоцене и голоцене «Paleobasins». Свидетельство о регистрации базы данных RU 2022623647, 23.12.2022. Заявка № 2022623627 от 12.12.2022.
2. Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А. Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. М. Изд-во: ГЕОС, 2019. 120 с.
3. Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Лудикова А. В. Соединение Ладожского озера с Балтийским морем в позднем голоцене – новые палеолимнологические данные // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 506. № 1. С. 331–336.
4. Минина М. В., Субетто Д. А., Кошелева Е. А., Кузнецов Д. Д. Формирование базы данных «PALEOLADOGA» для палеолимнологических исследований // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. № 2 (45). С. 18–27. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-18-27.
5. Субетто Д. А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество, среда, развитие. 2007. №1 (10). С. 111–120.
6. Dolukhanov P. M., Subetto D. A., Arslanov Kh. A. et al. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia // Quaternary International. 2009. V. 203. P. 33–51.
7. Gromig R., Wagner B., Wennrich V., Fedorov G., Savelieva L., Lebas E., Krastel S., Brill D., Andreev A., Subetto D. & Melles M. Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments. Boreas. 2019. V. 48. P. 330–348. <https://doi.org/10.1111/bor.12379>. ISSN 0300-9483.
8. Savelieva L. A., Andreev A. A., Gromig R., Subetto D. A., Fedorov G. B., Wennrich V., Wagner B. & Melles M. Vegetation and climate changes in northwestern Russia during the Lateglacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record. Boreas. 2019. V. 48. P. 349–360. <https://doi.org/10.1111/bor.12376>. ISSN 0300-9483.
9. Subetto D. A., Shvarev S., Nikonov A. et al. Catastrophic changes of the Karelian Isthmus hydrographic network in the Late Glacial – Holocene: paleoseismological origin // From past to present – Late Pleistocene, last deglaciation and modern glaciers in the centre of Northern Fennoscandia: Excursion guide and abstracts of the INQUA Peribaltic Working Group Meeting and Excursion. – Rovaniemi: Geological Survey of Finland, 2017. P. 156–157.

Изоляционные бассейны Онежского залива – отличительные черты поздне- и послеледниковых осадконакопления по данным изучения отложений озера Пертозера

Д. Д. Кузнецов¹, А. В. Лудикова¹, Д. А. Субетто², П. А. Леонтьев², Л. С. Сырых²

¹ Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург

² РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

Аннотация. Представлены некоторые результаты изучения колонок донных отложений озера Пертозера (Онежский берег Белого моря) – стратиграфия разрезов, потери при прокаливании, диатомовый и хирономидный анализы. Котловина озера на начальном этапе своего развития была частью приледникового бассейна. После изоляции, произошедшей около 11000 лет назад, озеро испытало несколько смен условий осадконакопления, повлиявших на количество органического вещества, содержавшегося в осадках. Эти изменения проявились себя по всей котловине. В голоценовых отложениях отмечены исключительно пресноводные диатомовые водоросли, свидетельствуя, что на данном участке побережья уровень моря не поднимался выше 11 м.

Ключевые слова: Белое море, голоцен, изоляционные бассейны, озерное осадконакопление, органическое вещество в донных отложениях, перемещение береговой линии моря.

Isolation basins of Onega Bay – specifics of late- and post-glacial sedimentation according to the study of sediments of Lake Pertozero

D. D. Kuznetsov¹, A. V. Ludikova¹, D. A. Subetto², P. A. Leontev², L. S. Syrykh²

¹ Institute of Lake Science of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

² A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, St. Petersburg

Abstract. Some results of the study of bottom sediments of Lake Pertozero (Onega Coast of the White Sea) are presented – section stratigraphy, loss on ignition, diatom and chironomid analyses. At the initial stage of its development, the lake basin was part of a periglacial basin. Since its isolation around 11000 years ago, the lake has experienced several changes in sedimentary conditions that have affected the amount of organic matter contained in the sediments. These changes are noted throughout the lake. Brackish-water diatom complexes were not noted in the Holocene sediments, which indicates that in this area the sea level did not rise above 11 m.

Keywords: White Sea, the Holocene, isolation basins, lacustrine sedimentation, organic matter in sediments, seashore displacement.

Изучение отложений малых озер Прибеломорья с целью установления голоценовой хронологии перемещения береговой линии Белого моря ведется с начала XXI в. Используемый при этом метод изоляционных бассейнов получил в последние годы широкое распространение. Постепенно все побережье покрывается сетью исследованных участков, что в обозримом будущем должно привести к созданию цельной пространственно-временной реконструкции изменения уровня Белого моря, начиная с последней дегляциации.

Одним из изученных объектов является озеро Пертозеро, расположенное на Онежском берегу Белого моря, неподалеку от устья реки Тамица (Леонтьев и др., 2016). Озеро находится в 0.5 км от берега моря (кутовая часть Онежского залива), высота над уровнем моря 11.6 м, площадь 0.146 км². Отбор колонок донных отложений проводился летом 2014 г. в двух точках – на глубинах 2.4 и 4.3 м (рис. 1). Общая мощность вскрытых отложений составила 2.5–3.0 и 4.0–4.7 м, соответственно.

Отложения в точке 1 представлены следующей последовательностью (снизу вверх, в скобках мощность): серые ленточные глины, в верхней части тонкослоистые глины (1.0–1.3 м); темно-бурая однородная гиттия, иногда в нижней части отмечается светло-бурый нечетко-слоистый горизонт (0.3–0.5 м); светло-бурая и бурая опесчаненная гиттия (0.4–0.5 м); бурая и темно-бурая однородная гиттия (0.7–0.8 м) (рис. 2).

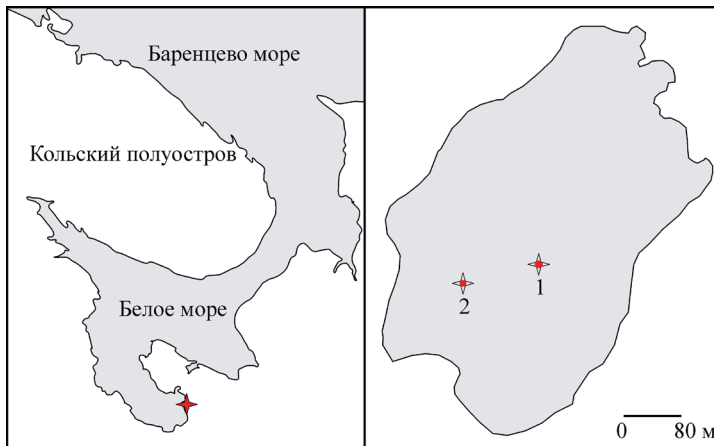


Рис. 1. Местоположение точек бурения.

Fig. 1. Location of coring sites.

Датирование подошвы гиттии (10900 кал. л. н.) в точке 1 позволило определить среднюю скорость осадконакопления, составившую около 0.15 мм/год. Предполагая синхронность начала формирования органогенных осадков в котловине, средняя скорость осадконакопления в точке 2 составила около 0.5 мм/год (Кузнецов и др., 2018).

Литологическая последовательность в точке 2 аналогичная, за исключением отсутствия горизонта глин: темно-бурая однородная, в верхней части бурая глинистая гиттия (0.2 м); бурая глинистая, местами нечетко слоистая гиттия, на верхней границе опесчаненная (2.1 м); бурая и темно-бурая однородная гиттия (2.4 м) (рис. 2).

В нижних горизонтах содержание головных капсул и биоразнообразие хириноид невелико. Выше, в целом, преобладают таксоны, ассоциирующиеся с умеренно-теплыми климатическими условиями.

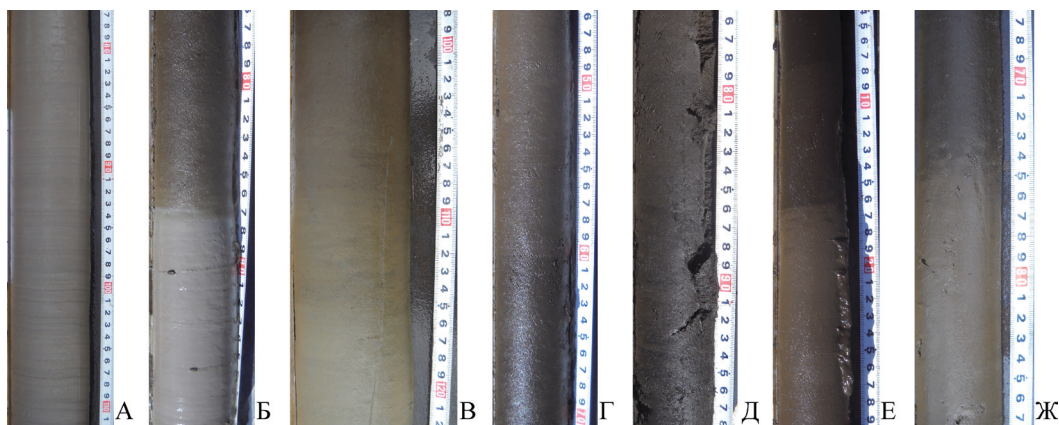


Рис. 2. Фотографии характерных литологических горизонтов (ленточная глина (А), переход от глины к темно-булой гиттии; точка 1 (Б), нечеткая слоистость при переходе от глины к гиттии; точка 1 (В), переход от темно-булой к светло-булой глинистой гиттии; точка 1 (Г) и точка 2 (Д) – переход от светло-булой к темно-булой гиттии; точка 1 (Е) и точка 2 (Ж).

Fig. 2. Photographs of characteristic lithological horizons (ribbon clay (А), transition from clay to dark brown gittia; point 1 (Б), indistinct layering during the transition from clay to gittia; point 1 (С), transition from dark brown to light brown clay gittia; point 1 (Д) and point 2 (Е) – the transition from light brown to dark brown mantle; point 1 (Е) and point 2 (Г).

Динамика содержания органического вещества позволяет выделить несколько периодов органионакопления, которые в целом находят подтверждение в стратиграфии разреза (рис. 3).

Формирование ленточных глин и однородной гиттии очевидно связаны с условиями приледникового бассейна и малого озера, существовавшими здесь в определенные исторические этапы. Слой светло-булой опесчаненной гиттии гипотетически мог быть связан с трансгрессивной стадией Белого моря, однако в разрезе присутствуют исключительно пресноводные диатомовые водоросли, соответственно, начиная с 11000 кал. л. н. в котловине озера существовал пресноводный водоем, а уровень моря на этом участке побережья не превышал 11 м.

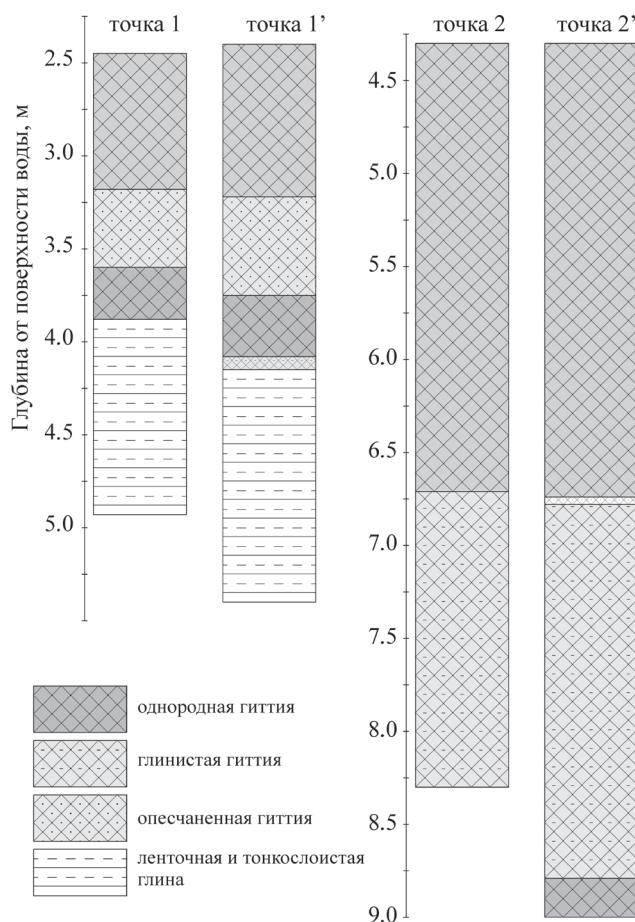


Рис. 3. Стратиграфия разрезов.

Fig. 3. Stratigraphy of sections.

Благодарности

Авторы выражают большую признательность всем участникам экспедиционных и лабораторных работ.

Исследование проведено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0002 (Д. Д. Кузнецов, А. В. Лудикова). Полевые работы 2014 г. поддерживались РФФИ (№13-05-01039-а).

Литература

1. Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Леонтьев П. А. Органическое осадконакопление в малых озерах Беломорского бассейна в голоцене // Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология»: сборник статей. М. Изд-во: КДУ, Университетская книга, 2018. С. 74–79.
2. Леонтьев П. А., Греков И. М., Субетто Д. А., Кузнецов Д. Д., Колька В. В., Лудикова А. В., Потахин М. С., Сапелко Т. В., Сырых Л. С., Толстобров Д. С. Стратиграфия озёрных отложений Онежского полуострова, Белое море // Общество. Среда. Развитие. 2016. № 3. С. 125–129.

Роль древесных пород в формировании растительности голоцена на о. Анзер (Белое море) по данным спорово-пыльцевого анализа донных отложений оз. Надбанного

Д. Н. Левкова ¹, Т. В. Сапелко ², П. А. Леонтьев ¹, Д. А. Субетто ¹

¹ РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, velajrad@gmail.com

² Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, tsapelko@mail.ru

Аннотация. Изучены донные отложения оз. Надбанного, расположенного на о. Анзер (Соловецкий архипелаг, Белое море) на самой высокой отметке 20–21.5 м н. у. м. относительно других исследованных на острове озёр. По результатам спорово-пыльцевого анализа прослежена динамика растительности от позднеледниковья и в течение всего голоцена. В приведённом исследовании основной акцент сделан на динамику древесных пород, которые являются важным компонентом растительного покрова в исследуемом регионе. Изменения состава древесных пород здесь является основой для выделения палинозон. На протяжении всего изученного периода лесобразующей породой является берёза, второстепенно значение сосны. Отмечено низкое содержание ели, что не характерно для других разрезов Беломорского региона. Широколиственные породы четко фиксируют границы атлантического периода. Антропогенное влияние фиксируется с суббореального периода, что подтверждается и динамикой древесных пород, как результат сведения лесов в результате деятельности человека. Радиоуглеродные датировки подтверждают данные спорово-пыльцевого анализа.

Ключевые слова: Соловецкие острова, Белое море, озера, донные отложения, палинология, голоцен, реконструкция растительности.

The role of tree species in the formation of Holocene vegetation on Anzer Island (White Sea) according to the pollen analysis of Lake Nadbannoye sediment sequences

D. N. Levkova ¹, T. V. Sapelko ², P. A. Leontiev ¹, D. A. Subetto ¹

¹ Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, velajrad@gmail.com

² INOZ RAS – SPC RAS, St. Petersburg, tsapelko@mail.ru

Abstract. Lake sediment sequences of the small Lake Nadbannoye on Anzer Island (Solovetsky Archipelago, White Sea) have been analyzed. Lake located at the highest elevation of 20–21.5 m a. s. l. relative to other lakes studied on the island. Based on the results of pollen analysis, the dynamics of vegetation from the Late Glacial period and during the Holocene was traced. In this research, the special attention is paid to the dynamics of tree species, which are an important component of the vegetation cover in the study region. Changes in the composition of tree species here are the basis for the identification of pollen zones. Throughout the entire studied period, the forest-forming species was birch, with pine being of secondary importance. A low content of spruce was noted, which is not typical for other sites of the White Sea region. Broad-leaved species clearly mark the boundaries of the Atlantic period. Anthropogenic influence has been recorded since the Subboreal period, which is confirmed by the dynamics of tree species, as a result of deforestation as a result of human activity. Radiocarbon dating confirms the pollen data.

Keywords: Solovetsky Islands, White Sea, lakes, bottom sediments, palynology, Holocene, vegetation reconstruction.

Реконструкции природной среды в прошлом особо актуальны в настоящее время в связи с глобальными изменениями природной среды и необходимостью перспективной оценки изменения климата. Подобный прогноз осложняется активным антропогенным влиянием, которое накладывается на процесс естественной эволюции природной среды и её компонентов. Поэтому особый интерес для изучения представляют свободные от сильной антропогенной нагрузки территории. Спорово-пыльцевой анализ озёрных донных отложений представляет неотъемлемую часть подобных реконструкций, так как донные отложения являются важным палеоархивом климатических изменений. При интерпретации результатов спорово-пыльцевого анализа особое внимание уделяется древесной растительности и, особенно, породам, маркирующим изменения границ природных зон.

Остров Анзер входит в группу островов Соловецкого архипелага, расположенного в юго-западной части Белого моря. Леса Соловецкого архипелага отнесены к наиболее ценным лесам России, где в настоящее время запрещены рубки, а ландшафты находятся под охраной. Лесная растительность занимает 67.7 % территории архипелага и является ключевым средообразующим компонентом его природной среды, выполняя защитную функцию и определяющая условия среды на архипелаге (Феклистов, Соболев, 2010). Зональными природными комплексами являются северотайжные леса, тундровые редколесья и редколесья, здесь проходит среднеиюльская изотерма 12 °С, маркирующая границу между северной тайгой и лесотундрой на севере Европейской части России (Природная среда..., 2008; Феклистов, Соболев, 2010). Особенностью островов являются экстразональные природные комплексы, которые представлены тундровыми приморскими равнинами и еловыми, смешанными и мелколиственными лесами разнотравного типа (Природная среда..., 2008). На территории островов доминируют хвойные породы, которые занимают 76.4 % площади, покрытой лесом (Ипатов и др., 2009). Породный состав представлен преимущественно видами ели, сосны и берёзы, в том числе кустарниковой (Феклистов, Соболев, 2010).

С 2006 года на Соловецких островах проводятся палеолимнологические исследования. На о. Большой Соловецкий установлена хронология изоляции озёр, выполнена реконструкция развития озёрных ландшафтов в голоцене, подтвержденная палинологическими, диатомовыми данными и радиоуглеродными датировками (Субетто и др., 2012, Сапелко и др., 2014, Ludikova et al., 2023). В 2011 и 2015 гг. на о. Анзер был выполнен отбор колонок донных отложений девяти внутренних озёр, расположенных на разных высотных отметках относительно уровня моря. Для исследуемых озёр определено содержание органического вещества, получены радиоуглеродные датировки и установлена скорость осадконакопления (Кузнецов и др., 2022).

Озеро Надбанное (65°8,8026' с. ш.; 36°1,8666' в. д.) расположено на самой высокой среди изученных озёр абсолютной отметке 20–21.5 м н. у. м. Представляет собой небольшое безымянное лесное озеро с глубинами до 9 м, название дано в рабочем порядке (Левкова и др., 2023), так как расположено недалеко от оз. Банного и выше его. Берега имеют резкие уклоны, небольшая сплавина с западной стороны, с восточной — выход узкой протоки по дну ложбины в сторону оз. Банного, прерывается на бровке перед резким понижением. На спорово-пыльцевой анализ изучена колонка донных отложений, отобранная с глубины 4.2 м мощностью 191 см.

По результатам спорово-пыльцевого анализа выделены 7 палинозон, характеризующих динамику древесных пород на протяжении всего голоцена. В данной работе уделяется внимание только древесным породам как основному компоненту природной среды. Для этого на основании общей спорово-пыльцевой диаграммы группа древесных пород представлена отдельно. За 100 % на спорово-пыльцевой диаграмме принята сумма древесных пород (рис. 1).

Для периода формирования палинозоны 1 характерны открытые пространства с травянистым покровом с небольшим присутствием древесных пород (20–40 %). Присутствует редкий берёзовый древостой, возможно, с примесью сосны, ели и ольхи, в кустарниковом ярусе отмечаются самые большие, относительно всех рассматриваемых периодов, площади распространения карликовой берёзы, ивы и можжевельника. Далее (палинозона 2) возрастает роль древовидной берёзы. В кустарниковом ярусе увеличивается значение лещины, но сокращается карликовой берёзы. Затем (палинозона 3) окончательно снижается роль кустарников, увеличивается значение сосны, распространяются берёзово-сосновые леса. Для палинозоны 4 характерно первое появление широколиственных теплолюбивых пород — липы, вяза, граба и дуба. В первой половине палинозоны происходит постепенная смена доминирующей породы и распространяются берёзовые и сосновые леса с примесью широколиственных пород. Во второй половине зоны площади распространения берёзовых лесов увеличивается за счёт сокращения сосновых с примесью широколиственных пород. В кустарниковом ярусе постоянно присутствуют карликовая берёза и лещина, площадь распространения ивы сокращается. В период формирования палинозоны 5 появляются пихта и лиственница. Площади распространения берёзовых лесов увеличиваются, в сосновых лесах снижается примесь широколиственных пород, которые в затем (в палинозоне 6) исчезают. Затем (палинозона 6) сокра-

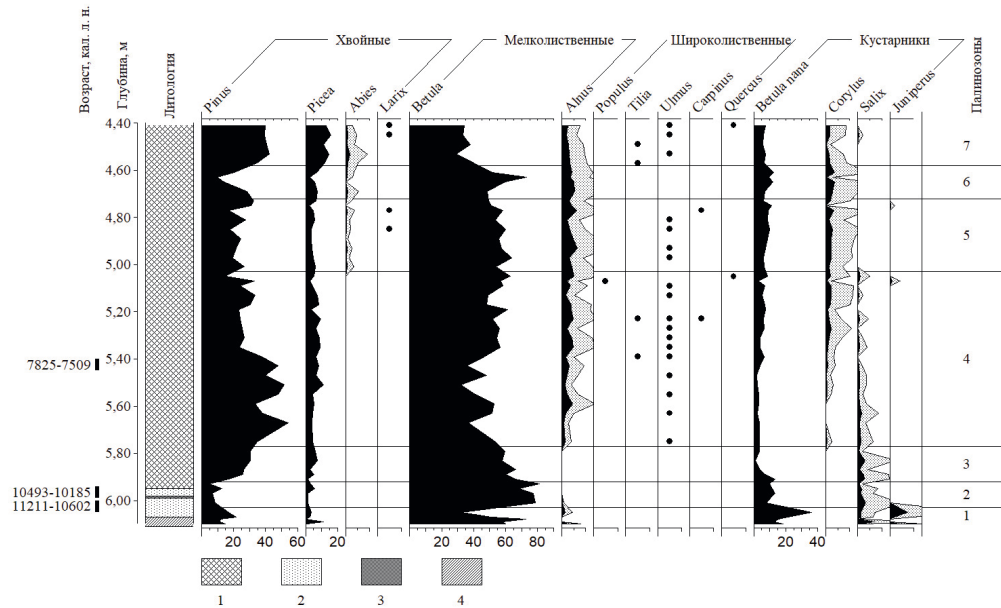


Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма оз. Надбанного. 1 – однородная гиттия; 2 – слоистая гиттиевая глина; 3 – глина, 4 – опесчаненная глина.

Fig. 1. Pollen diagram of Lake Nadbannoye. 1 – homogeneous gittia; 2 – layered gittia clay; 3 – clay; 4 – sandy clay.

щается присутствие сосновых древостоев, устанавливается мелколиственный берёзовый лес с примесью хвойных. Возрастает роль кустарников, особенно карликовой берёзы. В период формирования палинозоны 7 устанавливаются условия, близкие к современным, — хвойный, преимущественно сосновый, лес с примесью мелколиственных пород. Присутствуют уже нехарактерные для природных условий теплолюбивые породы липа и вяз, которые могут быть связаны с лесопосадками.

Для изученного разреза отмечено низкое содержание ели в древостое района исследования. Особенно необходимо отметить это для суббореального периода (палинозоны 4 и 5). Для этого периода характерно также снижение общего содержания древесных пород за счёт увеличения травянистого покрова. Это может быть связано с периодом первых поселений человека на о. Анзер (Мартынов, 2012).

Полученные результаты и имеющиеся радиоуглеродные датировки позволяют определить возраст формирования палинозон. Обеднённый древесными породами состав с преобладанием растительных и кустарниковых сообществ палинозоны 1 позволяет отнести её к позднеледниковому периоду. Преобладание в составе древесных древовидной и кустарниковой форм берёзы характерно для позднеледниковой растительности акватории Белого моря и прилегающих территорий (Плешивцева, 1970, 1973; Девятова, 1976; Малясова, 1976; Мануйлов и др., 1981; Юрковская и др., 1989). Начало голоцена для изученного разреза фиксируют полученные радиоуглеродные датировки 11211–10602 кал. л. н. и 10493–10185 кал. л. н. Для палинозоны 2 реконструированы берёзовые леса, которые характерны для Беломорского региона в пребореальном периоде. Далее увеличивается роль хвойных пород, главными лесообразующими породами являются берёза и сосна, распространяется ель. Похожая обстановка наблюдается в долине р. Выг в Юго-Западном Беломорье (Девятова, 1976), Двинской губе у дер. Ижма (Плешивцева, 1970), в Северодвинской впадине (Плешивцева, 1973) и в районе болота Себболота (Юрковская и др., 1989), для прочих близких территорий характерно значительное преобладание сосняков (Малясова, 1976; Мануйлов и др., 1981; Колька и др., 2019). Таким образом, формирование палинозоны 3 происходит в бореальном периоде. Появление в палинозоне 4 широколиственных пород маркирует наступление климатического оптимума и позволяет определить атлантический период. Это подтверждается также радиоуглеродной датой 7825–7509 кал. л. н. Повсеместно в Беломорском регионе отмечается распространение широколиственных пород, но и вместе с этим доминируют темнохвойные леса (Плешивцева, 1970, 1973;

Мануйлов и др., 1981; Юрковская и др., 1989; Колька и др., 2019). Сосново-берёзовые леса в этот период распространены в долине р. Выг (Девятова, 1976) и на о. Большой Соловецкий (Сапелко и др., 2014). В этот период, в IV–III тысячелетиях до нашей эры, судя по археологическим находкам, начинается освоение Соловецких островов, появляются временные стоянки (Мартынов, 2012). Ель, являющаяся ценной для хозяйственных нужд породой, могла активно вырубаться и использоваться в качестве строительного материала. Леса в это время (палинозоны 5 и 6) представлены преимущественно берёзовым древостоем с небольшой примесью хвойных, и широколиственных пород сформировались в суббореальный период. Такая обстановка характерна для долины р. Выг, которая активно осваивалась человеком (Девятова, 1976; Шелехова и др., 2011). На прочих территориях, в том числе на о. Большой Соловецкий максимально распространяются еловые леса (Плешивцева, 1970; Мануйлов, 1981; Сапелко и др., 2014). Палинозона 7 относится к субатлантическому периоду, для которого в Беломорье характерна смена лесообразующей породы на сосну (Плешивцева, 1970, 1973; Мануйлов и др., 1981; Шелехова и др., 2011; Сапелко и др., 2014; Колька и др., 2019). В древесном составе присутствуют широколиственные породы, которые связаны с лесопосадками, описание которых имеется в архиве Соловецкого музея-заповедника (Ипатов и др., 2009).

Ландшафты о. Анзер начали формироваться в позднеледниковье и продолжают развиваться под воздействием меняющихся климатических, рельефообразующих факторов, осложнённых положением территории в условиях островной изоляции, и под влиянием хозяйственной деятельности человека. Результаты исследования озёрных донных отложений позволили определить роль древесных пород в формировании растительности голоцена, которые дополняют существующие знания о природных обстановках на Соловецких островах и в южной части Беломорского региона.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института озероведения Российской Академии наук, обособленного подразделения Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской Академии наук, № FFZF-2024-0002 и в рамках государственного задания РГПУ им. А. И. Герцена при поддержке Министерства Просвещения VRFY-2023-0010.

Литература

1. Девятова Э. И. Геология и палинология голоцена и хронология памятников первобытной эпохи в Юго-Западном Беломорье. Л. 1976. 121 с.
2. Ипатов Л. Ф., Косарев В. П., Проурзин Л. И., Торхов С. В. Леса Соловецкого архипелага. Архангельск, 2009. 244 с.
3. Колька В. В., Корсакова О. П., Лаврова Н. Б., Шелехова Т. С., Зарецкая Н. Е. Литология, биостратиграфия и геохронология позднеплейстоцен-голоценовых осадков на побережье Онежского залива Белого моря // ДАН. 2019. Т. 485. № 2. С. 221–225.
4. Колька В. В., Корсакова О. П., Лаврова Н. Б., Шелехова Т. С., Зарецкая Н. Е. Литология, биостратиграфия и геохронология позднеплейстоцен-голоценовых осадков на побережье Онежского залива Белого моря // ДАН. 2019. Т. 485. № 2. С. 221–225.
5. Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В., Субетто Д. А., Леонтьев П. А., Греков И. М., Потахин М. С., Сапелко Т. В., Сырых Л. С., Толстобров Д. С. Хроно- и литостратиграфия озерных отложений острова Анзер (Соловецкие острова) в контексте послеледниковой истории Белого моря // Известия АН. Серия: Географическая. 2022.
6. Левкова Д. Н., Сапелко Т. В., Леонтьев П. А., Субетто Д. А. Формирование растительного покрова о. Анзер (Соловецкий архипелаг, Белое море) в позднем голоцене // Морские исследования и образование: MARESEDU- 2023. XII Международная научно-практическая конференция, 23–27 октября 2023 г. С. 381–388.
7. Малясова Е. С. Палинология донных осадков Белого моря. Л. 1976. 119 с.
8. Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А., Джиноридзе Р. Н., Калугина Л. В., Кириенко Е. А., Спиридонова Е. А. Стратотип позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Соловецкого шельфа Белого моря // Вестник ЛГУ. 1988. Сер. 7. Вып. 4. № 28. С. 116–135.
9. Мартынов А. Я. острова Белого моря: от мезолита до Средневековья (о древнем освоении беломорских островов по археологическим данным). Арктика и Север. № 5. 2012. С. 137–176.

10. Плешивцева Э. С. Палинологическая характеристика поздне- и послеледниковых отложений Северо-Двинской впадины // Палинология голоцена и маринопалинология. М. 1973. С. 23–26.
11. Плешивцева Э. С. Основные этапы истории растительности побережья Двинской губы Белого моря в период бореальной и поздне- послеледниковой морских трансгрессий. Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л. Изд-во: Гидрометеоздат, 1970. С. 268–271.
12. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотова. Екатеринбург. Изд-во: УрО РАН, 2007. 184 с.
13. Сапелко Т. В., Субетто Д. А. История развития озёрных ландшафтов Соловецких островов / Сб. тезисов научно-практической конференции по водным ресурсам, включая биологические ресурсы, Соловецкого архипелага. Архангельская обл., пос. Соловецкий, 2014 г. С. 51–53.
14. Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзоров В. Я., Беек П. ван, Суо М., Субетто Г. Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190. doi: 10.1134/S1028334X120901402.
15. Феклистов П. А., Соболев А. Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск. Изд-во: Северный (Арктический) федеральный университет. 2010. 201 с.
16. Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б. Новые данные о миграции береговой линии Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2011. №. 2. С. 24–32.
17. Юрковская Т. К., Елина Г. А., Климанов В. А. Растительность и палеогеография лесных и болотных экосистем правобережья реки Пинеги (Архангельская область) / Ботан. журн. 1989. Т. 74. № 12. С. 1711–1723.
18. Ludikova A. V., Subetto D. A., Kuznetsov D. D., Sapelko T. V. From a large basin to a small lake: Siliceous microfossils stratigraphy of the isolation basins on Big Solovetskiy Island (the White Sea, NW Russia) and its implication for paleoreconstructions // Quaternary International, 2023. V. 644–645. P. 61–78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.07.007>.

Эволюция морских прибрежных экосистем Онежского залива в связи с изменениями уровня Белого моря в голоцене

А. В. Лудикова ¹, Т. Ю. Репкина ², А. П. Яковлева ², П. А. Леонтьев ³, А. В. Орлов ³, Д. Н. Левкова ³

¹ Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, *ellerbeckia@yandex.ru*

² Институт географии РАН, Москва, *t-repkina@yandex.ru*

³ РГПУ им А. И. Герцена, Санкт-Петербург, *barograph@yandex.ru*

Аннотация. С целью изучения влияния изменений уровня моря на эволюцию прибрежных морских экосистем выполнен диатомовый анализ отложений низких террас, расположенных в вершине Пурнемского залива (Онежский залив Белого моря). Изменения состава диатомовых комплексов и содержания кремнистых микрофоссилий позволили охарактеризовать трансформацию экологических обстановок, связанную с постепенным обмелением данных участков морского дна, их выходом из зоны влияния приливно-отливной деятельности и установлением субаэральных условий, характеризующихся дефицитом увлажнения.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, кремнистые микрофоссилии, Пурнемский залив, морские террасы, марши.

Evolution of marine coastal ecosystems of the Onega Bay related to the sea-level changes of the White Sea in the Holocene

A. V. Ludikova ¹, T. Yu. Repkina ², A. P. Yakovleva ², P. A. Leontev ³, A. V. Orlov ³, D. N. Levkova ³

¹ Institute of Lake Science of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, *ellerbeckia@yandex.ru*

² Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, *t-repkina@yandex.ru*

³ A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, St. Petersburg, *barograph@yandex.ru*

Abstract. The diatom study of the sediment sections of low terraces located at the top of the Purnema Bay (the Onega Bay, White Sea) was carried out to infer the influence of sea-level changes on the evolution of coastal marine ecosystems. Changes in the composition of diatom assemblages and abundances of siliceous microfossils revealed the transformation of ecological conditions associated with the gradual shallowing of these areas of the seabed, their emergence from the tidal zone and establishing subaerial environments characterized by moisture deficiency.

Keywords: diatoms, siliceous microfossils, Purnema Bay, marine terraces, marshes.

Юго-восточное побережье Онежского залива Белого моря расположено между краевыми образованиями лужской и невской стадий деградации последнего оледенения (Рыбалко и др., 1987, Государственная, 2000). Облик рельефа побережья наследует строение форм и отложений ледникового комплекса (Лаврова, 1931). Существующие реконструкции перемещения береговой линии залива в позднеледниковье и голоцене противоречивы (Кошечкин и др., 1977; Боярская и др., 1986; Selivanov, 1996; Колька и др., 2018). Поэтому получение новых фактических данных об истории развития побережья залива остается весьма актуальным. На южном берегу Онежского полуострова, в вершине Пурнемского залива (рис. 1), сведения о ходе изменения уровня за последние ~5.0 тыс. кал. л. были получены на основании анализа рельефа, литологического описания и датирования отложений прибрежных террас (Репкина и др., 2021). Однако, для обоснованной реконструкции необходимо определить экологические обстановки накопления датированных осадков. Кроме того, сочетание на поднятых террасах и современных берегах форм рельефа и отложений, созданных волнами, приливами и устьевыми процессами позволяет предположить, что в вершине Онежского залива существовали и существуют специфические прибрежные экосистемы. Особенность условий их развития – медленное послеледниковое поднятие, происходившее на фоне эвстатических колебаний уровня моря (Кошечкин и др., 1977; Боярская и др., 1986; Selivanov, 1996; Репкина и др., 2021), относительно высокие (2–3 м) приливы и ослабленная деятельность волн (Гидромете-



Рис. 1. Положение района исследования (А) и изученных разрезов (Б, В).

1 – комплексы форм рельефа (цифры на сером фоне: I – приливная осушка, II – лайда и марш (1–2 м н. у. м.); III – пойма р. Вейги (ниже 2 м н. у. м.); IV – аллювиально-морская терраса (2.5–4.6 м н. у. м.); морские террасы на высотах: V – 2.5–5 м н. у. м, VI – 5–7.5 м н. у. м.; VII – полого-холмистая ледниковая равнина, вероятно затоплявшаяся во время позднеледниковой трансгрессии (10–25 м н. у. м.); 2 – песчаные косы, 3 – геоморфологические границы, 4 – положение скважин ручного бурения. Картографическая основа – изображения Google Earth.

Fig. 1. Case study area (A) and location of sediment cores (Б, В).

1 – types of landforms (numbers on a gray background): I – tidal flat, II – tidal marsh or laida (1–2 m a. s. l.); III – the floodplain of the Vejga River (below 2 m a. s. l.); IV – alluvial-marine terrace (2.5–4.6 m a. s. l.); marine terraces at heights: V – 2.5–5 m a. s. l., VI – 5–7.5 m a. s. l.; VII – gently rolling moraine plain, probably flooded during Late Glacial transgression (10–25 m a. s. l.); 2 – sand spits, 3 – geomorphological boundaries, 4 – location of sediment cores. Cartographic basis – Google Earth images.

орология..., 1999). Цель исследования – изучение влияния изменений относительного уровня моря на эволюцию морских прибрежных экосистем восточного побережья Онежского залива.

Методом диатомового анализа изучены отложения заболоченной морской террасы с отметками поверхности ~ 7.5 м, расположенной в вершине Пурнемского залива (скважина 072), и аллювиально-морской террасы в устьевой части р. Вейги с отметками ~ 3 м н. у. м. (скважина 120) (рис. 1). Параллельно с подсчетом и определением створок диатомей велся подсчет других кремнистых микрофоссилий – цист золотистых водорослей, спикул губок и фитолитов.

Изменения состава диатомовых комплексов и содержания кремнистых микрофоссилий в отложениях изученных разрезов позволили охарактеризовать трансформацию обстановок осадконакопления и экологических условий, связанную с отрицательным перемещением береговой линии. На начальном этапе формирования алевроито-песчаных отложений происходило в условиях прибрежного мелководья, о чем свидетельствует преобладание в составе диатомовых комплексов литоральных солоноватоводно-морских диатомей. Низкие значения отношения «цисты : диатомеи» и сравнительно высокое содержание спикул губок также характерны для осадков, формирующихся в условиях морского залива. Более высокое флористическое разнообразие диатомовых комплексов данного этапа в отложениях скважины 120, вероятно, указывает на большее разнообразие бентосных местообитаний и активную гидродинамику, способствовавшую разносу створок, а также привнесению морских планктонных форм из более глубоководных участков. Сравнительно высокая численность пресноводных диатомей, по-видимому, обусловлена опресняющим влиянием реки. Следующий этап связан с постепенным выходом данных участков из зоны влияния приливно-отливной деятельности. В этот период формируются органо-минеральные осадки. В отложениях скважины 072 отмечается по-прежнему высокое содержание солоноватоводно-морских видов при увеличении численности солоноватоводных. Высокие концентрации фитолитов отражают пе-

реход к субэвральным обстановкам. В отложениях скважины 120 увеличивается доля пресноводных и аэрофильных диатомей, характерных для увлажненных или временно пересыхающих местобитаний. Усиление влияния пресных вод (поверхностного стока) на формирование условий среды способствовало увеличению доли цист золотистых водорослей. Все это указывает на продолжающуюся регрессию береговой линии и постепенное осушение бывшего морского дна. Начало формирования торфянистых отложений в разрезах обеих скважин ознаменовало собой полное прекращение влияния морского бассейна на рассматриваемые участки побережья и установление субэвральные условий, характеризующихся дефицитом увлажненности, лимитировавших развитие диатомовых и золотистых водорослей. Согласно полученным радиоуглеродным датировкам, торфообразование на поверхности террасы с отметками ~ 7.5 м н. у. м. началось ~ 3.5–3.3 кал. л. н. (Репкина и др. 2021). Терраса с отметками поверхности ~ 3 м перешла в стадию субэвального осадконакопления 1.5–1.4 тыс. кал. л. н.

Полученные результаты показывают, что в ходе отступления береговой линии субаквальные прибрежно-морские обстановки во второй половине голоцена последовательно сменялись на данном участке побережья субэвральными. Формирование отложений «переходной стадии» происходило в условиях марша, впоследствии полностью вышедшего из-под влияния морского бассейна.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ИНОЗ РАН № FFZF-2024-0002, при поддержке проекта РНФ 22-17-00081.

Литература

1. Selivanov A.O. Morphological changes on Russian coasts under rapid sea-level changes: Examples from the Holocene history and implications for their future // J. Coast. Res. 1996. V. 12. Iss. 4. P. 823–830.
2. Боярская Т. Д., Полякова Е. И., Свиточ А. А. Новые данные о голоценовой трансгрессии Белого моря // ДАН. 1986. Т. 290. № 4. С. 964–968.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Белое море. Л. Изд-во: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия: Онежская, листы Q-37-XXXI, XXXII. Объяснительная записка. СПб. Изд-во: ВСЕГЕИ, 2000. 75 с.
5. Колька В. В., Корсакова О. П., Лаврова Н. Б., Шелехова Т. С., Толстоброва А. Н., Толстобров Д. С., Зарецкая Н. Е. Стратиграфия донных осадков малых озёр и палеогеография западного берега Онежского залива Белого моря в позднеледниковье и голоцене // Геоморфология. 2018. № 2. С. 48–59.
6. Кошечкин Б. И., Девятова Э. И., Каган Л. Я., Пунинг К. Позднеледниковые морские трансгрессии в Онежском Беломорье // Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода Севера Европейской части СССР. Петрозаводск. Изд-во: Карельск. филиал АН СССР, 1977. С. 5–16.
7. Лаврова М. А. К геологии Онежского полуострова Белого моря // Тр. Геол. музея АН. 1931. Т. VIII. 70 с.
8. Репкина Т. Ю., Яковлева А. П., Леонтьев П. А., Зарецкая Н. Е., Беличенко А. Е. Морфодинамика берегов Онежского залива Белого моря в голоцене (окрестности с. Пурнема) / География: развитие науки и образования. Сб. статей по материалам международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена, 21–23 апреля 2021 г. Т. 1. СПб. Изд-во: РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. С. 163–167.
9. Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А., Спиридонова Е. А., Москаленко П. Е. Четвертичные отложения Онежского залива и основные черты его палеогеографии в плейстоцене-голоцене // Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциальных шельфов. Л. Изд-во: ВСЕГЕИ, 1987. С. 38–52.

Косейсмические деформации в донных осадках озёр Восточной Фенноскандии

С. Б. Николаева

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, s.nikolaeva@ksc.ru

Аннотация. В докладе представлен обзор имеющихся разрозненных сведений, а также полученные в последние годы новые данные о следах голоценовых землетрясений в озерах, сопряженных с активными разрывными структурами Карело-Кольского региона. Приводятся литолого-стратиграфические, палеоботанические, хронометрические данные, а также результаты геофизических исследований (георадарных, сеймоакустических) в озерах. На ряде примеров рассматриваются наиболее характерные особенности озерной седиментации в условиях новейших тектонических перемещений земной коры. Обсуждаются различные причины и механизмы образования сейсмически индуцированных структур в донных осадках и признаки отличия их от деформаций, образованных иными процессами.

Ключевые слова: донные осадки, землетрясения, разломы, Фенноскандинавский щит, Кольский регион, Карелия, Голоцен.

Coseismic deformations in bottom sediments of lakes in Eastern Fennoscandia

S. B. Nikolaeva

Geological Institute of Kola Science Center RAS, Russia, s.nikolaeva@ksc.ru

Abstract. The paper reviews of the available scattered information, as well as new data obtained in recent years on traces of Holocene earthquakes in lakes associated with active fault structures in the Karelia and Kola region. We present lithological-stratigraphical, paleobotanical, chronometrical data, as well as the results of geophysical studies (ground penetrating radar, seismoacoustic) in lakes. A number of examples are used to examine the most characteristic features of lake sedimentation under the conditions of recent tectonic movements of the earth's crust. Discussed in the paper are various reasons and mechanisms of seismically induced structures formation in bottom sediments and differences from deformations with another origin.

Keywords: bottom sediments, earthquakes, faults, Fennoscandian Shield, Kola region, Karelia, Holocene.

Введение

Возможность неуплотненного осадка под действием вибрации разжижаться и образовывать подобные сейсмическим структуры была доказана в результате экспериментальных исследований П. Кюнена в конце 50-х годов прошлого столетия (Kuenen, 1958). С тех пор большая группа зарубежных ученых занималась данной проблемой, о чем свидетельствуют многочисленные публикации (Sims, 1973; Hempton, Dewey, 1983; Obermeier et al, 2005 и др.). С конца 1990-х гг. XX в. подобные работы стали появляться и в отечественных изданиях (Лукашов, 2004; Деев и др., 2005; Николаева, 2006; Поволоцкая и др., 2006). Особое место среди них занимают донные осадки озёр (Monecke et al., 2006; Lajeunesse et al., 2017; Ojala et al., 2019).

Первые материалы о катастрофических событиях, запечатленных в озерных кернах, были получены в результате целенаправленных палеосейсмологических исследований, проводившихся в пределах ряда морфоструктур Карелии и Кольского региона (Демидов и др., 1998; Лукашов, 2004; Nikolaeva et al., 2014). К настоящему времени изучение вторичной группы деформаций – косейсмических проявлений в осадочном чехле, в том числе и в кернах озёр, значительно расширились (Николаева и др., 2016; Толстобров и др., 2018; Shelekhova, Lavrova, 2019; Nikolaeva et al., 2023). Этот растущий интерес обусловлен тем фактом, что озерные отложения являются важным источником информации о различных изменениях окружающей среды, включая и различные тектонические (катастрофические) события. Среди последних – цунами, сейши, подводные оползни, турби-

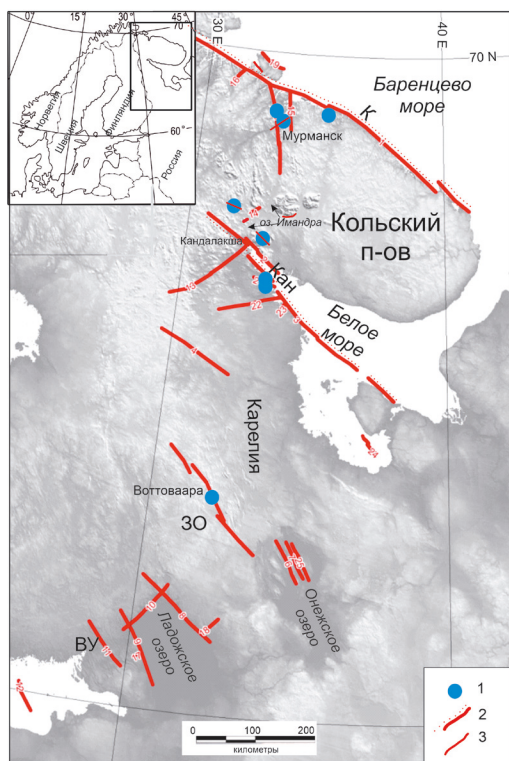


Рис. 1. Активные линейменты и косейсмические деформации в донных осадках озер Восточной Фенноскандии.

1 – озера, обсуждаемые в тексте; 2 – главные сейсмогенные зоны; 3 – сейсмолинейменты и локальные разломы с проявлением поздне- и послеледниковой активизации по (Никонов, Шварев, 2015; Nikolaeva et al., 2021). К – разлом Карпинского, Кан – Кандалакшский грабен, ЗО – Западно-Онежский сейсмолинеймент, ВУ – Вуоксинская зона разломов.

Fig. 1. Active lineaments and coseismic deformations in bottom sediments of lakes in Eastern Fennoscandia.

1 – lakes discussed in the text; 2 – major seismogenic zones; 3 – seismic lineaments and local faults with late- and post-glacial activation (Nikonov, Shvarev, 2015; Nikolaeva et al., 2021). К – Karpinsky fault, Кан – Kandalaksha graben, ЗО – West Onega seismic lineament, ВУ – Vuoksa fault zone.

дитные течения, вызванные сейсмическим воздействием на окружающую среду. Нарушения в кернах озер, связанные с сильными землетрясениями, зафиксированы не только в сейсмоактивных районах и зонах субдукции, но и в регионах с умеренной или низкой сейсмичностью, таких как Восточная Фенноскандия.

В настоящем сообщении проанализированы имеющиеся разрозненные сведения и полученные в последние годы новые данные о следах предполагаемых сейсмических событий в осадках озер, сопряженных с активными разрывными структурами Карело-Кольского региона (рис. 1). Среди них – разлом Карпинского на Баренцевоморском побережье, Кандалакшский грабен Белого моря, Имандровская неотектоническая депрессия на территории Мурманской области и Западно-Онежский линеймент в Карелии (рис. 1). Рассматриваются наиболее характерные особенности озерной седиментации в условиях новейших тектонических перемещений земной коры. Приводятся литолого-стратиграфические, палеоботанические, хронометрические данные, а также результаты геофизических исследований (георадарных, сеймоакустических) в озерах.

Результаты работ

В кернах исследованных озер (рис. 1) сейсмогенные горизонты представлены литологическими несогласиями, наклонным и опрокинутым залеганием слоев, резкими изменениями спектров микрофоссилий, явлениями разжижения, осадочной брекчией, складками и разрывами. Детальное изучение этих нарушений показало, что такие явления не могли быть образованы в результате климатических изменений, биогенных, эрозионных процессов, штормовых заплесков или гравитационного оползания. Сейсмоакустическое профилирование и георадарное зондирование днищ отдельных котловин, позволило выявить разрывы, смещающие минерагенные позднеледниковые и голоценовые осадки (Родионов и др., 2018; Nikolaeva et al., 2023). Полученные данные указывают на то, что возникновение нарушений связано с быстрым одномоментным процессом, обусловленным тектоническими (сейсмическими) факторами.

На основании данных о времени проявления косейсмических деформаций в донных осадках озер (радиоуглеродного датирования, ^{14}C), а также сведений о палеосейсмичности выделены основные рубежи сейсмической активности Карело-Кольского региона. Они соответствуют трем основным интервалам: 13500–8100 л. н., 6800–6600 л. н., 3100–200 л. н. (Nikolaeva, 2022). В целом, вы-

деленные возрастные интервалы хорошо согласуются с данными по западной части Фенноскандии (Ojala et al., 2019).

Образование деформаций в озерных осадках, наряду с обнаруженными следами древних землетрясений в скальных породах, связано с активизацией крупных разломных зон, протягивающихся на расстояния в 50–100 и более км. Такие параметры разломов соответствуют магнитудам $M_w = 6.5–7.5$, характерным для поздне- послеледниковой сейсмичности Фенноскандии.

Заключение

Таким образом, на основании данных о времени проявления косейсмических деформаций в донных осадках озер, а также сведений о палеосейсмичности Карело-Кольского региона выделены основные рубежи сейсмической активности щита в прошлом и существенно уточнены временные интервалы возникновения отдельных событий. Полученные возраста отражают неравномерное распределение сейсмоактивности территории во времени: ранний голоцен характеризуется наиболее высокой сейсмической активностью. Средний голоцен представляет более спокойный в сейсмическом отношении период, по сравнению с поздним голоценом. Устанавливается, что в пределах одного и того же разлома (разломной зоны) фиксируются признаки многократной активизации и разновременных сейсмических событий, происходивших на протяжении позднеледникового и в голоцене.

Дальнейшее изучение нарушений и деформаций в донных осадках озер будет способствовать развитию палеосейсмогеологических исследований в регионах и областях, долгое время считавшихся асейсмичными.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания по теме НИР ГИ КНЦ РАН г. Апатиты, FMEZ-2024-0007.

Литература

1. Деев Е. В., Гибер Л. А., Чигвинцева Л. А., Фролова Т. В., Рябинин А. Б. Микросейсмодислокации (сейсмиды) в плейстоценовых осадках Горного Алтая // ДАН. 2005. Т. 403. № 1. С. 71–74.
2. Лукашов А. Д. Геодинамика новейшего времени // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Ред. Шаров Н. В. Петрозаводск. Изд-во: Карельский научный центр РАН. 2004. С. 150–191.
3. Демидов И. Н., Лукашов А. Д., Лаврова Н. Б., Шелехова Т. С., Вяхирев С. А. Палеоэкология и палеосейсмология района горы Воттоваара (Западная Карелия) в поздне- и послеледниковье // Палеоклиматы и эволюция палеогеографических обстановок в геологической истории Земли. Петрозаводск. 1998. С. 28–30.
4. Николаева С. Б. Сейсмогенные деформации в отложениях раннеголоценовой террасы реки Печенга (Кольский полуостров) // ДАН. 2006. Т. 406. № 1. С. 69–72.
5. Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Денисов Д. Б., Толстобров Д. С. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) // Изв. РГО. 2016. Т. 148. Вып. 4. С. 38–52.
6. Никонов А. А., Шварев С. В. Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Нерюнгри. Изд-во: Техн. Ин-та (ф) СВФУ. 2015. С. 243–251.
7. Поволоцкая И. Э., Корженков А. М., Мамыров Э. М. Следы сильных землетрясений в озерных осадках Кок-Мойнокской впадины (Северный Тянь-Шань) // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 9. С. 1024–1035.
8. Родионов А. И., Николаева С. Б., Рязанцев П. А. Оценка возможностей георадиолокации при изучении сейсмогенных нарушений и деформаций в донных осадках (на примере озера Уполокшское, северо-восток Фенноскандинавского щита) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 4. С. 1189–1203. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-4-0390>.
9. Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н., Колька В. В., Корсакова О. П., Субетто Д. А. Возможные следы голоценовых цунами в озерных отложениях в районе пос. Териберка (Кольский полуостров) // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 9. С. 92–102. <http://dx.doi.org/10.17076/lim865>.
10. Hempton M. R., Dewey J. F. Earthquake-induced deformational structures in young lacustrine sediments, East-Anatolia Fault, Southeast Turkey // Tectonophysics. 1983. V. 98. P. 7–14.

11. Kuenen P. H. Experiments in geology // *Trans. Geol. Soc. Glasgow*. 1958. V. 23. P. 1–28.
12. Lajeunesse P., Sinkunas B., Morissette A., Normandeau A., Joyal G., St-Onge G., Locat J. Large-scale seismically-induced mass-movements in a former glacial lake basin: lake Témiscouata, northeastern Appalachians (eastern Canada). *Marine Geology*. 2017. V. 384. P. 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.04.007>.
13. Monecke K., Anselmetti F. S., Becker A., Schnellmann M., Sturm M., Giardini D. Earthquake-induced deformation structures in lake deposits: a Late Pleistocene to Holocene paleoseismic record for Central Switzerland. *Eclogae Geologicae Helvetiae*. 2006. V. 99. P. 343–362. <https://doi.org/10.1007/s00015-006-1193-x>.
14. Nikolaeva S., Lavrova N., Denisov D. New data on effects of strong catastrophic events in lake sediments in European subarctic (Kola Peninsula) // *Paleolimnology of Northern Eurasia. Proceedings of the International Conference. Petrozavodsk, 21–25 September, 2014* / Eds. Dmitry Subetto, Tatyana Regerand, Anastasiya Sidorova. Petrozavodsk: Karelian Research Centre RAS. 2014. P. 119–120.
15. Nikolaeva S., Tolstobrov D., Ryazantsev P. Evidence for postglacial seismicity in lacustrine records in the western Kola Peninsula (North-western Russia) // *The Holocene*. 2023. V. 33. No 12. P. 1441–1452 <https://doi.org/10.1177/09596836231197738>
16. Nikolaeva S. B., Nikonov A. A., Shvarev S. V. Late Glacial and Postglacial Faulting in the Russian Part of the Fennoscandian Shield. Chapter No 14. In: *Glacially-Triggered Faulting* / Eds: Steffen H., Olesen O., Sutinen R. Publisher: Cambridge University Press. 2021. P. 246–260. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108779906.018>.
17. Nikolaeva S. B. Traces of Seismic Activity in the Lake Bottom Sediments of Eastern Fennoscandia // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. V. 13 (5). doi:10.5800/GT-2022-13-5-0676.
18. Obermeier S. F., Olson S. M., Green R. A. Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking. *Engineering Geology*. 2005. V. 76. P. 209–234.
19. Shelekhova T. S., Lavrova N. B. Paleoenvironmental reconstructions and sedimentological evidence of paleoseismic activity ca 9000 yr BP in Karelia, NW Russia, based on lake sediment studies on Mount Vottovaara. *Baltica*. 2019. V. 32 (2). P. 90–201. <https://doi.org/10.5200/baltica.2019.2.6>.
20. Sims J. D. Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fernando, California. *Science*. 1973. V. 182. P. 161–163.
21. Ojala A. E. K., Mattila J., Hämäläinen J., Sutinen R. Lake sediment evidence of paleoseismicity: Timing and spatial occurrence of late- and postglacial earthquakes in Finland. *Tectonophysics*. 2019. V. 771. P. 228–227. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228227>.

Микропалеонтологическое изучение отложений бореальной трансгрессии в разрезе Ущеменский Зимнего берега Белого моря

Я. С. Овсепян¹, Е. Е. Талденкова², Н. Е. Зарецкая^{1,3}, О. В. Руденко⁴, А. Ю. Степанова⁵

¹ Геологический институт РАН, Москва, yaovsepyan@yandex.ru

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Географический факультет

³ Институт географии РАН, Москва

⁴ Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева

⁵ Палеонтологический институт РАН, Москва

Аннотация. В нижней части разреза Ущеменский на Зимнем берегу Белого моря установлено наличие морских глинистых отложений бореальной трансгрессии микулинского возраста (поздний неоплейстоцен). Впервые в осадках морского генезиса в данном районе обнаружены раковины бентосных фораминифер, остракод и водные палиноморфы. На основе изучения состава ассоциаций сделаны выводы о палеогидрологических условиях – реконструированы обстановки ледовитого приглубого морского бассейна (> 50 м), с высокими скоростями осадконакопления и возможным проникновением североатлантических вод.

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, остракоды, водные палиноморфы, микулинский горизонт, поздний неоплейстоцен.

Micropaleontological study of the Boreal transgression sediment sequence from Ushchemenskii section on the Zimnii coast of the White Sea

Ya. S. Ovsepyan¹, E. E. Taldenkova², N. E. Zaretskaya^{1,3}, O. V. Rudenko⁴, A. Yu. Stepanova⁵

¹ Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, yaovsepyan@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow

⁴ Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

⁵ Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. The basal part of Ushchemenskii section from the Zimnii coast of the White Sea represents marine clayey sediments of the Boreal transgression of Mikulinian (Late Pleistocene) age. For the first time, benthic foraminifers, ostracods and aquatic palynomorphs are reported for this area. Data on microfauna and aquatic palynomorphs were used for paleoecological analysis to reconstruct a coastal marine basin with sea-ice cover, water depths of > 50 m, high sedimentation rates and possible inflow of warm water masses from the North Atlantic.

Keywords: Benthic foraminifera, ostracods, aquatic palynomorphs, Mikulinian Horizon, Late Pleistocene.

Введение

До недавнего времени отложения бореальной трансгрессии (микулинское межледниковье) на Беломорско-Кулойском плато были установлены только в скважинах (Брынов и др., 1981; Соболев, 2008). Полевые и пилотные аналитические исследования береговых разрезов Зимнего берега, включая абсолютное датирование методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ), показало присутствие морских бореальных отложений в основаниях этих разрезов (Зарецкая и др., 2023). В данной работе приведены результаты детального микропалеонтологического изучения разреза Ущеменский (западное побережье Беломорско-Кулойского плато) и краткая реконструкция обстановок морского палеобассейна бореального времени.

Материал

Образцы для микропалеонтологических исследований из разреза Ущеменский (65.21088° с. ш., 39.93870° в. д.) были отобраны научной группой Института географии РАН в ходе полевых работ 2020–2022 гг. В результате пилотного комплексного изучения отложений были впервые обнаружены раковины бентосных фораминифер (БФ), остракод и водные палиноморфы (ВП).

Мощность отложений, вскрытых разрезом, составляет 25 м, он делится на три части. Нижние 9 м разреза представлены алевроитистыми тёмно-серыми глинами с редкими включениями окатанного обломочного материала и раковинами двустворчатых моллюсков в кровле. Подошва этого слоя лежит ниже уровня моря. Выше без размыва залегает светло-серая песчаная толща мощностью 9 м с разнообразной слоистостью («знаки ряби» и «хребет селёдки»), из которой получены две ОСЛ даты – 138 ± 19 и 104 ± 9 тыс. лет назад (Зарецкая и др., 2023). Соответственно, возраст подстилающих слоёв примерно соответствует бореальной трансгрессии. Верхние 7 м разреза представлены отложениями ледникового парагенетического ряда последнего оледенения.

Микрофауна изучена во фракции > 125 мкм в образцах из нижней части разреза. В пыльцевых препаратах подсчитывались непыльцевые (водные) палиноморфы, представленные цистами динофлагеллат морского генезиса и колониальными пресноводными хлорофитовыми водорослями.

Микропалеонтологический анализ

Для разреза Ущеменский описано 18 видов БФ и 4 вида остракод. Значительное количество видов БФ относится к группе, предпочитающей удаленные от берега сравнительно глубоководные районы внешнего шельфа арктических морей (Polyak et al., 2002) – *Astrononion gallowayi*, *Cibicides lobatulus*, *Islandiella norcrossi*, *Melonis barleeanus*, их доля составляет 25–30 %. Редкие находки остракод также представлены видами, характерными для удаленных от берега районов среднего и внешнего шельфа арктических морей (Stepanova et al., 2007) – *Krithe glacialis*, *Rabilimis mirabilis*, *Sarsicytheridea punctillata*, *Normanicythere leioderma*. Вместе с тем, в обилии встречены виды БФ, характерные для опресненных районов внутреннего арктического шельфа (Polyak et al., 2002) – *Buccella frigida*, *Elphidium incertum*, *E. bartletti*, *Elphidiella groenlandica*, *Haynesina orbiculare* (21–26 %) и оппортунистический вид *Elphidium clavatum* (30–33 %).

Анализ водных палиноморф

В ассоциации ВП встречены 3 вида пресноводных колониальных зеленых водорослей (*Pediastrum kawraiskii*, *P. boryanum*, *Botryococcus braunii*) в процентной доле от 15 до чуть менее 40 % и 9 видов цист морских динофлагеллат, среди которых наиболее значительна доля цист автотрофного вида *Operculodinium centrocarpum* (цисты планктонного вида *Protoceratium reticulatum*) и, одновременно, криофильного *Islandinium minutum*. Кроме того, постоянно встречаются цисты отностительно тепловодных видов *Spiniferites* cf. *elongatus*, *S. ramosus* и *Nematosphaeropsis labyrinthus*.

Палеорекострукции

Для реконструкции палеогидрологических условий бассейна начальной фазы бореальной трансгрессии применен метод палеоэкологического анализа.

Состав комплекса БФ и остракод, а также присутствие криофильного *Islandinium minutum* позволяет реконструировать сезонно ледовитый морской бассейн с глубинами более 50 м (Зарецкая и др., 2023). Присутствие видов БФ, характерных для опресненных районов внутреннего арктического шельфа, и высокая доля пресноводных водорослей в составе ассоциации ВП позволяют предположить, что этот приглубый палеобассейн был расположен сравнительно недалеко от берега, и что водная толща была значительно стратифицирована за счет притока как талых, так и речных вод.

Вместе с тем, присутствие в ассоциации ВП автотрофных видов цист динофлагеллат можно рассматривать как свидетельство проникновения в палеобассейн более теплых северо-атлантических вод.

Выводы

Алевроитистые глины нижней части разреза Ущеменский накапливались на ранней стадии бореальной трансгрессии в ходе резкого подъема уровня моря после деградации московского ледника и снятия ледниковой нагрузки (стадия МИС 6). Похожие палеоусловия были реконструированы нами для отложений нижней половины разреза Бычье-2 на р. Пёзе, притоке р. Мезень (Руденко и др., 2023; Талденкова и др., 2023). Возможно, что уже на ранней стадии бореальной трансгрессии подповерхностные атлантические воды имели возможность проникать к району Зимнего берега.

Благодарности

Работа выполнена в рамках тем государственных заданий ГИН РАН, ИГ РАН и МГУ им. М. В. Ломоносова.

Литература

1. Брынов О. П., Мияскин С. В., Станковский А. Ф. Комплексы фораминифер верхнего неоплейстоцена Зимнего берега Белого моря // Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 1981. № 51. С. 139–142.
2. Зарецкая Н. Е., Талденкова Е. Е., Овсепян Я. С., Ручкин М. В., Баранов Д. В., Руденко О. В., Степанова А. Ю. Первые данные о палеогеографических обстановках и хронологии последнего межледникового на Зимнем берегу Белого моря // ДАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 152–158.
3. Руденко О. В., Талденкова Е. Е., Баух Х. А., Овсепян Я. С. Новые данные к палинostrатиграфии микулинских (земских) отложений в низовьях реки Пеза (северо-восток Беломорского региона) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 2. С. 206–227.
4. Соболев В. М. Состав, стратиграфия четвертичных отложений Горла Белого моря и основные черты его палеогеографии // Региональные палеогеографические реконструкции. М. Изд-во: МГУ. 2008. С. 144–156.
5. Талденкова Е. Е., Овсепян Я. С., Руденко О. В., Степанова А. Ю., Баух Х. А. Изменения природной среды в ходе развития бореальной трансгрессии на северо-востоке Белого моря на примере детального изучения разреза Бычьё-2 // Вестник Моск. ун-та. Серия: География. 2023. Т. 78. № 4. С. 51–65.
6. Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B. E., Lubinski D. A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced arctic marine environment // J. of Foraminiferal Res. 2002. V. 32. № 3. P. 252–273.
7. Stepanova A., Taldenkova E., Simstich J., Bauch H. A. Comparison study of the modern ostracod associations in the Kara and Laptev seas: Ecological aspects // Mar. Micropal. 2007. V. 63. P. 111–142.

О существовании неоплейстоценовых ледниково-подпрудных озёр в долине р. Вычегды

А. В. Панин, Н. Е. Зарецкая, Д. В. Баранов, А. О. Уткина

Институт географии РАН, Москва, a.v.panin@igras.ru

Аннотация. На основании литостратиграфических исследований разрезов и кернов скважин, датирования отложений методами ¹⁴C и ОСЛ показано, что в течение всего позднего плейстоцена в долине среднего и нижнего течения р. Вычегды происходило аллювиальное и эоловое осадконакопление, долина не была занята ни ледником, ни подпрудными озерами. Подпрудное озеро МИС 2 имело локальное распространение в долине Северной Двины. Реверсивный сток через Вычегодско-Камский водораздел мог происходить только в конце МИС 6, когда средняя и нижняя Вычегда перекрывались ледниковым щитом, а в пересекающей водораздел Кельтминской палеодолине существовало подпрудное озеро.

Ключевые слова: Скандинавские оледенения, приледниковые водоёмы, бассейн р. Северной Двины, литостратиграфические исследования, инструментальное датирование.

The Pleistocene ice-dammed lakes in the Vychegda River valley

A. V. Panin, N. E. Zaretskaya, D. V. Baranov, A. O. Utkina

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, a.v.panin@igras.ru

Abstract. Based on lithostratigraphic studies of sections and borehole cores, ¹⁴C and OSL dating, it is shown that alluvial and aeolian sedimentation took place in the middle and lower Vychegda valley throughout the Late Pleistocene, and the valley was not occupied by either glacier or proglacial lakes. The MIS 2 proglacial lake was locally distributed in the Northern Dvina valley. Reversal runoff through the Vychegda-Kama watershed could occur only at the end of MIS 6, when the middle and lower Vychegda was covered by ice sheet and a proglacial lake existed in the Keltma spillway crossing the watershed.

Keywords: Scandinavian glaciations, proglacial lakes, Severnaya Dvina River basin, lithostratigraphic studies, instrumental dating.

Бассейн реки Вычегды, правого крупнейшего притока р. Северной Двины (северо-восток Восточно-Европейской равнины), уже на протяжении почти 100 лет является объектом противоречивых палеогеографических реконструкций, касающихся границ средне- и позднеплейстоценовых оледенений, развития подпрудных приледниковых озёр и их реверсивного стока в бассейн р. Камы.

Уже в работе И. И. Краснова (1948), основанной на данных широкомасштабного бурения Камско-Вычегодского водораздела, была приведена реконструкция реверсивного стока Вычегды в среднем и позднем плейстоцене, и формирования озёр в Вычегодской и Верхне-Камской впадинах. Позднее эти реконструкции перерабатывались и дополнялись многочисленными исследователями без получения новых геологических данных. Так, для ранневалдайского времени (71–65 тыс. л. н.) реконструировалось Скандинавское оледенение с границей в среднем течении р. Северной Двины, которое подпрудивало северо-западный сток, и в долине р. Вычегды формировалось так называемое Беломорское озеро (Lysa et al., 2014). Для поздневалдайского времени, граница последнего Скандинавского оледенения «продвигалась» далеко на восток по долинам рек Северной Двины, Вычегды и Ваги. В результате предполагалось блокирование северо-западного стока, формирование подпрудных озёр и перелив их через порог стока (135 м абс.) через Кельтминский спиллвей в бассейн Камы (Квасов, 1975; Лавров, Потапенко, 2005; Lysa et al., 2014; Larsen et al., 2014; Назаров и др., 2015). Однако исследованиями последних лет эти концепции были опровергнуты (Panin et al., 2020; Zaretskaya et al., 2020; Zaretskaya et al., 2024). Так, было установлено, что ни долина р. Северной Двины, ни Белое море в ранневалдайское (МИС 4) время не перекрывались ледником (Zaretskaya et al., 2022), подпрудное озеро, соответственно, не формировалось, а в долине р. Вычегды господствовали аллювиальные обстановки осадконакопления (Zaretskaya et al., 2020). В резуль-

тате уточнения юго-восточной границы последнего оледенения и её сдвига к северо-западу, а также с помощью новых геологических и геохронометрических данных было установлено, что во время максимума последнего оледенения (МИС 2) подпрудное озеро имело локальное распространение в долине Северной Двины, не достигая устья Вычегды (Zaretskaya et al., 2024). Данные датирования отложений, слагающих и перекрывающих речные террасы, показали, что в долине средней и нижней Вычегды в течение всего позднего плейстоцена происходило аллювиальное и эоловое осадконакопление. Таким образом, в позднем плейстоцене реверсивный сток на юг через Вычегодско-Камский водораздел не осуществлялся.

Тем не менее, на космических снимках хорошо видны береговые линии существовавших когда-то приледниковых озёр, а также хорошо выраженные в рельефе «брошенные» широкие долины и озёрные котловины, что позволяет предполагать существование реверсивного стока во время более древних ледниковых периодов. Бурение, проведённое в Кельтминском спиллвее в 2017 г., и последующие аналитические и геохронометрические исследования полученного керна показали, что в период 160–140 тыс. л. н. Кельтминская палеодолина была занята озером (Panin et al., 2020). Его сток, по-видимому, осуществлялся в бассейн Камы и далее на юг и, возможно, являлся существенной составляющей раннехазарской трансгрессии Каспия. Палеогеографические исследования, проведённые нами в верховьях р. Вычегды в 2020 и 2022 гг., показали существование обширного приледникового водоёма, осадки которого представлены мощными ленточными глинами. Водоём формировался во время вычегодского (МИС 6) оледенения, которое блокировало сток Вычегды на северо-запад и вызывало реверсивный сток в бассейн Камы.

Таким образом, в течение всего позднего плейстоцена долина Вычегды была свободна как от ледников, так и от вод подпрудных озёр. В ней происходило аллювиальное и эоловое осадконакопление. Последний переток ледниково-подпрудных вод в бассейн Камы мог происходить не позднее конца предпоследней (МИС 6) ледниковой эпохи.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, проект номер 22-17-00259.

Литература

1. Квасов Д. Д. Позднечетвертичная история крупных озёр и внутренних морей Восточной Европы. Л. Изд-во: Наука, 1975. 278 с.
2. Краснов И. И. Четвертичные отложения и геоморфология Камско-Печорско-Вычегодского водораздела и прилегающих территорий // Материалы по геоморфологии Урала. 1948. Вып. 1. С. 47–88.
3. Лавров А. С., Потапенко Л. М. Неоплейстоцен Северо-востока Русской равнины. М. Изд-во: Аэрогеология, 2005. 348 с.
4. Назаров Н. Н., Чернов А. В., Копытов С. В. Перестройки речной сети Северного Предуралья в позднем плейстоцене и голоцене // Географический вестник. 2015. № 3. С. 26–34.
5. Larsen E., Fredin O., Jensen M., Kuznetsov D., Lyså A., Subetto D. Subglacial sediment, proglacial lake-level and topographic controls on ice extent and lobe geometries during the Last Glacial Maximum in NW Russia // Quaternary Science Reviews. 2014. V. 92. P. 369–387.
6. Lyså A., Larsen E., Buylaert J.-P., Fredin O., Jensen M., Kuznetsov D., Murray A. S., Subetto D. A., Van Welden A. Late Pleistocene stratigraphy and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychehga region in northwestern Russia // Boreas. 2014. V. 43. P. 1–12, DOI 10.1111/bor.12080.
7. Panin A. V., Astakhov V. I., Lotsari E. et al. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia // Earth Science Reviews. 2020. V. 201. P. 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103069>.
8. Zaretskaya N., Korsakova O., Molodkov A., Ruchkin M., Baranov D., Rybalko A., Lugovoy N., Merkuliev A. Early Middle Weichselian in the White Sea and adjacent areas: Chronology, stratigraphy and palaeoenvironments // Quaternary International. 2022. V. 632. P. 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.05.007>.
9. Zaretskaya N. E., Panin A. V., Molod'kov A. N. et al. Pleistocene stratigraphy of the Vychehga River basin // European North-East. Quaternary International. 2020. V. 546. P. 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.09.020>.
10. Zaretskaya N. E., Utkina A. O., Baranov D. V., Panin A. V., Trofimova S. S., Simakova A. N., Kurbanov R. N. Limited extension of the MIS 2 proglacial lake in the Severnaya Dvina valley, south-eastern margin of the last Scandinavian Ice Sheet // Journal of Quaternary Science. 2024. V. 39 (1). P. 82–101. DOI:10.1002/jqs.3570.

Соотношение водно-ледниковых и морских образований на южном побережье Кольского полуострова: новые данные

Т. Ю. Репкина^{1,2}, П. А. Леонтьев³, Ю. А. Кублицкий³, А. В. Орлов^{2,3}, А. П. Яковлева¹,
О. С. Шилова⁴, Н. Н. Луговой^{1,4}, В. А. Василюк³, А. В. Пронина³, А. Г. Сердюков³

¹ Институт географии РАН, Москва, *t-repkina@yandex.ru*, *iakovleva-ap@yandex.ru*,
gurinov.artem@gmail.com

² ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, *t-repkina@yandex.ru*, *95orlov@rambler.ru*.

³ РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, *barograph@yandex.ru*, *uriy_87@mail.ru*.

⁴ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Географический факультет,
o.olyunina@mail.ru, *lugovoy-n@yandex.ru*.

Аннотация. На южном берегу Кольского полуострова геоморфологическими, георадиолокационными и палеолимнологическими методами изучено соотношение водно-ледниковых и морских образований в устьях рек Оленицы, Варзуги и Индеры. Установлено, что ниже «верхней морской границы», пески камов и флювиогляциальных дельт полностью или частично переотложены в береговой зоне. Контакт между водно-ледниковыми и морскими отложениями зафиксирован в устье р. Оленицы на высоте ~ 38–40 м, на правом берегу р. Варзуги – ~ 45 м, а между устьями рек Варзуга и Индера – ~ 24–29 м н. у. м. Предварительные данные палеолимнологических исследований и датирования донных отложений озер Белого (урез 18.2 м н. у. м.), Черного (24.6 м н. у. м.), Гагарьего (24.6 м н. у. м.) и «Восьмерка» (26.2 м н. у. м.), позволяют предположить, что до ~ 11.4–11.1 тыс. кал. л. н. между устьями рек Варзуги и Индеры сохранялся массив мертвого льда. Он препятствовал проникновению вод позднеледниковой трансгрессии в котловины озер и ограничивал возможность воздействия береговых процессов на отложения ледникового комплекса.

Ключевые слова: водно-ледниковые формы и отложения, береговые и эоловые процессы, относительный уровень моря, позднеледниковье, голоцен, Кандалакшский и Терский берег, Белое море.

The relationship between glacifluvial and marine formations on the southern coast of the Kola Peninsula: new data

T. Yu. Repkina^{1,2}, P. A. Leontiev³, Yu. A. Kublitskiy³, A. V. Orlov^{2,3}, A. P. Yakovleva¹, O. S. Shilova⁴,
N. N. Lugovoy^{1,4}, V. A. Vasilyuk³, A. V. Pronina³, A. G. Serdyukov³

¹ Institute of Geography RAS, Moscow, *t-repkina@yandex.ru*, *iakovleva-ap@yandex.ru*,
gurinov.artem@gmail.com

² VNIIOkeangeologiya, Saint Petersburg, *t-repkina@yandex.ru*, *95orlov@rambler.ru*.

³ Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, *barograph@yandex.ru*, *uriy_87@mail.ru*.

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, *o.olyunina@mail.ru*, *lugovoy-n@yandex.ru*

Abstract. On the southern coast of the Kola Peninsula, the relationship between meltwater and marine formations at the mouths of the Olenitsa, Varzuga and Indera rivers was studied using geomorphological, ground penetrating radar and paleolimnological methods. It has been established that below the «upper marine boundary», the sands of kamas and fluvio-glacial deltas are completely or partially redeposited in the coastal zone. The contact between glacifluvial and marine sediments was recorded: at the mouth of the Olenitsa River at ~ 40 m, on the right bank of the Varzuga River – 45 m, and between the mouths of the Varzuga and Indera rivers – 24–29 m a. s. l. Preliminary data from paleolimnological studies and ¹⁴C dating of bottom sediments of lakes Beloye (18.2 m a. s. l.), Chernoye (24.6 m a. s. l.), Gagarye (24.6 m a. s. l.) and «Eight» (26.2 m a. s. l.), suggest that the dead ice massif was persisted up to 11.4–11.1 cal. ka BP between the mouths of the Varzuga and Indera rivers. It prevented the penetration of Late-Glacial transgression waters into the lake basins and limited the possibility of the impact of coastal processes on glacial formations.

Keywords: glacifluvial landforms and deposits, coastal and aeolian processes, relative sea level, Late Glacial, Holocene, Kandalakshsky and Tersky Coast, White Sea.

Введение

На южном берегу Кольского полуострова описаны разнообразные по морфологии формы водно-ледниковой аккумуляции – озы, камы и флювиогляциальные дельты (Стрелков и др., 1976; Эйхгорн и др., 1976; Евзеров, Николаева, 2000; Hattestrand et al., 2007; Boyes et al., 2021; Корсакова, 2022). Их возникновение связывают с деградацией Беломорского потока Скандинавского ледникового покрова (Носова, Вашков, 2021). Ниже верхней морской границы формы водно-ледникового рельефа изменены береговыми процессами, а слагающие их пески были важным источником питания береговой зоны (Репкина и др., 2024). Новые данные о строении рельефа и отложений водно-ледниковых образований, подвергшихся воздействию береговых и эоловых процессов, позволяют дополнить информацию о событиях, происходивших на рубеже поздне- и послеледниковья – наименее изученного периода в истории беломорского региона. Цель исследования – сбор новых фактических данных для реконструкции истории развития южного берега Кольского полуострова на ключевых этапах последнего гляциоседиментационного цикла.

Материалы и методы

Полевые исследования были проведены в 2023–2024 гг. на двух участках южного берега Кольского полуострова – в районе устья реки Оленицы и от устья р. Варзуги до устья р. Индере (рис. 1). Работы включали геоморфологическое и георадиолокационное (георадар ОКО-3, антенны 50 и 250 МГц) профилирование, аэрофотосъемку беспилотным летательным аппаратом DJI Mini-2, ГНСС-съемку в режиме RTK (геодезический приемник PrinCe i50, комплект база и ровер), литостратиграфическое изучение разрезов отложений, в том числе донных отложений озер на периферии водно-ледниковых форм, и отбор образцов на диатомовый анализ, ^{14}C и ОСЛ-датирование. Так-

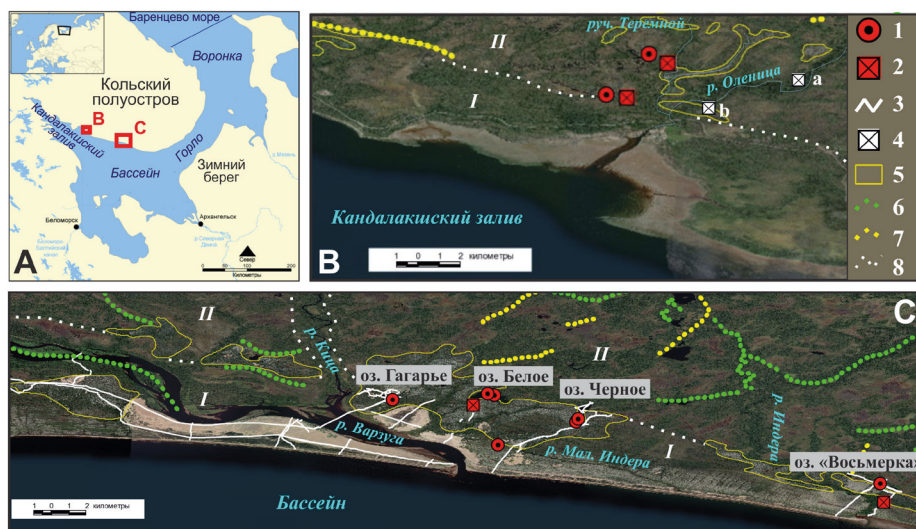


Рис. 1. Положение участков исследования (А) и фактический материал (Б, В).

(В, С): данная работа: 1 – скважины ручного бурения; 2 – разрезы; 3 – георадиолокационные профили; литературные данные; 4 – положение разрезов в долине р. Оленицы (а – Кошечкин и др., 1963, b – Зарецкая и др., 2023); 5–7 – водно-ледниковые отложения и формы рельефа по (Boyes et al., 2021): 5 – ареалы распространения водно-ледниковых отложений, 6 – каналы стока ледниковых вод, 7 – озы; 8 – граница типов рельефа (I – морские и аллювиально-морские террасы, II – ледниковые равнины). Географическая основа (В, С) – изображения Яндекс-Спутник.

Fig.1. Location of the study areas (A) and factual material (B, C).

(B, C): this study: 1 – sediment cores; 2 – sections; 3 – ground penetrating radar profiles; literature data; 4 – position of sections in the Olenitsa River valley (a – Koshechkin et al., 1963, b – Zaretskaya et al., 2023); 5–7 – meltwater landforms according to (Boyes et al., 2021): 5 – glaciofluvial deposits, 6 – meltwater channels; 7 – eskers; 8 – border of relief types (I – marine and alluvial-marine terraces, II – glacial plains). Geographic background (B, C) – Yandex-Sputnik images.

же выполнено геоморфологическое дешифрирование космических и аэрофотоснимков, топографических карт и цифровых моделей рельефа. К настоящему времени в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ получены первые ^{14}C даты, а в НИЛ ГЭС Географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова – предварительные результаты диатомового анализа.

Результаты и обсуждение

На побережье выделены два типа рельефа. Вдоль современного берега моря и в долинах рек развиты террасы с характерными формами берегового, эолового и аллювиального рельефа (*I* на рис. 1). На расположенных выше заболоченных равнинах (*II* на рис. 1) следы воздействия прибрежно-морских процессов на ледниковый и водно-ледниковый рельеф единичны и, как правило, не очевидны. Более достоверно признаки переработки рельефа и отложений ледникового комплекса в прибрежно-морских условиях прослежены на георадиолокационных профилях и в разрезах.

На левобережье р. Оленицы, в ~ 3.5 км к ССВ от ее устья, изучена дистальная часть вытянутой и наклоненной с СВ (~ 60 м н. у. м.) на ЮЗ (~ 30 м н. у. м.) «гантелевидной» аккумулятивной формы протяженностью ~ 3.2 км при ширине 0.3–1.6 км, идентифицированной (Boyes et al., 2021), как ареал распространения водно-ледниковых отложений. Она расположена в пределах заболоченной грядово-холмистой ледниковой равнины и представляет собой серию субпараллельных пологосклонных слабо перевесных песчаных гряд относительной высотой 0.5–1.5 м, наложенных на днище и борта канала стока. Судя по положению в рельефе и морфологии, гряды образовались в результате вытаивания отложений внутриледникового водоема. На высотах до ~ 40 м на поверхности гряд развиты плоские ступени. В разрезе на бровке канала стока (34 м н. у. м.) и на радарограммах в осадках, слагающих аккумулятивную форму, выделены три слоя. По составу и залеганию верхний из них (тонко- и мелкозернистые слабо пылеватые пески) отнесен к эоловым, а средний (разнозернистые наклонно-слоистые пески с гравием и галькой) – к морским осадкам. Тонкослоистые, почти горизонтально залегающие плотные тонкозернистые пески с редкими обломками, вскрытые в основании разреза (28–32 м н. у. м.), по-видимому, можно считать водно-ледниковыми. Однако отсутствие в изученных образцах отложений кремниевых микрофоссилий не позволяет однозначно определить условия их накопления. В разрезах террас р. Оленицы (27–28 м н. у. м.) осадки, похожие по составу и стратиграфическому положению, отнесены к морским раннеголоценовым (Кошечкин и др., 2023; Зарецкая и др., 2023), что подтверждено данными диатомового и палинологического анализов (Кошечкин и др., 2023). Можно предположить, что дегляциация совпала здесь по времени с позднеледниковой трансгрессией, датированной в регионе интервалом 13.5–11.8 тыс. кал. л. н. (Корсакова, 2022), и тонкослоистые осадки накапливались вблизи края ледника, подтопленного морем.

Формы прибрежно-морского рельефа прослежены нами на левом борту р. Оленицы до высоты 28–30 м н. у. м. В прибрежно-морских горизонтально-слоистых песках наиболее высокой береговой линии обнаружен смешанный комплекс диатомей. Береговая линия оказалась выше уровня моря не позже ~ 5.4–5.1 тыс. кал. л. н.

На бортах и днище долины р. Варзуги, приуроченной к Нижневарзугской тектонической депрессии (Репкина и др., 2024), водно-ледниковые образования представлены камнями и каменными террасами (Эйхгорн и др., 1976; Hattestrand et al., 2007) или же возвышенностями, сложенными флювио- и лимногляциальными отложениями (Корсакова, 2022). История их преобразования береговыми и эоловыми процессами была реконструирована ранее по данным геоморфологических исследований и анализа разрезов (Репкина и др., 2024). Новые данные позволили уточнить полученные ранее выводы.

На западном, высоком борту депрессии (25–50 м н. у. м.), по данным предварительной интерпретации радарограмм морские отложения прослежены до высоты ~ 45 м н. у. м. и выклиниваются вблизи вершин моренных холмов. Учитывая геолого-геоморфологические данные (Кошечкин и др., 1973; Корсакова, 2022; Репкина и др., 2024 и др.), мы соотносим тонкий чехол морских песков

на высотах 25–45 м н. у. м. с позднеледниковой трансгрессией. Морские осадки залегают непосредственно на морене или озерно-ледниковых отложениях, образующих линзы.

На днище депрессии (ниже 25 м н. у. м.), в пределах так называемой «приустьевой косы» р. Варзуги, водно-ледниковые отложения, облекают неровную кровлю морены и распространены практически повсеместно. Их мощность, как правило, больше, чем на водоразделе. Наклонно-слоистые прибрежно-морские пески с обломочным материалом залегают на водно-ледниковых, реже на ледниковых, отложениях с эрозионным контактом. Их кровля прослежена под эоловыми песками и отложениями болот до ~ 20 м н. у. м., что подтверждает полученные ранее выводы о верхней границе голоценовой трансгрессии, максимум которой датирован здесь интервалом ~ 7.8–7.6 тыс. к. л. н. (Репкина и др., 2024). Результаты интерпретации радарограмм хорошо согласуются с данными бурения (Зарецкая и др., 2023). Неожданным оказался тот факт, что холмы, по конфигурации отнесенные к камам (Эйхгорн и др., 1976; Репкина и др., 2024) или полям распространения водно-ледниковых отложений (Boyes et al., 2021), сложены в основном эоловыми песками, а мощность морских и водно-ледниковых осадков в их основании сокращена.

На восточном борту депрессии (10–45 м н. у. м.) расположены группы положительных форм рельефа с песчаными перевеянными поверхностями, генезис которых интерпретирован как водно-ледниковый (Hattestrand et al., 2007; Boyes et al., 2021; Корсакова, 2022; Репкина и др., 2024). На левом берегу р. Варзуги это изометричные или слабо удлинённые холмы относительной высотой до 12 м, разделенные каналами стока (площадь ареала ~ 30 км²), а в низовьях р. Индеры – слабо выпуклые ступени протяженностью вдоль берега ~ 7 км при ширине ~ 1 км. Результаты наших исследований показали, что холмы приурочены к выступам кровли морены или коренных пород, а мощность облекающих их водно-ледниковых отложений (разнозернистые, реже мелкозернистые, пески с алевроитом и обломками средней и плохой окатанности) не превышает первых метров. На высотах до ~ 24–25 м, а иногда – до 28–29 м н. у. м., на водно-ледниковых отложениях или непосредственно на моренном или коренном цоколе залегают наклонно-слоистые, хорошо отмытые морские пески. До тех же высот прослежены древние береговые линии (Яковлева, 2024).

В донных отложениях озёр, расположенных на периферии водно-ледниковых форм на левобережье р. Варзуги, – Белого (урез 18.2 м н. у. м.), Черного (урез 24.6 м н. у. м.) и Гагарьего (24.6 м н. у. м.), вскрыта похожая последовательность осадков. Под слоем гиттии залегает торф, перекрывающий разнозернистые пески. Из подошвы торфа (оз. Белое) получена дата 11.4–11.1 тыс. кал. л. н. То есть, котловины озёр не были затоплены во время позднеледниковой трансгрессии. Котловина озера «Восьмерка» (26.2 м н. у. м.) с бережной стороны окаймлена террасой (25–28 м н. у. м.), в разрезе чехла которой под морскими песками сохранились линзы водно-ледниковых отложений. Литологический состав донных отложений озера (гиттия – алевроит) позволяет предположить, что в котловину озера поступали морские воды. Вероятно, на левобережье р. Варзуги распространение вод позднеледниковой трансгрессии блокировал массив мертвого льда.

Верхняя граница голоценовой трансгрессии прослеживается между устьями рек Варзуга и Индера на высотах ~ 15–17 м н. у. м. В районе р. Индеры она приурочена к тыловому шву протяженного абразионного уступа, осушенному не позже ~ 3.4–3.3 тыс. кал. л. н.

Выводы

Верхняя граница позднеледниковой трансгрессии зафиксирована в устье р. Оленицы на высоте не ниже ~ 38–40 м, на правом берегу р. Варзуги – ~ 45 м, между устьями рек Варзуга и Индера – ~ 24–29 м н. у. м., а голоценовой трансгрессии – 28–30 м, ~ 20 м и 15–17 м н. у. м.

Ниже верхней границы позднеледниковой трансгрессии, аккумулятивные формы, генезис которых на основании конфигурации в плане и песчаного состава поверхностных отложений, интерпретирован как водно-ледниковый, полностью или в значительной мере сложены прибрежно-морскими и эоловыми песками. Сохранение морфологического подобия может быть связано с незначительным латеральным перемещением наносов.

Различия в положении верхней морской границы (24–29 м н. у. м.) и литологический состав разрезов донных отложений четырех озёр (урезы 18.2 – 26.2 м н. у. м.) на периферии водно-ледниковых образований, позволяют предположить, что до 11.4–11.1 тыс. кал. л. н. между устьями рек Варзуги и Индеры сохранялся массив мертвого льда, который контролировал положение береговой линии.

Благодарность

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-17-00081, палеолимнологические исследования частично соответствуют теме ГЗ РГПУ им. А. И. Герцена № 2023-2025 VRFY-2023-0010.

Литература

1. Евзеров В. Я., Николаева С. Б. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.
2. Зарецкая Н. Е., Баранов Д. В., Писцова М. А., Мишурицкий Д. В., Качалов А. Ю., Мицкевич В. И., Рыбалко А. Е. Геология на службе палеогеографии: реконструкция перехода от позднего неоплейстоцена к голоцену на южном берегу Кольского полуострова // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Вып. 10. С. 93–99. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-93-99>.
3. Корсакова О. П. Побережье Белого моря в пределах Фенноскандинавского кристаллического щита в неоплейстоцене и голоцене // Известия РАН. Серия: Географическая. 2022. Т. 86. № 6. С. 883–897. <https://doi.org/10.31857/S258755662206005X>.
4. Носова О. Ю., Вашков А. А. Петрографический состав крупнообломочной фракции тиллов западного сегмента ледникового аккумулятивного комплекса Терских Кейв (юг Кольского полуострова) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 86. С. 11–22. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_86_11-22.
5. Репкина Т. Ю., Зарецкая Н. Е., Шварев С. В. и др. Морфодинамика и морфотектоника района устья р. Варзуги (Терский берег Белого моря) в позднеледниковье и голоцене // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55. № 1. С. 91–127. <https://doi.org/10.31857/S2949178924010079>. <https://elibrary.ru/imakhf>.
6. Стрелков С. А., Евзеров В. Я., Кошечкин Б. И. и др. История формирования рельефа и рыхлых отложений Северо-Восточной части Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука, 1976. 164 с.
7. Эйхгорн Г. Л., Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А. Опыт-производственные морские геологические съемочные работы в среднем и крупном масштабах с целью разработки критериев оценки перспектив дна прибрежных акваторий на подводные россыпи (Прибрежный шельф Кольского п-ова). 1976. Л. Изд-во: ВСЕГЕИ. 464 с.
8. Яковлева А. П. Рельеф приморских террас левобережья р. Варзуги (Терский берег Белого моря): последовательность развития и освоения человеком в голоцене // Астраханский вестник экологического образования. 2024. № 1 (79). С. 4–17.
9. Boyes B. M., Pearce D. M., Linch L. D. Glacial geomorphology of the Kola Peninsula and Russian Lapland. Journal of Maps. 2021. V. 17. No 2. P. 497–515. <https://doi.org/10.1080/17445647.2021.1970036>.
10. Hattestrand C., Kolka V. V., Stroeve A. P. The Keiva ice marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: A key component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian Ice Sheet. Boreas. 2007. V. 36. No 4. P. 352–370. <https://doi.org/10.1080/03009480701317488>.

Некоторые итоги совместного изучения четвертичных отложений побережья и дна Белого моря для восстановления палеогеографических событий его развития на рубеже позднего неоплейстоцена – голоцена

А. Е. Рыбалко^{1,2,3}, Н. Е. Зарецкая^{2,4}, О. П. Корсакова^{2,5}, Т. Ю. Репкина^{2,4}, А. А. Вашков^{2,5},
П. Ю. Беляев², Д. В. Баранов^{2,4}, А. В. Орлов², Д. А. Субетто^{2,6}, Я. Е. Терехина^{2,7}

¹ Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, st004121@spbu.ru

² ВНИИОкеангеология им. акад. И. С. Грамберга, Санкт-Петербург, alek-rybalko@yandex.ru

³ ООО «Морской центр», Москва, alek-rybalko@yandex.ru

⁴ Институт географии РАН, Москва, n_zaretskaya@inbox.ru, t-repkina@yandex.ru

⁵ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, o.korsakova@ksc.ru

⁶ РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, subetto@mail.ru

⁷ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, yana.msu@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена уточнению истории развития Белого моря в позднем неоплейстоцене-голоцене при совмещении в одном проекте сухопутных и морских исследований. Работы проводились в Кандалакшском заливе Белого моря, на территории островов и акватории Соловецкого архипелага и на южном побережье Кольского полуострова. Были получены новые сейсмостратиграфические материалы по четвертичным отложениям зоны перехода из глубоководной части Кандалакшского залива в его узкую мелководную часть. Составлены совмещенные (суша-море) геоморфологическая схема и карта динамики последнего оледенения для Соловецких островов, на основе изучения нескольких ключевых участков создана палеогеографическая схема эволюции от ледниково-озерных к ледниково-морским-глубоководным морским и мелководным морским и прибрежным эоловым отложениям. Для четвертичных отложений на юге Кольского полуострова проведено бурение скважин, в том числе и до кристаллического цоколя.

Ключевые слова: сейсмоакустические и георадиолокационные исследования, бурение, современные геодинамические процессы, стратиграфия, литология, донные осадки, палиностратиграфия, оледенение, Белое море.

Some results of the joint study of Quaternary sediments on the White Sea coast and ground to reconstruct paleogeographic events of its development in the Late Neopleistocene - Holocene boundary

А. Е. Rybalko^{1,2,3}, N. E. Zaretskaya^{2,4}, O. P. Korsakova^{2,5}, T. Yu. Repkina^{2,4}, A. A. Vashkov^{2,5}, P. Yu. Belyaev², D. V. Baranov^{2,4}, A. V. Orlov², D. A. Subetto^{2,6}, Ya. E. Terekhina^{2,7}

¹ Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, st004121@spbu.ru.

² Acad. I. S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean, St. Petersburg, Russia, alek-rybalko@yandex.ru.

³ OJSC «Marine Center», Moscow, Russia, alek-rybalko@yandex.ru.

⁴ Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia, n_zaretskaya@inbox.ru, t-repkina@yandex.ru

⁵ Geological Institute of the Kola Science Center RAS, Apatity, Russia, o.korsakova@ksc.ru

⁶ Russian State Pedagogical University, St. Petersburg, subetto@mail.ru

⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, yana.msu@gmail.com

Abstract. The work is devoted to clarifying the history of the development of the White Sea in the Late Neopleistocene-Holocene by combining land and sea research in one project. The work was carried out in the Kandalaksha Bay of the White Sea, on the Solovetsky Archipelago and adjacent water area, and on the southern coast of the Kola Peninsula. New seismic-stratigraphic data were obtained on Quaternary deposits of the transition zone from the deep-water part of Kandalaksha Bay to its narrow shallow part. A combined (land-sea) geomorphological scheme and map of the last glaciation for the Solovetsky Islands were compiled; based on the study of several key areas, a paleogeographic scheme of evolution from glacial-lacustrine to glacial-marine-deep-sea and shallow marine and coastal aeolian deposits was created. For Quaternary deposits in the south of the Kola Peninsula, wells were drilled, including up to the crystalline basement.

Keywords: seismoacoustic studies, drilling, recent geodynamic processes, stratigraphy, lithology, bottom sediments, palinostratigraphy, glaciation.

Вопрос формирования Белого моря, берега которого находятся внутри Российского государства, издавна занимал умы исследователей. С самого начала повелось, что эти вопросы решались как в ходе береговых работ (изучения морских террас, датирование в озерах зон смены морского режима континентальным и т. д.), так и в морских экспедициях, где изучались колонки донных отложений, по сейсмограммам составлялись разрезы и пр. В 1947 г. появилась работа М. А. Лавровой с первой схемой образования Белого моря, которая была сопоставлена с этапами тогда уже хорошо изученного развития Балтийского моря (Лаврова, 1947). Несколько позже появилась статья И. К. Авилова (Авилов, 1956), в которой на основании обобщения результатов предвоенных и послевоенных морских геологических исследований было приведено первое литостратиграфическое описание четвертичных отложений Белого моря и дана характеристика этапов развития беломорского бассейна в позднечетвертичное время. Подробное описание истории изучения четвертичных отложений Белого моря было приведено нами ранее (Рыбалко и др., 2022).

Одной из основных задач проекта РНФ № 22-17-00081 являлась попытка совместить эти исследования в рамках единого цикла проведения полевых и камеральных работ и, используя материалы предшествующих исследователей, в том числе и собственные, представить обновленный сценарий палеогеографических событий в Белом море в конце позднего неоплейстоцена-голоцена, в период смены приледникового бассейна морским, т.е. перехода позднеледниковья в послеледниковье. Этот вопрос, наряду со временем формирования первых водных бассейнов в беломорской котловине является ключевым для понимания эволюции внутренних морских бассейнов по периферии крупнейших ледниковых щитов Северного полушария Земли в целом и палеогеографии Северо-Запада России в частности.

Полевые работы были сосредоточены на нескольких ключевых участках: в Кандалакшском заливе, в районе Соловецких островов, на Кандалакшском и Терском берегах, где наряду с большим объемом ранее проведенных работ не все вопросы палеогеографии беломорского бассейна на последних этапах существования Скандинавского ледника и развития водных бассейнов в беломорской котловине по мере его таяния, получили однозначную интерпретацию. В методы исследований, наряду с традиционными геологическими методами, были включены новейшие технологии сейсмоакустического профилирования, томография кернов (на море), георадарные исследования, колонковое бурение (на суше). Отобранные керны и разрезы были изучены биостратиграфическими методами и датированы радиоуглеродным и ОСЛ методами. Ниже кратко представлены основные новые данные, полученные в ходе выполнения проекта.

В море были выполнены сейсмоакустические работы в зоне перехода от глубоководной части Кандалакшского залива (верхнее протерозойский рифт) к его западной мелководной части. Наряду с сейсмоакустическими исследованиями был проведен геологический прободоотбор в этом районе, а также (для сравнения) в мелководной Нильме губе (пролив Великая Салма).

Принципиальным для палеогеографических исследований в рамках позднего неоплейстоцена – голоцена остается район Соловецкого архипелага. Являясь по существу барьером между наиболее южным Онежским заливом и открытым Бассейном Белого моря, он способствовал формированию с южной стороны этих островов своеобразного теплового «оазиса», где температура воды в атлантическое время голоцена превышала современную на 2–3 ° и где, начиная с бореального времени, был зафиксирован расцвет малакофауны (Невесский и др., 1976; Рыбалко и др., 2017). Для этого района есть большое количество публикаций по результатам литостратиграфических исследований (Невесский и др., 1976; Мануйлов и др., 1981; Полякова и др., 2014), но не было данных сейсмических наблюдений. Экспедиция в 2023 г. ликвидировала этот пробел, а в рамках проведенного геологического прободоотбора уже удалось получить результаты томографии и АМС-датирования. Чрезвычайно интересными оказались результаты рентгеновского просвечивания кернов, которые подтвердили наличие скоплений ракуши в донных осадках, причем эти скопления имеют гнездообразный характер, что предполагает наличие нескольких трансгрессивно-регрессивных событий в этом районе. Их датировка поможет пролить свет на возраст смены приледникового бассейна ледниково-

морским, а лито- и биостратиграфическое изучение – на характер смены седиментационных условий в это время.

Соловецкий архипелаг был ареной действия нескольких ледниковых языков в валдайское время. Однако в силу известной истории архипелага и относительной его труднодоступности, здесь практически отсутствует систематическое описание четвертичного покрова и особенностей формирования рельефа. Учитывая это, в течение 2022–2024 гг. было организовано три экспедиции на архипелаг. В состав работ входили: геолого-геоморфологические маршруты, прохождение шурфов и других легких горных выработок, бурение озер и болот торфяным буром, а также георадарное профилирование.

Данные геоморфологических исследований на о. Б. Соловецкий и о. Б. Муксалма позволили выделить несколько категорий рельефа: ледниковый грядовый рельеф (выше 50 м н. у. м.), ледниковый и флювиогляциальный холмистый и грядово-холмистый (23–50 м н. у. м.), ледниковый и флювиогляциальный, переработанный прибрежно-морскими процессами (менее 23–25 м н. у. м.). Положительные формы ледникового и флювиогляциального происхождения были прослежены до береговой линии острова, что позволило выполнить пространственную корреляцию ледниковых образований суши и шельфа и составить схему развития осташковского ледника на островах. Именно ледниковая краевая гряда, маркирующая край осцилляции ледника в восточной части Анзерского плеса, и создала условия для формирования Анзерской лагуны.

Впервые при изучении четвертичных отложений на Соловецком архипелаге было использовано георадиолокационное профилирование. На радораграммах по характеру волновой картины в разной мере отчетливо выделяются морские, озерно-болотные, флювиогляциальные и ледниковые отложения, которые имеют характерные текстурные признаки. По результатам литологического описания кернов из озер Рыбка и Моренного (пороги стока – 24 м н. у. м и 25.7 м н. у. м.) и полученным первым радиоуглеродным датам, а также сравнению наших данных и материалов предшественников (Никишин, 1985; Субетто и др., 2012; и др.) можно предположить, что верхняя граница позднеледниковой трансгрессии проходила между этими озерами. Была проведена реконструкция направления давления ледника с использованием цифровой модели рельефа, данных по геологическому строению и морфологии ледникового рельефа, а также выделена наиболее вероятная позиция края ледника в максимум рецессивной невской фазы и во время осцилляторных подвижек. Полученные результаты показали, что ледниковые образования на о. Бол. Соловецкий распространены гораздо шире, чем это было представлено ранее на Государственной геологической карте Российской Федерации. В составе ледникового комплекса преобладают морены. Ледниково-флювиальные и ледниково-озерные отложения имеют значительно меньшее распространение.

На южном побережье Кольского полуострова были обследованы несколько разрезов, а в приустьевой части р. Варзуги было выполнено механическое бурение (глубина скважин до 25 м). Получен полный разрез четвертичных отложений в этом районе, что позволит после обработки керна восстановить условия формирования здесь рыхлого покрова. Были получены новые материалы по истории развития котловины оз. Колвицкое и долины р. Колвица. Через долину был сделан поперечный буровой профиль. Опираясь на полученные данные, можно сделать предварительные выводы о последовательной смене осадков во время последнего гляциоседиментационного цикла: ледниково-морские – ледниковые – озёрно-ледниковые – ледниково-морские, морские относительно глубоководные – морские прибрежные – эоловые. Выявлена последовательность формирования ледниковых образований в Колвицкой депрессии при фронтально-ареальной дегляциации в среднем дриасе-аллереде, когда образовалась ребристая морена и наращивались радиальные озы, а также при задержанной дегляциации в позднем дриасе и раннем голоцене, когда формировались водноледниковые образования, отчленились пресноводные бассейны в депрессиях малых озер и оз. Колвицкого (Корсакова и др., 2022).

Работы, проведенные в пределах Ондомозерских Кейв на Терском берегу в 2023 г., показали, что в их строении участвуют в основном флювиогляциальные отложения, местами перекрытые мо-

ренной. Обобщение всех геологических данных, полученных в этой труднодоступной части побережья, позволят провести палеогеографические реконструкции позднеледникового и голоцена, скорректировать палеогляциологические представления об этом районе.

Таким образом, проведенные в рамках гранта наблюдения позволили, существенно уточнить имеющиеся ранее представления, впервые сопоставить в 2-х районах морские и «наземные» данные о строении четвертичного покрова и выявить последовательность палеогеографических событий, а именно: смену ледникового седиментогенеза бассейновым приледниковым (ледниково-озерные отложения) с замещением его по мере проникновения морских вод через Горло Белого моря ледниково-морским и морским в позднем неоплейстоцене-раннем голоцене, постепенное развитие морских в пределах котловины и эоловых на берегу фациальных обстановок в среднем и позднем голоцене.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность ООО «Сплит, Москва» за проведение геофизических работ, коллективу ББС МГУ и персонально экипажу НИС «Профессор Зенкевич», а также администрации Соловецкого музея-заповедника, при поддержке которого были выполнены работы на островах Соловецкого архипелага.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №22-17-00081.

Литература

1. Авилов И. К. Мощность современных осадков и послеледниковая история Белого моря // Тр. Гос. океаногр. ин-та. 1956. Вып. 3. С. 45–47.
2. Корсакова О. П., Вашков А. А., Зарецкая Н. Е., Толстобров Д. С., Луговой Н. Н., Баранов Д. В., Старицын В. А., Дёмина Н. В., Суворова А. Н., Косинова Е. С., Писцова М. А. Позднеледниковые образования в долинах рек Колвица и Тикша (юго-запад Кольского полуострова) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Вып. 9. Санкт-Петербург, 2022. С. 133–139. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2022-9-133-139>.
3. Лаврова М. А. Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова // Изв. Всесоюз. географ. общ-ва. 1947. Т. 79. Вып. 1. С. 21–38.
4. Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е., Спиридонов М. А., Джиноридзе Р. Н., Калугина А. В., Кириенко Е. А., Спиридонова Е. А. Стратотип позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Соловецкого шельфа Белого моря // Палинология плейстоцена и голоцена. 1981. С. 116–134.
5. Невесский Е. Н., Медведев В. С., Калинин В. В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. 1976. М. 240 с.
6. Никишин Н. А. Особенности развития Соловецких островов в голоцене // Вестник Московского ун-та, 1984. Серия: География. № 5. С. 55–57.
7. Полякова Е. И., Новичкова Е. А., Лисицын А. П., Баух Х. А., Рыбалко А. Е. Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря // ДАН. 2014. Т. 454. № 4. С. 467–473. <https://doi.org/10.7868/S0869565214040203>.
8. Рыбалко А. Е., Журавлев В. А., Семенова Л. Р., Токарев М. Ю. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного Беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене-голоцене // Система Белого моря. 2017. Т. IV. С. 84–127.
9. Рыбалко А. Е., Репкина Т. Ю., Старовойтов А. В., Зарецкая Н. Е., Корсакова О. П., Субетто Д. А., Токарев М. Ю., Беляев П. Ю. Основные этапы изучения геологии четвертичных отложений Белого моря и дискуссионные проблемы его палеогеографии в позднем неоплейстоцене-голоцене // Известия РАН. Серия: География. 2022. Т. 86. № 6. С. 848–869. <https://doi.org/10.31857/S2587556622060152>.
10. Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., Ван Беек П., Суо М., Субетто Г. Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190. <https://doi.org/10.1134/S1028334X12090140>.

Биостратиграфия верхнеплейстоценовых и голоценовых отложений Кандалакшского залива Белого моря

Л. А. Савельева¹, А. Е. Рыбалко^{1,2}, Е. С. Томилова¹, З. В. Пушина², А. В. Васильева¹,
П. Ю. Беляев²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, l.savelieva@spbu.ru;
a.rybalko@spbu.ru; st068672@student.spbu.ru; aleksandra.vasilieva@spbu.ru

² ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, alek-rybalko@yandex.ru; musatova@mail.ru;
borat78@yandex.com

Аннотация. Методами спорово-пыльцевого и диатомового анализа изучены две колонки донных отложений, отобранные в Кандалакшском заливе Белого моря. Результаты позволили обосновать стратиграфию верхнеплейстоценовых и верхнеголоценовых отложений, выявить неоднократные перерывы в осадконакоплении, сложности в интерпретации позднеголоценовых спорово-пыльцевых спектров и диатомовых комплексов, а также отсутствие отчетливо выраженных пыльцевых спектров субатлантического возраста. На протяжении формирования голоценовых отложений в спектрах господствовала пыльца *Pinus*, в бореальном периоде отмечается значительное участие пыльцы *Betula*. В атлантическом и суббореальном периоде увеличивается содержание пыльцы *Picea*, а среди диатомовых водорослей доминируют морские сублиторальные бентосные виды. Показано, что накопление пепельно-серых, мягкопластичных, с неясной слоистостью глин проходило в верхнем неоплейстоцене и продолжилось в бореальном периоде голоцена. Обобщение и анализ полученных и опубликованных материалов свидетельствует о необходимости наращивания новых и ревизии старых данных в этом регионе.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой и диатомовый анализ, концентрация пыльцы, перерывы в осадконакоплении, высокие скорости осадконакопления, морские сублиторальные условия.

Biostratigraphy of Upper Neopleistocene and Holocene sediments from the Kandalaksha Bay of the White Sea

L. A. Savelieva¹, A. E. Rybalko^{1,2}, E. S. Tomilova¹, Z. V. Pushina², A. V. Vasilyeva¹, P. Yu. Belyaev²

¹ Saint Petersburg State University, St. Petersburg, l.savelieva@spbu.ru; a.rybalko@spbu.ru; st068672@student.spbu.ru; aleksandra.vasilieva@spbu.ru

² VNIIOceangeologia, St. Petersburg, alek-rybalko@yandex.ru; musatova@mail.ru; borat78@yandex.com

Abstract. Two cores were collected in the Kandalaksha Bay of the White Sea and studied by pollen and diatom analysis. The stratigraphy of the Upper Neopleistocene and Holocene sediments was established. The repeated hiatuses in sediment accumulation and difficulties in interpreting the Late Holocene spore-pollen spectra and diatom complexes were revealed as well as the absence of clearly defined pollen spectra of the Subatlantic age. *Pinus* pollen dominated during formation of the Holocene deposits. The significant participation of *Betula* pollen in the Boreal period was indicated. Contents of *Picea* pollen increase during the Atlantic and Subboreal periods and marine sublittoral benthic species dominate among diatoms at the same time. It was shown that the accumulation of ash-gray, soft-plastic clays with unclear layering started in the Upper Neopleistocene and continued in the Boreal period of the Holocene. Generalisation and analysis of the received and published materials indicates the need to obtain new and revise previous data in this region.

Keywords: pollen and diatom analysis, pollen concentration, hiatuses in sediment accumulation, high sedimentation rates, marine sublittoral conditions.

Введение

Голоценовый период в истории развития современного Белого моря – это период становления и развития морского бассейна. Проникновение морских вод в беломорскую котловину началось около 12–13 тыс. л. н. и весь ранний голоцен морские воды постепенно ее заполняли. Этому периоду формирования Белого моря уделено достаточно много внимания различными авторами (Невес-

ский и др., 1977; Рыбалко и др., 2017; и др.), а вот непосредственно весь голоценовый этап привлекал меньше внимания, в том числе и из-за трудностей стратификации толщи глубоководных глинистых и алевроглинистых отложений нефелоидного генезиса. При этом, смена приледникового пресноводного бассейна морским в различных районах Белого моря происходила разновременно, на что обратил внимание еще Е. Н. Невесский с соавторами (Невесский и др., 1977). Стратиграфия донных отложений является основой для корреляции разрезов и палеогеографических реконструкций послеледниковой эпохи, в том числе и сопоставления береговых разрезов с морскими.

Несмотря на появление новых данных микропалеонтологических и геохронологических исследований (Полякова и др., 2014; Новичкова и др., 2017; Агафонова, Полякова, 2020; Агафонова и др., 2020; Рыбалко и др., 2022; и др.), до сих пор стратиграфия донных отложений Белого моря по большей части основывается на результатах спорово-пыльцевого анализа. К настоящему моменту в Кандалакшском заливе методами спорово-пыльцевого и диатомового анализа изучены и опубликованы данные по 6 колонкам (Джиноридзе 1971, 1972; Малясова, 1976; Алявдин, 1977; Калугина и др., 1979; Агафонова и др., 2020). Полевые геолого-геофизические работы, проведенные в 2022 и 2023 годах в Кандалакшском заливе, показали сильную изменчивость покрова четвертичных отложений (Рыбалко и др., 2023), а опубликованные результаты спорово-пыльцевого и диатомового анализа поздне- и послеледниковых отложений свидетельствуют о сложностях при расчленении осадков, особенно верхнеголоценового возраста. Поэтому сохраняется необходимость получения новых и ревизия старых данных, особенно учитывая построение современной модели палеогеографического развития Беломорского бассейна.

Материалы и методы

Новые данные были получены в результате проведения полевых работ по гранту РФ № 22-17-00081 «Последний гляциоседиментационный цикл Белого моря: морфо-, лито- и климатостратиграфия, корреляция морских и континентальных архивов». Работы проводились с НИС «Профессор Зенкевич» (МГУ, Беломорская Биологическая станция). Для бурения использовалась грунтовая ударная трубка длиной 3 м, диаметром 110 мм и весом 300 кг. В настоящей работе представлены результаты спорово-пыльцевого и диатомового анализа. Первым методом изучено две колонки донных отложений (WS-22-17-2 и WS-22-25-2), а вторым – только одна – WS-22-25-2. Первая колонка характерна для открытой части Кандалакшского залива, а вторая – для мелководных заливов.

Методом спорово-пыльцевого анализа изучено 32 образца из колонки WS-22-17-2, мощностью 1.6 м и 25 образцов из колонки WS-22-25-2, мощностью 1.85 м. Интервал опробования составил от 1 см до 12 см и зависел от мощности и литологических особенностей слоя. В мелкозернистых песках он был максимальным (12 см), в алевролитах и глинах – минимальный (1 см). Предварительная химическая обработка проб выполнена по стандартной методике (Berglund, Ralska-Jasiewiczowa, 1986). На заключительном этапе пробы очищались в ультразвуковой ванне от пелитовых частиц. Масса одного образца составила 7 гр. Для подсчета концентрации микрофоссилий в каждый образец добавлено по 2 таблетки индикатора – споры *Lycopodium* (Stockmar, 1971). Палинозоны, выделенные на диаграммах, сопоставлены с результатами предыдущих исследований и с модифицированной схемой Блитта-Сернандера (Хотинский, 1987). Эта схема наиболее адекватно отражает климатические изменения в северо-западном регионе РФ и до сих пор используется в качестве климатостратиграфической основы для расчленения голоценовых отложений.

Состав диатомовых ассоциаций колонки WS-22-25 был изучен в тех же образцах, что и методом спорово-пыльцевого анализа. Масса навески каждой пробы составила 3–4 гр. Подготовка образцов осуществлялась по стандартной методике (Диатомовые водоросли СССР, 1974). На основе изменений состава ассоциаций диатомей выделено четыре экозоны (снизу вверх): IV (184–165 см), III (165–85 см), II (85–17 см), I (17–0 см). Спорово-пыльцевые и диатомовая диаграммы построены с использованием программного пакета Tilia и Tilia Graph (Grimm, 2011).

Результаты и обсуждение

Результаты спорово-пыльцевого анализа позволили выделить осадки верхнего неоплейстоцена и голоцена.

Верхнеоплейстоценовые отложения охарактеризованы палинозой 1 колонки WS-22-17-2 в интервале от 160 до 28 см и представлены переслаивающимися серыми глинами и темно-серыми алевритовыми песками с прослоем бурых глин на глубине 90–99 см. В спорово-пыльцевых спектрах пыльца и споры отсутствуют или представлены единичными формами: *Pinus*, *Picea*, *Betula* sect. *Albae*, *Betula nana*, *Salix*, а также *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae* и спорами *Sphagnum*, *Polypodiaceae*, *Selaginella selaginoides*. Концентрация пыльцы крайне низкая и не превышает 200 п. з. в 1 гр. осадка (п. з./гр.). Это позволяет предположить, что формирование осадков происходило в неблагоприятных климатических условиях, при которых количество продуцируемой пыльцы было очень низким, и ее поступление в Кандалакшский залив было затруднено, возможно, за счет сохранявшегося ледового покрова. Такие условия могут отвечать позднеледниковому этапу последнего валдайского оледенения. Из-за смешанного характера спектров и низкой концентрации микрофоссилий не представляется возможным выделение стадий и интерстадиалов позднеледникового времени. Однако, следует отметить, что в предшествующих публикациях (Малясова, 1969; 1976; Невесский и др., 1977; Калугина и др., 1979) указывается на то, что позднеледниковые толщи донных осадков Белого моря были насыщены пылью и спорами. Например, в озерно-ледниковых и ледниково-морских илах, возраст которых был определен как аллеред – верхний дриас, выделены комплексы с преобладанием пыльцы березы, в основном карликовых форм, пыльцы трав и спор (Малясова, 1969; Невесский и др., 1977). По данным Е. С. Малясовой (1976) концентрация пыльцы варьировала от 350 до 500 п. з./гр. в отложениях аллерёда и от 80 до 140 п. з./гр. – позднего дриаса, что сопоставимо с нашими данными, которые показывают концентрацию пыльцы около 200 п. з./гр. Возможно, единичное количество микрофоссилий в образцах, относящихся к позднеледниковому времени, в нашем случае, связано с объемом пробы, из которой извлекались пыльца и споры. Нами использовалась навеска массой не более 7 гр., тогда как, по данным Малясовой Е. С. (1969), навеска пробы составляла от 5 до 35 гр. Другой причиной низкой концентрации или отсутствия микрофоссилий в толще ледниково-морских осадков (пепельно-серые слоистые глины) могут быть условия их накопления, которые связаны с бедной тундровой растительностью и суровым климатом позднеледниковья, а также с высокой скоростью осадконакопления, при которой крайне низкое количество пыльцы и спор распределено по значительной толще осадка. На глубине около 30 см в профиле изученных отложений колонки WS-22-17-2 возможен перерыв в осадконакоплении, который выражен в резкой смене состава спорово-пыльцевых спектров и повышении концентрации микрофитофоссилий с 200 до 5 000 п.з./гр. в вышележащей палинозоне 2. На глубине 28 см проходит литологическая граница, связанная со сменой переслаивающихся серых глин с темно-серыми песками на пепельно-серые глины, мягкопластичные, с неясной слоистостью.

Голоценовые отложения вскрыты в колонках WS-22-17-2 и WS-22-25-2 и охарактеризованы палинозонами, которые сопоставляются с бореальным, атлантическим и суббореальным периодами.

Бореальные отложения представлены пепельно-серыми глинами с неясной слоистостью и отражены спорово-пыльцевыми спектрами палинозоны 2 (гл. 29–20 см) в колонке WS-22-17-2.

В спектрах преобладает пыльца *Pinus* (55 %) и *Betula* sect. *Albae* (25 %). Количество пыльцы *Betula nana* варьирует от 5 % до 10 %, а пыльца *Picea* не превышает 5 %. В незначительном количестве присутствует пыльца *Alnus fruticosa*, *Alnus* и *Salix*. Пыльца термофилов представлена несколькими пыльцевыми зёрнами *Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*. Сумма пыльцы трав не превышает 15 % и представлена, главным образом, пылью *Artemisia*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Rosaceae*. Среди споровых растений доминируют споры *Polypodiaceae* (8–15 %), затем *Lycopodium clavatum* (2–7 %) и *Sphagnum* (2–4 %), обнаружены единичные споры *L. pungens* и *L. complanatum*. Зафиксированы единичные дочетвертичные споры. Концентрация пыльцы резко возрастает к концу зоны с 500 до 5000 п.з./гр. осадка. По данным Малясовой Е. С. (1976) концентрация пыльцы в бореальных отложениях колеблется в пределах от 800 до 1000 п.з./гр.

Преобладание в спорово-пыльцевых спектрах пыльцы древесных пород, представленной сосной, березой и единичным присутствием таких термофилов как лещина, вяз и дуб, указывает на относительно благоприятные климатические условия раннего голоцена, предположительно бореального периода. Осадки, формировавшиеся в пребореальный период, отсутствуют, т.к. не зафиксированы спектры с высоким содержанием пыльцы трав (более 30–40 %) и березы (более 50 %), которые установлены в большинстве изученных колонок Белого моря этого времени, (Малясова, 1976; Невеский и др., 1977; Калугина и др., 1979; Гей и др., 1988; и др.) в том числе и в Кандалакшском заливе в колонках 8 и 14 (Малясова, 1971).

Согласно литологическому описанию на глубине 22 см происходит смена накопления пепельно-серых, мягкопластичных, с неясной слоистостью глин на алевропелит оливково-серый, слабоуплотненный, с резкой границей контакта, свидетельствующей об эрозионном врезе. По результатам томографии на глубине 17 см зафиксирован резкий пик пористости осадков и смена характера биотурбаций выше по разрезу. Эти данные указывают на возможный перерыв в осадконакоплении в интервале от 22 до 17 см и могут быть сопоставлены с границей между палинозонами 2 и 3 в колонке WS-22-17-2 на глубине 20 см, которая интерпретируется как граница между бореальным и суббореальными периодами голоцена.

Таким образом, накопление пепельно-серых, мягкопластичных, с неясной слоистостью глин продолжилось в бореальном периоде. Ранее считалось, что накопление этих глин закончилось в верхнем дриасе (Алявдин и др., 1976).

Атлантические осадки вскрыты в колонке WS-22-25-2 (палинозона 1, 185–85 см) и представлены оливково-серыми алевропелитами. Спорово-пыльцевые спектры характеризуется высоким содержанием пыльцы *Pinus* (около 72 %). Количество пыльцы *Picea* колеблется в пределах от 8 % до 20 %. Кривая содержания пыльцы *Betula sect. Albae* образует два небольших пика 20 % и 10 % на глубине 137 см и 97 см соответственно, в незначительном количестве содержится пыльца *Betula nana* (2–6 %). Спорадически в единичном количестве отмечена пыльца *Corylus*, *Ulmus* и *Quercus*. Пыльца трав содержится в незначительном количестве и не превышает 5 %. Среди споровых преобладают споры *Sphagnum* (2–7 %), присутствуют споры *Polypodiaceae*, *Lycopodium clavatum*, *L. complanatum*. Концентрация пыльцы колеблется в пределах 450 до 1200 п.з./гр. Характерной особенностью осадков атлантического возраста являются находки пыльцы широколиственных пород, особенно вяза (Малясова, 1976). Концентрация пыльцы в отложениях атлантико-суббореального возраста колеблется в пределах от 500 до 1000 п.з./гр. (Малясова, 1976), что также сопоставимо с нашими результатами.

На основе изменений состава ассоциаций диатомей в интервале глубин 185–85 см выделено 2 экзоны (снизу вверх): IV (184–165 см) и III (165–85 см). В обеих зонах преобладают бентосные сублиторальные виды (до 67 %), такие как *Rhabdonema arcuatum*, *Grammatophora oceanica*, *Cocconeis scutellum*. Экзона IV выделена на основе преобладания планктонных неритических видов, количество которых достигает 45 %. В экзоне III их содержание снижается до 30 %. Здесь же зафиксировано максимальное для всей колонки содержание створок диатомовых водорослей, а также значительная доля относительно теплолюбивых видов (*Thalassionema nitzschioides*, *Grammatophora oceanica*, *Coscinodiscus radiatus*), достигающая 14 %. Наличие створок *Coscinodiscus radiatus* указывает на поступление атлантических вод. Такие условия могли сложиться в конце атлантического периода голоцена. Рост доли солоноватоводно-морских и солоноватоводных диатомей в конце атлантического периода отражает опреснение морского бассейна.

В колонке WS-22-17-2 осадки атлантического периода голоцена отсутствуют, т.к. не выявлены пыльцевые спектры с достаточно стабильным присутствием пыльцы широколиственных пород и относительно высоким участием пыльцы березы как это было установлено по другим разрезам Белого моря (Малясова, 1976).

Суббореальные осадки вскрыты в колонках WS-22-17-2 (палинозона 3, 20–0 см) и WS-22-25-2 (палинозона 2, 85–0 см). Литологически они в основном представлены оливково-серым алевропелитом, но есть отличия в составе самых верхних слоев. В колонке WS-22-17 на глубине 9–8 см

отмечается песчано-глинистая корка, выше которой залегает бурый песчанистый алевроит, тогда как в колонке WS-22-25-2 серый с зеленоватым оттенком песчаный алевроит (17–3 см) перекрывается алевроитовым песком такого же оттенка (3–0 см). По литологическим данным на глубине 8 см в колонке WS-22-17-2 также возможен перерыв в осадконакоплении, однако резких изменений в составе спорово-пыльцевых спектров не зафиксировано.

В спектрах обеих колонок господствует пыльца *Pinus* (75%), количество пыльцы *Picea* увеличивается до 13% в колонке WS-22-17-2 и до 35% в колонке WS-22-25-2. Количество пыльцы *Betula sect. Albae* не превышает 5–7%, а сумма пыльцы трав – 3%. Единично присутствует пыльца широколиственных пород *Tilia*, *Ulmus* и *Quercus*. Присутствуют разнообразные споры рода *Lycopodium*, а также *Selaginella selaginoides*, *Isoetes*. В колонке WS-22-17-2 зафиксировано до 5% переотложенных дочетвертичных спор. Концентрация пыльцы возрастает до 5500 п.з./гр. в колонке WS-22-17-2 и до 1200 п.з./гр. в колонке WS-22-25-2. Это составляет максимальные значения не только для изученных нами отложений Кандалакшского залива, но и отобранных ранее, в которых концентрация пыльцы варьировала от 900 до 1300 п.з./гр. (Малясова, 1976). В береговых же разрезах максимальное количество пыльцы характерно для осадков бореального и атлантического возраста (Лебедева и др., 1987).

По результатам диатомового анализа колонки WS-22-25-2 выделена экозона II (85–17 см), в которой преобладают в основном морские виды диатомей (*Rhabdonema arcuatum*, споры рода *Chaetoceros*, *Grammatophora* spp.), количество которых достигает 76 %. Доля планктонных неритических диатомей увеличивается до 45 %, что свидетельствует о повышении уровня водоема. Немногочисленно представлены пресноводные виды (до 4 %).

Осадки субатлантического периода голоцена по данным палинологических исследований не зафиксированы в представленных колонках. Это особенность разрезов Кандалакшского залива была выявлена и ранее, по данным исследований ВСЕГЕИ в 1970-х годах прошлого века. Возможно, это связано как с частичной потерей сильно обводненных верхнеголоценовых осадков при проботбре тяжелыми трубками, так и с условиями осадконакопления в позднем голоцене, когда источники поступления обломочного материала со стороны берега существенно сократились или активизировался гидродинамический режим (Рыбалко и др., 2022). Однако результаты диатомового анализа позволяют верхние 17 см колонки WS-22-25-2 (экозона I) предположительно отнести к субатлантическому периоду. По составу диатомовые комплексы сублиторально-неритические, с преимуществом сублиторальных видов, количество которых достигает 65 %. Фиксируется резкое сокращение относительно теплолюбивых видов и увеличение северо-бореальных и арктических (*Paralia sulcata*, *Hyalodiscus scoticus*, *Thalassiosira hyperborea* и др.). Отмечается увеличение доли морских планктонных видов диатомей, которые указывают на повышение уровня водоема, а также рост солоноватоводно-морских и солоноватоводных видов, отражающие распреснение морского бассейна.

Выводы

Результаты спорово-пыльцевого и диатомового анализа колонок, отобранных в Кандалакшском заливе Белого моря, позволили обосновать стратиграфию вскрытых отложений и выделить осадки верхнего неоплейстоцена и голоцена (бореальный, атлантический и суббореальный периоды). В изученных колонках зафиксированы перерывы в осадконакоплении, не были обнаружены отложения пребореального и субатлантического периодов голоцена по данным палинологии. В отложениях атлантического и суббореального возраста выявлены относительно однородные спорово-пыльцевые спектры и диатомовые комплексы. Последние свидетельствуют о накоплении осадков в морских сублиторальных условиях. В конце атлантического и, предположительно, в субатлантическом периоде (по данным диатомового анализа) происходило опреснение морского бассейна. Повышение уровня моря установлено в суббореальном и субатлантическом периоде.

Таким образом, биостратиграфия донных отложений Кандалакшского залива Белого моря отражает сложный характер гидродинамических процессов и седиментационных обстановок в зоне

развития поздне- и послеледниковых морских трансгрессий, а также в условиях уклона поверхности морского дна, располагавшегося предположительно перед фронтом относительно стабильного края ледника (стадиальная граница отступающего Скандинавского ледника). Полученные данные также свидетельствуют, что, возможно, условия приледникового бассейна сохранялись и в пребореале, но впоследствии были размыты.

Благодарности

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-00081.

Литература

1. Агафонова Е. А., Полякова Е. И. Палеогеографические события в Двинском заливе Белого моря в послеледниковое время // Вестник Московского университета. Серия: География. 2020. № 5. С. 73–78.
2. Агафонова Е. А., Полякова Е. И., Барымова А. А. Диатомовые ассоциации из голоценовых отложений Кандалакшского залива Белого моря (Ругозерская губа) // Естественные и технические науки. 2020. Т. 146. № 8. С. 103–109. doi: 10.25633/ETN.2020.08.10 (0.417).
3. Алявдин Ф. А., Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е. др. Новые данные по геологии северо-западной части Белого моря // Природа и хозяйство Севера. Мурманск. 1977. Вып. 6. С. 30–38.
4. Гей Н. А., Джиноридзе Р. Н., Калугина Л. В., Кириенко Е. А., Москаленко П. Е., Рыбалко А. Е., Спиридонова Е. А., Спиридонов М. А. Стратиграфия позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Онежского залива // Вестник ЛГУ. 1988. Серия 7. Вып. 4. № 28. С. 65–72.
5. Джиноридзе Р. Н. Диатомовые водоросли из донных осадков Белого моря в связи с его историей в голоцене / Автореф. дис. кбн. Л. 1971. 23 с.
6. Джиноридзе Р. Н. Диатомовые водоросли в поверхностном слое осадков Белого моря // ДАН СССР. 1972. Т. 204. Вып. 1. С. 207–209.
7. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л. Изд-во: Наука, 1974. 403 с.
8. Калугина Л. В., Рыбалко А. Е., Спиридонова Е. А., Спиридонов М. А. Палинологическое изучение донных отложений северной части Белого моря как основа их стратиграфического расчленения // Вестник ЛГУ. 1979. Серия: Геология. География. Вып. 2. № 12. С. 63–71.
9. Лебедева Р. М., Каган Л. Я., Иванова Л. В. Биостратиграфические исследования голоцена Кольского полуострова // Природа и хозяйство Севера. 1987. Вып. 15. Мурманск. С. 8–11.
10. Малясова Е. С. О стратиграфии донных осадков Белого моря (по палинологическим данным) // Голоцен. М. Изд-во: Наука, 1969. С. 172–178.
11. Малясова Е. С. Палинология донных осадков Белого моря и ее стратиграфическое значение // Палинология голоцена. М., 1971. С. 77–89.
12. Малясова Е. С. Палинология донных осадков Белого моря. Л. 1976. 120 с.
13. Невесский Е. Н., Медведев В. С., Калинин В. В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М. Наука, 1977. 240 с.
14. Новичкова Е. А., Рейхард Л. Е., Лисицын А. П., Рыбалко А. Е., де Вернал А. Новые данные по истории развития Двинского залива Белого моря в голоцене // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 365–369. doi: 10.7868/S086956521715021X.
15. Полякова Е. И., Новичкова Е. А., Лисицын А. П., Баух Х. А., Рыбалко А. Е. Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря // ДАН. 2014. Т. 454. № 4. С. 467–472. doi:10.7868/S0869565214040203.
16. Рыбалко А. Е., Журавлев В. А., Семенова Л. Р., Токарев М. Ю. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене-голоцене // Система Белого моря. 2017. Т. IV. С. 16–84.
17. Рыбалко А. Е., Репкина Т. Ю., Старовойтов А. В., Зарецкая Н. Е., Корсакова О. П., Субетто Д. А., Токарев М. Ю., Беляев П. Ю. Основные этапы изучения геологии четвертичных отложений Белого моря и дискуссионные проблемы его палеогеографии в позднем неоплейстоцене-голоцене // Известия РАН. 2022. Серия: География. Т. 86. № 6. С. 848–869. doi: 10.31857/S2587556622060152.
18. Рыбалко А. Е., Алешин М. Ю., Токарев М. Ю., Беляев П. Ю., Кудинов А. А., Локтев А. С., Савельева Л. А., Щербаков В. А. Новое в стареньком: результаты полевых работ в Кандалакшском заливе Белого моря в 2023 году // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Материалы ежегодной конференции по результатам экспедиционных исследований. 2023. Вып. 10. СПб., С. 238–244. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-238-244.
19. Berglund B. E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams // Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology / Ed. E. Berglund. 1986. Wiley, Chichester. P. 484–486.
20. Grimm E. C. Tilia 1.7.16 Software. Illinois State Museum. RCC, Springfield. 2011.
21. Stockmarr J. A. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // Pollen Spores. 1971. No 13. P. 615–621.

Первые результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Красное на рубеже неоплейстоцена и голоцена

А. Н. Суворова ¹, Л. А. Савельева ¹, Е. Д. Фомичева ¹, Г. Б. Федоров ²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, st069392@student.spbu.ru, l.savelieva@spbu.ru, st067801@student.spbu.ru

² Институт ботаники им. Тахтаджана НАН РА, Ереван, g.fedorov@botany.am

Аннотация. Отложения оз. Красное являются перспективным объектом для детальной реконструкции растительности позднеледниковья и голоцена благодаря большой мощности (23.8 м) и высоким скоростям осадконакопления. Переходный этап от позднеледниковых к послеледниковым условиям является важным для понимания динамики природной среды прошлого и прогнозирования возможных изменений климата и растительности в будущем. Получены первые результаты спорово-пыльцевого анализа, проведенного с высоким разрешением, позднеледниковых и раннеголоценовых донных отложений озера Красное. Общие закономерности изменения состава спорово-пыльцевых спектров коррелируют с полученными ранее данными из разрезов котловины оз. Красное. Однако есть и различия, которые, в первую очередь, относятся к отложениям позднего дриаса.

Ключевые слова: Карельский перешеек, спорово-пыльцевой анализ, ранний голоцен, поздний дриас.

The first results of pollen analysis from the bottom sediments of Lake Krasnoe at the transition between the Late Pleistocene and Holocene

A. N. Suvorova ¹, L. A. Savelieva ¹, E. D. Fomicheva ¹, G. B. Fedorov ²

¹ Saint Petersburg State University, St. Petersburg, st069392@student.spbu.ru, l.savelieva@spbu.ru, st067801@student.spbu.ru

² A.L. Takhtajan Institute of Botany, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, g.fedorov@botany.am

Abstract. Lake Krasnoe sediment record has very high potential for detailed Late glacial and Holocene vegetation reconstruction due to significant thickness (23.8 m) and high sedimentation rate. The transition period from Late glacial to Post glacial environmental conditions is very important for the past environmental dynamic understanding and future climatic and vegetation changes forecasting. We present first results of high-resolution spore-pollen analysis of Late glacial and Early Holocene Lake Krasnoe sediments. General patterns of spore-pollen assemblages changes correlate well with previously obtained data from Lake Krasnoe area. Nevertheless, there are also significant differences mostly detected for the Younger Dryas.

Keywords: Karelian Isthmus, spore-pollen analysis, Early Holocene, Younger Dryas.

Введение

Озеро Красное расположено в центральной части Карельского перешейка на высоте 15 м н. у. м. (Вишневская, Давыдова, 1967). Ранее по результатам геоакустического зондирования было установлено, что котловина озера – переуглубленная доледниковая долина (Абрамова и др., 1966), которая, по видимому, приурочена к тектоническому разлому (Малясова, Соколова, 1967). Котловина озера является вместилищем самых мощных на северо-западе РФ позднеледниковых и голоценовых осадков. Например, скорости осадконакопления сапропелевых илов в озере составляют порядка 2.1 мм в год, тогда как в большинстве изученных озер Карельского перешейка не превышают 1.5 мм в год (Грейсер, 1967). К настоящему моменту опубликованы результаты спорово-пыльцевого анализа по трем скважинам, пробуренным в центральной части оз. Красное, на правом берегу р. Страница, впадающей в озеро и в истоке р. Красная, которая вытекает из озера. Мощность вскрытых отложений в береговых разрезах составила 48 м (скв. 30) и 87.8 м (скв. 52) (Малясова, Соколова, 1967), и непосредственно в озере (скв. 3933) – 28.8 м (Абрамова и др., 1966). Учитывая мощности вскрытых отложений и скорости накопления органогенных илов, донные отложения оз. Красное

являются перспективными для детальной реконструкции изменения растительности, климата и эволюции озера в позднеледниковье и голоцене. В 2020 г. группой преподавателей и студентов СПбГУ была пробурена скважина в центральной части озера Красное и отобраны пробы для проведения геохимических и микропалеонтологических исследований. В данной работе представлены первые результаты спорово-пыльцевого анализа нижней части колонки, которая включает позднеледниковые и раннеголоценовые отложения.

Материалы и методы

Мощность вскрытых донных отложений оз. Красное (колонка Kras-2) составила 23.8 м (координаты: 60° 33.411' с. ш., 29° 41.697' в. д.). Бурение проведено с платформы при помощи комплекса бурового оборудования производства компании UWITEC.

Согласно результатам рентгенофлуоресцентного анализа, проведенного для полной колонки отложений, переход от позднего дриаса к голоцену предположительно зафиксирован на глубине 18.28 м (Фомичева, 2023).

Отложения исследуемого интервала в нижней части колонки представлены двумя горизонтами мелкозернистого песка (23.80–23.64 м; 22.45–22.00 м), между которыми наблюдается горизонт серо-коричневой глины с линзами и прослойками мелкозернистого песка (23.64–22.45 м). Отложения в интервале 22.00–21.54 м были утеряны при бурении. С глубины 21.54 м до 19.57 м наблюдались ленточные глины серо-сизого цвета с увеличением выраженности слоистости с глубиной. Отложения верхней части исследуемого интервала представлены слоистой гиттиевой глиной (19.57–18.40 м), выше по колонке сменяющиеся серо-коричневой слоистой глинистой гиттией (18.40–18.28 м).

Основываясь на данных геохимии и литологического анализа на первом этапе методом спорово-пыльцевого анализа был изучен интервал глубин от 23.8 м до 18.28 м.

Спорово-пыльцевой анализ проводился в лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» им. В. П. Кёппена Института наук о Земле СПбГУ. Для анализа было взято 30 проб, в том числе одна донная поверхностная проба. В интервале 19.33–18.28 м пробы для СПА взяты через 2 см, в интервале 20.50–19.33 м – через 5 см, в интервале 23.8–20.50 м – через 10 см. Частота проб зависела от литологических границ. Пробоподготовка проводилась в соответствии с сепарационным методом В. П. Гричука (Гричук, Заклинская, 1948). Для подсчета концентрации пыльцы в каждую пробу было добавлено по одной таблетке *Lycopodium*. В каждом препарате подсчитано минимум 300 пыльцевых зерен.

Результаты и обсуждение

В изученном интервале глубин 20.32–18.28 м насыщенность препаратов пыльцой, спорами и палиноморфами повышается снизу вверх. Сохранность пыльцы разнообразная, с глубиной увеличивается количество разорванных и минерализованных пыльцевых зерен, среди которых преобладают пыльца *Betula*, *Alnus* и широколиственных пород деревьев (*Carpinus*, *Corylus*). Также, в нижней части разреза обнаружена пыльца дочетвертичных растений. Кроме этого, в образцах определены палиноморфы, такие как споры грибов, устьица растений и остатки ветвистоусых ракообразных (*Cladocera*).

Спорово-пыльцевой спектр донной поверхностной пробы представлен преимущественно *Pinus* и *Betula sect. Albae*. Также присутствует пыльца *Picea* и *Alnus*. В группе трав преобладает пыльца *Poaceae*.

По результатам спорово-пыльцевого анализа построена диаграмма, на которой выделено 3 зоны снизу вверх (PZ-1–PZ-3).

Палинозона 1 (PZ-1, 19.65–20.32 м). Количество пыльцы древесных колеблется от 65 % до 75 %, количество трав составляет 25–35 %. В спорово-пыльцевом спектре преобладает пыльца *Betula nana* (до 40 %). К концу палинозоны ее количество снижается с 30 % до 15 % и увеличивается – пыльцы *Betula sect. Abies* до 35 %. Стабильно присутствуют пыльцевые зерна *Salix* (до 7 %). Содержание пыльцы *Alnus fruticosa* колеблется от 10 % до 15 %, а пыльцы *Ericaceae* достигает 8 %. Пыль-

ца *Picea*, *Alnus*, *Corylus* и *Carpinus* отмечена в единичном количестве и, вероятнее всего, является переотложенной. В группе споровых преобладает *Sphagnum* и *Lycopodium*, среди трав – пыльца *Cyperaceae* (10 %) и *Artemisia* (10 %). Единично встречены пыльцевые зерна *Ephedra*. Среди палиноморф обнаружены споры гриба рода *Gelasinospora*.

Палинозона 1 сопоставляется с поздним дриасом.

В скв. 3933 к позднеледниковью относится интервал 28.8–23.3 м (Абрамова и др., 1966). Отложения верхнего дриаса выделены в скв. 52 (25–5.5 м) и скв. 30 (20.2–13.5 м) (Малясова, Соколова, 1967). Сравнение результатов предыдущих палинологических исследований из котловины оз. Красное с нашими, показывают различия как в общем составе пыльцы, так и в доминирующих таксонах. В колонке Крас-2, а также в скв. 30 и скв. 52 в спектрах доминирует пыльца *Betula*, а в скв. 3933 – пыльца *Pinus*, присутствует *Picea*. В группе трав во всех скважинах преобладает пыльца *Artemisia* при высоких значениях пыльцы *Chenopodiaceae* и *Cyperaceae*. Также, во всех скважинах встречаются единичные пыльцевые зерна *Ephedra*.

Палинозона 2а (PZ-2а, 19.00–19.65 м). Процент пыльцы трав незначительно уменьшается и составляет 25–30 %, сумма древесных – 70–75 %. Доминирует пыльца *Betula sect. Albae*, достигая 60 %. Резко уменьшается содержание пыльцы *Betula nana* с 25 % до 10 %. Плавнo растёт количество пыльцы *Pinus* до 10 %. Стабильно присутствует пыльца *Alnus* (5–10 %). Увеличивается количество пыльцы *Salix* (5–9 %). Пыльца *Ericaceae* практически исчезает из спорово-пыльцевых спектров. Единично присутствует пыльца *Picea* и широколиственных пород деревьев. Пыльца трав (*Roaceae*, *Cyperaceae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*) стабильно присутствует на протяжении всей палинозоны. Единично отмечены пыльцевые зерна *Ephedra*. К концу палинозоны появляются споры *Polypodiaceae*, процент которых плавнo растёт.

Палинозона 2b (PZ-2b, 18.50–19.00 м). Общее количество пыльцы древесных колеблется от 65 % до 80 %. По-прежнему доминирует пыльца *Betula sect. Albae* (40–55 %), несколько увеличивается количество пыльцы *Betula nana* с 10 % до 15 %. Содержание пыльцы *Pinus* и *Salix* в среднем составляет около 15 %. Единично присутствует пыльца *Picea* и широколиственных пород деревьев. В конце палинозоны появляется пыльца *Ulmus*. Среди трав преобладает пыльца *Roaceae* и *Cyperaceae*. Также присутствует пыльца *Artemisia* и *Chenopodiaceae*. В группе споровых преобладает *Polypodiaceae*, в небольших количествах присутствуют споры *Sphagnum*, *Equisetum*, *Lycopodium*. В препаратах встречаются растительные остатки, споры грибов, остатки *Cladocera*.

Палинозона 2а относится нами к первой половине бореального периода, а 2b – ко второй половине.

Отложения пребореального периода установлены в скв. 3933 на глубине от 22.8 м до 17.8 м и скв. 30 (от 13.5 до 8.5 м), в скв. 52 зафиксирован перерыв в осадконакоплении (Малясова, Соколова, 1967). Во всех разрезах преобладает пыльца древесных пород. Однако, доминирующие таксоны внутри группы отличаются. В нашем случае, как и в скв. 3933, преобладает пыльца *Betula*. В скв. 30 среди древесных попеременно господствует пыльца *Pinus* и *Betula sect. Albae*. Пыльца *Picea* во всех скважинах встречена единично. К концу палинозоны появляется *Ulmus* (колонка Крас-2, скв. 3933), а в скв. 30 пыльца *Ulmus* стабильно присутствует на протяжении всего позднеледникового и голоцена, однако в позднеледниковье, скорее всего, находится во вторичном залегании. В спорово-пыльцевых спектрах скв. 3933 и скв. 30 в меньшем количестве присутствует пыльца *Salix*. Согласно нашим данным в пребореале на фоне господства пыльцы *Cyperaceae* велико участие пыльцы *Artemisia*. В скв. 30 травянистые представлены пылью *Roaceae* и *Artemisia*, встречается пыльца *Cyperaceae*, *Ericaceae*.

Палинозона 3 (PZ-3, 18.28–18.50 м). Количество пыльцы древесных пород достигает 85 %. Резко увеличивается доля пыльцы *Pinus* до 25 %. Плавнo растёт количество пыльцы *Picea*, достигая 5 %. Присутствует пыльца *Alnus* (5 %) и *Salix* (до 5–8 %), обнаружены единичные пыльцевые зерна *Ulmus* и широколиственных пород деревьев и кустарников хорошей сохранности. Среди трав преобладает пыльца *Roaceae* и *Cyperaceae*. В группе споровых преобладает *Polypodiaceae*, в небольших количествах присутствуют споры *Sphagnum*, *Equisetum*, *Lycopodium*. В препаратах в большом

количестве встречаются растительные остатки, споры грибов, остатки *Cladocera*. Также определены устьица *Pinus*.

Палинозона 3 сопоставляется нами с началом бореального периода.

Отложения бореального времени установлены в разрезе скв. 30 на глубине 8.5–5.3 м и в скв. 3933 на глубине 17.8–10.3 м. В общем составе спорово-пыльцевых спектров всех разрезов абсолютно господствует пыльца древесных пород. Однако в колонке Kras-2 – это пыльца *Betula*, а в изученных ранее – *Pinus*.

Выводы

При сравнении полученных результатов с ранее выполненным палинологическим анализом отложений позднеледниковья и раннего голоцена оз. Красное (Абрамова и др., 1966; Малясова, Соколова, 1967) выявлены как общие закономерности в изменении спорово-пыльцевых спектров, так и различия, последнее относится, главным образом, к позднему дриасу. По нашим данным в колонке Kras-2, скв. 30 и скв. 52 в группе древесных пород доминирует пыльца *Betula*, а в скв. 3933 – *Pinus*.

Спорово-пыльцевой анализ колонки Kras-2, проведенный с высоким разрешением, позволил выделить 3 палинозоны и установить границу между позднеледниковьем и голоценом на глубине 19.65 м, что значительно ниже, чем это предполагалось на основе рентгенофлуоресцентного анализа ранее (Фомичева, 2023). Зафиксировано появление и исчезновение пыльцы *Ericaceae* на границе позднего дриаса и голоцена, в пребореальном периоде выделено 2 подзоны и отмечен рост в содержании пыльцы *Salix* в самом начале, также показано постепенное появления пыльцы широколиственных пород. Общие закономерности в составе спорово-пыльцевых спектров пребореального периода совпадают во всех скважинах и колонке Kras-2.

Детальные палинологические исследования будут продолжены, планируется датирование отложений методом радиоуглеродного анализа.

Литература

1. Абрамова С. А., Гей Н. А., Грейсер Е. Л., Давыдова Н. Н., Казарцева Т. И., Квасов Д. Д., Линьков А. Г., Федоров Б. Н. Геоакустическое зондирование оз. Красного (Карельский перешеек) // Известия ВГО. 1966. Вып. 5. № 4. С. 350–355.
2. Вишневская Е. М., Давыдова Н. Н. История озера Красное (Карельский перешеек) по данным диатомового анализа // История озер Северо-Запада: Материалы I симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. (Ленинград, 17–20 ноября 1965 г.): К Международ. симпозиуму по истории озер (Венгрия, 1967 г.) / Отв. ред. С. В. Калесник. Геогр. о-во СССР. Л.: Б. и., 1967. С. 161–185.
3. Грейсер Е. Л. Озерные котловины Карельского перешейка // История озер Северо-Запада: Материалы I симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. (Ленинград, 17–20 ноября 1965 г.): К Международ. симпозиуму по истории озер (Венгрия, 1967 г.) / Отв. ред. С. В. Калесник; Геогр. о-во СССР. Л.: Б. и., 1967. С. 323–328.
4. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. 1948. М. 224 с.
5. Малясова Е. С., Соколова Л. Ф. Новые данные по стратиграфии озерных отложений центральной части Карельского перешейка // История озер Северо-Запада: Материалы I симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. (Ленинград, 17–20 ноября 1965 г.): К Международ. симпозиуму по истории озер (Венгрия, 1967 г.) / Отв. ред. С. В. Калесник; Геогр. о-во СССР. Л.: Б. и., 1967.
6. Фомичева Е. Д., Обстановки осадконакопления в котловине озера Красное (Карельский перешеек) в позднеледниковье и голоцене по данным геохимического анализа 24-метрового керна донных осадков // Азимут геонаук. Вып. 3. Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции «Азимут ГЕОнаук – 2022». Томск. 2023. С. 410–412.

Новые данные о положении береговой линии Баренцева моря в районе пос. Дальние Зеленцы (Мурманская область)

Д. С. Толстобров, А. Н. Толстоброва

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, *d.tolstobrov@ksc.ru*

Аннотация. Получены новые данные о времени изоляции от морского бассейна трёх озерных котловин, расположенных на высотных отметках 13.8, 34.6 и 65.2 м над уровнем моря в районе поселка Дальние Зеленцы. На основании новых данных и пересмотра уже известных данных был построен новый график перемещения береговой линии моря. Установлено, что в конце плейстоцена и начале голоцена происходило быстрое поднятие территории со скоростью до 25 мм/год. Затем на протяжении более 3000 лет отмечается долгое стояние уровня моря на одной высоте, либо могло произойти незначительное поднятие уровня моря. После 7000 лет происходило постепенное поднятие территории со скоростью около 2–3 мм/год.

Ключевые слова: донные отложения, изменение уровня моря, поздний плейстоцен, голоцен.

New data on the location of the Barents Sea coastline in the area of the village. Far Zelentsy (Murmansk region)

D. S. Tolstobrov, A. N. Tolstobrova

Geological Institute KSC RAS, Apatity, *d.tolstobrov@ksc.ru*

Abstract. New data have been obtained on the time of isolation from the sea of three lake located at altitudes of 13.8, 34.6 and 65.2 m above sea level in the Dalnie Zelentsy. Based on new data and revision of already known data, a new graph of the sea level change was constructed. It was determined that at the end of the Pleistocene and the beginning of the Holocene, the land was rapidly uplifted at a rate of up to 25 mm/year. Then, for more than 3000 years, the sea level has been at the same altitude for a long time, or a slight rise in sea level could occur. Over the past 7000 years, there was a gradual uplift of the land at a rate of about 2–3 mm/year.

Keywords: bottom sediments, sea level change, late Pleistocene, Holocene.

Введение

Территория северо-востока Фенноскандинавского щита – это классический район изучения изменения положения береговой линии моря, вызванных как движениями земной коры, так и эвстатическими колебаниями уровня мирового океана. Для определения характера перемещения береговой линии в последние годы используется метод изолированных котловин, разработанный скандинавскими учеными. Этот метод основан на определении пространственного и временного положения изоляционного контакта – переходной зоны от моря к пресному озеру в колонках донных отложений из котловин озер. Используя данную методику, на баренцевоморском побережье Кольского региона были выполнены работы в районах Териберка (Kolka et al., 2023), Никель (Corner et al., 1999) и Полярный (Corner et al., 2001), в долине реки Тулома (Толстобров и др., 2016). Также ранее были выполнены работы и в районе пос. Дальние Зеленцы (Snyder et al., 1997), где на основании комплексного исследования донные отложения четырех озер была построена кривая изменения уровня Баренцева моря. Однако полученные данные охватили не весь период развития данной территории после её освобождения от последнего ледникового покрова, поэтому для уточнения положения береговой линии Баренцева моря в позднплейстоценовое время, а также в среднем голоцене были проведены дополнительные работы по изучению трёх озерных котловин, расположенных на различных высотных отметках над уровнем моря. В данной работе представлены новые литологические и хронологические данные, на основании которых была построена кривая перемещения береговой линии моря.

Район работ и методы

Район работ расположен на Мурманском берегу Кольского полуострова у пос. Дальние Зеленцы. Дневная поверхность района исследования практически везде представлена различными гранитоидами архейского возраста. Рельеф в районе сильно расчлененный, с небольшими сопками и плато, имеющими абсолютную высоту до 170 м н. у. м. и крутые склоны. Четвертичные отложения в районе исследования практически отсутствуют, на береговом склоне отмечаются морские отложения, представленные в виде береговых валов, террас, которые прослеживаются в районе исследования до высотных отметок 64 м над уровнем моря (Кошечкин, 1979).

Во время полевых работ были исследованы донные отложения трех озерных котловин. Керны были отобраны летом с катамарана с помощью пробоотборника длиной 1 м и диаметром 75 мм. Батиметрические измерения проводились с помощью портативного эхолота, чтобы определить место с плоским дном для отбора проб керна. Отбор керна проводился до плотных осадков, либо до коренных пород. В полевых условиях были проведены литологическое описание и отбор проб для анализа диатомовых водорослей и радиоуглеродного датирования. Радиоуглеродное датирование отложений выполнено в Санкт-Петербургском государственном университете по стандартной методике (Арсланов, 1987). Данные радиоуглеродного анализа были откалиброваны в программе «OxCal 4.4.4» (калибровочная кривая «IntCal 20») (Bronk Ramsey, 2024).

Высота порога стока для новых и ранее исследованных озера была получена по топографическим картам, а также по цифровой модели земли высокого разрешения ArcticDEM (Porter et al., 2018), погрешность которой оценивается в 1–2 м. Вычислялась средняя высота над уровнем моря по топографической карте и по ArcticDEM. Была применена допустимая погрешность, которая перекрывает самые низкие и самые высокие значения, полученные как из карты, так и из ArcticDEM.

Материалы и реконструкция перемещения береговой линии моря

В результате проведения полевых работ были получены новые данные о литологическом строении трех озерных котловин. Во всех исследованных озерных котловинах вскрыты минерогенные отложения, предварительно морского генезиса, которые постепенно переходят в органогенные отложения, озерного генезиса.

В разрезе *оз. Второе* (рис. 1) с абсолютной отметкой высоты 13.8 м минерогенные отложения представлены темно-серым до черного цвета алевритом. Переход от минерогенной толщи в органогенную представлен переслаиванием слоев гиттии и слоев алеврита. При этом необходимо отметить большую мощность (более 1 м) осадков переходного интервала, который представлен слоистой гиттией с алевритом. Вероятно, формирование такого мощного интервала осадков происходило в результате медленного опускания уровня моря. Отсутствие озерных осадков в толще морских отложений указывает, что уровень моря не опускался ниже высотной отметки 14 м в начале голоцена. По данным радиоуглеродного датирования время изоляции озерной котловины от моря соответствует интервалу 4974–5550 калиброванных лет назад (кал. л. н.).

В *оз. Лебединое* (36.2 м н. у. м.) также вскрыты морские, переходные и озерные отложения. Морские осадки здесь представлены отложениями глинами с песком и алевритом, озерные отложения представлены гиттией. Изоляция озерной котловины от моря произошла в интервале 11500–12500 кал. л. н.

В *озере безымянном* с абсолютной отметкой высоты 64.9 м вскрыты морские осадки (глина с растительными остатками), переходные отложения (алеоврит с гиттией) и озерные отложения (гиттия). Наиболее древняя датировка получена из минерогенной толщи обогащенной растительными остатками и соответствует 12273 ± 549 кал. л. н.

На основании сведений о характере переходных зон от морских осадков к пресноводным, данных о возрасте этих зон и высоте порогов стока из новых озер, а также при использовании пересмотренных данных (Snyder et al., 1997) был построен новый график изменения береговой линии Баренцева моря для района пос. Дальние Зеленцы (рис. 1).

Анализ графика показывает, что после освобождения данной территории ото льда береговая линия моря доходила до высотной отметки 64 м относительно современного уровня моря. В позд-

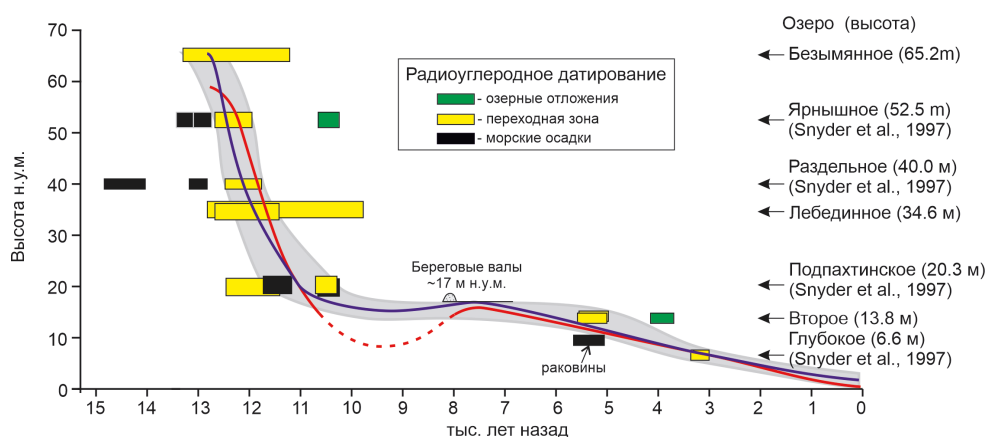


Рис. 1. График перемещения береговой линии Баренцева моря в районе пос. Дальние Зеленцы, Кольский полуостров. Красной линией показан ранее построенный график (Snyder et al., 1997), синей линией новый график. Серым цветом выделена область неопределённости.

Fig. 1. Graph of the movement of the coastline of the Barents Sea in the area Dalniye Zelentsy, Kola Peninsula. The red line shows the previously graph (link), the blue line shows the new graph. The area of uncertainty is highlighted in gray.

неледникового время и начале голоцена происходила быстрая регрессия береговой линии моря и соответственно быстрое поднятие земной поверхности со скоростью примерно 25 мм/год. В период с 10000 до 7000 лет назад на данной территории отмечается долгое стояние уровня моря на одной высоте. В настоящее время проводится обсуждение полученных данных, а также еще выполняются различные анализы донных отложений некоторых озерных котловин, поэтому построенный график перемещения береговой линии моря является предварительным и в будущем может быть много изменен.

Закключение

В результате исследования озерных котловин установлены условия формирования донных отложений. На основе новых литологических и хронологических данных выполнена модельная реконструкция перемещения береговой линии Баренцева моря в районе пос. Дальние Зеленцы, Кольский полуостров. В начале голоцена отмечается быстрая регрессия моря со скоростью до 25 мм/год. Затем на протяжении около 3000 лет уровень моря располагался на одной и той же высоте, при этом не исключено, что в результате трансгрессии Тапес могло быть незначительное (около 1–2 м) поднятие уровня моря. Последние 7000 лет происходила постепенная регрессия береговой линии моря со средней скоростью примерно 2–3 мм/год.

Благодарности

Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН по теме НИР FMEZ-2024-0007.

Литература

1. Арсланов Х. А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л. Изд-во: Ленинградского университета, 1987. 300 с.
2. Кошечкин Б. И. Голоценовая тектоника восточной части балтийского щита. Л. Изд-во: Наука, 1979. 158 с.
3. Толстобров Д. С., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Корсакова О. П. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. №1/1. С. 142–150.
4. Bronk Ramsey C. OxCal 4.4 [Online resource]. URL: <http://c14.arch.ox.ac.uk>. (request date: 14.01.2024).
5. Corner G. D., Yevzerov V. Ya., Kolka V. V., Moller J. J. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia // Boreas. 1999. V. 28. No 1. P. 146–166. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x>.

6. Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Ya, Moller J. J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // *Global and Planetary Change*. 2001. V. 31. P. 153–175. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00118-7).
7. Kolka V., Tolstobrov D., Corner G. D., Korsakova O., Tolstobrova A., Vashkov A. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change on the Barents Sea coast at Teriberka, Kola Peninsula, northwestern Russia // *The Holocene*. 2023. V. 33(9). P. 1060–1072. <https://doi.org/10.1177/09596836231176489>.
8. Porter C, Morin P, Howat I, Noh M-J, Bates B, Peterman K, et al. ArcticDEM. 2018. Harvard Dataverse, V1. <https://doi.org/10.7910/DVN/OHHUKH>.
9. Snyder J. A., Forman S. L., Mode W. N., Tarasov G. A. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia // *Boreas*. 1997. V. 26. P. 329–346. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1997.tb00859.x>.

Палеоэкологическое изучение донных осадков озёр района хребта Мустатунтури, Кольский регион (по данным диатомового анализа)

А. Н. Толстоброва, Д. С. Толстобров

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, a.tolstobrova@ksc.ru, d.tolstobrov@ksc.ru

Аннотация. Выполнено комплексное исследование видового состава диатомовых водорослей и геохронологическое изучение донных отложений двух озерных котловин, расположенных на высотных отметках 27.0 и 31.2 м над современным уровнем моря в районе хребта Мустатунтури (баренцевоморское побережье Кольского региона). В осадках обоих исследованных озёр установлены осадки разного генезиса (морские, переходные от морских к пресноводным и пресноводные).

Ключевые слова: диатомовые водоросли, донные отложения озёр, баренцевоморское побережье, Кольский регион.

Paleoecological study of the bottom lake sediments of in the Mustatunturi ridge area, Kola region (according to diatom analysis data)

A. N. Tolstobrova, D. S. Tolstobrov

GI KSC RAS, Apatity, Russia, a.tolstobrova@ksc.ru, d.tolstobrov@ksc.ru

Abstract. A comprehensive study of the diatoms species composition and a geochronological study of bottom sediments of the two lake basins located at elevations of 27.0 and 31.2 m above modern sea level in the of the Mustatunturi Ridge area (Barents Sea coast of the Kola region) were carried out. The sediments of different genesis were identified (marine, transitional from marine to freshwater, and freshwater) in the both studied lakes.

Keywords: diatoms, bottom lake sediments, Barents Sea coast, Kola region.

Введение

Донные отложения в районе хребта Мустатунтури изучались в связи с работами по перемещению береговой линии моря. Такие работы ранее были выполнены в различных районах баренцевоморского побережья Кольского региона (Snyder et al., 1997, Corner et al., 2001, Kolka et al, 2023 и др.). В данной работе представлены новые данные по диатомовому анализу донных отложений двух озёр, расположенных на высотных отметках 27.0 м и 31.2 м над современным уровнем моря (н. у. м.). Геохронологический контроль осуществлялся методом радиоуглеродного датирования.

Материалы и методы

Материалы были получены в ходе летних полевых работ 2021 г. Керны были получены при помощи ручного бура с катамарана. Диатомовый анализ выполнен по (Диатомовые водоросли..., 1974). Таксономическая идентификация диатомовых водорослей уточнялась по базе данных Algaebase (Guiry, Guiry, 2024).

Литологическое описание

Озеро безымянное с абсолютной отметкой 31.2 м н. у. м. (N69°38'37.3"; E031°48'21.9"), глубина воды 1.8 м. Описание керна приведено снизу вверх:

360–359 см – песок серый среднезернистый, граница в вышележащий интервал постепенный;

359–357 см – песок с гиттией коричневая с желтоватым оттенком, неслоистая;

357–220 см – гиттия неясно слоистая, слоистая, коричневая с растительными остатками.

В интервале 349–350 и 315–316 отмечаются прослой песка серого цвета. При отборе проб на радиоуглеродное датирование прослой песка на глубине 315–316 см встречался не во всех кернах. На глубинах 356 см, 354 см, 337 см отмечаются прослой с многочисленными растительными остатками. В интервале 271–272 см отмечается серый прослой (алевроит/глина?) мощностью 5–10 мм, в этом интервале обнаружен гравий размером 11×9 мм;

220–180 см – гиттия рыхлая, неслоистая, опесчанена.

Озеро безымянное с абсолютной отметкой 27.0 м н. у. м. (N69°38'50.4"; E31°47'22.9"), глубина воды в точке отбора 1.7 м. Описание керна приведено снизу вверх:

410–405 см – песок серый;

405–390 см – гиттия коричневая, слоистая, без минеральной части;

390–371 см – алевроит с песком серого цвета. В интервале 377–380 см отмечаются растительные остатки. Нижняя граница неровная, с размывом, отмечаются обломки красновато-коричневой гиттии. У верхней и нижней границы отмечается коричневатый оттенок из-за присутствия органики. В интервале глубин 390–389 см обнаружен щебень размером 3×1.5 см, также в других кернах в аналогичных отложениях ближе к нижней границе отмечаются куски древесины, зерна гравия, гальки, щебня;

371–359 см – гиттия темно-коричневая, рыхлая, с песком, с растительными остатками;

359–341 см – гиттия оливковая, слоистая/неясно слоистая, с ед. зернами гравия;

341–170 см – гиттия светло-коричневая с желтоватым оттенком, с ед. растительными остатками.

Диатомовый анализ

Методом диатомового анализа из донных отложений озера безымянного с абсолютной отметкой 31.2 м н. у. м. изучено 16 образцов. Установлено, что песок нижней части разреза (360–359 см) накапливался в морских условиях. При этом в нем обнаружены как морские, так и пресноводные виды. Среди доминантов выделены морской планктонно-бентосный вид *Paralia sulcata* и пресноводно-солонатоводные виды обрастаний *Staurosira subsalina*, *Staurosira* sp. Это объясняется близким расположением береговой линии моря к порогу стока, из озера, а котловина исследуемого озера в то время представляла собой опресненный морской залив.

Песок с гиттией (359–357 см) по данным диатомового анализа соответствует переходным осадкам от морских к пресноводным, что выражено в значительном уменьшении содержания морских и увеличении пресноводных видов. Доминируют пресноводно-солонатоводные виды обрастаний *Staurosira subsalina*, *Staurosira* sp., *S. binodis*. По результатам радиоуглеродного датирования накопление данного интервала осадков соответствует раннеголоценовому времени.

В гиттии (357–220 см) происходит исчезновение морских и солонатоводных диатомей. Вверх по разрезу происходит увеличение видового разнообразия диатомовых водорослей, что отражается в смене видов *Fragilaria sensu lato* на другие различные донные и перифитонные виды. В доминирующем комплексе выделены виды обрастаний *Achnantheidium minutissimum*, *A. pusillum*, *Encyonopsis descripta*, *Eunotia arcus*, *Tabellaria flocculosa*, донные *Brachysira neoexilis*, *Frustulia saxonica*. Виды, обитающие в планктоне, составляют первые проценты, что говорит о том, что в течение среднего и позднего голоцена уровень водоёма практически не изменялся.

Диатомовый анализ для донных отложений озера безымянного с абсолютной отметкой 27.0 м н. у. м. выполнен на 14 образцах. Пески базальной части разреза содержат единичные морские диатомеи. Выше по разрезу в интервалах гиттии (405–390 см), алевроите с песком (390–371 см), гиттии (371–359 см) и (359–341 см) количество створок заметно увеличивается. Доминируют морские виды, представленные планктонно-бентосной *Paralia sulcata*, донными *Amphitetras antediluviana*, *Diploneis interrupta*, *Plagiogramma staurophorum*. В гиттии в верхней части интервала (359–341 см) и нижней интервала (341–170 см) выявлено резкое сокращение морских видов, абсолютным доминантом выступает солонатоводный вид *Nanofrustulum sopotense*, среди субдоминантов выявлены *Navicula rhynchotella*, *Navicula radiosa*, *Stauroneis gracilis*. В нижней части гиттии (341–170 см) происходит смена доминирующего комплекса, в качестве доминантов выделены *Staurosirella pinnata*, *Nitzschia palea?*, а *Nanofrustulum sopotense* выступает субдоминантом.

Заключение

Полученные новые данные по диатомовому анализу позволили выявить генезис осадков. В осадках двух исследованных озер установлены морские, переходные от морских к пресноводным и пресноводные отложения. Стоит отметить, что ранее (Толстобров и др., 2023) по литологическим

данным мы считали, что котловина *озера с отметкой 27.0 м н. у. м.* в начале голоцена была изолирована от моря и в ней происходило осадконакопление в пресноводных условиях, затем в результате трансгрессии Тапес снова присоединилась к морю. Однако, результаты диатомового анализа показывают, что органогенные отложения из нижней части разреза также формировались в морских условиях. Таким образом изоляции котловины не происходило, и данные отложения формировались в спокойных условиях небольшого залива моря. Эти данные позволяют дополнить картину перемещения береговой линии Баренцева моря в данном районе, и сделать вывод о том, что перед началом трансгрессии Тапес уровень моря не опускался ниже 27.0 м.

Благодарности

Авторы благодарят С. Б. Николаеву, Н. А. Костромину, К. А. Шихирину, А. В. Пронину, А. О. Королёву, А. О. Комарова, А. А. Стафоркина за помощь в проведении полевых работ.

Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН по теме НИР FMEZ-2024-0007.

Литература

1. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л. Изд-во: Наука, 1974. 403 с.
2. Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н., Шихирина К. А. Предварительные данные об изменении уровня Баренцева моря в районе хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. № 20. С. 211–217. <https://doi.org/10.31241/FNS.2023.20.026>.
3. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. 2022. <http://www.algaebase.org>.
4. Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Ya, Moller J. J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // Global and Planetary Change. 2001. V. 31. P. 153–175. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00118-7).
5. Kolka V., Tolstobrov D., Corner G. D., Korsakova O., Tolstobrova A., Vashkov A. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change on the Barents Sea coast at Teriberka, Kola Peninsula, northwestern Russia // The Holocene. 2023. V. 33(9). P. 1060–1072. <https://doi.org/10.1177/09596836231176489>.
6. Snyder J. A., Forman S. L., Mode W. N., Tarasov G. A. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia // Boreas. 1997. V. 26. P. 329–346. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1997.tb00859.x>.

Палеолимнологические обстановки в котловине оз. Красное (Карельский перешеек) на рубеже неоплейстоцена и голоцена по данным диатомового анализа

Е. Д. Фомичева¹, Г. Б. Фёдоров², З. В. Пушина³, Л. А. Савельева¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, st067801@student.spbu.ru, l.savelieva@spbu.ru

² Институт ботаники НАН РА, Ереван, g.fedorov@botany.am

³ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, musatova@mail.ru

Аннотация: Диатомовый анализ донных отложений оз. Красное (Ленинградская область) позволил уточнить этапы осадкообразования в озерной котловине в позднем неоплейстоцене и раннем голоцене. Позднеоплейстоценовый этап характеризуется монодоминантным немногочисленным диатомовым комплексом, низкой биопродуктивностью, господством анаэробных обстановок в водной толще и высокими темпами седиментации. В раннем голоцене условия осадконакопления были нестабильными, но более оптимальными для развития диатомовой флоры, видовое разнообразие увеличивалось. Количество растворенных питательных веществ возрастало, снос вещества с поверхности водосбора уменьшался, происходила стабилизация окислительно-восстановительных условий. Уровень воды в котловине оз. Красное испытывал значительные колебания. Озеро являлось как самостоятельным водоемом, так и частью Балтийского ледникового и Ладожского озер.

Ключевые слова: Ленинградская область, озеро Красное, донные отложения, поздний неоплейстоцен, ранний голоцен, диатомовые водоросли.

Paleolimnological history of Lake Krasnoe basin (Karelian Isthmus) during the Pleistocene-Holocene transition inferred from diatom record

E. D. Fomicheva¹, G. B. Fedorov², Z. V. Pushina³, L. A. Savelieva¹

¹ Saint Petersburg State University, St. Petersburg, st067801@student.spbu.ru, l.savelieva@spbu.ru

² A. Takhtajan Institute of Botany NAS RA, Yerevan, g.fedorov@botany.am

³ VNIIOceangeologia, St. Petersburg, Saint Petersburg, musatova@mail.ru

Abstract. Diatom analysis of sediment core from Lake Krasnoe (Leningrad region) allowed to define the sedimentation stages in the lake basin during the Late Pleistocene and Early Holocene. The Late Pleistocene stage is characterized by a monodominant, low-diversity diatom complex, low bioproductivity, dominance of anaerobic conditions in the water column, as well as high sedimentation rates. The sedimentation conditions were unstable but more optimal for the development of diatoms and increasing of species diversity during the Early Holocene. At the same time the amount of dissolved nutrients increased, sediment income from the watershed decreased and redox conditions stabilized. The water level in Lake Krasnoe experienced fluctuations, being both an independent lake and part of Baltic Ice Lake and Lake Ladoga.

Keywords: Leningrad region, Lake Krasnoe, bottom sediment, Late Pleistocene, Early Holocene, diatoms.

Введение

В котловине оз. Красное накоплены наиболее мощные среди озер Карельского перешейка голоценовые отложения (> 19 м), а также отмечена большая мощность позднеледниковых осадков (> 4 м). Данный материал является ценным архивом палеогеографической информации, которая может быть использована для дополнения сведений об изменении природно-климатических обстановок в поздне- и послеледниковое время в центральной части Карельского перешейка. В 1960-х гг. XX в. было произведено геологическое бурение в центральной части и береговой зоне озера Красное, проведены последующий палинологический (Абрамова и др., 1966) и диатомовый анализы (Вишневецкая, Давыдова, 1967), по результатам которых составлено описание основных этапов осадконакопления. В 2020 г. впервые получена ненарушенная колонка донных отложений

этого озера мощностью 23.98 м. В данной работе приводятся результаты диатомового анализа, которые позволили уточнить основные этапы развития оз. Красное на рубеже неоплейстоцена и голоцена.

Материалы и методы

В 2020 г. группой преподавателей и студентов СПбГУ было произведено бурение в центральной части озера, где по данным предыдущих исследований (Абрамова и др., 1966) вскрыта наиболее мощная толща органогенных илов (гиттий). Отбор озерных отложений производился с плавучей платформы при глубине воды 11.2 м с помощью поршневой системы для отбора колонок донных отложений производства UWITEC (Австрия). Полученная композитная колонка была подвергнута непрерывному рентгенофлуоресцентному анализу в Институте океанологии им. Ширшова РАН на установке Geotek Core Workstation сотрудником ИО РАН Д. Г. Борисовым. В Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана имени В. П. Кеппена СПбГУ проведено литологическое описание керн оз. Красное совместно с А. П. Фоменко. По результатам данных работ выделена предполагаемая граница позднего неоплейстоцена и голоцена на глубине 18.28 м (Фомичева, 2023), что послужило основанием выбора интервала 18.20–20.60 м для проведения диатомового анализа на начальном этапе исследований колонки. Нижняя часть интервала представлена ленточными глинами (20.60–19.57 м), выше залегают гиттиевая глина (19.57–18.40 м) и глинистая гиттия (18.40–18.28 м), перекрытые гомогенными органогенными илами (18.28–18.20 м). Для диатомового анализа было отобрано 25 образцов через 10 см, масса навески каждой пробы составила 0.8–1.2 г. Обработка проб производилась по стандартной методике (Диатомовый водоросли СССР, 1974). В каждом образце проведен подсчет створок диатомовых водорослей до 300 экземпляров, также отмечались фрагменты спикул губок и цисты золотистых водорослей (Chrysophyta). Диатомовая диаграмма и диаграмма с экологическими характеристиками диатомовых комплексов построены с использованием программного обеспечения PanPlot (Sieger et al., 2013).

Результаты и обсуждение

По результатам диатомового анализа определено 69 таксонов и выделено 4 экозоны. В соответствии с ними и ранее полученными геохимическими данными (Фомичева, 2023) установлены 3 этапа осадконакопления в котловине оз. Красное в позднем неоплейстоцене и раннем голоцене.

1 этап охватывает интервал глубин 20.60–19.57 м, представленный ленточными глинами, в который входят диатомовые экозоны III и IV. Осадконакопление, вероятно, происходило в позднеледниковое время, когда северная низинная часть Карельского перешейка была занята водами Балтийского ледникового озера (Кузнецов, 2019), котловина оз. Красное являлась частью крупного приледникового водоема. Аналогичные обстановки отмечены, например, и в расположенном в 8 км оз. Вишневокское (Davydova, Servant-Vildary, 1996).

В экозоне IV (20.50–19.90 м) обнаружено наименьшее количество створок диатомей, по сравнению с остальными образцами, а также наименьшее видовое разнообразие. Диатомовые комплексы представлены практически одним планктонным видом – *Aulacoseira islandica*, доля которого варьирует от 85 до 99 %. Таксон является типичным для крупных олиготрофных водоемов (Давыдова, 1985). Кроме того, в определенных Н. Н. Давыдовой диатомовых комплексах оз. Красное, характерных для аналогичного этапа осадконакопления, данный таксон наиболее значим (Вишневская, Давыдова, 1967). Отмечено небольшое присутствие переотложенных из размываемых морских осадков микулинского межледникового обломков створок морских диатомей и спикул губок. На эту особенность позднеледниковых диатомовых комплексов указывалось и ранее (Давыдова, 1985).

В экозоне III (19.90–19.60 м) доминирующий вид остается прежним – *Aulacoseira islandica*, но в субдоминантах появляется *Aulacoseira subarctica* (от 11 до 27 %), обитатель малых олиготрофно-мезотрофных водоемов (Gibson et al., 2003). В диатомовых комплексах по-прежнему преобладают планктонные диатомей. Видовое разнообразие увеличивается, главным образом за счет донных и эпифитных таксонов. Также растет процент алкалифильных видов (5–15 %) по сравнению

с IV экозоной (1–11 %). Условия в озере были относительно глубоководные, господствовали анаэробные обстановки (вероятно, связанные с длительным периодом ледостава), в котловину поступало большое количество аллохтонного материала, что вызывало повышенную мутность водной толщи и высокие темпы осадконакопления. Данные выводы сопоставляются с условиями образования осадков в котловинах Ладожского озера (Лудикова, 2018), оз. Пасторское (Субетто и др., 2003) и оз. Мичуринское (Арсланов и др., 1992), сделанных на основе диатомового анализа, проведенного для колоннок донных отложений.

Следующему 2 *этапу* соответствуют гиттиевая глина и сменяющая её выше по разрезу глинистая гиттия, отмеченные в интервале глубин 19.57–18.30 м. Выделенный период охарактеризован II экозой. Образование донных отложений практически весь этап происходило в мелководных условиях. Лишь начало и завершение данного этапа характеризуются более глубоководными обстановками. Водоем в это время являлся частью Ладожского озера, о чем свидетельствует доминирующая *A. islandica* в интервале 19.57–19.40 м, а также на глубине 18.30 м.

Воды Йольдивого моря в котловину оз. Красное не проникали, т. к. створки морских диатомей отсутствуют, что совпадает с предыдущим исследованием данного водоема (Вишневская, Давыдова, 1967).

Далее, на смену *A. islandica* приходит *A. subarctica* (35–51 %) с глубины 19.30 м. Предполагается, что донные осадки в интервале 19.30–19.10 м откладывались в момент, когда в котловине оз. Красное на короткий промежуток времени существовал самостоятельный водоём. Вероятно, произошло кратковременное понижение уровня воды, в результате чего оз. Красное отделилось. Количество створок *A. islandica* снижалось до 1–8 %. В противоположность, в сопоставимом интервале колонки Ладожского озера, в диатомовых комплексах превалирует *A. islandica* в то время, как на долю *A. subarctica* чаще всего приходится не > 1–2 % (Лудикова, 2018).

Позже, вследствие Анциловой трансгрессии, котловина оз. Красное вошла в состав Ладожского озера, уровень в котором поднялся до отметок 18–20 м (Субетто, 2007). Озеро Красное, вероятно, являлось его мелководным заливом. В полидоминантном диатомовом комплексе высока роль как бентосной *Staurosira* spp. (14–46 %), так и планктонных *A. subarctica* (16–25 %) и *A. islandica* (5–22 %). Также объем эрозионного сноса в водоем, биопродуктивность и количество кислорода в водной толще были непостоянны. Всё это может указывать на нестабильные условия раннего голоцена – увеличение общей инсоляции, но с периодическими похолоданиями и длительными ледоставами на озере.

Аналогичные глинистые илы в колонке донных отложений оз. Вишневское (Ленинградская область), подстилаемые ленточными глинами, отнесены по палинологическим данным к пребореальному периоду (Arslanov et al., 1999).

3 *этап* представлен гомогенной гиттией с глубины 18.20 м, ему соответствует I экозона. В диатомовых комплексах вновь отмечено преобладание планктонных видов, доминантным является *A. islandica* (45 %), ей сопутствуют планктонные *A. subarctica* (17 %), *A. granulata* (9 %), *Stephanodiscus neoasraea* (8 %). Алкалифильные виды составляют практически 1/3 от всех определенных диатомей. Роль видов, обитающих в мезотрофных водоемах, увеличивается, по сравнению с остальными выделенными этапами. Количество растворенных питательных веществ заметно увеличилось, а снос вещества с поверхности водосбора резко уменьшился. Это может быть связано с увеличением плотности растительного покрова и развитием древесной растительности в береговой зоне. По данным изучения донных отложений оз. Медведевское (Ленинградская область) количество содержания общего органического углерода возросло между 11.1 тыс. кал. л. н. и 10.8 тыс. кал. л. н. Это связывают со стабилизацией и развитием почв на поверхности водосбора, уменьшением доли аллохтонного минерального вещества и улучшением условий в самом озере для развития биоты (Субетто и др., 2002). Можно предположить, что осадки данного этапа в котловине оз. Красное накапливались в более теплых условиях бореального времени, когда в котловине Ладожского озера началось накопление типичных озерных отложений (Субетто, 2007), а оз. Красное являлось его глубоким заливом, аналогично оз. Вишневское (Davydova, Servant-Vildary, 1996).

Выводы

Результаты диатомового анализа нижней части колонки оз. Красное (интервал глубин 20.60–18.20 м), сопоставленные с данными геохимических исследований, проведенные ранее, позволили уточнить палеоэкологические условия формирования донных отложений водоема на границе неоплейстоцена и голоцена. В позднеледниковье, когда накапливались ленточные глины, котловина оз. Красное входила в состав крупного приледникового водоема – Балтийского ледникового озера. В раннем голоцене, во время накопления гиттиевой глины и глинистой гиттии, неоднократно менялся уровень воды в озере. Предположительно в начале и в конце пребореального периода котловина оз. Красное входила в состав Ладожского озера, а в середине – озеро являлось самостоятельным водоемом. О нестабильном гидрологическом режиме в это время свидетельствуют и геохимические показатели эрозионного сноса, окислительно-восстановительных условий и биопродуктивности. Смена глинистой гиттии на гомогенные органогенные илы, изменения геохимических показателей, увеличение доли мезотрофных видов в диатомовых комплексах указывают на формирование отложений в более благоприятных условиях, вероятно, бореального периода голоцена. Господство планктонных видов диатомей в это же время связано с глубоководными обстановками, возникшие в результате Анциловой трансгрессии. Был зафиксирован период, в который озеро являлось самостоятельным водоемом.

Полученные данные свидетельствуют о том, что палеолимнологические обстановки в послеледниковое время в низине у северного подножия Центральной Карельской возвышенности были динамичными и носили сложный характер.

Литература

1. Абрамова С. А., Гей Н. А., Грейсер Е. Л., Давыдова Н. Н., Казарцева Т. И., Квасов Д. Д., Линьков А. Г., Федоров Б. Н. Геоакустическое зондирование оз. Красного (Карельский перешеек) // Известия ВГО. Вып. 5. 1966. С. 10–15.
2. Арсланов Х. А., Давыдова Н. Н., Субетто Д. А., Хомутова В. И. Карельский перешеек // История озер Восточно-Европейской равнины / Ред. Н. Н. Давыдова, М. В. Кабайлене, А. В. Раукас, О. Ф. Якушко. Ленинград, 1992. С. 50–76.
3. Вишневская Е. М., Давыдова Н. Н. История озера Красное (Карельский перешеек) по данным диатомового анализа // История озер Северо-Запада: Материалы I симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. (Ленинград, 17–20 ноября 1965 г.): К Междунар. симпозиуму по истории озер (Венгрия, 1967 г.) / Отв. ред. С. В. Калесник; Геогр. о-во СССР. Л.: Б. и., 1967. С. 161–185.
4. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене / Отв. ред. И. С. Трифонова. Л. Изд-во: Наука, 1985. 243 с.
5. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л. Изд-во: Наука, 1974. 403 с.
6. Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А. Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. М. Изд-во: ГЕОС. 2019. 120 с.
7. Лудикова А. В. Диатомовые водоросли позднеледников-голоценовых отложений Ладожского озера, География: развитие науки и образования. Т. I. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXXI Герценовские чтения, посвященной 155-летию со дня рождения Владимира Ивановича Вернадского, Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена, 18–21 апреля 2018 г. / Отв. ред. В. П. Соломин, В. А. Румянцев, Д. А. Субетто, Н. В. Ловелиус. СПб. Изд-во: РГПУ им. А. И. Герцена. 2018. С. 407–412.
8. Субетто Д. А., Давыдова Н. Н., Сапелко Т. В., Вольфарт Б., Вастегорд С., Кузнецов Д. Д. Климат Северо-запада России на рубеже плейстоцена и голоцена // Известия РАН. Серия географическая. 2003. № 5. С. 1–12.
9. Субетто Д. А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. СПб. Изд-во: РГПУ им. А. И. Герцена. 2009. 339 с.
10. Шилова О. С. Голоценовые диатомей болот Кольского полуострова и Северо-Восточной Карелии. М. Изд-во: МАКС Пресс. 2011. 177 с.
11. Фомичева Е. Д. Обстановки осадконакопления в котловине озера Красное (Карельский перешеек) в позднеледниковье и голоцене по данным геохимического анализа 24-метрового керна донных осадков, Азимут геонаук. Вып. 3. Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции «Азимут ГЕОнаук – 2022». Томск. Изд-во: Томского ЦНТИ. 2023. С. 410–412.

12. Arslanov Kh. A., Saveljeva L. A., Gey N. A., Klimanov V. A., Chernov S. B., Chernova G. M., Kuzmin G. F., Tertychnaya T. V., Subetto D. A., Denisenkov V. P. Chronology of vegetation and paleoclimatic stages of northwestern Russia during the Late Glacial and Holocene // *Radiocarbon*. 1999. V. 41 (1). P. 25–45. https://doi:10.2458/azu_js_rc.41.3793.
13. Davydova N., Servant-Vildary S. Late Pleistocene and Holocene history of the lakes in the Kola peninsula, Karelia and the north-western part of the East European plain // *Quaternary Science Reviews*. 1996. V. 15. P. 997–1012.
14. Gibson C. E., Anderson N. J. & Haworth E. Y. *Aulacoseirasubarctica*: taxonomy, physiology, ecology and palaeoecology // *European Journal of Phycology*. 2003. V. 38. No 2. P. 83–101.
15. Sieger, Rainer; Grobe, Hannes (2013): PanPlot 2 – software to visualize profiles and time series [dataset]. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA.

Влияние тектоники на развитие Сайменско-Ладожской системы озёр в позднеледниковье и голоцене

С. В. Шварев^{1,2}

¹ Институт географии РАН, Москва, shvarev@igras.ru

² Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, shvarev@ifz.ru

Аннотация: Сравнение пространственного положения ледниковых форм рельефа, гидрографической сети, разломов кристаллического фундамента и морфологически выраженных активированных разломов показывает их тесную взаимосвязь. Основные элементы рельефа «вписываются» в пространственный тектонический «каркас», а пространственные и временные характеристики сейсмогенной активности отдельных зон разломов сопоставимы с возрастом трансформации гидрографической системы, что свидетельствует о значительном влиянии активной тектоники на формирование рельефа в позднем Ледниковье и голоцене.

Ключевые слова: морфотектоника, цифровые модели рельефа, морфолинеаменты, палеоземлетрясения.

The influence of tectonics on the development of the Saimaa-Ladoga lake system in the Late Glacial and Holocene

S. V. Shvarev^{1,2}

¹ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, shvarev@igras.ru

² Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, shvarev@ifz.ru

Abstract. A comparison of the spatial position of glacial relief forms, hydrographic network, crystalline basement faults and morphologically pronounced activated faults shows their close correlation. The main elements of the relief «fit» into the spatial tectonic «frame», and the spatial and temporal characteristics of the seismogenic activity of individual fault zones are comparable with the age of transformation of the hydrographic system, which indicates a significant influence of active tectonics on the formation of the relief in the Late Glacial and Holocene.

Keywords: morphotectonics, digital elevation models, morpholineaments, paleoearthquakes.

Введение

Исследуемая территория расположена в юго-восточной Фенноскандии и включает два крупнейших озёрных образования: большую группу озёр, объединяемых общим названием Сайма в южной Финляндии и Ладожское озеро на северо-западе России, связанных в единую гидрографическую систему рекой Вуокса. Известно, что формирование и развитие системы тесно связано с деградацией оледенения и изостатическим поднятием. Роль дифференцированных движений в этом процессе и их пространственные и временные параметры известны существенно меньше, что и представляет предмет исследования.

Дегляциация и ледниковый рельеф

Рельеф территории несет выразительные черты динамики последнего оледенения, как экзарационные в виде скальных гряд и ложбин преимущественно северо-западных направлений, так и аккумулятивные, в особенности хорошо подчеркивающие динамику отступления ледника, – прямолинейные и радиально ориентированные озовые гряды и стадияльные образования, дугообразно оконтуривающие края отдельных лопастей – ледниково-краевые гряды Сальпаусселька I и II (SSI, SSII), Центрально-Финляндская (CFIMF), Калевальская (К) и Ругозерская (R) (Niemela et al., 1993; Stroeve et al., 2016) (рис. 1 а). Очевидна пространственная корреляция Сайменской озёрной системы с элементами ледниково-аккумулятивного рельефа – южного дистального ограничения по гряде Сальпаусселька I, фланговых ограничений по продольным озам и отчасти конечным грядам и в целом её позиция как реликта приледникового водоема, опирающегося на барьер гряды SSI. Согласно реконструкции дегляциации данного района (Saarnisto & Saarinen, 2001), основанной на датировании по варвохронологии и ¹⁴C-AMS, первая гряда (SSI) возникла при остановке лед-

ника после раннего дриаса около 12300–12100 л. н. На следующей стадии ледник отступил на 15–25 км и вновь приостановился около 11800–11600 л. н., оставив гряды SSII. Вслед за отступающим ледником территорию покрыл бассейн Балтийского ледникового озера (БЛО), сформировавшего несколько террасовых уровней. Уровень БЛО-1 соответствует возрасту приостановки ледника в районе SSI и располагается на отметках около 101 м в районе гряды, но не постоянен в районе, достигая 160 м вблизи г. Кярккя (Kärkölä) (Eronen, 1990). По мере отступления края ледника уровень БЛО упал вначале примерно на 5 м, сформировав вторую поверхность (БЛО-2) (Jantunen, 2004), а затем, по достижению стадии SSII, снизился еще на 5 м, сформировав поверхность БЛО-3 с абсолютными отметками около 91 м (Eronen, 1990). Вслед за этим почти сразу последовало быстрое падение уровня на 25–28 м, произошедшее из-за прорыва озера на запад в районе г. Биллинген в южной Швеции около 11.5 тыс. л. н. (Björck, 1995), или, по уточненным датировкам ≈ 11590 (Saarnisto & Saarinen, 2001) или ≈ 11620 л. н. кал. (Stroeven et al., 2015). Иольдиевый уровень, сформировавшийся после прорыва БЛО, не был устойчив, поскольку столь значительное падение уровня определило выход частей суши на поверхность и их блокирующую роль для талых вод. Это способствовало формированию локального Южно-Сайменского ледникового водоема, просуществовавшего всего 100–200 лет, повысившего уровень относительно Иольдиевого бассейна примерно на 15 м, но не достигшего отметок БЛО-3 (Hellakoski, 1934; Hakulinen, 2009; 2012 a) и кратковременно остановившегося на современных абсолютных отметках около 78 м (Hakulinen, 2012 b). После этого, около 11.4 тыс. л. н. уровень вновь сровнялся с Иольдиевым бассейном и достигал 67 м в современных отметках на участке между гг. Лаппенранта и Йоутсено (Hakulinen, 2009). Изостатический подъем территории вслед за отступающим ледником нарушил связь озерных бассейнов с морем. Хотя М. Саарнисто (Saarnisto, 2000) считает, что 9500 л. н. еще существовала связь с морем, по более свежим данным, начиная с этого времени (Mäkinen et al., 2012) или даже ранее ≈ 9800 л. н. (Hakulinen, 2012 b), Сайменский бассейн начинает развиваться автономно. В начальной стадии развития сток из него направлялся в северо-западном направлении (Nenonen & Portaankorva, 2009). Затем, по мере постепенного наполнения бассейна и изостатического поднятия, сопровождавшегося изменением уклона поверхности и неравномерным перекосом с северо-запада на юго-восток, произошло увеличение глубин и повышение уровня бассейна в части, прилегающей к SSI (Pajunen, 2005). В последние несколько тысячелетий перед прорывом озера и образованием р. Вуокса сток из озера направлялся на юго-запад (Nenonen & Portaankorva, 2009). Завершилась озерная трансгрессия катастрофическим прорывом воды через конечную гряду SSI. Впервые предложил катастрофический механизм образования р. Вуоксы в результате перелива вод оз. Сайма через SSI Я. Седерхольм (Sederholm, 1897). Согласно представлениям М. Саарнисто, развивающим эту концепцию, поднимающиеся в ходе трансгрессии воды озера Сайма прорвали гряду SSI ≈ 5 тыс. ^{14}C л. н. (Saarnisto, 1970) или в калиброванном исчислении ≈ 5.7 тыс. л. н. (Remes et al., 2013) и, таким образом, возникла р. Вуокса, при этом уровень озера резко понизился на 2–2.5 м (Hellakoski, 1922), а образовавшаяся связь Сайменского бассейна с Ладожским положила начало Ладожской трансгрессии. Таким образом, в развитии Сайменско-Ладожской системы очевидна роль оледенения, следы которого в рельефе предопределили расположение озерных котловин озера Сайма, барьеры, пространственные ограничения, пороги стока, а постледниковые изостатические движения способствовали динамике водных масс – перераспределению объемов, изменению уровней и глубин, направлений стока.

Тектоника и дифференцированные движения. С другой стороны, тектонические структуры кристаллического фундамента Фенноскандинавского щита в целом обладают близкими к пространственной структуре покровного ледника радиально-концентрическими чертами (Светов, Свириденко, 1991) и в не меньшей мере, чем ледниковые, отражены в рельефе территории. В тектонической структуре крупнейшие котловины, занятые озерными и морскими бассейнами по восточной периферии щита, связаны с краевой геофлексурой Полканова (Финский залив Балтийского моря, Горло Белого моря) и радиальными грабенами (Ладожское озеро, Кандалакшский залив Белого моря). Как можно заключить из анализа расположения крупнейших разломов территории (Сидоренко и др., 1978), им вполне определенно соответствуют крупнейшие элементы рельефа и, прежде всего, мери-

диональные ограничения Ладожского озера, осевые части Финского залива, элементы Сайменской озёрной системы. В последнее время стало очевидно, что постледниковое изостатическое поднятие в значительной степени носило дифференцированный характер, проявившийся в активизации разломов кристаллического фундамента, провоцировавшей, в свою очередь, сильные землетрясения (Mörner, 2004; Lagerbäck&Sund, 2008; Steffen et al., 2022), а также то, что активизация разломов отчасти связана с разрядкой и латеральных напряжений (Olesen, 1988) и не ограничивается только узким временным отрезком первых тысячелетий после таяния ледника, а проявляется как в доледниковое время, так и в течение голоцена. Обнаружение множественных признаков сильных палеоземлетрясений в Приладожье и Прионежье и наличие здесь неоднократных катастрофических перестроек гидрографической сети в голоцене позволили выдвинуть гипотезу о «триаде катаклизмов» в Онежско-Ладожской системе, объясняющей неожиданные прорывы озерных бассейнов не просто переливами, но перехлестом через барьеры волнами цунами, спровоцированными сильными землетрясениями в той или иной частях озерных котловин (Никонов, 2017). Эта гипотеза позволяет довольно широко трактовать положение и параметры сейсмогенерирующих структур, которые могут быть удалены на десятки километров от конкретного места прорыва и не объясняет локализацию последних с позиции активной тектоники. В этой связи весьма интересно сопоставить активные тектонические структуры и трансформации гидрографической сети, определить соответствие постледниковых разломов и участков перестроек. Морфотектонический анализ территории на базе цифровых моделей рельефа ArcticDEM и FABDEM позволил выявить сеть морфолинементов, проявляющихся как в общей структуре рельефа, так и в резких уступах и глубоких линейных ложбинах, свидетельствующих о постледниковой активизации разломов, определяемой суперпозицией нескольких ортогонально сопряженных систем. Анализ иерархии морфолинементов выявляет главную СЗ/СВ систему, в которой, в свою очередь, ведущую роль играют протяженные зоны СЗ-простиранья. Сопоставление позиции форм аккумулятивного ледникового (водно-ледникового) рельефа с активизированной тектонической структурой свидетельствует об их тесной пространственной корреляции: основные элементы ледниковой морфоскульптуры (краевые образования, их сочленение, осевые и фланговые участки ледниковых лопастей и др.) укладываются в тектоническую «раму». Очевидна и связь объектов гидрографии с морфолинементной сетью. Она весьма характерна для Карельского перешейка, ограничения и внутренняя структура которого подчинена зонам СЗ простиранья. Крупнейшая река этой территории – Вуокса и её притоки на значительном протяжении отвечают продольным разломам, а морфология диагональных пересечений свидетельствует о вероятном сдвиговом характере новейших движений. Для одной из таких зон (Вуоксинской (V-10)), установлены многочисленные признаки сейсмогенной активизации (Шварев и др., 2021). Совокупность данных о возрасте одного из палеоземлетрясений, коррелирующим со временем прорыва р. Вуокса из озера Сайма (≈ 5.7 тыс. л. н.), и о свежих (постледниковых) разрывах в скальном ложе в истоках р. Вуокса (Subetto et al., 2018), свидетельствует о весьма вероятной сейсмогенной компоненте в формировании и трансформации гидрографической сети.

Выводы. Совокупность этих данных свидетельствует о том, что в развитии Сайменско-Ладожской системы весьма важную роль играли дифференцированные тектонические движения – влияние на пространственное распределение водно-ледниковых и краевых образований, формирование озерных котловин, изменение направления стока и кардинальные перестройки водосбора.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 23-27-00205.

Литература

1. Никонов А. А. Воздействие голоценовых пертурбаций Онежско-Ладожской гидрологической системы на древнее население прибрежных пространств // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6. № 3 (20). С. 171–177.
2. Сидоренко А. В. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран / Ред. Н. А. Беляевский. Масштаб 1:2500000. Мингео СССР, АН СССР. М. Изд-во: Аэрогеология, 1980.

3. Светов А. П., Свириденко Л. П. Магматизм шовных зон Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука, 1991. 199 с.
4. Шварев С. В., Субетто Д. А., Зарецкая Н. Е., Молодьков А. Н. Возраст, генезис и сейсмогенные деформации террас реки Вуокса на Карельском перешейке, Северо-Запад России // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 11. С. 1592–1615. DOI: 10.15372/GiG2020192.
5. Björck S. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0–8.0 ka BP. *Quaternary International*. 1995. V. 27. P. 19–40. [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(94\)00057-c](https://doi.org/10.1016/1040-6182(94)00057-c).
6. Eronen M. Geologinen kehitys jääkauden lopussa ja sen jälkeen. Teoksessa // Toim. P. Alalammi. Suomen kartasto. Maanmittaushallitus & Suomen maantieteellinen seura. 1990. Vihko 123–126. *Geologia*. P. 14–18.
7. Jantunen T. 2004. Muinais-Itämeri. Teoksessa: M. Koivisto (toim.). Jääkaudet. S. 63–68.
8. Hakulinen M. 2009. Saimaan jääjärvet, Sininen hetki – yli 10 000 vuotta sitten. *Geomatti Oy*. 92 s.
9. Hakulinen M. 2012 a. Pohjois-Savon suurjärvi, Saimaan altaan kuroutuminen. *Geologi*. 64. S. 132–136.
10. Hakulinen M. 2012 b. Suursaimaa – Hiekkarantojen elämää 6000 vuotta sitten. *Geomatti Oy*. 103 s.
11. Hellaakoski A. 1922. Suursaimaa. *Fennia* 43:4, 122 s.
12. Hellakoski A. 1934. Die Eisstauseen des Saimaa-Gebietes. *Fennia*. 59:4, 102 s.
13. Lagerbäck R. and Sundh, M. (2008). Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. *Geological Survey of Sweden Research Paper C 836*. 80 pp.
14. Mäkinen K., Teeriaho J., Rönty H., Rauhaniemi T., Sahala L. 2012 Valtakunnallisesti arvokkaat tuuli- ja rantakerrostumat. Suomen ympäristö. 32/2011. Edita Prima Oy, Helsinki. 2012. 185 p. ISBN 978-952-II-3955 0.
15. Mörner N.-A. (2004) Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden. Primary structures and secondary effects. *Tectonophysics* 380 (2004) 139–157.
16. Nenonen J. & Portaankorva, A. 2009. The geology of the Lakeland Finland area. 2009. Northern Environment Education Development (NEED). GTK, Geological Survey of Finland.
17. Niemela J., Ekman I., Lukashov A. (Eds.) 1993. Quaternary deposits of Finland and northwestern part of Russian Federation and their resources. Scale 1: 1 000 000. Geological Survey of Finland and Russian Academy of Science, Institute of Geology, Petrozavodsk.
18. Olesen O. (1988). The Stuoragurra fault, evidence of neotectonics in the Precambrian of Finnmark, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*. V. 68. P. 107–118
19. Pajunen H. 2005. Ala-Saimaan sedimentaatioympäristön muuttuminen jääkauden jälkeen (Early Holocene change in the sedimentation environment at lower Lake Saimaa). *Terra* 117: 1. P. 33–46.
20. Remes K-M., Tervo T., Nenonen J. Imatran Geoinventointi // Geologian tutkimuskeskus. Ita-suomen yksikko. Kuopio. 2013. 50 p.
21. Saarnisto M. 1970. The Late Weichselian and Flandrian History of the Saimaa Lake Complex. *Commentationes Physico-Mathematicae, Societas Scientiarum Fennica* 37. 107 p.
22. Saarnisto M. 2000. Shoreline Displacement and Emergence of Lake Basins. Teoksessa: H. Pajunen (toim.). Carbon in Finnish lake sediments. Geological Survey of Finland, Special Paper 29. P. 25–34.
23. Saarnisto M. & Saarinen T. 2001. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselkä End Moraines. *Global and Planetary Change* 31. S. 387–405.
24. Sederholm, J. J. Über eine archaische Sedimentformation im südwestlichen Finland und ihre Bedeutung für die Erklärung der Entstehungsweise des Grundgebirges // *Bulletin de la Commission géologique de Finlande. Geologiska kommissionen, Helsingfors*. 1897. V. 6. 254 p.
25. Steffen H., Olesen O., Sutinen R. (eds.) *Glacially-Triggered Faulting*. United Kingdom: Cambridge University Press. 2022. 460 p. DOI: 10.1017/9781108779906.
26. Stroeve A. P., Hättstrand C., Kleman J., Heyman J., Fabel D., Fredin O., Goodfellow B. W., Harbor J. M., Jansen J. D., Olsen L., Caffee M. W., Fink D., Lundqvist J., Rosqvist G. C., Strömberg B., Jansson K. N. Deglaciation of Fennoscandia // *Quaternary Science Reviews*. 2016. V. 147. P. 91–121. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.09.016>.
27. Subetto D. A., Shvarev S. V., Nikonov A. A., Zaretskaya N. E., Poleshchuk A. V., Potakhin M. S. New evidence of the Vuoksi river origin by geodynamic cataclysm // *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2018. V. 90. P. 275–289. DOI: 10.17741/bgsf/90.2.010.

Палеогеографические реконструкции природной среды на Карельском берегу Белого моря (район о. Соностров)

Т. С. Шелехова ¹, Н. Б. Лаврова ¹, А. А. Вашков ², Д. С. Толстобров ²

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, shelekh@krc.karelia.ru, lavrova@krc.karelia.ru

² Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, d.tolstobrov@ksc.ru, a.vashkov@ksc.ru

Аннотация. В районе острова Соностров на Карельском берегу Белого моря комплексом методов, включающих спорово-пыльцевой, диатомовый, радиоуглеродный (¹⁴C), были получены новые данные о характере перемещения береговой линии моря за последние 6500 лет. Результаты основаны на исследовании 3 озерных котловин, расположенных на абсолютных отметках 29, 22 и 10 м над уровнем моря (н. у. м.). В ходе работ была выполнена реконструкция растительности с конца бореального периода до современности. По литологическим и микропалеонтологическим характеристикам установлены три этапа развития озерных котловин: морской, переходный и озерный. На основании новых данных установлено, что береговая линия моря 6500 калиброванных лет назад (к. л. н.) располагалась на высотной отметке 29 м н. у. м. За следующие 200 лет она опустилась до 22 м, а около 1800 к. л. н. находилась на отметке 10 м н. у. м. Скорость поднятия территории с 6500 до 6300 к. л. н. составила 35 мм/год и могла быть обусловлена тектоническими процессами, а также уменьшением скорости эвстатического поднятия уровня Мирового океана. С 6300 до 1800 к. л. н. поднятие береговой линии замедлилось до 2.7 мм/год, но с 1800 к. л. н. и до настоящего времени оно увеличивается до 5.6 мм/год.

Ключевые слова: Северная Карелия, Белое море, Карельский берег, озерные отложения, перемещение уровня моря, голоцен.

Paleogeographic reconstructions of the natural environment on the Karelian coast of the White Sea (Sonostrov island area)

T. S. Shelekhova ¹, N. B. Lavrova ¹, A. A. Vashkov ², D. S. Tolstobrov ²

¹ Institute of Geology, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, shelekh@krc.karelia.ru; lavrova@krc.karelia.ru

² Geological Institute, Kola Research Center RAS, Apatity, d.tolstobrov@ksc.ru, a.vashkov@ksc.ru

Abstract. In the area of Sonostrov Island on the Karelian coast of the White Sea, using a complex of methods, including spore-pollen, diatoms, and radiocarbon (¹⁴C), new data were obtained on changes in sea level over time. The results are based on a study of 3 lake basins located at absolute elevations from 29, 22 and 10 m above sea level (a. s. l.). During the work, a reconstruction of vegetation from the end of the Boreal period to the present was carried out. Based on lithological and micropaleontological characteristics, three stages of development of lake basins have been established: marine, transitional and lacustrine. New data shows that the sea coastline 6500 calibrated years ago (calibrated years ago) corresponded to an elevation of 29 m a. s. l. Over the next 200 years it dropped to 22 m, and around 1800 cal BP was at 10 m a.s.l. The rate of rise of the territory from 6500 to 6300 cal BP was 35 mm/year and could be caused by tectonic processes and a decrease in the rate of eustatic rise of the World Ocean level. From 6300 to 1800 years ago the rise of the coastline slowed to 2.7 mm/year, but from 1800 cal. and to date it has increased to 5.6 mm/year.

Keywords: North Karelia, White Sea, Karelian coast, lake sediments, sea level change, Holocene.

Введение

На Карельском берегу Белого моря расположено большое количество озер, которые отделились от моря в результате постгляциального поднятия. Донные отложения таких озер содержат информацию о времени их изоляции от морского бассейна. Изучение донных отложений озер, расположенных на разных высотных отметках, позволяет выяснить положение береговой линии моря в разные периоды голоцена. В 2020 г. были выполнены палеогеографические работы по реконструкции природной среды с целью установления возраста морских террас с расположенными на них ар-

хеологическими стоянками. Работы проходили в районе о. Соностров, где были исследованы донные осадки трех водоемов, расположенных на отметках 29 м н. у. м. (озеро 1), 22 м н. у. м. (озеро 2) и 10 м н. у. м. (озеро 3).

В ходе работ использовался комплекс методов: спорово-пыльцевой, диатомовый, радиоуглеродный и др. Исследования донных осадков проводились по традиционной методике (Donner et al., 1977), которая ранее широко применялась на Карельском побережье Белого моря и прилегающих регионах (Колька и др., 2013; 2014; 2018; Корсакова и др., 2016; Shelekhova et al., 2021; 2024). Отбор колонок донных отложений производился с плавучей платформы либо в центральной, наиболее глубокой части озера, либо в пределах одной из котловин на дне озера. Для отбора отложений озер был использован «русский» пробоотборник с интервалом отбираемой колонки 100 см.

В полевых условиях по литологическим характеристикам вскрытых отложений озёр выделялись интервалы с морским, озерным и переходным типом осадконакопления. Результаты литологического расчленения колонок осадков верифицировались при помощи диатомового анализа. Для микропалеонтологических исследований образцы отобраны послойно: в морских отложениях каждые 5–10 см, в переходных осадках каждые 1–2 см и каждые 5–10 см в пресноводных отложениях. Спорово-пыльцевой и диатомовый анализы выполнены по стандартным методикам, подробно описанным в ряде работ (Shelekhova et al., 2021; 2024).

По образцам гиттии или алевроитистой гиттии, залегающей над морскими осадками по стандартной методике (Арсланов, 1987) выполнено определение возраста осадков (табл.). Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «OxCal 4.4.4», калибровочная кривая «IntCal 20» (Bronk Ramsey, 2020).

Таблица. Результаты радиоуглеродного датирования (^{14}C) осадков из озерных котловин в районе острова Соностров

Table. Results of radiocarbon dating (^{14}C) of sediments from lake basins in the area of Sonostrov Island

Озеро, (№)	Номер образца	Высота н.у.м.	Глубина отбора, см	Отобранные осадки	Радиоуглеродный возраст, лет назад (л.н. $\pm 1\sigma$)	Калиброванный возраст, кал.л.н. (среднее значение $\pm 1\sigma$)	Калиброванный возраст, кал.л.н. (95,4% диапазон)	Условия осадконакопления в котловине
1	LU-10098	29	563–557	гиттия	5820 $\pm$ 90	6620 $\pm$ 110	6400–6850	озеро
1	LU-10097	29	568–563	гиттия	5530 $\pm$ 130	6320 $\pm$ 150	6000–6630	переходная зона
2	LU-10096	22	387–381	гиттия	4470 $\pm$ 130	5480 $\pm$ 160	4830–5480	озеро
2	LU-10095	22	393–387	гиттия + алевроит	5370 $\pm$ 140	6140 $\pm$ 150	5760–6450	переходная зона
2	LU-10094	22	422–416	гиттия + алевроит	5070 $\pm$ 120	5820 $\pm$ 140	5580–6180	море
3	LU-10093	10	175–168	гиттия с остатками растений	1800 $\pm$ 90	1700 $\pm$ 110	1510–1940	озеро
3	LU-10092	10	182–175	гиттия + алевроит	1610 $\pm$ 80	1500 $\pm$ 90	1310–1700	

Морские отложения в колонке озера 1 представлены глинистыми алевроитами, в озере 2 – алевроитами с примесью песка, сменяющимися алевроитами с примесью гиттии, в озере 3 – песками и алевроитами с растительными остатками. Литологические особенности этих отложений отражают глубину моря, что подтверждается составом диатомовых комплексов. Так, морские осадки озера 1 формировались в более глубоководных условиях, о чем свидетельствует господство планктонных форм родов *Hyalodiscus* sp., *Grammatophora* sp., вместе с донными и литоральными *Paralia sulcata*, *Trachyneis aspera*, *Rhabdonema* sp. *Amphora* sp., *Diploneis* sp. и др. Состав диатомового комплекса морской фации озера 2 отличается несколько большим участием литоральных и донных форм

Dimerogramma spp., *Lyrella* spp., *Melosira nummuloides*, *Talassionema nitzschioides*, *Mastogloia* spp., *Diploneis* spp., указывающих на меньшую глубину моря. Диатомовый комплекс морской фации озера 3 отражает еще более мелководные условия. В нем присутствуют кроме вышеперечисленных видов галофилы *Rhoicosphaenia* spp., *Cocconeis* spp., высока доля пресноводных форм (42 %), представленных *Staurosira* spp., *Staurosirella* spp., *Cymbella* spp., *Navicula* spp., *Aulacoseira* spp. и отражающих накопление осадков в мелководной литорали моря.

Переходные отложения представлены в исследованных котловинах алевритами с примесью гиттии и гиттией с растительными остатками. Осадки характеризуются снижением доли солоноватоводных видов до 40–60 %, и возрастанием роли пресноводных форм *Fragilaria sensu lato* (*Fragilariforma constricta*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *Pseudostaurosira parasitica*, *Staurosira venter*), единичным участием *Discotella stelligera*, *Epithemia* sp., *Navicula radiosa*, *Tabellaria flocculosa*, *Ulnaria ulna* и др.

Пресноводные отложения представлены в озерах 1 и 2 гиттией и торфом в озере 3. В них выявлены главным образом виды *Fragilaria sensu lato*, *Aulacoseira* sp., *Frustulia saxonica*, *Tabellaria* sp., *Brachysira zellensis*, *Pantocsekiella ocellata*. Единично участие форм обрастаний *Cymbella* sp., *Eunotia* sp., *Gomphonema acuminatum*, *Tetracyclus lacustris*, *Ulnaria ulna*, донных *Pinnularia* sp. и морских видов.

Согласно данным спорово-пыльцевого анализа выполнена реконструкция растительности от раннего голоцена (бореала) до современности. Отложения **раннего голоцена** выделены в морских осадках озера 1 и характеризуются максимальным для данного разреза содержанием пыльцы *Pinus*. На материковой суше в то время господствовали редкостойные сосновые и березово-сосновые леса. Осадконакопление в морском бассейне отражено присутствием пыльцы растений галофитов *Plantago maritima*, Aster-type (*Tripolium vulgare*), *Salicornia herbacea*, *Atriplex nudicaulis*, Juncaginaceae (*Triglochin maritima*). Диатомовый комплекс этого времени представлен типично морскими поли-, мезогалолами и галофилами: *Grammatophora* spp., *Hyalodiscus* spp., *Dimerogramma* spp., *Lyrella* spp., *Melosira nummuloides*, *Talassionema nitzschioides*, *Rhabdonema* spp., *Mastogloia* spp., *Diploneis* spp.

Отложения **среднего** голоцена зафиксированы в озерах 1 и 2, отражают потепление климата, что подтверждается появлением термофильной пыльцы *Ulmus*, *Tilia*, *Quercus*, *Corylus*. Преимущество распространение имели среднетаежные сосновые, березовые, во второй половине – сосново-еловые леса. Наряду с пыльцой галофитов (*Atriplex nudicaulis*, Aster type (*Tripolium vulgare*)) присутствует пыльца растений пресноводных водоемов (*Myriophyllum*, *Sparganium*, *Typha*, споры *Isoëtes* и др.) В диатомовых комплексах этого времени вначале возрастает доля планктонных морских форм, но снижается роль полигалофов, вытесняемых мезогалолами и галофилами, указывая на снижение солености воды. В конце периода доминируют литоральные и донные формы, появляются пресноводные индифференты, свидетельствуя о дальнейшем снижении уровня моря, приближении береговой линии, начале отделения водоемов от моря.

Отложения **позднего голоцена** выделены в пресноводных осадках всех водоемов, характеризуются увеличением количества пыльцы *Betula* sect. *Albae* и уменьшением *Pinus* и *Picea*. В окрестностях озер произрастали северотаежные сосновые и сосново-еловые леса с участием березы. К концу периода появились вторичные березовые леса. Согласно полученным данным в это время произошла изоляция озера 3, о чем свидетельствуют господство в составе диатомового комплекса пионерных пресноводных форм рода *Staurosira* spp. Отчленившаяся от моря часть суши постепенно заболачивалась, на что указывает пыльца *Rubus chamaemorus*, *Drosera*, *Menyanthes trifoliata*.

Таким образом, согласно радиоуглеродным датировкам (табл.) и микропалеонтологическим данным 6500 к. л. н. береговая линия моря находилась на отметке 29 м н.у.м., спустя 200 лет она резко снизилась до 22 м н. у. м., а около 1800 к. л. н. она соответствовала отметке 10 м н. у. м. Отсюда следует, что скорость поднятия суши в районе острова Соностров с 6500 до 6300 к. л. н. составила 35 мм/год. С 6300 до 1800 к. л. н. поднятие замедлилось до 2.7 мм/год, а с 1800 к. л. н. и до настоящего времени поднятие идет со скоростью 5.6 мм/год. Практически одновременная изоляция озерных котловин, расположенных на высотных отметках 29 и 22 м н. у. м., от морского бассейна может ука-

зывать на активизацию тектонических процессов в данном регионе. Также на это могут указывать данные из соседних районов исследования пос. Чупа (Колька и др., 2015) и села Кереть (Shelekhova et al., 2024), где в среднем голоцене отмечается кратковременное увеличение скорости поднятия. Необходимо отметить, что примерно в это время эвстатическое поднятие уровня Мирового океана практически остановилось (Fleming et al., 1998), вероятно, изостатическая составляющая, влияющая на характер перемещения береговой линии моря, стала преобладать над другими, что выразилось в резком увеличении скорости поднятия территории.

Проведенные работы позволили определить основные черты развития природной среды одного из участков Карельского берега в голоцене, а новая информация о характере изменения положения береговой линии во времени позволяет ограничить максимально возможный возраст археологических стоянок в пределах цокольно-аккумулятивных террас района работ (Лобанова и др., 2022).

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственной темы ИГ Кар НЦ РАН № 1022040500826-4 и в рамках государственной темы FMEZ-2024-0007 Геологического института КНЦ РАН.

Литература

1. Зарецкая Н. Е., Лудикова А. В., Шварев С. В., Кузнецов Д. Д., Кутенков С. А. Палеосейсмогенные тектонические рвы – уникальные архивы истории Белого моря // Геоморфология. 2020. № 4. С. 45–57. <https://doi.org/10.31857/S0435428120040112>.
2. Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Арсланов Х. А. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район пос. Энгозеро, северная Карелия) // ДАН. 2013. Т. 449. № 5. С. 587–592.
3. Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Алексеева А. Н., Толстобров Д. С., Лаврова Н. Б. Хронология и причины перемещения береговой линии Белого моря в голоцене по данным изучения донных отложений озер из района Кузема (северная Карелия) // Известия РГО. 2014. Вып. 6. С. 14–26.
4. Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Толстоброва А. Н. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе Чупа (северная Карелия) // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 255–268.
5. Колька В. В., Корсакова О. П., Толстоброва А. Н., Толстобров Д. С., Вашков А. А. Количественные показатели дифференцированных движений морфотектонических блоков на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Труды Ферсмановской сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. С. 205–208 <https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.051>.
6. Корсакова О. П., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Шелехова Т. С. Литология и поздне- постледниковая стратиграфия донных отложений из котловин изолированных бассейнов побережья Белого моря (на примере малого озера из района поселка Чупа, северная Карелия) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. Т. 24. № 3. С. 81–101. <https://doi.org/10.1134/S0869593816030035>.
7. Лобанова Н. В., Шелехова Т. С., Вашков А. А., Толстобров Д. С. Древнее население Карельского берега Белого моря: природная среда, материальная культура, образ жизни. Петрозаводск. Изд-во: РК Принт, 2022. 103 с.
8. Николаева С. Б. Последлениковская тектоника и палеосейсмодислокации в районе участка Ковды (Кандалакшский залив Белого моря) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. № 64 (3). С. 434–453. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.304>.
9. Толстобров Д. С. Голоценовая тектоника северо-западной части Кольского региона. Автореферат на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – общая и региональная геология. М.: ГИН, 2018. 26 с.
10. Bronk Ramsey C. OxCal 4.4 [Электронный ресурс]. URL: <http://c14.arch.ox.ac.uk>. (дата обращения 14.10.2020).
11. Donner J., Eronen M., Jungner H. The dating of the Holocene relative sea-level changes in Finnmark, North Norway // Norsk Geografisk Tidsskrift. 1977. V. 31. N 3. P. 103–128.
12. Fleming, K., Johnston, P., Zwart, D., Yokoyama, Y., Lambeck, K., & Chappell, J. Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far- and intermediate-field sites // Earth and Planetary

- Science Letters. 1998. No. 163 (1–4). P. 327–342. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(98\)00198-8](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(98)00198-8).
13. Shelekhova T. S., Lobanova N. V., Lavrova N. B., Rodionov G. N. Paleogeographic conditions of human habitation on the Karelian coast of the White Sea in the Late-Holocene (Chupa Town, Karelia, Russia) // The Holocene. 2021. V. 32 (11). P. 1222–1232. <https://doi.org/10.1177/09596836211041733>.
14. Shelekhova T., Lavrova N., Lobanova N., Tolstobrov D., Vashkov A., Lazareva O., Rodionov G. Paleogeographical reconstructions of the Holocene environment on the Karelian shore of the White Sea (Keret area, Russia) // The Holocene. 2024. V. 34. Iss. 3. P. 306–324. <https://doi.org/10.1177/09596836231211871>.

Развитие и заселение берегов кутовой части Унской губы Белого моря в голоцене

А. П. Яковлева¹, Т. Ю. Репкина¹, Ю. А. Кублицкий², П. А. Леонтьев², А. Л. Гуринов¹,
А. В. Орлов², О. С. Шилова³, А. Е. Беличенко⁴

¹ Институт географии РАН, Москва, iakovleva-ap@yandex.ru; t-repkina@yandex.ru;
gurinov.artem@gmail.com

² РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия, yukublitskiy@herzen.spb.ru; barograph@yandex.ru;
95orlov@rambler.ru

³ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, o.olyunina@mail.ru,

⁴ Институт археологии РАН, Москва, Россия, alexbelichenko@yandex.ru

Аннотация. В кутовой части Унской губы (Летний берег Белого моря) в 2020–2023 гг. выполнены геоморфологические, георадиолокационные, палеолимнологические и геоархеологические исследования, дополненные радиоуглеродным датированием и диатомовым анализом донных отложений озёр Червозеро и Светлое (окрестности д. Уна, буферная зона НП «Онежское Поморье», Архангельская область), а также дешифрированием детальных космических снимков. Восстановлены условия и механизмы развития южных берегов Унской губы в голоцене, а также стратегия их заселения представителями Беломорской культуры. Установлено, что позднеледниковая трансгрессия завершилась на высоте 9.8 м н. у. м. не позже ~ 10.3 тыс. кал. л. н., на высоте ~ 8.5 м н. у. м. – не позже ~ 10.0 тыс. кал. л. н. Во время голоценовой трансгрессии Тapes относительный уровень моря не превышал ~ 8.5 м н. у. м. Первобытные стоянки были ориентированы на берега древнего пролива, существовавшего между эстуариями Унской и Ухтинской губ и располагались на высотах 9–10 м над уровнем моря.

Ключевые слова: береговые процессы, относительный уровень моря, палеолимнологические исследования, георадиолокационные исследования, геоархеология, голоцен, Белое море.

Coastal dynamics at the top of the Unskaya Bay and its prehistoric settlement in the Holocene (the White Sea, northwestern Russia)

A. P. Yakovleva¹, T. Yu. Repkina¹, Yu. A. Kublitskiy², P. A. Leontiev², A. L. Gurinov¹, A. V. Orlov²,
O. S. Shilova³, A. E. Belichenko⁴

¹ Institute of Geography RAS, Moscow, iakovleva-ap@yandex.ru; t-repkina@yandex.ru;
gurinov.artem@gmail.com

² Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, barograph@yandex.ru;
barograph@yandex.ru; 95orlov@rambler.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, o.olyunina@mail.ru,

⁴ Institute of Archaeology RAS, Moscow, alexbelichenko@yandex.ru

Abstract. We present new data that were generated by intensive field surveys and comprehensive geological-geomorphological, geophysical (ground-penetrating radar (GPR) profiling), paleolimnological and geoarchaeological studies within the top of the Unskaya Bay (the Letniy Coast of the White Sea) in 2020–2023. It was supplemented by radiocarbon dating and diatom analysis of the sediment cores from Chervozero and Svetloe Lakes (Una village area, Onezhskoye Pomorye National Park, Arhangelsk region), as well as interpretation of detailed space images. As a result, we reconstructed relative sea level (RSL) changes within the southern coast of the Unskaya Bay and its initial settlement by prehistoric humans in the Holocene. It was revealed that the late glacial transgression ended at an altitude of 9.8 m a. s. l. no later than ~ 10.3 thousand cal BP, at an altitude of ~ 8.5 m a. s. l. – no later than 10.0 thousand cal BP. The relative sea level didn't exceed ~ 8.5 m a. s. l. during the Tapes transgression. The archaeological sites were facing the shores of an ancient strait that existed between the estuaries of the Unskaya and Ukhta Bays and were located at 9–10 m a. s. l.

Keywords: coastal processes, sea level changes, paleolimnological studies, ground-penetrating radar (GPR), geoarchaeology, Holocene, the White Sea.

Введение

Унская губа – один из крупных эстуариев Белого моря, вдающийся в Онежский полуостров на 30 км и наследующий северо-восточное простираие рифейского грабена (Балуев и др., 2012). Морфодинамика берегов изучалась на открытом волновому воздействию северо-западном побережье эстуария в районе оз. Мураканского (Kublitskiy et al., 2023), а также в его устье (горле), где наряду с волнением, действуют сильные приливные течения (Сафьянов, Репкина, 2013; Сафьянов и др., 2015). В вершине эстуария получены сведения об изменении относительного уровня моря за последние ~ 2.8 тыс. кал. л. н. (Kemp et al., 2017). Экспедиционные исследования, выполненные в 2020–2023 г. на территории НП «Онежское Поморье», позволили исследовать рельеф берегов вершинной части Унской губы, развивающихся под действием приливов и медленного послеледникового поднятия, а также обнаружить памятники первобытной культуры и оценить стратегию первоначального заселения (Репкина и др., 2020, 2021, 2022; Яковлева, Беличенко, 2022).

Заселение побережья Унской губы представителями Беломорской морской культуры началось ~ 6 тыс. кал. л. н. и происходило на внешних берегах губы параллельно с выдвиганием береговой линии за счет стремительного роста аккумулятивных форм и медленного послеледникового понижения относительного уровня моря (Kublitskiy et al., 2023; Репкина, Беличенко, Яковлева, 2020; Репкина и др., 2021). На внутренних берегах губы памятники первобытной культуры, выявленные и обследованные в ходе работ 2020–2023 г., были ориентированы на берега древнего пролива, который соединял Унскую губу Двинского залива с губой Ухта Онежского залива (Репкина и др., 2020, 2022). Полагают, что пролив существовал во время позднеледниковой трансгрессии, а во время регрессии раннего голоцена был осушен (Динамика..., 2002; Государственная..., 2013). Сроки этих событий были определены в регионе как ~ 13–11.5 и 11.5–9.8 тыс. кал. л. н. (Колька, Корсакова, 2017). Реконструкции изменения относительного уровня моря во внутренней части Унской губы в раннем и среднем голоцене, подкрепленные данными радиоизотопного датирования и аналитических исследований отложений, не проводились. В данной работе представлены предварительные результаты такой реконструкции для одного из участков южного берега губы, в районе д. Уна (рис. 1). Это позволило уточнить условия заселения побережья губы.

Материалы и методы

Задачи исследования решены путем комплексного обследования рельефа и археологических памятников, расположенных на приморских террасах вершинной части Унской губы Белого моря. Экспедиционные исследования были сосредоточены в пределах трех ключевых участков (рис. 1 В), расположенных в буферной зоне НП «Онежское Поморье» в окрестностях: озера Сеицкого (I. на рис. 1 В), озера Соловецких (II. на рис. 1 В) и деревни Уна (III. на рис. 1 В). На всех участках выполнены: геолого-геоморфологическое обследование, ГНСС-съёмка с помощью комплекта геодезических приемников PrinCe i50 (база и ровер), бурение с помощью русского торфяного бура и литостратиграфический анализ донных отложений озера, отбор образцов для диатомовый и радиоуглеродный анализ, а также археологическая разведка. В окрестностях озер Червозера и Светлого (рис. 1 С) также проведено георадиолокационное профилирование с целью уточнения мощности и особенности залегания озерных, морских и ледниковых отложений, характерных для побережья Белого моря (Государственная..., 2013). Профилирование осуществлялось при помощи георадара Око-3 и антенн с частотой 250 и 400/900 МГц. На камеральном этапе была проведена обработка радарограмм с использованием программных пакетов CartScan и RadExplorer 1.42. Интерпретация радарограмм выполнена на основе анализа волновой картины по стандартной методике (Старовойтов, 2008), с учетом данных бурения. Результаты экспедиционных исследований были дополнены геоморфологическим дешифрированием детальных космических снимков, полученных с сервисов SAS-planet (ArcGIS IMAGERY; Bing.Satellite) и GoogleEarth (googlemaps), и топографических карт. Полученная информация сведена в ГИС-проект и проанализирована в среде ArcGIS. Из донных отложений озер Светлого, Червозера, а также болота к северу от Соловецких озер (скв. 22 на рис. 1 В) были получены радиоуглеродные даты. Радиоуглеродное датирование было прове-

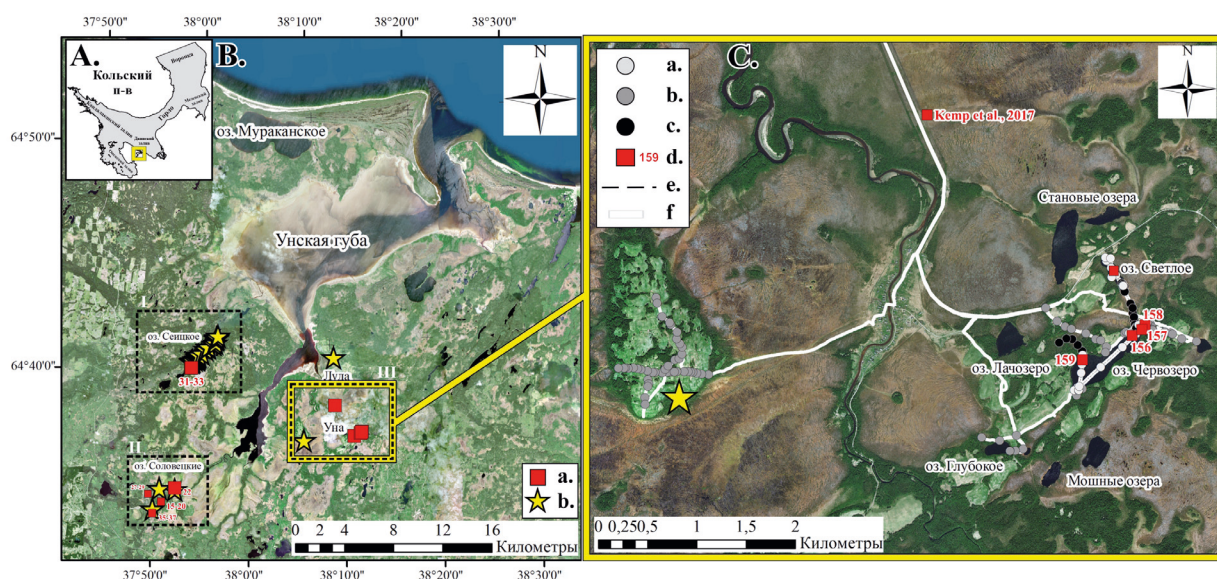


Рис.1. Фактический материал: А. – положение района работ в регионе; В. – Ключевые участки исследования в куте Унской губы (Репкина и др., 2020, 2022; Яковлева, Беличенко, 2022), в окрестностях: I. – озеро Сеицкое (октябрь 2020 г.), II. – озёр Соловецких (октябрь 2020 г.), III. – Деревни Уна (2021–2023 гг.). Условные обозначения: а. – скважины ручного бурения (цифра – номер), б. – положение найденных и обследованных археологических стоянок (Репкина и др., 2020, 2022, Яковлева; Беличенко, 2022). С. – Карта фактического материала ключевого участка в окрестностях д. Уна: пункты геолого-геоморфологических наблюдений: а. – февраль–март 2022 г.; б. – июль 2022 г.; с. – пункты измерения высоты (февраль–март 2022); д. – скважины ручного бурения (2022–2023 гг.), а также (Kemp et al., 2017); е. – линии георадиолокационных профилей (февраль–март 2022); ф. – линии пеших маршрутов (июль 2022).

Fig. 1. Case study area: А. – Location of the study area, В. – Key research areas (Репкина и др., 2020, 2022; Яковлева, Беличенко, 2022); I. – Seitskoe Lake (October 2020), II. – Solovetsky Lakes (October 2020), III. – surroundings of the Una village (2021–2023). Legend: а. – positions of sediment cores (cores are signed with numbers), б. – position of surveyed archaeological sites (Репкина и др., 2020, 2021, 2022; Яковлева, Беличенко, 2022). С. – Case study area of a key site in the vicinity of the Una village: areas of geological and geomorphological observations, carried out in а. – February–March 2022; б. – July 2022; с. – DGPS altitude measurement points (February–March 2022); д. – sediment cores (2022–2023); е. – ground-penetrating radar (GPR) profile lines (February–March 2022); ф. – location of routes and profiles (July 2022).

дено в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ, ЦКП «Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Обстановки формирования донных отложений оз. Червозеро (скв. 159 на рис. 1 С) оценены по предварительным результатам гранулометрического и диатомового анализов.

Результаты и обсуждение

По результатам геоморфологических исследований выделены следующие типы рельефа:

1. Холмисто-грядовые равнины на высотах 10–30 м.
2. Пологовыпуклые, заболоченные поверхности на высотах до 10 м. Между ними на высотах около 8 м в окрестностях Становых озёр и оз. Червозеро (рис. 1 С) и 10 м в окрестностях Соловецких озёр (II на рис. 1 В, Репкина и др., 2020) зафиксированы фрагменты отчетливых береговых линий. Береговая линия имеет извилистый характер в плане, который предопределен обилием моренных гряд и холмов. На уровне более 10 м береговые линии обнаружены не были. Заболоченные поверхности на высотах менее 10 м полого падают в направлении Унской губы и, судя по своему морфологическому облику, представляли обширные области древних осушек.

На юго-восточном берегу Унской губы группа озёр Червозеро (урез 7.3 м, порог стока ~ 8.5 м) и Светлое (урез 9.8 м), расположенных между моренными холмами и грядами, соединена заболоченными понижениями сложной конфигурации (рис. 1 С). На радарограммах между кровлей море-

ны и озерно-болотными отложениями прослеживается минеральная толща. Это позволяет предположить, что озера и соединяющие их понижения при уровне выше 8 м были заливами и проливами Унской губы. Для реконструкции условий и времени существования и осушения проливов изучены донные отложения озер Червозера и Светлого. В скв. 159 на оз. Червозеро (рис. 1 С), под озёрно-болотными отложениями (гиттия, торф, общая мощность – 1.3–1.35 м) залегают хорошо отмытые мелкозернистые, а под ними – крупнозернистые пески с включениями гравия, макроостатков растений и фрагментов древесины. По результатам георадарной съемки выявлено, что пески облекают кровлю морены. По данным диатомового и радиоуглеродного анализов озёрные отложения начали накапливаться ~ 10 тыс. кал. л. н. На контакте мелко- и крупнозернистых песков, фиксирующем изменение гидродинамических условий, получена дата ~ 10.2 тыс. кал. л. н. В донных отложениях оз. Светлого под озерно-болотными отложениями (гиттия, торф, общая мощность – 0.6–0.7 м) залегают опесчаненные алевриты. Из переходного горизонта между сильноразложившимся торфом и сизовато-серым опесчаным алевритом, получена дата ~ 10.3 тыс. кал. л. н. По возрасту и литологическому составу минеральная часть донных отложений, вскрытых в котловинах озер Червозеро и Светлое, может быть сопоставлена с позднеледниковой трансгрессией (Государственная..., 2013).

Таким образом, на южном берегу Унской губы позднеледниковая трансгрессия завершилась на высоте 9.8 м не позднее ~ 10.3 тыс. кал. л. н., а на высоте ~ 8.5 м – не позднее ~ 10 тыс. кал. л. н. В узком проливе на юге озера Червозеро в это время существовали активные гидродинамические условия. Во время голоценовой трансгрессии Тапес относительный уровень моря не был выше ~ 8.5 м.

В ходе археологической разведки была выявлена серия археологических стоянок. К западу от д. Уны найдено местонахождение «Остров» на высоте около 9–9.5 м (предполагаемый возраст 5–3 тыс. до н. э. (эпоха неолита) или ~ 7–5 тыс. кал. л. н.). Большая концентрация стоянок обнаружена в окрестностях озёр Соловецкие и Сеицкое на высотах ~ 10 м. Возраст стоянок, оцененный по объектам материальной культуры, укладывается в промежуток 4–3 тыс. до н. э. (эпоха неолита) или ~ 6–5 тыс. кал. л. н. Стоянки видимо были приурочены к протокам между эстуариями Унской и Ухтинской губ, которые во время голоценовой трансгрессии Тапес, вероятно были подтоплены и заполнены пресными водами. Извилистая конфигурация береговой линии, обилие заливов и проливов могли стать причиной, по которой эти берега были удобными для первобытных поселенцев. Источниками пресной воды для поселений могли служить остаточные озера или выходы надморенных грунтовых вод, приуроченные к кровле ледниковых суглинков.

Выводы

1. Основным фактором формирования берегов вершины Унской губы с голоцена до наших дней являлись приливно-отливные явления, поэтому террасы (на высотах, не превышающих 8–10 м), в основном, практически плоские и представляют собой приливные осушки, вышедшие из-под уровня моря в результате медленного послеледникового поднятия.

2. Позднеледниковая трансгрессия завершилась на высоте 9.8 м н. у. м. не позже ~ 10.3 тыс. кал. л. н., на высоте ~ 8.5 м н. у. м. – не позже ~ 10.0 тыс. кал. л. н. Во время голоценовой трансгрессии Тапес относительный уровень моря не превышал ~ 8.5 м н. у. м.

3. Найденные первобытные стоянки были обращены на берега палеопролива между эстуариями Унской и Ухтинской губ, который существовал во время позднеледниковой трансгрессии, во время регрессии раннего голоцена мог быть осушен, а во время голоценовой трансгрессии Тапес повторно затоплен (на высотах ниже ~ 8.5 м) или подтоплен.

Благодарности

Экспедиционные исследования выполнены в рамках тем ГЗ Института географии РАН FMWS-2024-0005 (геоморфологические и георадиолокационные исследования), ГЗ при финансовой поддержке Минпросвещения России (проект № FSZN-2020-0016) (палеолимнологические исследования) и ГЗ НП «Кенозерский» 730000Ф.99.1БВ10АА00006 (Прикладные исследования. Шифр научной темы: 1-22-104-2). Диатомовый анализ выполнен в рамках темы ГЗ 121051100167-1, радиоуглеродное датирование отложений – при поддержке проекта РНФ 22-17-00081 и ГЗ НП «Кенозерский» (договор №181 от 26 февраля 2024 г.).

Литература

1. Балуев А. С., Журавлев В. А., Терехов Е. Н., Пржиялговский Е. С. Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к «Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий» м-ба 1:1 500 000) / ред. М. Г. Леонов. Труды ГИНа. Вып. 597. М. Изд-во: ГЕОС. 2012. 104 с.
2. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Серия Онежская. Лист Q-37 с акваторией (Северодвинск). Объяснительная записка. М. Изд-во: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 118 с.
3. Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет / Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний Симпозиум им. профессора О. К. Леонтьева: береговая зона, дно мирового океана и деятельность человека плейстоцен – голоцен – элементы прогноза». Вып. II. Общая палеогеография / ред. проф. А. А. Величко. М. Изд-во: ГЕОС, 2002. 232 с.
4. Колька В. В., Корсакова О. П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М. Изд-во: Научный мир, 2017. С. 222–249.
5. Репкина Т. Ю., Беличенко А. Е., Кублицкий Ю. А., Леонтьев П. А., Луговой Н. Н., Хмелинский Ю. А., Перетрухина А. О., Дудоркин Е. С. Отчет по теме: «Эволюция рельефа берегов Белого моря (Онежский п-ов) и реконструкция истории заселения побережья в голоцене». Москва, 2020. 21 с., 33 с. текстовых приложений / Научный архив ФГБУ «НП «Кенозерский».
6. Репкина Т. Ю., Кублицкий Ю. А., Леонтьев П. А., Гуринов А. Л., Сердюков А. Г., Беличенко А. Е., Шилова О. С. Отчет по теме: «Эволюция рельефа берегов Белого моря на участке д. Лопшеньга – поселение Горбоватый Мох (окрестности оз. Мураканского) и реконструкция истории заселения побережья в голоцене» Москва, 2021. 31 с. / Научный архив ФГБУ «НП «Кенозерский».
7. Репкина Т. Ю., Кублицкий Ю. А., Леонтьев П. А., Гуринов А. Л., Сердюков А. Г., Орлов А. В., Яковлева А. П., Ерофеева Е. А., Саковец А. В., Беличенко А. Е. Отчет по теме: «Реконструкция истории развития рельефа и заселения берегов Белого моря в голоцене. Районы оз. Мураканского и д. Луда». Москва, 2022, 27 стр. / Научный архив ФГБУ «НП «Кенозерский».
8. Репкина Т. Ю., Беличенко А. Е., Яковлева А. П. Побережье Унской губы Белого моря: взаимодействие рельефа и человека // VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Москва, 28 сентября–1 октября 2020 г. / ред. Е. Н. Бадюкова и др. Москва, 2020. С. 735–741.
9. Сафьянов Г. А., Репкина Т. Ю. Динамика берегов Унской Губы (Летний берег Белого моря) // *Geomorfologiya*. 2013. № 1. С. 82–89.
10. Сафьянов Г. А., Репкина Т. Ю., Селезнева Е. В., Кунгаа М. Ч. Морфодинамика берега как критерий долгосрочного прогноза развития побережий (на примере Летнего берега Белого моря) // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. МАКС Пресс Москва, 2015. С. 172–175.
11. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие М. Изд-во: МГУ, 2008. 192 с.
12. Яковлева А. П., Беличенко А. Е. Отчет по теме: «Динамика юго-восточных берегов Унской губы Белого моря и их заселение в голоцене»: отчёт о НИР (договор № 539/1 от 1 июля 2022 г.). Научный архив ФГБУ «НП «Кенозерский», 2022.
13. Kemp A. C., Horton B. P., Nikitina D. L., Vane C. H., Potapova M., Weber-Bruya E., Culver S. J., Repkina T., Hill D. F. and Selezneva E. The distribution and utility of sea-level indicators in Eurasian sub-Arctic salt marshes (White Sea, Russia) // *Boreas*. 2017. <https://doi.org/10.1111/bor.12233>.
14. Kublitskiy Yu., Repkina T., Leontiev P., Shilova O., Zaretskaya N., Gurinov A., Lugovoy N., Subetto D., Yakovleva A., Seung Il Nam, Jung-Hyun Kim, Yeong-Ju Son, Peretruxhina A. Reconstruction of relative sea-level changes based on a multiproxy study of isolated basins on the Onega Peninsula (White Sea, northwestern Russia) // *Quaternary International*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.04.016>.

Маркеры техногенного влияния на геохимию отложений фоновых озера на побережье Белого моря (Арктическая зона РФ)

З. И. Слуковский

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, z.slukovskiy@ksc.ru

Аннотация. Отложения озёр – природные архивы об изменениях в окружающей среде в прошлом. Самые современные отложения хорошо подходят для оценки техногенного влияния на озера и природную среду вокруг них. В докладе представлены данные о накоплении тяжёлых металлов в отложениях малого озера Терского, расположенного на юге Мурманской области вблизи побережья Белого моря. На основе анализа химического состава колонки отложений водоема установлены повышенные концентрации Pb, Cd, Sb, Ni и Cu в верхних слоях изученных отложений по сравнению с нижними слоями и фоном региона. Несмотря на удаленность озера от промышленных предприятий и населенных пунктов, установленные аномалии связаны с деятельностью человека. Ключевой фактор – дальний атмосферный перенос загрязнителей, поступающих в окружающую среду, в частности от выбросов заводов.

Ключевые слова: донные отложения озёр, тяжёлые металлы, фоновые районы, Мурманская область, Арктика.

Markers of technogenic influence on the geochemistry of sediments of the pristine lake on the White Sea coast (Arctic)

Z. I. Slukovskii

Institute of the North Industrial Ecology Problems of Kola Science Center, Russian Academy of Science, Apatity, z.slukovskiy@ksc.ru

Abstract. Lake sediments are natural archives of past environmental changes. The most recent sediments are well suited for assessing the anthropogenic impact on lakes and the natural environment around them. The report presents data on the accumulation of heavy metals in the sediments of the small lake Terskoe, located in the south of the Murmansk region near the coast of the White Sea. Based on the analysis of the chemical composition of the sediment column of the water body, increased concentrations of Pb, Cd, Sb, Ni and Cu were established in the upper layers of the studied sediments compared to the lower layers and background of the region. Despite the remoteness of the lake from industrial enterprises and populated areas, the identified anomalies are associated with human activity. The key factor is the long-range atmospheric transport of pollutants entering the environment, in particular from emissions from plants.

Keywords: lake sediments, heavy metals, background (pristine) areas, Murmansk region, Arctic.

Использование донных отложений озёр, как маркеров различных процессов в водоемах и на прилегающей к ним территориях, известная лимнологическая практика. Современные отложения, накопленные за последние 100–200 лет, позволяют оценить также влияние антропогенных факторов на озеро. Хорошими маркерами в данном случае выступают тяжёлые металлы, например, Pb, Cd, Sb и ряд других.

На территории Мурманской области, относящейся к Арктической зоне РФ, известно более 100 тысяч озёр. Большинство из них небольшие, расположенные на фоновых или условно-фоновых территориях, например в южной или юго-восточной частях региона. Несмотря на несколько десятков лет экологического исследования озёр и их донных отложений в Мурманской области учеными из разных регионов России и других стран мира, существуют «белые пятна» на карте лимнологической изученности арктического региона страны. Это утверждение справедливо и для района вдоль побережья Белого моря.

В докладе представлены данные по оценке геохимических особенностей современных донных отложений малого озера Терского (66.979100, 33.737483), расположенного в южной части Мурманской области в ~21 км от побережья Белого моря. Отложения озера представлены мягкими ила-

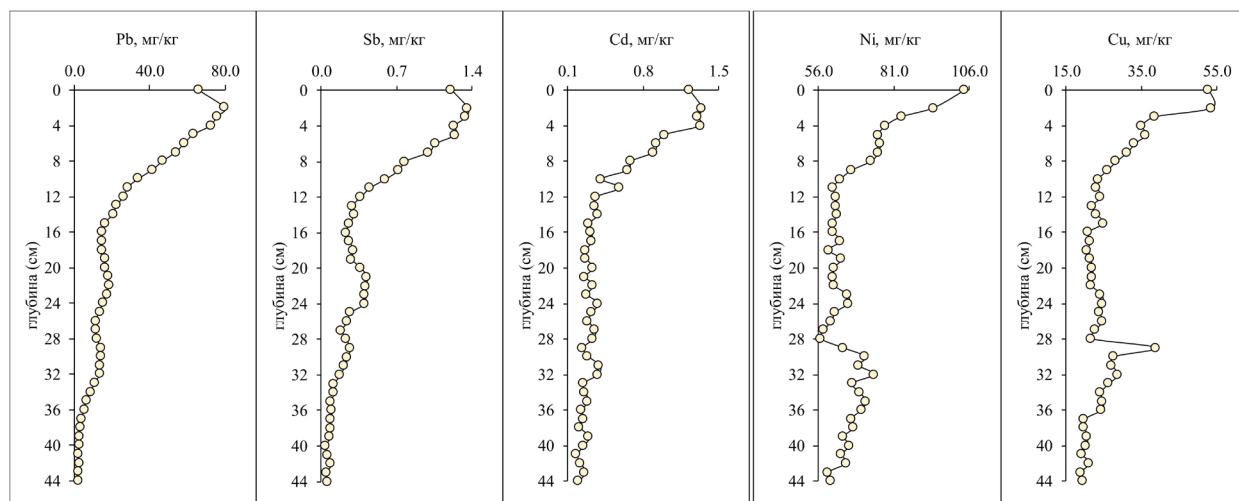


Рис. 1. Вертикальное распределение тяжелых металлов в колонке донных отложений озера Терского.

Fig. 1. Vertical distribution of heavy metals in the sediment core of Lake Terskoe.

ми темно-бурого цвета. Предположительно это сапропель. Оценка химического состава проб отложений показало, что в осадках увеличивается содержание многих редких элементов от нижних слоев к верхним (рис. 1). Так отмечен рост концентраций Pb от 2.2 до 79.8 мг/кг, Sb – от 0.05 до 1.36 мг/кг и Cd – от 0.19 до 1.35 мг/кг.

Указанные тяжелые металлы могли поступать в озеро и его отложения, предположительно, в результате дальнего переноса загрязняющих веществ от предприятий Мурманской области и других регионов России и мира. Также в верхних слоях отложений озера Терского выявлены аномалии Ni (до 104.8 мг/кг) и Cu (до 53.5 мг/кг), что связано с выбросами металлургических предприятий, расположенных в центральной и северо-западной частях региона. Схожее поведение указанных тяжелых металлов уже отмечалось ранее в других работах автора на примере озер Республики Карелии и Мурманской области.

Таким образом, озеро, несмотря на статус фоновое из-за отсутствия близости населенных пунктов, оживленных автомобильных дорог, железнодорожных путей и промышленных предприятий, испытывает антропогенную нагрузку за счет дальнего переноса загрязнителей на большие расстояния через атмосферу. Следует продолжать изучения озер и их современных отложений южной части Мурманской области, учитывая важность научного анализа путей миграции загрязнителей в окружающей среде и практическую ценность таких работ из-за ценности водных ресурсов и их рекреационного потенциала для области и страны в целом.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы гранта РНФ 24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

Оглавление

Предисловие редакторов	3
Аксенов А. О., Большианов Д. Ю., Правкин С. А., Лебедев Г. Б. Результаты оптико-люминесцентного датирования голоценовых береговых образований Ладожского озера ..	4
Aksenov A. O., Bolshiyarov D. Yu., Pravkin S. A., Lebedev G. B. Results of Optically Stimulated Luminescence Dating of Holocene Shoreline Formations of Lake Ladoga ..	4
Аксенов А. О., Рыбалко А. Е. Особенности позднеплейстоцен-голоценового рельефообразования котловины Ладожского озера.	7
Aksenov A. O., Rybalko A. E. Features of the Late Pleistocene-Holocene morphogenesis of the Lake Ladoga basin ..	7
Вашков А. А., Носова О. Ю., Корсакова О. П., Толстобров Д. С. Динамика последнего ледникового покрова в южной части Кольского региона	10
Vashkov A. A., Nosova O. Yu., Korsakova O. P., Tolstobrov D. S. Dynamics of the last glaciation in the southern part of the Kola region.	10
Греков И. М., Сырых Л. С., Назарова Л. Б. История развития оз. Антюх-Ламбина (Кандалакшский берег Белого моря) по результатам исследования донных отложений ...	14
Grekov I. M., Syrykh L. S., Nazarova L. B. History of the lake Antyukh-Lambina (Kandalaksha coast, White sea) based on multi-proxy studies of bottom sediments ...	14
Демиденко Н. А., Саввичев А. С. Искусственные морские водоемы севера Европейской территории России на разных этапах изоляции	17
Demidenko N. A., Savvichev A. S. Artificial marine reservoirs in the north of the European territory of Russia at different stages of isolation...	17
Дружинина О. А., Бурко А. А., Греков И. М., Лазукова Л. И., Назарова Л. Н., Пронина А. В., Рудинская А. И., Сходнов И. Н., Филиппова К. Г. Новые данные о позднеледниковье юго-восточной Прибалтики	22
Druzhinina O. A., Burko A. A., Grekov I. M., Lazukova L. I., Nazarova L. N., Pronina A. V., Rudinskaya A. I., Skhodnov I. N., Filippova K. G. New data on the Late Glacial of the south-eastern Baltic region	22
Дружинина О. А., Сходнов И. Н., Бурко А. А. Антропогенная трансформация ландшафтов юго-восточной Прибалтики в эпоху камня	24
Druzhinina O. A., Skhodnov I. N., Burko A. A. Anthropogenic transformation of landscapes in the south-eastern Baltic region during Prehistory ..	24
Жульников А. М., Аськеев И. В., Аськеев А. О. Об особенностях морских промыслов энеолитического населения северо-западной части Белого моря (по данным изучения костных остатков и каменного инвентаря)	27
Zhul'nikov A. M., Askeyev I. V., Askeyev A. O. On the peculiarities of marine fisheries of the Eneolithic population of the northwestern part of the White Sea (according to the study of bone remains and stone tools).	27
Зарецкая Н. Е., Репкина Т. Ю., Шилова О. С., Луговой Н. Н., Романенко Ф. А. Терский берег Белого моря в голоцене: новые данные аналитических исследований	32
Zaretskaya N. E., Repkina T. Yu., Shilova O. S., Lugovoy N. N., Romanenko F. A. The Tersky coast of the White Sea in the Holocene: new results of analytical studies	32

Комагорова М. А. Реконструкция Привалдайского приледникового озера по данным геологического картирования масштаба 1:200 000	35
Komagorova M. A. A Reconstruction of Privaldai Proglacial Lake Based on 1 : 200 000 Geologic Mapping Data	35
Корсакова О. П., Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н. Донные отложения из котловин озер Выдра-Ламбина и Половинная Ламбина в Колвицкой депрессии (юго-запад Кольского полуострова)	39
Korsakova O. P., Tolstobrov D. S., Tolstobrova A. N. Bottom sediments from Vydra-Lambina Lake and Polovinnaya Lambina Lake basins in the Kolvitskaya depression (south-western Kola Peninsula)	39
Косова А. Л., Денисов Д. Б. Влияние стоков апатит-нефелинового предприятия на диатомовую флору горного озера	43
Kosova A. L., Denisov D. B. The influence of apatite-nepheline production effluent on the diatom flora of a mountain lake	43
Краснова Е. Д., Лабунская Е. А., Лобышев В. И., Воронов Д. А. Как желтое вещество влияет на пигментный состав микробного сообщества в эвксинных лагунах и озерах?	46
Krasnova E. D., Labunskaya E. A., Lobyshev V. I., Voronov D. A. How does yellow matter affect the pigment composition of the microbial community in euxinic lagoons and lakes?	46
Кублицкий Ю. А., Субетто Д. А., Шаталова А. Е., Демидионов М. Ю. Проблемы оценки максимальных уровней пра-Балтийского моря на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена	50
Kublitskii Yu. A., Subetto D. A., Shatalova A. E., Demidionov M. Yu. The problems of the maximum levels of the lake stages of the Pre-Baltic Sea estimation at the turn of the Late Neopleistocene and Holocene	50
Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В., Субетто Д. А., Леонтьев П. А., Сырых Л. С. Изоляционные бассейны Онежского залива – отличительные черты позднего и послеледникового осадконакопления по данным изучения отложений озера Пертозера.. . . .	53
Kuznetsov D. D., Ludikova A. V., Subetto D. A., Leontev P. A., Syrykh L. S. Isolation basins of Onega Bay – specifics of late- and post-glacial sedimentation according to the study of sediments of Lake Pertozero	53
Левкова Д. Н., Сапелко Т. В., Леонтьев П. А., Субетто Д. А. Роль древесных пород в формировании растительности голоцена на о. Анзер (Белое море) по данным спорово-пыльцевого анализа донных отложений оз. Надбанного	56
Levkova D. N., Sapelko T. V., Leontiev P. A., Subetto D. A. The role of tree species in the formation of Holocene vegetation on Anzer Island (White Sea) according to the pollen analysis of Lake Nadbannoye sediment sequences	56
Лудикова А. В., Репкина Т. Ю., Яковлева А. П., Леонтьев П. А., Орлов А. В., Левкова Д. Н. Эволюция морских прибрежных экосистем Онежского залива в связи с изменениями уровня Белого моря в голоцене.. . . .	61
Ludikova A. V., Repkina T. Yu., Yakovleva A. P., Leontev P. A., Orlov A. V., Levkova D. N. Evolution of marine coastal ecosystems of the Onega Bay related to the sea-level changes of the White Sea in the Holocene	61
Николаева С. Б. Косейсмические деформации в донных осадках озер Восточной Фенноскандии.. . . .	64
Nikolaeva S. B. Coseismic deformations in bottom sediments of lakes in Eastern Fennoscandia	64

Овсепян Я. С., Талденкова Е. Е., Зарецкая Н. Е., Руденко О. В., Степанова А. Ю. Микропалеонтологическое изучение отложений бореальной трансгрессии в разрезе Ущемский Зимнего берега Белого моря	68
Ovsepyan Ya. S., Taldenkova E. E., Zaretskaya N. E., Rudenko O. V., Stepanova A. Yu. Micropaleontological study of the Boreal transgression sediment sequence from Ushchemenskii section on the Zimnii coast of the White Sea	68
Панин А. В., Зарецкая Н. Е., Баранов Д. В., Уткина А. О. О существовании неоплейстоценовых ледниково-подпрудных озер в долине р. Вычегды	71
Panin A. V., Zaretskaya N. E., Baranov D. V., Utkina A. O. The Pleistocene ice-dammed lakes in the Vychegda River valley	71
Репкина Т. Ю., Леонтьев П. А., Кублицкий Ю. А., Орлов А. В., Яковлева А. П., Шилова О. С., Луговой Н. Н., Василюк В. А., Пронина А. В., Сердюков А. Г. Соотношение водно-ледниковых и морских образований на южном побережье Кольского полуострова: новые данные	73
Repkina T. Yu., Leontiev P. A., Kublitskiy Yu. A., Orlov A. V., Yakovleva A. P., Shilova O. S., Lugovoy N. N., Vasilyuk V. A., Pronina A. V., Serdyukov A. G. The relationship between glaci-fluvial and marine formations on the southern coast of the Kola Peninsula: new data	73
Рыбалко А. Е., Зарецкая Н. Е., Корсакова О. П., Репкина Т. Ю., Вашков А. А., Беляев П. Ю., Баранов Д. В., Орлов А. В., Субетто Д. А., Терехина Я. Е. Некоторые итоги совместного изучения четвертичных отложений побережья и дна Белого моря для восстановления палеогеографических событий его развития на рубеже позднего неоплейстоцена – голоцена	78
Rybalko A. E., Zaretskaya N. E., Korsakova O. P., Repkina T. Yu., Vashkov A. A., Belyaev P. Yu., Baranov D. V., Orlov A. V., Subetto D. A., Terekhina Ya. E. Some results of the joint study of Quaternary sediments on the White Sea coast and ground to reconstruct paleogeographic events of its development in the Late Neopleistocene - Holocene boundary	78
Савельева Л. А., Рыбалко А. Е., Томилова Е. С., Пушина З. В., Васильева А. В., Беляев П. Ю. Биостратиграфия верхне-неоплейстоценовых и голоценовых отложений Кандалакшского залива Белого моря	82
Savelieva L. A., Rybalko A. E., Tomilova E. S., Pushina Z. V., Vasilyeva A. V., Belyaev P. Yu. Biostratigraphy of Upper Neopleistocene and Holocene sediments from the Kandalaksha Bay of the White Sea	82
Суворова А. Н., Савельева Л. А., Фомичева Е. Д., Федоров Г. Б. Первые результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Красное на рубеже неоплейстоцена и голоцена	88
Suvorova A. N., Savelieva L. A., Fomicheva E. D., Fedorov G. B. The first results of pollen analysis from the bottom sediments of Lake Krasnoe at the transition between the Late Pleistocene and Holocene	88
Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н. Новые данные о положении береговой линии Баренцева моря в районе пос. Дальние Зеленцы (Мурманская область)	92
Tolstobrov D. S., Tolstobrova A. N. New data on the location of the Barents Sea coastline in the area of the village. Far Zelentsy (Murmansk region)	92

Толстоброва А. Н., Толстобров Д. С. Палеоэкологическое изучение донных осадков озёр района хребта Мустатунтури, Кольский регион (по данным диатомового анализа) ..	96
Tolstobrova A. N., Tolstobrov D. S. Paleoeological study of the bottom lake sediments of in the Mustatunturi ridge area, Kola region (according to diatom analysis data) ...	96
Фомичева Е. Д., Фёдоров Г. Б., Пушина З. В., Савельева Л. А. Палеолимнологические обстановки в котловине оз. Красное (Карельский перешеек) на рубеже неоплейстоцена и голоцена по данным диатомового анализа ...	99
Fomicheva E. D., Fedorov G. B., Pushina Z. V., Savelieva L. A. Paleolimnological history of Lake Krasnoe basin (Karelian Isthmus) during the Pleistocene-Holocene transition inferred from diatom record..	99
Шварев С. В. Влияние тектоники на развитие Сайменско-Ладожской системы озёр в позднеледниковье и голоцене ...	104
Shvarev S. V. The influence of tectonics on the development of the Saimaa-Ladoga lake system in the Late Glacial and Holocene..	104
Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Вашков А. А., Толстобров Д. С. Палеогеографические реконструкции природной среды на Карельском берегу Белого моря (район о. Соностров). ...	108
Shelekhova T. S., Lavrova N. B., Vashkov A. A., Tolstobrov D. S. Paleogeographic reconstructions of the natural environment on the Karelian coast of the White Sea (Sonostrov island area)..	108
Яковлева А. П., Репкина Т. Ю., Кублицкий Ю. А., Леонтьев П. А., Гуринов А. Л., Орлов А. В., Шилова О. С., Беличенко А. Е. Развитие и заселение берегов кутовой части Унской губы Белого моря в голоцене..	113
Yakovleva A. P., Repkina T. Yu., Kublitskiy Yu. A., Leontiev P. A., Gurinov A. L., Orlov A. V., Shilova O. S., Belichenko A. E. Coastal dynamics at the top of the Unskaya Bay and its prehistoric settlement in the Holocene (the White Sea, northwestern Russia) .	113
Слуковский З. И. Маркеры техногенного влияния на геохимию отложений фонового озера на побережье Белого моря (Арктическая зона РФ) .	118
Slukovskii Z. I. Markers of technogenic influence on the geochemistry of sediments of the pristine lake on the White Sea coast (Arctic) ...	118

Научное издание

**Морские и озёрные бассейны восточной периферии
Балтийского щита в четвертичное время:**
Материалы Всероссийской конференции и полевого симпозиума
(г. Апатиты, 10–15 сентября, 2024)

Печатается по решению Ученого совета ГИ КНЦ РАН

Технический редактор Л. Д. Чистякова

Компьютерная верстка Л. Д. Чистякова

Подписано в печать 31.07.2024. Формат бумаги 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 14,4. Заказ № 32. Тираж 300 экз.

Учредитель и издатель: Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГИ КНЦ РАН)

184209, ул. Ферсмана д. 14, г. Апатиты, Мурманская область

Оригинал-макет: ГИ КНЦ РАН

Типография: Редакционно-издательский отдел ФИЦ КНЦ РАН

184209, ул. Ферсмана д. 14, г. Апатиты, Мурманская область



ISBN 978-5-91137-520-1



9 785911 375201

