

ОКЕАНОЛОГИЯ OCEANOLOGY

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-2-160-176>

УДК 551.35



Динамика заиления заливов северной Фенноскандии в условиях современного потепления в Арктике

Н.И. Мещеряков^{1✉}, О.В. Кокин^{1,2}

¹ Мурманский морской биологический институт РАН (ММБИ РАН), Мурманск, Россия

² Геологический институт РАН (ГИН РАН), Москва, Россия

✉ mescheriakov@mmbi.info

НИМ, 0000-0002-8955-8611; ОБК, 0000-0002-2367-8506

Аннотация. Заливы северной Фенноскандии являются акваториями с самой развитой портовой инфраструктурой в Арктике. Из-за смягчения климата в Арктике заливы северной Скандинавии и Кольского п-ова обладают огромным потенциалом для логистического развития в ходе дальнейшего освоения высоких широт. Понимание процессов и перспектив заиления отдельных бассейнов носит важный фундаментальный и прикладной характер. На основе радиоизотопного датирования (^{210}Pb , ^{137}Cs) донных осадков четырех заливов (Вефсн-фьорд, Маланген-фьорд, губа Ярнышная, бухта Оскара) оценены линейные (SAR) и массовые (MAR) скорости аккумуляции за последнее столетие. Проанализированы климатические тренды (Тромсё, Мурманск), влияние криосферы, геоморфологии водосборов и антропогенных факторов. Во всех бассейнах выявлена связь темпов седиментации с температурой, но характер отклика различен. При этом в целом для заливов северной Фенноскандии, чьи водосборы не подвержены оледенению (наземному и подземному), характерен определенный диапазон значений скорости седиментации ($\text{SAR} \leq 0,27 \text{ см/год}$, $\text{MAR} \leq 0,26 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$). В Маланген-фьорде, где водосбор содержит активно деградирующие ледники и мерзлоту, SAR выросла в 7,6 раза, достигнув $0,38 \text{ см/год}$, и превысила предел регионального седиментационного диапазона. В Вефсн-фьорде, где на водосборе отсутствует оледенение, рост MAR не превысил 2,5 раза (преимущественно антропогенная эрозия). Заливы Кольского полуострова показали изменения MAR в 2,2 раза, с пиками, синхронными температурным максимумам, и остались в границах регионального седиментационного диапазона. Заливы, не имеющие многолетней криосферы на водосборе, сохраняют стабильные темпы осадконакопления в рамках диапазона значений и являются относительно устойчивыми бассейнами к заилению в условиях роста температур в Арктике. Фьорды с активно деградирующей многолетней криосферой могут потребовать усиленного мониторинга и пересмотра регламентов дноуглубления на различных участках бассейна.

Ключевые слова: динамика заиления, заливы Фенноскандии, современное потепление, деградация криосферы

Для цитирования: Мещеряков Н.И., Кокин О.В. Динамика заиления заливов северной Фенноскандии в условиях современного потепления в Арктике. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2026;72(2):160–176. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-2-160-176>

Поступила 08.04.2026

После переработки 02.06.2026

Принята 15.06.2026

© Авторы, 2026

© Authors, 2026

Dynamics of siltation in the bays of northern Fennoscandia under recent Arctic warming conditions

Nikita I. Meshcheriakov¹✉, Osip V. Kokin^{1,2}

¹ Murmansk Marine Biological Institute (MMBI RAS), Murmansk, Russia

² Geological Institute RAS, Moscow, Russia

✉mescheriakov@mmbi.info

ORCID: NIM, 0000-0002-8955-8611; OVK, 0000-0002-2367-8506

Abstract. The bays of northern Fennoscandia boast the most developed port infrastructure in the Arctic. Due to climate warming, the bays of northern Scandinavia and the Kola Peninsula hold enormous potential for logistics in the further development of the high latitudes. Understanding the processes and the future trends of sedimentation in individual basins is of fundamental and applied importance. Based on radioisotope dating (^{210}Pb , ^{137}Cs) of bottom sediments from four bays (Vefsnfjord, Malangenfjord, Yarnyshnaya Bay, and Oscar Bay), linear sedimentation rates (SAR) and mass (MAR) accumulation rates over the past century were estimated. Climate trends (Tromsø, Murmansk), the influence of the cryosphere, catchment geomorphology, and anthropogenic factors were analyzed. A relationship between sedimentation rates and temperature was found in all the basins, but the nature of the response varied. In general, the bays of northern Fennoscandia, whose catchments are not subject to glaciation or permafrost, exhibit a consistent range of sedimentation rates ($\text{SAR} \leq 0.27 \text{ cm/yr}$, $\text{MAR} \leq 0.26 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$). In Malangenfjorden, where the catchment contains actively degrading glaciers and permafrost, the SAR increased by a factor of 7.6, reaching 0.38 cm/yr , exceeding the regional sedimentation range. In Vefsnfjorden, where the catchment is not glaciated, the increase did not exceed 2.5 times (primarily anthropogenic erosion). The bays of the Kola Peninsula showed changes of 2.2-fold changes, with the peaks synchronous with the temperature maxima, and remained within the regional sedimentation range. Bays that do not have a perennial cryosphere in their catchment area maintain stable rates of sediment accumulation within a range of values and are relatively resistant to silting under conditions of rising temperatures in the Arctic. Fjords with an actively degrading perennial cryosphere may require enhanced monitoring and revision of dredging regulations in various parts of the basin.

Keywords: siltation dynamics, bays of Fennoscandia, recent warming, cryosphere degradation

For citation: Meshcheriakov N.I., Kokin O.V. Dynamics of siltation in the bays of northern Fennoscandia under recent Arctic warming conditions. *Arctic and Antarctic Research*. 2026;72(2):160–176. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-2-160-176>

Received 08.04.2026

Revised 02.06.2026

Accepted 15.06.2026

Введение

Полярные и приполярные заливы Фенноскандии — от фьордов Норвегии до губ и бухт Мурманского побережья — акватории с самой развитой портовой инфраструктурой в Арктике. Здесь расположены крупные морские порты Нарвик, Тромсё, Хамерфест, Мурманск, Североморск, а также объекты портовой инфраструктуры и перспективные участки Северного морского пути. Смягчение климата в дальнейшем позволит нарастить товарооборот через Арктику. При этом порты северной Фенноскандии являются самыми развитыми и удобными хабами для перевалки грузов, что делает их вовлечение в логистические цепи крайне перспективным. Эффективность их функционирования напрямую зависит от стабильности навигационных условий, главный фактор которых — заиление (аккумуляция наносов). Оно ведет к уменьшению глубин на фарватерах и у причалов, ограничению осадки судов и необходимости дорогостоящего дноуглубления.

Из литературы известно, что период дегляциации Скандинавского ледникового щита (15 кал. тыс. л. н.) темпы седиментации на севере Фенноскандии были экстремально высокими (несколько сантиметров в год), особенно вблизи ледникового фронта, и только в голоцене снизились на порядок [1]. При этом на протяжении всей хронологии осадконакопления отмечались увеличения значений скорости седиментации в периоды потепления и ускоренной деградации оледенения. Несмотря на очевидную взаимосвязь климата и темпов седиментации, отмеченную еще в 1960 г. академиком Н.С. Страховым [2], а также на фундаментальные седиментологические исследования в Скандинавии [3, 4] и на Кольском полуострове [5–7], до настоящего времени не предпринималось попытки обобщения и выявления четких закономерностей, характеризующих механизмы седиментации в северной части крупнейшего физико-географического района Фенноскандии.

Особую остроту проблеме придает изменение климата Арктики: в регионе фиксируется рост температур [8, 9]. Это изменяет режим поступления терригенного материала в заливы. При этом усиливается вынос наносов с речным стоком, активизируются склоновые процессы и береговая абразия [10, 11]. Подобные процессы приводят к ускорению осадконакопления в бассейнах седиментации, что в перспективе может отразиться на качестве использования портовых акваторий в связи с их заилением и будет требовать пересмотра подходов к их эксплуатации. В то же время реакция разных заливов на климатические изменения может быть неодинаковой в силу различий в условиях седиментации, таких как: геоморфология бассейна, криологический статус водосбора (наличие наземного или подземного оледенения), особенности рельефа и гидрографической сети [12, 13]. Именно поэтому исследование динамики и механизмов этих процессов в северной Фенноскандии носит важный прикладной характер.

Помимо глубоководных фьордов северной Скандинавии, в данном аспекте следует выделить относительно мелководный залив фьордового типа губы Ярнышная и мелководную бухту Оскара как модельные объекты для изучения седиментационных процессов, типичных для побережья Мурмана. Согласно данным, условия осадконакопления на мурманском берегу сходны, поэтому результаты можно экстраполировать на большинство краевых бассейнов со сходной геоморфологией, батиметрией и орографией водосбора [6]. В настоящее время основной логистический хаб — это Кольский залив, но при освоении прибрежных месторождений полезных ископаемых рациональнее строить порты и использовать каботажный флот для перевозки грузов (по аналогии с Норвегией), чем прокладывать дороги через сложный рельеф Кольского п-ова к областному центру. Следовательно, необходимо понимание процессов заиления для обоснованного выбора мест размещения инфраструктуры.

Цель работы — на основе геохронологических данных по радиоизотопному датированию (^{210}Pb , ^{137}Cs) донных отложений, сформированных в последние столетия [14], и анализа температурного режима оценить темпы заиления в заливах северной Фенноскандии, выявить динамику седиментации, установить ее связь с климатическими изменениями и определить перспективы для функционирования портовой инфраструктуры на основе типизации заливов по степени интенсивности заиления.

Район работ

Объектами исследования служат заливы северной Фенноскандии (рис. 1), которая согласно палеоклиматическому районированию [15] подразделяется на западную и восточную части с характерными трендами температур. В западной Фенноскандии (Скандинавский полуостров) рассмотрены Маланген-фьорд и Вефсн-фьорд.

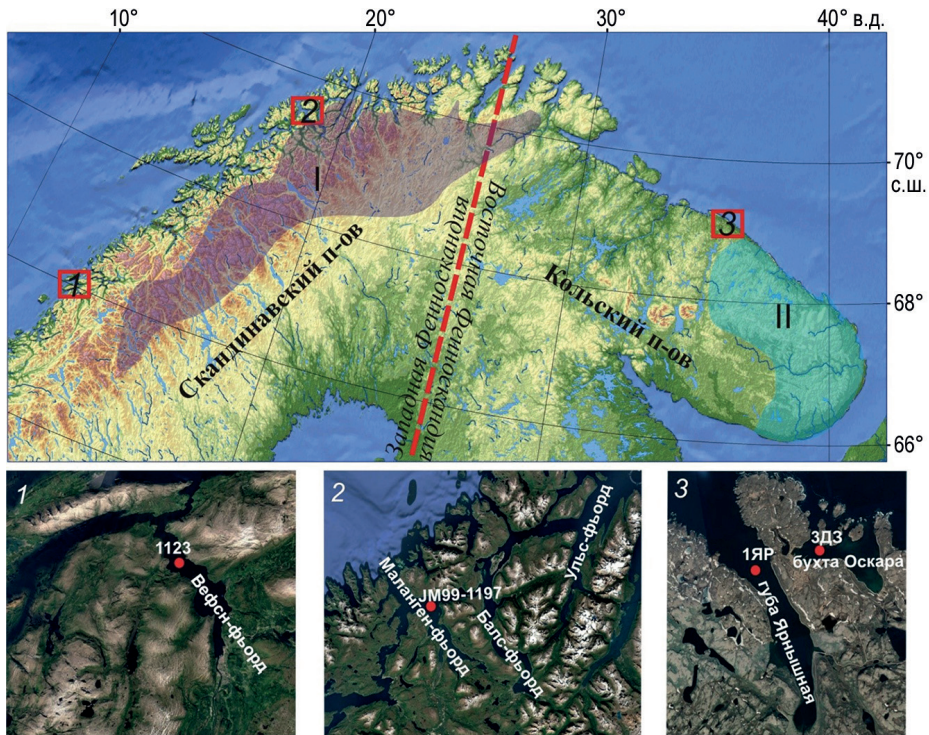


Рис. 1. Район работ: 1 — Вефсн-фьорд; 2 — Маланген-фьорд; 3 — губа Ярнышная и бухта Оскара.

I — ареал распространения многолетней криосферы (мерзлота, ледники), II — ареал распространения многолетней мерзлоты

Fig. 1. Study area: 1 — Vefsn-fjord; 2 — Malangen-fjord; 3 — Yarnyshnaya and Oskara bay.

I — extent of the perennial cryosphere (permafrost and glaciers), II — extent of permafrost

Побережье исследуемых фьордов характеризуется крутыми, местами отвесными скальными склонами, подверженными активному физическому выветриванию и гравитационным процессам, что обеспечивает постоянный приток грубообломочного материала непосредственно в акваторию.

Маланген-фьорд расположен в фюльке Тромс (север Норвегии) в районе г. Тромсё. Его длина составляет около 60 км, ширина варьируется от 5 до 15 км, а максимальные глубины превышают 400 м. Водосбор фьорда включает горные массивы с современными ледниками, а также участки многолетней мерзлоты в высокогорье [16, 17]. При этом в данном районе отмечается динамичная деградация мерзлоты как минимум с середины XX в. [18, 19]. В верховье залива впадает река Малсельва. Вефсн-фьорд находится в фюльке Нурланн, его длина достигает 51 км, максимальная глубина — около 440 м. Фьорд принимает сток крупных рек (Вефсна, Фюста, Древе), что обуславливает значительный приток терригенного материала. Крупнейший ледник региона Свартисен не связан с бассейном Вефсн-фьорда, кроме того, на водосборной площади Вефсн-фьорда также отсутствует подземное оледенение (многолетняя мерзлота). Таким образом, на водосборе залива отсутствуют элементы многолетней криосферы.

Восточная Фенноскандия (Кольский полуостров, Мурманская область) представлена губой Ярнышная и бухтой Оскара. Губа Ярнышная — залив фьордового типа длиной 6 км, шириной до 2,1 км и глубинами до 80 м; ее берега скалистые и обрывистые. Бухта Оскара является самой глубоководной частью губы Зеленецкая: глубина достигает 20 м, длина около 500 м, ширина в устье до 800 м. В отличие от альпинотипных гор северной Норвегии, здесь преобладают сглаженные платообразные формы с абсолютными высотами преимущественно 150–250 м над уровнем моря. В целом интенсивность эрозионных процессов на Мурманском побережье относительно невысока, поставка осадочного материала в бассейн идет в основном за счет плоскостного смыва [20].

В геологическом аспекте преобладающими породами на Кольском п-ове являются архейские гранитоиды, гнейсы и гранулиты, обладающие высокой устойчивостью к денудации, что служит естественным ограничителем поступления грубообломочного материала в заливы. Мощность рыхлого чехла здесь невелика, он представлен в основном маломощной грубозернистой мореной и флювиогляциальными песками. Гляциоизостатическое поднятие в голоцене [21] привело к прохождению побережья через прибойную зону, что могло способствовать «очистке» скальных оснований от рыхлого покрова и ограничить современный приток терригенного материала.

В геоморфологическом отношении Скандинавский полуостров характеризуется доминированием пород каледонского складчатого пояса. Это в первую очередь разнообразные кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, известняки и серпентиниты, слагающие систему тектонических покровов. В отличие от устойчивых архейских гранитоидов Кольского блока, эти породы обладают значительно меньшей устойчивостью к выветриванию и эрозии: они сильно дислоцированы, раздроблены и рассечены густой сетью трещин, что делает их чрезвычайно уязвимыми к процессам физического и морозного выветривания [22]. В результате здесь сформировался мощный и разнообразный по составу рыхлый покров. В отличие от Кольского п-ова, водосборы фьордов Скандинавского п-ова перекрыты мощными толщами ледниковых и морских глин, а также более молодыми коллювиальными шлейфами [23], которые служат практически неисчерпаемым источником тонкодисперсного материала при активизации склоновых процессов.

Таким образом, в настоящее время современный облик побережья Фенноскандии является результатом многовековой активной эрозионной деятельности ледников, рек и гравитационных процессов. Это обеспечивает постоянный приток обломочного материала во фьорды Скандинавии, в то время как Кольский п-ов испытывает дефицит в мобилизации осадочного материала.

Седиментационные обстановки в бассейнах Кольского полуострова, в отличие от глубоких норвежских фьордов, характеризуются высокой степенью внутреннего сходства между собой и сопоставимыми скоростями аккумуляции на протяжении как минимум последних нескольких столетий [6]. Кроме того, губа Ярнышная и бухта Оскара более мелководны и лишены высокого скального порога в устье, что обеспечивает свободный водообмен с морем и способствует частичному транзиту взвешенного вещества за пределы заливов, а не его полному осаждению. Дополнительным локальным фактором, который лишь ранее мог влиять на режим седиментации в губе Ярнышная и бухте Оскара, является сезонный ледяной покров. Согласно Лоции Мурманского берега [24], в конце XIX в. лед регулярно формировался в верховьях

губ и защищенных бухтах. При этом в относительно открытых заливах, подобных губе Ярнышная, припай был неустойчив и быстро взламывался течениями и ветром. Периодическое образование и взлом припая в мелководных бухтах, таких как бухта Оскара, могло способствовать локальной экзарации дна и перераспределению донных осадков. Однако в современных условиях, на фоне общего сокращения продолжительности ледостава или его полного отсутствия роль ледовой седиментации в последнем столетии существенно снизилась.

Материалы и методы

Для реконструкции процессов седиментации использованы ранее опубликованные геохронологические данные, полученные как авторами, так и другими исследователями, на основе датирования по избыточному ^{210}Pb и антропогенному ^{137}Cs [25–28]. Темпы заиления оценивали по линейной скорости седиментации (SAR, см/год) и массовой скорости седиментации (MAR, $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$). Значения SAR и MAR для всех проанализированных колонок, отобранных из фьордов Скандинавии, и значения SAR для заливов Кольского п-ова взяты из литературных источников. Значения MAR для заливов Кольского п-ова дополнительно рассчитаны по ранее опубликованным первичным данным. При прямом сопоставлении SAR и MAR, полученных в разных работах, необходимо учитывать, что для всех колонок использована одна и та же модель расчета возраста донных отложений — CFCS (Constant Flux:Constant Sedimentation) [29].

Выбор модели определяется локальными условиями осадконакопления и может влиять на неопределенность возрастных оценок, однако все хронологии дополнительно верифицировались по независимым реперам (^{137}Cs). Данные проанализированы с учетом климатических условий, геоморфологических особенностей, рельефа и криологического статуса водосборных площадей бассейнов седиментации.

Материалом для исследования послужили колонки донных осадков, отобранные в западной Фенноскандии: в Вефсн-фьорде (станция 1123) [25] с датированным интервалом 1932–2016 гг. и в Маланген-фьорде (станция JM99-1197) [26] с интервалом 1841–1999 гг. В восточной Фенноскандии исследованы две акватории — губа Ярнышная (станция 1ЯР) и бухта Оскара (станция 3ДЗ), для которых получены датированные ряды за периоды 1893–2024 и 1876–2024 гг. соответственно [25, 26, табл. 1].

Использование различных типов пробоотборников (бокс-корер и грунтовая трубка) не препятствует корректному расчету возраста донных отложений, так как применяемая модель датирования (CFCS) и независимые реперы (^{137}Cs) не

Таблица 1

Характеристика станций пробоотбора в заливах северной Фенноскандии

Table 1

Characteristics of sampling stations in the bays of northern Fennoscandia

Бассейн седиментации	Станция	Орудие пробоотбора	Глубина, м	Координаты (с. ш., в. д.)	Датированный период
Вефсн-фьорд	1123	Бокс-корер	486	65,9461°/12,9752°	1932–2016 гг.
Маланген-фьорд	JM99-1197	Бокс-корер	218	69,4943°/18,3820°	1841–1999 гг.
Губа Ярнышная	1ЯР	Трубка ГОИН-2.0	30	69,1116°/36,0486°	1893–2024 гг.
Бухта Оскара (губа Зеленецкая)	3ДЗ	Трубка ГОИН-2.0	19	69,1183°/ 36,0729°	1876–2024 гг.

предъявляют требований к орудию отбора, а лишь требуют ненарушенной стратиграфии осадочной колонки. В настоящем исследовании это условие было выполнено для всех станций, что обеспечивает репрезентативность и сопоставимость геохронологических данных [28].

Данные по Маланген-фьорду обрываются на 1999 г., в то время как хронологический ряд по Вефсн-фьорду продолжается до 2016 г., а по заливам Кольского полуострова — до 2024 г. Чтобы исключить влияние разной продолжительности наблюдений, сравнение темпов седиментации проведено как по общим геохронологическим данным, так и за пересекающийся интервал — от начала XX в. до 1999 г.

Реконструкцию климатических условий проводили с помощью описанных открытых баз данных Росгидромета [8] и Норвежского метеорологического института¹. Для западной части Фенноскандии температурный тренд охарактеризован по данным метеостанции г. Тромсё, где наблюдения имеют более длинный ряд и высокую детальность; для восточной части региона использованы данные метеостанции г. Мурманска.

Вместе с тем имеющиеся данные указывают на устойчивый алевроито-пелитовый состав осадков Маланген-фьорда без резких литологических смен, что позволяет рассматривать изменения SAR и MAR как отражение реальных вариаций потока осадочного вещества [26]. Для заливов Кольского полуострова гранулометрический состав описан одним из авторов ранее [28]. Получение сопоставимых гранулометрических данных для норвежских фьордов является задачей дальнейших исследований.

Результаты

Анализ долговременных трендов среднегодовой температуры воздуха на метеостанциях Тромсё (западная Фенноскандия) и Мурманск (восточная Фенноскандия) за период с начала XX в. по 2024 г. выявил общую тенденцию изменений, характерную для высоких широт. В начале XX в. (1900–1920-е гг.) по всей Фенноскандии фиксировались относительно стабильные и невысокие температуры. Далее последовала теплая фаза 1920–1930-х гг., которая выделяется на фоне вековой динамики температурного режима. Важно отметить, что следовавший далее период 1940–1960-х гг. не может быть охарактеризован как единая затяжная холодная фаза: несмотря на отдельные годы с пониженными значениями (минимум 1955 г. в Тромсё — 1,1 °C, минимум 1966 г. в Мурманске — –2,3 °C), большинство значений в 1950-е гг. находилось выше линии долговременного тренда, что позволяет рассматривать 1950-е гг. как период преимущественно повышенных температур с кратковременными локальными температурными «отскоками». Следующий, относительно холодный, период длился с середины 1975 по 1985 г., когда температура была ниже векового тренда. Однако к концу 1980-х гг. в восточной Фенноскандии начался устойчивый рост температур, а в западной вплоть до начала XXI в. температуры были ниже линии долговременного тренда. Абсолютные максимумы температурного режима за весь период наблюдений в западной Фенноскандии достигнуты в 2000–2020-е гг., тогда как в восточной Фенноскандии данный период, хоть и является относительно теплым, по своим значениям уступает максимуму 1930-х гг.

¹ Norwegian Meteorological Institute (MET Norway). Climate Portal. Available at: <https://seklima.met.no/> (accessed: 01.04.2026).

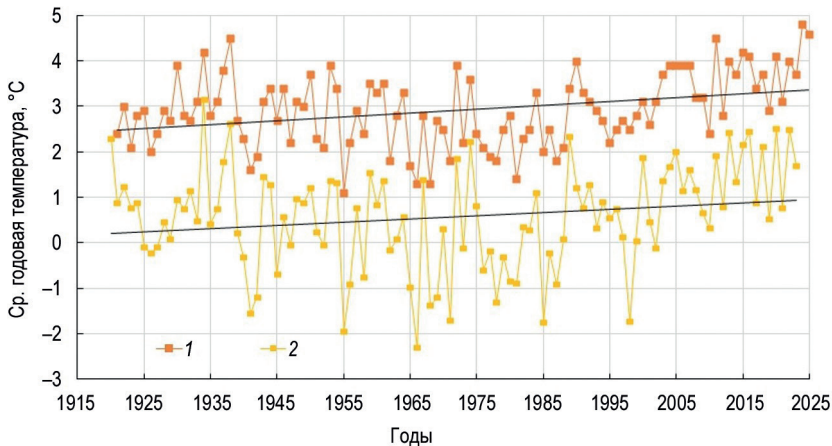


Рис. 2. Температурные тренды северной Фенноскандии по метеорологическим станциям: 1 — Тромсё; 2 — Мурманск

Fig. 2. Temperature trends in northern Fennoscandia according to meteorological stations: 1 — Tromsø; 2 — Murmansk

Таким образом, основные этапы вековой динамики среднегодовой температуры воздуха — теплая фаза начала XX в., похолодание середины столетия и ускоренное потепление последних десятилетий — синхронно проявляются в обеих частях Фенноскандии. Различия между регионами заключаются в абсолютных значениях (западная Фенноскандия характеризуется более высокими температурами) и степени межгодовой изменчивости (восточная Фенноскандия демонстрирует более контрастные колебания), однако эти особенности не нарушают общей направленности векового тренда. По существу, оба района репрезентируют единый арктический сигнал климатических изменений, в котором влияние атлантических воздушных масс на западе и континентальности на востоке обуславливает различия в локальной амплитуде, но не изменяет общей динамики (рис. 2).

Анализ трендов седиментации в четырех заливах северной Фенноскандии показывает, что величины массовой скорости седиментации (MAR , $г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$) и линейной седиментации (SAR , $см/год$) изменялись синхронно, но с разной амплитудой, причем каждый объект демонстрировал индивидуальные особенности (рис. 3а, б).

В Вефсн-фьорде значения массовой скорости и линейной седиментации в первой половине XX в. были стабильными ($0,11–0,12 г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$ и $0,11–0,12 см/год$ соответственно), затем с 1970-х гг. начался постепенный рост. Пик как массовой скорости ($0,21 г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$), так и линейной седиментации ($0,26 см/год$) пришелся на 1990-е гг., после чего массовая скорость снизилась до $0,15–0,16 г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$, тогда как скорость линейной седиментации осталась на уровне $0,23–0,26 см/год$, что указывает на сохранение высокой общей аккумуляции осадка при сокращении минеральной составляющей.

В Маланген-фьорде динамика оказалась более контрастной. С середины XIX в. до начала XX в. значения седиментации были относительно низкими ($0,05 г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$, $0,05 см/год$) (рис. 3, табл. 2). Массовая скорость достигла максимума в 1950-е гг. ($0,19 г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$), затем постепенно снижалась и стабилизировалась в диапазоне $0,14–0,15 г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$. Скорость линейной седиментации, напротив,

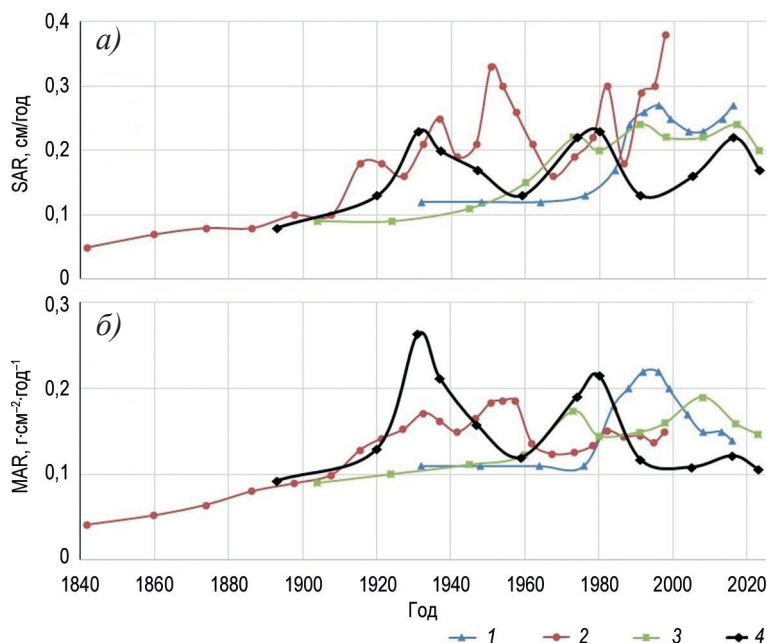


Рис. 3. Осадконакопление в бассейнах северной Фенноскандии [25, 26, 28]: *a* — линейная скорость седиментации (SAR); *б* — массовая скорость седиментации (MAR); 1 — Вефсн-фьорд; 2 — Маланген-фьорд; 3 — бухта Оскара; 4 — губа Ярнышная

Fig. 3. Sedimentation in the basins of northern Fennoscandia [25, 26, 28]: *a* — linear sedimentation rate (SAR); *б* — mass accumulation rate (MAR); 1 — Vefsn-fjord; 2 — Malangen-fjord; 3 — Oskara bay; 4 — Yarnyshnaya bay

показала два выраженных пика: первый в 1950-е (0,30 см/год) и второй, значительно более высокий, в 1990-е (0,38 см/год). После 1990-х данные отсутствуют, однако видно, что в этом фьорде линейная седиментация к концу века возрастала гораздо сильнее, чем массовая скорость.

В губе Ярнышная тренды скорости массовой и линейной седиментации также отличались эпизодичностью. Массовая скорость имела два пика: в 1930-е ($0,24 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) и в 1980-е ($0,21 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$), после чего в 1990–2010-е гг. снизилась до $0,11\text{--}0,12 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. Значения скорости линейной седиментации колебались в более широком диапазоне: высокие значения в 1930-е (0,22 см/год) и 1980-е (0,23 см/год) сменялись резкими спадами в 1950-е и 1990-е (0,13 см/год), а в 2010-е значения вновь поднялись до 0,22 см/год (табл. 2). Таким образом, в этом заливе заметны циклические колебания с периодами повышенной седиментации.

В бухте Оскара массовая скорость во второй половине XX в. устойчиво росла: от $0,10\text{--}0,12 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ в 1920–1960-е гг. до $0,19 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ в 2000-х, после чего незначительно снизилась до $0,16 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ в 2010-х. Скорость линейной седиментации демонстрировала схожую направленность, но с более высокими абсолютными показателями: после низких значений в первой половине века ($0,09\text{--}0,11 \text{ см/год}$) она увеличилась до $0,22\text{--}0,24 \text{ см/год}$ в 1970–2010-е гг., достигнув максимума 0,24 см/год в 2010-х (табл. 2).

Таблица 2

Хронологии темпов седиментации в заливах северной Фенноскандии

Table 2

Chronologies of sedimentation rates in the bays of northern Fennoscandia

Залив	Год	SAR, см/Г	MAR, Г·см ⁻² ·год ⁻¹	Залив	Год	SAR, см/Г	MAR, Г·см ⁻² ·год ⁻¹
Вефсн-фьорд [25]	2016	0,27	0,14	Губа Ярнышная [28]	2024	0,17	0,11
	2013	0,25	0,15		2016	0,22	0,12
	2008	0,23	0,15		2005	0,16	0,11
	2004	0,23	0,17		1991	0,13	0,12
	1999	0,25	0,2		1980	0,23	0,21
	1996	0,27	0,22		1974	0,22	0,19
	1992	0,26	0,22		1959	0,13	0,12
	1988	0,24	0,2		1947	0,17	0,16
	1984	0,17	0,18		1937	0,2	0,21
	1976	0,13	0,11		1931	0,23	0,26
	1964	0,12	0,11		1920	0,13	0,13
	1948	0,12	0,11		1893	0,08	0,09
	1932	0,12	0,11	Бухта Оскара [28]	2023	0,2	0,15
Маланген-фьорд [26]	1998	0,38	0,15		2017	0,24	0,16
	1995	0,3	0,14		2008	0,22	0,19
	1991	0,29	0,15		1998	0,22	0,16
	1987	0,18	0,14		1991	0,24	0,15
	1982	0,3	0,15		1980	0,2	0,14
	1978	0,22	0,13		1973	0,22	0,17
	1973	0,19	0,13		1960	0,15	0,12
	1967	0,16	0,12		1945	0,11	0,11
	1962	0,21	0,14		1924	0,09	0,10
	1957	0,26	0,19		1904	0,09	0,09
	1954	0,3	0,19				
	1951	0,33	0,18				
	1947	0,21	0,17				
	1942	0,19	0,15				
	1937	0,25	0,16				
	1933	0,21	0,17				
	1927	0,16	0,15				
	1921	0,18	0,14				
	1916	0,18	0,13				
	1908	0,1	0,10				
	1898	0,1	0,09				
	1886	0,08	0,08				
	1874	0,08	0,06				
	1860	0,07	0,05				
	1842	0,05	0,04				

Обсуждение

Как видно из рис. 3, в длинном ряду Маланген-фьорда (1841–1997) линейная и массовая скорость седиментации (MAR и SAR) демонстрируют полную синхронность на вековом масштабе, что указывает на стабильную плотность сухого осадка, а изменения обоих параметров отражают реальные колебания потока вещества. В Вефсн-фьорде (1930–2009) массовая скорость седиментации колеблется в узком диапазоне, а линейная всегда выше, в 2000-х массовая скорость седиментации падает, а линейная остается высокой, что свидетельствует о дальнейшем снижении плотности, вероятно, за счет изменения условий седиментации в результате антропогенной эрозии почв в районе залива. Основной причиной этого может быть поступление в бассейн седиментации агрегированного материала с высоким содержанием органического вещества (гумуса), образующегося при антропогенной эрозии почв, что снижает плотность осадка. Напротив, в губе Ярнышная (1920–2019) линейная и массовая скорость седиментации колеблются синхронно без долговременного тренда, плотность осадка остается стабильной, а изменения связаны с естественными климатическими циклами, а не с направленным трендом. В бухте Оскара (1920–2023) до 2000-х тренды также совпадают, но после 2000-х SAR продолжает расти, тогда как массовая скорость седиментации снижается или стабилизируется — это расхождение вызвано уменьшением плотности осадка из-за увеличения доли органики [28].

В первой половине XX в., когда региональный климат переживал относительно теплую фазу 1920–1930-х гг. и последующее похолодание, седиментация в Вефсн-фьорде оставалась стабильно низкой. Ускорение заиления отмечено в конце 1970-х гг. Пик пришелся на 1990-е гг. В 2000–2010-е гг., несмотря на повышение температуры (в Тромсё отмечены абсолютные максимумы 4,5 °C), массовая скорость снизилась до 0,15–0,16 г·см⁻²·год⁻¹, тогда как темпы линейной седиментации остались на высоком уровне 0,23–0,26 см/год. Такая реакция седиментации объясняется тем, что ведущим фактором здесь выступает эрозия, активизировавшаяся в конце XX в. вследствие вырубки лесов и хозяйственной деятельности [25]. При этом отклик седиментации оказался относительно умеренным (рост в 2–2,5 раза). Важно отметить: несмотря на температурный тренд, в XX в. темпы седиментации демонстрировали стабильность, что свидетельствует о низкой чувствительности седиментогенеза к температурным флуктуациям при доминирующем влиянии антропогенного фактора.

Динамика седиментации в Маланген-фьорде соответствует вековому тренду потепления, а также деградации многолетней мерзлоты в северной Скандинавии. С середины XIX в. (завершение Малого ледникового периода) до начала XXI в. значения MAR и SAR демонстрировали рост с характерной скачкообразной природой, что, вероятно, объясняется периодичностью поступления осадочного материала, связанной с пульсационной деградацией вечной мерзлоты на водосборе.

С конца XIX в. значения скорости линейной седиментации выросли в 7,6 раз, а массовой — в 3–5 раз. Пик массовой скорости седиментации в Маланген-фьорде, приходящийся на 1950-е гг., совпадает с фазой положительных температурных аномалий середины XX в., отчетливо выраженной на кривой среднегодовой температуры в Тромсё (рис. 2). Примечательно, что в начале XX в. (в 1920–1930-х гг.) температура была выше, однако это не нашло прямого отражения в темпах массового и линейного осадконакопления в Маланген-фьорде. Это указывает на пороговый, а не линейный характер отклика элементов многолетней криосферы на климатический сигнал. Пик

седиментации в 1950-х гг., вероятно, маркирует момент, когда потепление превысило критический предел устойчивости многолетней мерзлоты на водосборе, что привело к ее пульсационной деградации и массивному выбросу терригенного материала. Анализ аэрофотосъемки, сделанной с 1950-х по 2010 г. [19], позволяет говорить, что площадь таких форм рельефа на севере Норвегии, как палса, с середины XX в. сократилась на 33–71 %, однако сама деградация данных элементов криосферы началась несколько раньше, но протекала менее динамично. Учитывая, что скорость седиментации, как массовой, так и линейной, начала увеличиваться к концу XIX в. (рис. 3), можно предположить, что начало деградации многолетней мерзлоты приходится приблизительно на этот период.

В губе Ярнышная седиментационные ряды не обнаруживают устойчивого долговременного тренда, но демонстрируют циклические колебания. Крайне важно отметить, что в губе Ярнышная выделяются три исторических экстремума массовой и линейной скорости седиментации — 1920–1930, 1975–1985 и 2024 гг., — которые совпадают с максимальными пиками среднегодовой температуры в XX и XXI вв. Это свидетельствует о практически мгновенном отклике седиментационной системы на климатические изменения в бассейнах, где основной объем годовой аккумуляции осадков формируется в летний сезон и тесно привязан к его длительности. В таких условиях продолжительность теплого сезона, а следовательно, и периода с максимальными годовыми темпами седиментации напрямую определяется среднегодовой температурой воздуха. Вместе с тем в XXI в. значения массовой скорости седиментации снизились, несмотря на продолжающееся потепление, что, как было показано нами ранее, объясняется увеличением доли органического вещества в осадке [28]. В бухте Оскара пики седиментации в целом также соответствуют температурным максимумам, однако реакция на выраженное потепление 1920–1930-х гг. отсутствует. Наиболее вероятной причиной «искажения» отклика седиментации являются локальные особенности бассейна, прежде всего его мелководность, которая обуславливает иной режим накопления и транзита осадочного материала по сравнению с открытой губой Ярнышная. Следует заметить, что даже с периодическими колебаниями темпов седиментации их изменение не превышает минимальные значения более чем 2–2,2 раза, а современные значения темпов заиления близки к тем, что были 100 лет назад. Бухта Оскара демонстрирует рост темпов заиления на протяжении последнего столетия, однако изменение данных показателей так же, как и в губе Ярнышная, не превышает 2–2,2 раза. Этот синхронный с климатом рост также свидетельствует об определенной чувствительности бухты к современному потеплению. Полученный результат можно представить на сводном графике (временные взвешенные квартильные диаграммы, или «ящики с усами»), где каждый элемент несет определенную информацию о распределении скоростей во времени (рис. 4).

Нижний ус соответствует 25 % изученного периода, на протяжении которого отмечались самые низкие скорости, — это зона стабильного минимума. Верхний ус, напротив, соответствует 25 % периода с наиболее высокими скоростями — область стабильного максимума. Прямоугольник (ящик) ограничен первым (Q1) и третьим (Q3) квартилями и вмещает 50 % всего времени наблюдений. При этом черта внутри прямоугольника отражает истинную медианную скорость, рассчитанную с поправкой на неравномерную длительность предшествующих интервалов. Ниже этой черты лежат 50 % времени с низкими скоростями, выше — 50 % времени

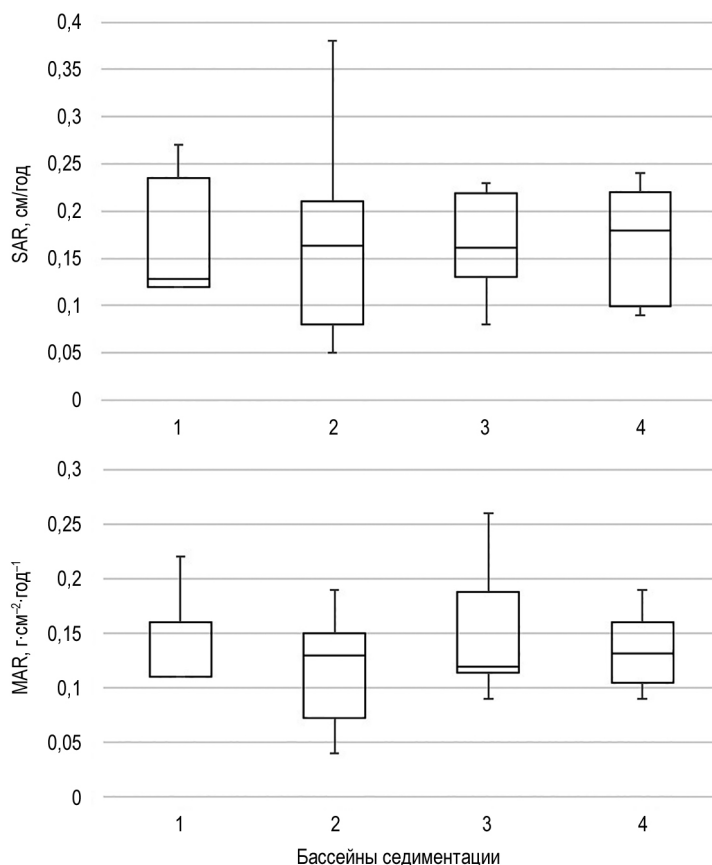


Рис. 4. Статистическое распределение скоростей SAR и MAR с временным взвешиванием по исследуемым районам. Диаграммы размаха отражают медиану (горизонтальная линия внутри «ящика»), 25-й и 75-й процентиля (нижняя и верхняя границы «ящика»), а также минимальные и максимальные значения (границы «усов») за изученный период.

1 — Вефсн-фьорд; 2 — Маланген-фьорд; 3 — губа Ярнышная; 4 — бухта Оскара

Fig. 4. Time-weighted statistical distribution of SAR and MAR for the areas studied. The box plots present the median (horizontal line within the box), the 25th and 75th percentiles (lower and upper box boundaries), and the minimum and maximum values (the ends of the whiskers) over the period studied. 1 — Vefsn-fjord; 2 — Malangen-fjord; 3 — Yarnyshnaya Bay; 4 — Oskar Bay

с высокими скоростями. Анализ диаграмм для разных заливов выявляет три принципиально различных типа временной динамики. В Маланген-фьорде наблюдается кратковременный выход за границы пределов значений регионального «коридора» седиментации — очень короткий прямоугольник (значит, большую часть времени скорости стабильно низки) и очень длинный верхний ус (25 % периода заняты резкими выбросами вверх). Это указывает на фактор многолетней криосферы на водосборе и обильное поступление органики из палсы, благодаря чему значения SAR превышают MAR. Для Вефсн-фьорда характерно бимодальное распределение без плавных переходов, при этом скорости либо низкие, либо резко высокие, промежуточные значения практически отсутствуют. Такая структура связана с антропогенным

воздействием. Медиана здесь смещена вниз, а верхний ус почти не выражен. На побережье Мурмана (губа Ярнышная, бухта Оскара) наблюдается стабильный «коридор» с динамическим равновесием. Здесь прямоугольник низкий, усы короткие — внешние факторы не выводят систему из равновесия.

Таким образом, в условиях современных климатических изменений заиление заливов северной Фенноскандии определяется прежде всего локальными особенностями каждого бассейна. Ключевым фактором, многократно усиливающим поступление осадочного материала, выступает многолетняя криосфера. Это убедительно демонстрирует динамика седиментации в последние столетия в Маланген-фьорде. Залив Вефсн-фьорд, расположенный южнее Маланген-фьорда и имеющий схожее геоморфологическое строение, но практически лишенный элементов криосферы на водосборе, не обнаруживает столь выраженной реакции на климатические флуктуации. Наблюдаемые здесь изменения режима седиментации обусловлены преимущественно антропогенным воздействием.

На Кольском п-ове, в отличие от Скандинавии, с начала голоцена отсутствуют ледники [30], способные оказывать влияние на процессы седиментации в краевых бассейнах. Многолетняя мерзлота имеет мозаичное распространение и незначительную мощность, реки характеризуются низкой минерализацией взвешенного вещества [6], а почвенный покров незначителен. Роль ледовой седиментации с конца XIX — начала XX в. существенно снизилась [31]. Это отражается в уменьшении грубообломочного материала в донных отложениях заливов Восточного Мурмана [28], что лишило бассейны седиментации одного из существенных поставщиков отложений на рубеже МЛП и периода современного потепления [32]. В совокупности эти факторы обуславливают относительно низкую интенсивность поступления терригенного материала в краевые бассейны, вследствие чего реакция осадочных систем на климатические изменения здесь оказывается более сглаженной в последнем столетии. Увеличение темпов седиментации связано главным образом с удлинением летнего сезона, что способствует активизации плоскостного смыва и эоловой доставки вещества в годовом цикле осадконакопления. В результате регион демонстрирует более высокую устойчивость к заилению по сравнению с районами, характеризующимися активной деградацией ледников и многолетней мерзлоты (например, Маланген-фьорд) или интенсивной антропогенной эрозией (Вефсн-фьорд).

Выводы

Во всех исследованных бассейнах прослеживается отклик седиментации на температурный режим, однако характер этого отклика определяется наличием оледенения на водосборе. На Кольском полуострове, в районах, где многолетняя криосфера отсутствует, а седиментация приурочена к теплomu сезону, пики скорости массовой (SAR) и линейной (MAR) седиментации квазисинхронны с температурными максимумами. Отклик седиментации здесь близок к мгновенному, но изменения не превышают 2,2 раза. В Маланген-фьорде отклик носит пороговый, импульсный характер. Ускорение осадконакопления наступает лишь после того, как потепление превышает критический предел устойчивости мерзлоты, при этом скорости седиментации возрастают до 7,6 раза SAR и MAR по SAR и до 3–5 раз по MAR относительно середины XIX в. В Вефсн-фьорде связь с температурным сигналом выражена слабее, а к концу XX в. она практически полностью искажена антропогенной эрозией, изменения не превышают 2,2 раза.

Несмотря на различия в геоморфологии и батиметрии бассейнов, а также в особенностях водосборов, в губе Ярнышная, бухте Оскара и Вексн-фьорде величины SAR и MAR на протяжении столетия остаются в рамках устойчивого регионального седиментационного предела, не превышая $0,27 \text{ см/год}$ и $0,26 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ соответственно. Исключением является Маланген-фьорд, где линейная скорость достигает $0,38 \text{ см/год}$, превышая верхнюю границу максимальных значений. При этом значения MAR остаются в фоновом диапазоне (максимум $0,19 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$), что указывает на формирование осадка пониженной плотности.

Таким образом, именно присутствие активно деградирующей многолетней криосферы на водосборе переводит осадконакопление из режима устойчивых колебаний в границах регионального «коридора» значений седиментации в режим выхода за его пределы, с превышением верхней границы скоростей. Заливы Кольского полуострова при сохранении современных климатических трендов сохраняют стабильные темпы заиления, тогда как фьорды с активно деградирующей многолетней криосферой потребуют усиленного мониторинга глубин и, возможно, в перспективе пересмотра регламентов дноуглубления. Антропогенная нагрузка способна внести коррективы в режим седиментации и должна учитываться отдельно.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках ГЗ FMEE-2024-0016 ММБИ РАН: тема 188-24-01 (1.6.19) «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды», № госрегистрации 124013000709-9 (30.01.2024).

Благодарности. Авторы благодарят коллег из ММБИ РАН: канд. геогр. наук А.А. Намятова и канд. геогр. наук И.С. Усягину за ряд консультаций и ценные советы, а также главного научного сотрудника ИО РАН д-ра геол.-минерал. наук Н.О. Сорохтина за общие замечания при формулировании основной идеи статьи.

Competing interests. The authors have no conflict of interest.

Funding. The work was carried out within the framework of the State Assignment FMEE-2024-0016 of the Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (MMBI RAS): topic 188-24-01 (1.6.19) “Structural and dynamic transformations of pelagic ecosystems of Arctic marine basins under conditions of technogenic and natural environmental changes”, state registration number 124013000709-9 (30.01.2024).

Acknowledgments. The authors thank colleagues from MMBI RAS: Candidate of Geographical Sciences A.A. Namyatov and Candidate of Geographical Sciences I.S. Usyagina for a number of consultations and valuable advice, as well as Chief Researcher at IO RAS, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences N.O. Sorokhtin, for general comments and assistance in formulating the main idea of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Lyså A., Sejrup H.P., Aarseth I. The late glacial–Holocene seismic stratigraphy and sedimentary environment in Ranafjorden, northern Norway. *Marine Geology*. 2004;211(1–2):45–78. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.06.010>
2. Страхов Н.М. *Основы теории литогенеза. Т. 1: Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли.* М.: Изд-во АН СССР; 1960. 212 с.
3. Aarseth I. Western Norwegian fjord sediments: age, volume, stratigraphy, and role as temporary depository during glacial cycles. *Marine Geology*. 1997;143(1):39–53.
4. Hald M., Husum K., Vorren T.O., Grøsfjeld K., Jensen H.B., Sharapova A. Holocene climate in the subarctic fjord Malangen, northern Norway: a multi-proxy study. *Boreas*. 2003;32:543–559.
5. Зенкович В.П. Наблюдения над морской абразией и физическим выветриванием на Мурманском берегу. *Уч. зап. МГУ*. 1937;16:113–142.
6. Митяев М.В. *Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы).* Апатиты: Изд-во КНЦ РАН; 2014. 226 с.

7. Митяев М.В., Герасимова М.В., Павлова Л.Г. Изменение скорости абразии горных пород в береговой зоне Мурманского побережья, 2012–2018 гг. *Океанология*. 2020;60(4):611–621. <https://doi.org/10.31857/S0030157420040164>
Mityaev M., Gerasimova M., Pavlova L.G. Change in the rock abrasion rate in the littoral zone of the Murmansk coast, 2012–2018. *Oceanology*. 2020;60:532–541. <https://doi.org/10.1134/S0001437020040153>
8. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований. *Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных*. 2014;177:136–148.
9. Hanssen-Bauer I., Førland E., Haddeland I., Hisdal H., Lawrence D., Mayer S., Nesje A., Nilsen J.E., Sandven S., Sandø A., Sorteberg A., Ådlandsvik B. *Climate in Norway 2100 — a knowledge base for climate adaptation*. NCCS report; 2017.
10. Огородов С.А. Влияние изменений климата и ледовитости арктических морей на динамику берегов Евразии. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2008;1(78):123–128.
Ogorodov S.A. The influence of climate change and Arctic sea ice extent on the dynamics of Eurasian coasts. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2008;1(78):123–128. (In Russ.).
11. Огородов С.А., Шабанова Н.Н., Кессель А.С., Баранская А.В., Разумов С.О. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей Российской Арктики. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2022;(1):26–42.
Ogorodov S.A., Shabanova N.N., Kessel A.S., Baranskaya A.V., Razumov S.O. Changes of the hydrometeorological potential of thermoabrasion on the Russian Arctic sea coasts. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2022;(1):26–42. (In Russ.).
12. Meshcheriakov N.I., Usyagina I.S., Namyatov A.A., Tokarev I.V. Stratigraphic chronology and mechanisms of formation of bottom sediments at the mouth of the Grøndalen River (Grøn-Fjord, West Spitsbergen) during the period of climatic changes. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2024;32(5):631–645. <https://doi.org/10.1134/S0869593824700151>
13. Мещеряков Н.И., Намятов А.А., Усягина И.С., Иванова Н.С., Матишов Г.Г. Особенности седиментации после Малого ледникового периода в заливах европейской Арктики, подверженных влиянию атлантических вод: сравнительный анализ акваторий архипелага Шпицберген и Кольского полуострова. *Арктика: экология и экономика*. 2026;16(1):6–17. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2026-1-6-17>
Meshcheriakov N.I., Namyatov A.A., Usyagina I.S., Ivanova N.S., Matishov G.G. Features of sedimentation after the Little Ice Age in the inlets of the European Arctic under the influence of Atlantic waters: a comparative analysis of the water areas of the Svalbard archipelago and the Kola Peninsula. *Arctic: Ecology and Economy*. 2026;16(1):6–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2026-1-6-17>
14. Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N., Melgunov M.S., Vlasova I.E., Shevchenko V.P., Novigatsky A.N., Lisitzin A.P. Natural and artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2007;274(2):315–321.
15. Большианов Д.Ю., Веркулич С.Р. (ред.). *Палеоклимат полярных областей Земли в голоцене*. СПб.: ААНИИ; 2019. 202 с.
16. Keck A., Wassmann P. Temporal and spatial patterns of sedimentation in the subarctic fjord Malangen, Northern Norway. *Sarsia*. 1996;80(4):259–276. <https://doi.org/10.1080/00364827.1996.10413600>
17. Gislås K., Etzelmüller B., Farbrøt H., Schuler T., Westermann S. CryoGRID 1.0: Permafrost distribution in Norway estimated by a spatial numerical model. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2013;24(1):2–19. <https://doi.org/10.1002/ppp.1765>
18. Hipp T., Etzelmüller B., Farbrøt H., Schuler T.V. Modelling the temperature evolution of permafrost and seasonal frost in southern Norway during the 20th and 21st century. *The Cryosphere Discuss*. 2011;5:811–854. <https://doi.org/10.5194/tcd-5-811-2011>

19. Borge A.F., Westermann S., Solheim I., Etzelmüller B. Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years. *The Cryosphere*. 2017;11(1):1–16. <https://doi.org/10.5194/tc-11-1-2017>
20. Митяев М. В., Герасимова М. В. Сток воды, взвешенных веществ и интенсивность эрозии на Мурманском побережье. *Изв. Рос. акад. наук. Сер. Геогр.* 2018;(1):111–128. <https://doi.org/10.7868/S2587556618010101>
Mityaev M.V., Gerasimova M.V. Flow of water and suspended matter and speed of erosion at the Murmansk coast. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2018;(1):111–128. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S2587556618010101>
21. Гросвальд М.Г., Кошечкин Б.И. «Пемзовый горизонт» побережья Кольского полуострова и его деформация. *Геоморфология*. 1973;4:58–63.
22. Saalman K., Bjerkgård T., Slagstad T., Sandstad J.S., Lutro O., Keiding J.B., Snook T.L.A. Revised tectonostratigraphy and structural evolution of the Kôli Nappe Complex, Central Caledonides in Nordland, Norway. *Journal of the Geological Society, London*. 2021;178(5):jgs2020-214. <https://doi.org/10.1144/jgs2020-214>
23. Solberg I.-L., Hansen L., Rokoengen K., Sveian H., Olsen L. Deglaciation history and landscape development of fjord-valley deposits in Buvika, Mid-Norway. *Boreas*. 2008;37:297–315. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2007.00020.x>
24. Морозов Н.В. *Люция Мурманского берега Северного Ледовитого океана от островов Вардэ до Белого моря*. СПб.: Типография Морского Министерства; 1901. 712 с.
25. Heldal H.E., Helvik L., Appleby P., Haanes H., Volynkin A., Jensen H., Lepland A. Geochronology of sediment cores from the Vefsnfjord, Norway. *Marine Pollution Bulletin*. 2021;170:112683. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112683>
26. Hald M., Salomonsen G.R., Husum K., Wilson L.J. A 2000 year record of Atlantic water temperature variability from the Malangen Fjord, northeastern North Atlantic. *The Holocene*. 2011;21(7):1049–1059. <https://doi.org/10.1177/0959683611400457>
27. *Radioecological state of environment in the Murman coastal area*. Murmansk: Murmansk Marine Biological Institute RAS; Akvaplan-niva; 2021. 70 p.
28. Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Ильин Г.В., Иванова Н.С. Датирование современной осадочной толщи краевых бассейнов Восточного Мурман (Кольский полуостров) на примере губ Ярнышная и Зеленецкая. *Арктика: экология и экономика*. 2024;14(3):393–405. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2024-3-393-405>
Meshcheriakov, N.I., Usyagina, I.S., Ilyin, G.V., Ivanova, N.S. Dating of the recent sedimentary strata of the marginal basins of Eastern Murman (Kola Peninsula) using the example of Yarnyshnaya and Zelenetskaya Bays. *Arctic: Ecology and Economy*. 2024; 14(3):393-405. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2024-3-393-405>
29. 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;82:183–200.
30. Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Емельянов Е.М., Сейткалиева Э.А., Радионова Э.П., Алехина Г.Н., Слоистов С.М. Последледниковые палеоокеанологические условия в Баренцевом и Балтийском морях. *Океанология*. 2016;56(1):125–138.
Ivanova E.V., Murdmaa I.O., Emelyanov E.M., Seitkalieva E.A., Radionova E.P., Alekhina G.N., Sloistov S.M. Postglacial paleoceanographic environments in the Barents and Baltic seas. *Oceanology*. 2016;56(1):118–130. <https://doi.org/10.1134/S0001437016010056>
31. Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Архипов В.В., Мазнев С.В., Слуковский З.И., Сухих Е.А., Кокин О.В. Опыт ^{210}Pb и ^{137}Cs датирования отрицательных форм микрорельефа Баренцево-Карского шельфа: методические аспекты. *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России*. 2022;9:170–174. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2022-9-170-174>
32. Лисицын А.П. *Ледовая седиментация в Мировом океане*. М.: Наука. 1994; 450 с.