



ОЗЁРНАЯ И МОРСКАЯ СЕДИМЕНТАЦИЯ НА ВОСТОЧНОМ МУРМАНЕ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ: ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

✉ Мещеряков Н.И., Пуговкин Д.В., И.С. Усягина, Н.С. Иванова, Венгер М.П.

ММБИ РАН, Мурманск, Россия

✉ meshcheriakov104@mail.ru

В работе представлены результаты полевых исследований, проведенных в рамках экспедиционного сезона ММБИ РАН в 2024-2025 годов в районе поселка Дальние Зеленцы (побережье Кольского полуострова). Обобщены ранее известные данные и представлены новые материалы, характеризующие процессы формирования морских и озерных отложений в условиях современных климатических изменений. Оценены и сравнены темпы морской и озёрной седиментации в последнее тысячелетие. Показаны первичные данные о вертикальном распределении бактериальных сообществ по толще позднеголоценовых морских и озёрных осадков, что открывает новые возможные перспективы для палеоэкологических и палеоклиматических реконструкций.

Ключевые слова: *Донные отложения, геохронология, Кольский полуостров, бактериальные сообщества, поздний голоцен*

Материал для исследования отбирали в ходе полевых экспедиций ММБИ РАН на побережье Восточного Мурмана в районе поселка Дальние Зеленцы в 2023-2025 гг. Цель работы – выполнить оценку и сравнительный анализ морской и озерной седиментации в условиях климатических изменений на примере бассейнов Восточного Мурмана. Главное условие при выборе объектов исследования – одинаковые климатические факторы, влияющие на режим седиментации. Обозначенному условию соответствуют бассейны губ Ярнышной и Зеленецкой (морские), и озера Зеленецкого (рис. 1). Данные объекты находятся в непосредственной близости друг к другу, отличаются морфометрическими, геоморфологическими и гидрологическими условиями осадконакопления, а формирование донных отложений происходит в них происходит в одинаковых климатических условиях на протяжении современного (позднеголоценового) периода седиментации.

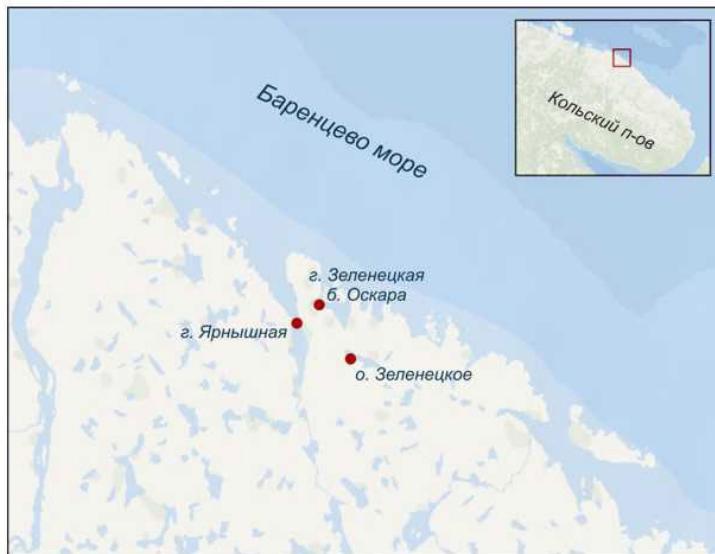


Рис. 1. Район работ.

Губа Ярнышная представляет собой фьорд с обрывистыми скалистыми берегами и несколькими обсыхающими бухтами. В её северной части расположена котловина с глубинами около 30 м. Губа Зеленецкая, соседняя, является мелководной бухтой закрытого типа со сложным рельефом дна и берегов. Южная часть её береговой линии сложена валунными и песчаными пляжами. Самая обширная и глубокая котловина в губе Ярнышная называется бухтой Оскара; максимальные глубины здесь не превышают 20 м. Литораль морских бассейнов представлена плохо сортированным псефито-псамиовыми материалом со значительной примесью алевритового и пелитового материала [Смолькова, Мещеряков, 2023].

Озеро Зеленецкое в раннем голоцене представляло собой морской залив, который впоследствии прошёл этап изоляции от моря. Примерно 9, 5 тысяч лет назад в этом бассейне начала преобладать озёрная седиментация; за этот период накопилось около 170 см озёрных отложений [Митяев, 2014].

Известно, что в настоящее время на Кольском п-ове отмечается глобальный линейный тренд повышения температуры воздуха (рис. 2), при этом изменение средних годовых значений температуры воздуха на ГМС Мурманск в линейном тренде составило 0,07°C за 10 лет [Мещеряков и др., 2026]. Таким образом, осадконакопление в последнем столетии происходит в условиях смягчения климата.

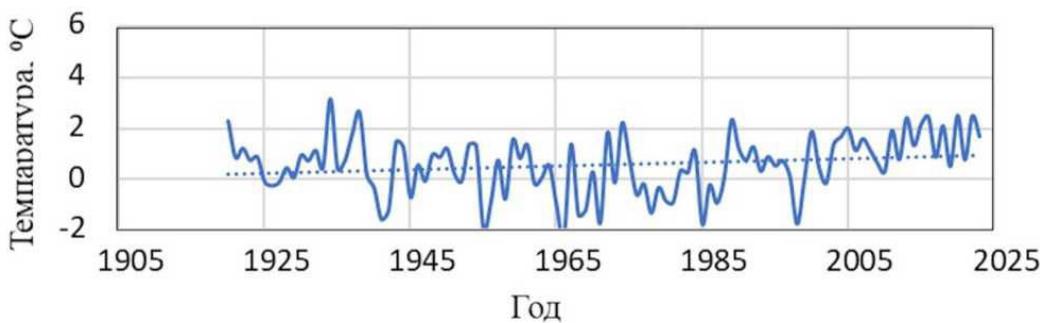


Рис. 2. Изменение средних годовых значений температуры воздуха на Кольском полуострове (ГМС Мурманск) [Булыгина и др., 2025].

Материалы и методы. Колонки озерных и морских отложений отбирали ударной трубкой ГОИН-1.5 в летний период с борта резиновой лодки ПВХ. Морскую седиментацию исследовали в 2023-2024 г [Мещеряков и др., 2024; Пуговкин и др., 2025], озерную – в 2025 г. В губе Ярнышной мощность вскрытой осадочной толщи составила 28 см на глубине пробоотбора 26 м, в губе Зеленецкой — 31 см на глубине 13 м. Колонку озерных отложений мощностью 105 см отбирали в оз. Зеленецком с глубины 12 м.

Образцы для микробиологического анализа из заранее выбранных слоев колонок отбирали с помощью одноразового шприца ($V = 10 \text{ см}^3$) сразу после извлечения вкладыша с донными отложениями из трубки ГОИН-1.5 с соблюдением правил асептики. Чтобы избежать дополнительной контаминации исследуемого материала от стенок вкладыша, извлечение материала проводили из сердцевины вскрытой колонки. В колонке из Зеленецкой губы материал отбирали в слоях 4—8, 14—18, 26—31 см, в колонке из Ярнышной губы — в слоях 2—6, 12—16 и 22—26 см. После этого для определения возраста осадочных слоев колонку разрезали на слои с дискретностью по 2 см [Пуговкин и др., 2025]. Микробиологические исследования проводили с использованием культуральных и оптических методов. Пробы отбирали и обрабатывали с соблюдением правил асептики на сезонной биостанции ММБИ РАН.

Хронологию скорости современного осадконакопления и возраст слоев донных отложений в исследуемых колонках рассчитывали изотопным методом по избыточному ^{210}Pb [Appleby, 1986; Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernández, 2012], гранулометрический анализ и

его интерпретацию — по общепринятым методикам [Безруков, Лисицын, 1960; Андреева, Липина, 1999]; с рядом методических дополнений [Meshcheriakov, 2025].

Результаты и обсуждение. Темпы осадконакопления в морских бассейнах. Согласно датированию по избыточному ^{210}Pb исследуемая толща морских отложений губ Зеленецкой и Ярнышной мощностью 28-31 см представлена молодыми осадками, сформировавшимися с начала XIX в. по первую четверть XXI в. [Пуговкин и др., 2025].

Темпы седиментации в губе Зеленецкой в конце XIX в. составляли приблизительно 0,7 мм/год В XX-XXI веках они увеличились в среднем до 1,5 мм/год [Мещеряков и др., 2024]. В губе Ярнышной отмечается схожая тенденция увеличения с 1,1 мм/год до 1,8 мм/год. В целом, темпы морской седиментации с МЛП возросли не более чем в два раза, а с учетом погрешности измерения и возможной компакции отложений (до 10%) это значение может быть ещё меньше. Так или иначе, данная динамика седиментации выглядит крайне умеренной на фоне краевых бассейнов Европейской Арктики, таких как архипелаг Шпицберген, где скорость осадконакопления увеличилась на порядок.

Темпы осадконакопления в озёрном бассейне. Геохронологический анализ, выполненный по избыточному ^{210}Pb , показал, что верхняя толща отложений (0-5 см) озера Зеленецкого представлена молодыми осадками ~56 лет. Рассчитанная средняя скорость седиментации составляет 0,8 мм/год. Полученное значение хорошо согласуется со средними темпами в озерах Кольского полуострова [Озёра города Мурманска..., 2023]. По профилю колонки от 0 до 100 см масса сухого осадочного вещества и количество органики варьируют в узком диапазоне (1-2 г в см отложений), тогда как в подошве колонки (слой 100-105 см) масса осадочного вещества увеличивается в 8,2 раза, а органика (по косвенному показателю потерь при прокаливании) уменьшается в 3-5 раз, что свидетельствует об уплотнении осадочной толщи.

Для сопоставимого по морфометрии и водосбору озера Портубол [Slukovskii et al., 2025] находящимся на северо-западе Кольского п-ова, несмотря на климатические флюктуации последних столетий темпы озёрной седиментации оставались на одном уровне. Принимая стабильность скорости осадконакопления в оз. Зеленецком, аналогично оз. Портубол, мы экстраполировали полученные темпы на поздний голоцен и датировали начало формирования вскрытой толщи 1250 г. Данная оценка является приблизительной и не учитывает уменьшение мощности слоев вследствие уплотнения (компакции) донных отложений.

О степени уплотнения отложений косвенно свидетельствуют их физические свойства: алеврито-пелитовый гранулометрический состав, плавное снижение влажности с 90% (0–5 см) до 75% (95–100 см) по разрезу и однородное распределение сухой массы (~1-2 г) в интервале 0–100 см. Указанные параметры позволяют предположить, что эффект уплотнения для данной части разреза был ограниченным. Количественная оценка компакции в оз. Зеленецкое требует отдельного детального исследования, однако имеющиеся данные уверенно указывают на то, что мощность отложений уменьшилась в результате этого процесса не менее чем на 10%. Таким образом, реальный возраст подошвы вскрытой толщи является более древним и составляет не менее 1375 лет.

Микробиологические сообщества в морских бассейнах. Работы, проведенные в губах Ярнышная и Зеленецкая показали уменьшение количественных показателей от поверхности донных отложений в глубокие слои [Пуговкин и др., 2025]. При этом отмечалось увеличение плотности грунта и возрастание доли алевритовых и пелитовых фракций (уже к глубине 30 см донного осадка), значительно затрудняющих аэрацию более глубоких слоев донных отложений.

Микробиологические сообщества в озёрном бассейне. В вертикальном профиле донного осадка от слоя 0-5 см. к слою 100-105 см. отмечалось увеличение общей численности бактерий. Численность культивируемых бактерий распределяется в исследуемой толще осадка неравномерно. Доля культивируемых бактерий от общей численности во всех исследуемых слоях керна не превышала 0,0005 %.

Бактериальная биомасса также распределена неравномерно. При этом в слое донных отложений 100-105 см, одновременно с увеличением общей численности бактериальных клеток, отмечено снижение бактериальной биомассы относительно вышеуказанных слоев. Снижение биомассы при увеличении общей численности бактерий объясняется уменьшением среднего объема бактериальных клеток в сообществах.

Неравномерное распределение количества культивируемых бактерий, биомассы и среднего объема клеток может свидетельствовать о неравномерном распределении доступного для микробного окисления органического вещества в толще донного осадка.

Отдельно следует отметить, что из донных отложений губы Зеленецкой, которая в последние годы подвержена антропогенной нагрузке за счет туристического потока, нами были выделены углеводородокисляющие бактерии. Данная группа микроорганизмов была обнаружена нами во всех слоях донного осадка губы Зеленецкой, кроме поверхностного [Пуговкин и др., 2025]. Интересным является тот факт, что они были отмечены в слоях, датируемых периодом до активного хозяйственного освоения губы. Это позволило сделать предположение, что отдельные фракции нефтепродуктов способны проникать на значительную глубину донного осадка, создавая дополнительный субстрат для некоторых гетеротрофных микроорганизмов. Из отложений озера Зеленецкого и губы Ярнышной углеводородокисляющих микроорганизмов выделено не было.

Выводы. Таким образом, учитывая ограниченную доступность осадочного материала и низкий потенциал для его мобилизации в пределах бассейнов Кольского полуострова, седиментация в бассейнах Восточного Мурмана является относительно устойчивой к климатическим колебаниям системой, что позволяет экстраполировать полученные значения последних столетий для более ранних периодов, в частности для позднего голоцен. Темпы осадконакопления в морских и озерных бассейнах Восточного Мурмана сопоставимы. Скорость озерной седиментации составляет приблизительно 0,8 мм/год, морской – 0,7-1,1 мм/год.

Количественные характеристики микробных отложений как в морских, так и пресноводных водоемах могут значительно различаться, как в пределах одного биотопа, так и между ними. При этом, если в морских биотопах, в целом, наблюдалось снижение всех исследуемых показателей с глубиной в вертикальном профиле, то в озере Зеленецком, для общей численности бактерий, наблюдалась обратная картина, а остальные показатели распределены неравномерно.

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 22-17-00243-П «Радиационная океанология и геоэкология прибрежного шельфа Баренцева и Белого морей. Биокосные взаимодействия в системе: донные отложения - вода - макроводоросли - микроорганизмы, их роль в ремедиации морской прибрежной экосистемы при радиационном и химическом загрязнении в условиях Арктики».

ЛИТЕРАТУРА

Андреева И.А., Латина Н.Н. Методика гранулометрического анализа донных осадков Мирового океана и геологическая интерпретация результатов лабораторного изучения вещественного состава осадков. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. 45 с.

Безруков П.Л., Лисицын А.П. Классификация осадков современных морских водоемов // Геологические исследования в дальневосточных морях. Труды Института океанологии. 1960. Т. 32. С. 4–14

Биологическая продуктивность северных озер. Том.2, Озера Зеленецкое и Акулькино. Труды зоологического института. Т. LVII. Изд-во «Наука», 1975, 182 с.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. и др. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения: 2025 г.).

Мещеряков Н.И., Намятов А.А., Усягина И.С., Иванова Н.С. Матишиов Г.Г.
Динамика седиментации в заливах Европейской Арктики от Малого ледникового периода до современности: сравнительный анализ акваторий арх. Шпицбергена и Кольского полуострова в условиях влияния атлантических вод // Арктика: экология и экономика. 2026, (принята к печати).

Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы) / отв. Ред. Л.Г. Павлова; Мурман.мор.биол. ин-т Кольского науч. Центра РАН. Апатиты : Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.

Озёра города Мурманска: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические особенности : монография / З. И. Слуковский, Д. Б. Денисов, В. А. Даувальтер и др.; научный редактор Т. И. Моисеенко. Апатиты : Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 174 с.

Смолькова О. В., Мещеряков Н. И. Двусторчатый моллюск *Mya arenaria Linnaeus* 1758 (*Myidae*) на мелководных участках губ Зеленецкая и Ярнышная Баренцева моря: особенности аллометрического роста // Зоологический журнал. 2023. Т. 102. № 2. С. 141-152. doi: 10.31857/S0044513423010099

Appleby P.G. ^{210}Pb dating by low-background gamma // Hydrobiologia. 1986. Vol. 43. P. 21-27. doi: 10.1007/BF00026640

Meshcheriakov N.I. Influence of Climate Change on Sedimentation Processes of the Spitsbergen Archipelago in the Late Holocene (by the Example of the Little Ice Age and Modern Warming) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2025. Vol. 33. No. 6. P. 768-782. doi:10.1134/S0869593825700315

Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Meshcheriakov N.I. et al. Anomalous Concentrations of Molybdenum in Modern Sediments of the Background Lake in the Arctic (Murmansk Region) // Doklady Earth Sciences. 2025. Vol. 520, 31. doi:10.1134/S1028334X24605121

Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C., ^{210}Pb sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. Vol. 82, P. 183–200. doi: 10.1016/j.gca.2010.12.024

LAKE AND MARINE SEDIMENTATION IN THE EASTERN MURMAN AREA DURING THE LATE HOLOCENE: GEOCHRONOLOGICAL, CLIMATIC AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS

Meshcheryakov N.I., Pugovkin D.V., Usyagina I.S., Ivanova N.S., Venger M.P.

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

This paper presents the results of field studies conducted during the MMBI RAS expedition season of 2024-2025 in the area of the Dalnie Zelentsy settlement (coast of the Kola Peninsula). Previously known data are summarized and new materials characterizing the formation processes of marine and lake deposits under modern climate change are presented. The rates of marine and lake sedimentation over the past millennium are assessed and compared. Primary data on the vertical distribution of bacterial communities throughout the Late Holocene marine and lake sediments are presented, revealing new potential prospects for paleoecological and paleoclimatic reconstructions.

Keywords: *Bottom sediments, geochronology, Kola Peninsula, bacterial communities, Late Holocene*

REFERENCES:

Andreeva I.A., Lapina, N.N. Metodika granulometricheskogo analiza donnykh osadkov Mirovogo okeana i geologicheskaya interpretatsiya rezul'tatov laboratornogo izucheniyaveshchestvennogo sostava osadkov (Method for the Grain-Size Analysis of Ocean Bottom Sediments of the World and Geological Interpretation of Results from Laboratory Study of the Composition of Sediments), St. Petersburg: VNII-Okeangeologiya, 1998. (in Russian).

Bezrukov P.L., Lisitsyn A.P. Classification of the bot-tom sediments in the modern water basins, in Geologicheskie issledovaniya v dal'nevostochnykh moryakh. Trudy Inst.okeanol. (Geographical Studies

of the Shelf of the Far Eastern Seas. Trans. Inst. Oceanol. Russ. Acad. Sci), 1960. Vol. 32. P. 4–14. (in Russian).

Biological Productivity of Northern Lakes. Vol. 2, Lakes Zelenetskoye and Akul'kino. Proceedings of the Zoological Institute. Vol. LVII. "Nauka" Publishing House, 1975, 182 p. (in Russian).

Meshcheriakov N.I., Namyatov A.A., Usyagina I.S., Ivanova N.S., Matishov G.G. Sedimentation Dynamics in the Bays of the European Arctic from the Little Ice Age to the Present: A Comparative Analysis of the Waters of the Svalbard Archipelago and the Kola Peninsula under the Influence of Atlantic Waters // Arktika: Ekologiya i Ekonomika (Arctic: Ecology and Economy). 2026. (in press).

Mityaev M.V. The Murman Coast (Geological, Geomorphological and Climatic Features, Modern Geological Processes) / Ed. by L.G. Pavlova; Murmansk Marine Biological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. Apatity : KSC RAS Publishing House, 2014. 226 p. (in Russian).

Lakes of the City of Murmansk: Hydrological, Hydrochemical and Hydrobiological Features: Monograph / Z. I. Slukovsky, D. B. Denisov, V. A. Dauvalter [et al.]; scientific editor T. I. Moiseenko. — Apatity : FRC KSC RAS Publishing House, 2023. 174 p. [in Russian].

Smolkova O.V., Meshcheryakov N.I. The Soft-Shell Clam (*Mya arenaria* Linnaeus 1758 (Myidae)) in Shallow Waters of Zelenetskaya and Yarnyshnaya Inlets of the Barents Sea: Allometric Growth // Biol Bull Russ Acad Sci. 2023. Vol. 50. P. 1811–1822. doi:10.1134/S1062359023080289

Appleby P.G. ^{210}Pb dating by low-background gamma // Hydrobiologia. 1986. Vol. 43. P. 21-27. doi: 10.1007/BF00026640

Meshcheriakov N.I. Influence of Climate Change on Sedimentation Processes of the Spitsbergen Archipelago in the Late Holocene (by the Example of the Little Ice Age and Modern Warming) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2025. Vol. 33. No. 6. P. 768-782. doi:10.1134/S0869593825700315

Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Meshcheriakov N.I. et al. Anomalous Concentrations of Molybdenum in Modern Sediments of the Background Lake in the Arctic (Murmansk Region) // Doklady Earth Sciences. 2025. Vol. 520, 31. doi:10.1134/S1028334X24605121

Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C., ^{210}Pb sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. Vol. 82, P. 183–200. doi: 10.1016/j.gca.2010.12.024