

ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2026. Т. 26, вып. 3. С. 197–207

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2026, vol. 26, iss. 3, pp. 197–207

<https://geo.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2026-26-3-197-207>, EDN: TYZTCA

Обзорная статья

УДК 551.465.55:561.524(262.1)

Исследование ископаемых и современных диатомей Северной Атлантики: от описания к палеоокеанологическим реконструкциям

А. А. Мельникова

Институт океанологии имени П. П. Ширшова, Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Мельникова Анна Александровна, младший научный сотрудник, аспирант кафедры региональной геологии и истории Земли Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, anmel01-09@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7089-1795>

Аннотация. Статья посвящена анализу истории изучения ископаемых диатомовых водорослей Северной Атлантики и их роли в палеоокеанологических реконструкциях. Обобщение опубликованных данных впервые позволило предложить периодизацию исследований диатомей региона. Она включает три этапа: описательный (конец XIX – начало XX в.), этап формирования систематических и эколого-методических подходов (середина XX в.) и современный этап, связанный с развитием количественных и палеоокеанологических методов (с конца XX в.). Показано, что совершенствование таксономии, методов микроскопии, биостратиграфии и внедрение глубоководного бурения существенно расширили возможности использования диатомей для реконструкции температуры, ледовитости, гидрологического режима и циркуляции водных масс. Впервые составлена карта изученности диатомовых комплексов по материалам осадочных кернов (без учёта материалов глубоководного бурения и поверхностных проб), выявившая белые пятна в изученности акватории Северной Атлантики. В работе обозначены как основные пропуски предыдущих исследований, так и их перспективы, связанные с развитием количественных, молекулярных и междисциплинарных подходов.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, морские осадки, биостратиграфия, количественные методы, палеоокеанологические реконструкции, поздний кайнозой

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-17-00044, <https://rscf.ru/project/24-17-00044> (подготовка рукописи статьи) и темы № FMWE-2024-0020 Государственного задания Минобрнауки России для Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН (сбор литературных данных).

Для цитирования: Мельникова А. А. Исследование ископаемых и современных диатомей Северной Атлантики: от описания к палеоокеанологическим реконструкциям // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2026. Т. 26, вып. 3. С. 197–207. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2026-26-3-197-207>, EDN: TYZTCA

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Review

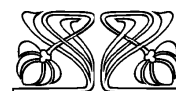
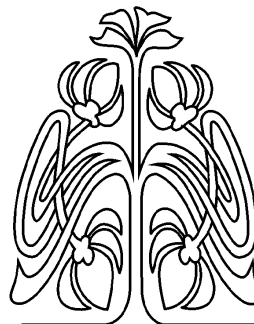
The study of fossil and modern diatoms of the North Atlantic: From descriptive studies to paleoceanographic reconstructions

А. А. Melnikova

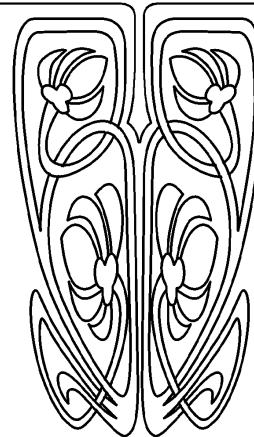
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36 Nakhimovsky Prospekt, Moscow 117997, Russia

Anna A. Melnikova, anmel01-09@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7089-1795>

© Мельникова А. А., 2026



**НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ**





Abstract. This article examines the history of research on fossil diatoms in the North Atlantic and their role in paleoceanographic reconstructions. A synthesis of published data has, for the first time, made it possible to propose a three-stage periodization of diatom studies in the region: the descriptive stage (late 19th–early 20th centuries), the stage of the development of systematic, ecological, and methodological approaches (mid-20th century), and the modern stage associated with the advancement of quantitative and paleoceanographic methods (since the late 20th century). It is shown that improvements in taxonomy, microscopy, biostratigraphy, and the introduction of deep-sea drilling have significantly expanded the possibilities of using diatoms to reconstruct sea-surface temperature, sea-ice conditions, hydrological regimes, and water-mass circulation. For the first time, a map of the distribution of studied marine sediment cores containing diatom assemblages (excluding deep-sea drilling materials and surface samples) has been compiled, revealing major gaps in the study of North Atlantic areas. The paper identifies both the main research gaps and future prospects related to the development of quantitative, molecular, and interdisciplinary approaches.

Keywords: diatoms, marine sediments, biostratigraphy, quantitative methods, paleoceanographic reconstructions, Late Cenozoic

Acknowledgments. This work was supported by Russian Science Foundation Project № 24-17-00044, <https://rscf.ru/project/24-17-00044> (article writing), and by State Assignment of Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences topic No. FMWE-2024-0020 (literature data collection).

For citation: Melnikova A. A. The study of fossil and modern diatoms of the North Atlantic: From descriptive studies to paleoceanographic reconstructions. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2026, vol. 26, iss. 3, pp. 197–207 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2026-26-3-197-207>, EDN: TYZTCV

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Изучение морской среды в условиях современных климатических изменений и трендов развития экологических и осадочных систем океана в геологическом прошлом дает сведения для понимания природной эволюции в разных масштабах времени. Это позволяет улучшить разработку сценариев реакции морской обстановки на вариации климата и водных масс.

Северная Атлантика – в данной работе умеренная и субарктическая зоны – один из ключевых районов Мирового океана как по влиянию на глобальный климат, так и по отражению климатических изменений на свои природные системы: здесь формируются параметры Атлантической меридиональной термохалинной циркуляции, которые передаются всей глобальной циркуляции Мирового океана [1].

Исследование природных изменений в океане возможно, среди прочих методов, по анализу сообществ микроорганизмов в воде и донных отложениях. Одна из широко распространенных пороодообразующих групп морских микроорганизмов – диатомовые водоросли – традиционно рассматривается как один из наиболее информативных индикаторов изменений в морских экосистемах и климате [2]. Их ископаемые остатки (створки из биогенного кремнезема) хорошо сохраняются в донных морских отложениях. Анализ диатомей позволяет строить надежно обоснованные стратиграфические схемы, реконструировать гидрологические и экологические условия, отражая ключевые изменения в океанических системах во времени. Благодаря высокой чувствительности к параметрам среды и хорошей сохранности в осадках диатомеи широко используются в палеоокеанологических и палеоклиматических исследованиях.

Несмотря на значительный объем накопленных данных по диатомовым водорослям Северной Атлантики, исследования носят разрозненный характер и различаются по методическим

подходам, объектам и масштабам анализа. Это затрудняет формирование целостного представления о развитии данного научного направления, а также усложняет сопоставление результатов, полученных в разные периоды и в различных районах региона. Кроме того, сохраняется недостаточная изученность отдельных акваторий, особенно в отношении глубоководных разрезов и их стратиграфического обеспечения.

Цель настоящей работы заключается в анализе и обобщении опубликованных исследований, посвященных ископаемым диатомовым водорослям Северной Атлантики, а также в реконструкции и структурировании истории их изучения с выделением основных этапов развития данного научного направления, что впервые позволяет представить его в виде целостной системы, и оценке степени изученности региона по материалам осадочных кернов. Такое обобщение актуально в связи с активными работами российских научных организаций в Северной Атлантике и Арктике по выявлению влияния изменений климата на региональную природную среду в аспекте развивающейся «атлантификации» – усилении воздействия теплой атлантической воды на океанские системы в высоких северных широтах [3].

В работе проводится выявление ключевых направлений исследований, обозначение существующих пробелов в изучении региона и формирование обзорного научного ориентира, который может быть полезен как для начинающих исследователей, сокращая период вхождения в тему, так и для специалистов смежных направлений, обеспечивая быстрый доступ к обобщенным результатам ранее выполненных исследований. В результате проведенного анализа разработана авторская периодизация истории изучения диатомовых водорослей Северной Атлантики. Она включает три основных этапа, отражающих эволюцию научных подходов – от описательных и таксономических исследований к формированию методологической базы и последу-



ющему развитию палеоокеанологических реконструкций. Основное внимание уделено современному этапу, тогда как ранние стадии рассмотрены в обобщенном виде как основа формирования данного направления.

Ранние этапы изучения диатомей Северной Атлантики: от описаний к формированию методологической основы

Анализ публикаций позволяет выделить два начальных этапа изучения диатомовых водорослей Северной Атлантики, различающихся по задачам и методическим подходам: описательно-накопительный и этап формирования систематической и экологической основы.

Первый этап, охватывающий конец XIX – первую половину XX в., связан преимущественно с накоплением фактического материала и становлением таксономии диатомей. В этот период были выполнены первые систематические исследования, направленные на описание видового состава, морфологических признаков и особенностей распределения диатомей в морских водах. Ключевую роль сыграли работы Р. Т. Cleve [4–7], основанные на материалах океанографических экспедиций, которые заложили основу для последующего изучения морфологии створок и классификации диатомовых водорослей. В этих исследованиях была впервые проведена крупномасштабная систематизация навикулоидных диатомей и уточнена их таксономическая структура с учетом внутривидовой изменчивости и пересмотром принципов дробления видов, что стало основой таксономии современных и ископаемых диатомей. Кроме того, он впервые описал ряд новых арктических и атлантических таксонов и показал сезонную и пространственную динамику фитопланктона Северной Атлантики, заложив фундамент для последующих биогеографических и экологических исследований. Существенный вклад также внесли исследования Н. Н. Gran [8], расширившие представления о географическом распространении диатомей в северных акваториях. В целом данный этап характеризуется преобладанием описательных исследований и формированием

первичной базы данных о видовом разнообразии диатомей (таблица).

Второй этап, приходящийся на середину XX в., характеризуется переходом от накопления данных к их систематизации и интерпретации. В этот период формируется таксономическая основа, необходимая для надежной идентификации видов, а также активно развивается экологическое направление исследований, связанное с изучением приуроченности диатомей к определенным условиям среды. Существенную роль сыграли фундаментальные сводки и определители, в частности, работы F. Hustedt [9], а также исследования отечественных авторов – А. П. Жузе с соавторами [10, 11], А. И. Прошкиной-Лавренко с соавторами [12], И. В. Макаровой и Г. И. Семиной [13, 14] и издание под редакцией И. В. Макаровой [15, 16], в которых были детально рассмотрены морфологические признаки, внутривидовая изменчивость и диагностические особенности современных и ископаемых диатомей. Развитие методов микроскопии, включая внедрение электронной микроскопии, позволило значительно уточнить строение створок и повысить точность таксономических определений. Одновременно с этим были заложены основы экологической интерпретации диатомовых ассоциаций, что стало важным шагом к их последующему использованию в палеоэкологических и стратиграфических исследованиях. Несмотря на то, что значительная часть работ этого периода выполнена на современном материале, полученные результаты имеют важное методологическое значение для изучения ископаемых диатомей Северной Атлантики.

Таким образом, первые два этапа отражают переход от описательного изучения диатомей к формированию систематической и экологической базы, необходимой для их дальнейшего применения в стратиграфии и палеоокеанологии. Именно на этом фундаменте стало возможным развитие биостратиграфических подходов и последующий переход к комплексным реконструкциям палеоокеанологических условий третьего этапа.

Периодизация истории изучения диатомовых водорослей Северной Атлантики в позднем кайнозое

Название периода	Характеристика периода	Публикации
1. Накопительный. Конец XIX – первая половина XX в.	Накопление фактического материала и становление таксономии современных диатомей	[4–8]
2. Систематический и экологический. Середина XX в.	Переход от накопления данных к их систематизации и интерпретации. Формирование таксономической базы и развитие экологического направления исследований	[9–16]
3. Стратиграфический и палеоокеанологический. Конец XX в. – настоящее время	Развитие глубоководного бурения и палеоокеанологических исследований, внедрение количественных методов анализа и расширение комплексных реконструкций условий в позднем кайнозое	[2, 16–66]



Третий этап: развитие стратиграфических и палеоокеанологических исследований

Качественный переход к третьему этапу исследований связан с внедрением глубоководного бурения и развитием количественных методов.

К концу XX в. исследования диатомей Северной Атлантики постепенно смещаются от преимущественно таксономических исследований к их использованию в палеоокеанологических и палеоклиматических реконструкциях. Развитие исследований морских ископаемых диатомей Северной Атлантики началось с конца 1970-х гг., во многом благодаря материалам глубоководного бурения Deep Sea Drilling Project (DSDP) и Ocean Drilling Program (ODP). Именно эти материалы позволили проследить стратиграфическое распределение диатомей в кайнозойских осадках и установить, что наиболее древние комплексы региона относятся к олигоцену и миоцену. Первые зональные схемы для Норвежского моря были предложены Н.-J. Schrader и J. Fenner [17], в то же время в работах R. N. Dzinoridze с соавторами [18] и сборнике «История микропланктона Норвежского моря» [19] были систематизированы данные нескольких кернов, уточнены морфология и стратиграфическое распределение ключевых видов. Несмотря на невысокую точность ранних схем, именно этот период заложил основу для последующей стратиграфии кайнозоя Северной Атлантики и соседних бассейнов.

С середины 1980-х гг. благодаря новым сериям бурения исследования вышли на качественно иной уровень: диатомовая биостратиграфия впервые стала тесно сочетаться с палеоокеанологическим анализом. Особую роль сыграли работы J. G. Baldauf [20–22] на материалах DSDP Leg 81 и 94, где были описаны региональные особенности видового состава и установлены связи между диатомовыми ассоциациями и характеристиками поверхностных вод. На основе этих же серий проб из кернов J. G. Baldauf с соавторами [23] уточнили стратиграфическое положение среднего и верхнего миоцена и показали пространственные различия флоры, отражающие эволюцию водных масс региона. Крупный блок исследований конца 1980-х гг. [24, 25] расширил географический охват исследований диатомовой стратиграфии за счет Лабрадорского моря, Баффинового залива и северо-западной Атлантики, обеспечив корреляцию осадков между несколькими северными бассейнами.

В 1990-е гг. акцент сместился к количественным методам и палеоклиматическим реконструкциям. В исследованиях Н. Schrader и N. Koç [2, 26] был применен факторный анализ Q-типа и разработаны трансферные функции для оценки температуры поверхности моря. Работы N. Koç с соавторами [27, 28], N. Koç и R. P. Scherer [29], N. Koç и B. Flower [30] обеспечили детальную реконструкцию палеоокеаноло-

гических условий Гренландского, Исландского, Ирмингерского и Норвежского морей и позволили напрямую соотнести диатомовые события с изотопной и магнитостратиграфической шкалами. Исследования Н. Schrader с соавторами [31] показали влияние процессов растворения и осадочного переноса на распределение створок, что стало ключом к корректной интерпретации современных осадков.

Существенный вклад в развитие неогеновой и плейстоценовой биостратиграфии внесли работы P. Bodén [32, 33], где на основе количественного анализа проб из кернов Норвежского моря и Северной Атлантики были уточнены стратиграфические границы и описаны новые виды рода *Thalassiosira*, что позволило уточнить межбассейновую корреляцию осадков. Завершающим этапом десятилетия стали исследования М. A. De Sève [34], разработавшей трансферные функции для Лабрадорского моря и показавшей высокую точность реконструкций температуры и солёности поверхностных вод на основе диатомей.

Таким образом, период с конца 1970-х до конца 1990-х гг. характеризуется формированием современных подходов к изучению морских диатомей Северной Атлантики: от первых зональных схем к комплексной интеграции данных глубоководного бурения, биостратиграфии, палеомагнетизма и количественных методов. Именно этот этап стал методологическим фундаментом всех последующих палеоокеанологических реконструкций региона.

С начала 2000-х гг. значительно расширился объем и географический охват исследований диатомей Северной Атлантики, с акцентом на количественный анализ сообществ для палеоокеанологических реконструкций. Так, Н. Jiang с соавторами [35] показали, что распределение диатомей вокруг Исландии определяется температурой, глубиной и солёностью воды, причем летняя температура является ключевым фактором, отражающим характер океанических течений. Н. С. Nass с соавторами [36] продемонстрировали эффективность многокомпонентного подхода, объединяющего анализ диатомей, фораминифер, кокколитов, радиолярий и диноцист, для уточнения реакции планктонных сообществ на климатические события последних 15 тыс. лет в Норвежско-Гренландском бассейне и Северной Атлантике. А. Schröder-Ritzrau с соавторами [37] дополнительно показали, что процессы изменения в составе планктона и в его продвижении в толще воды и донных осадках, такие как латеральная адвекция и растворение диатомей, влияют на сохранность сообществ. Это подчеркнуло важность учета изменений после осаднения при количественных реконструкциях.

Детальные реконструкции температуры поверхности моря (SST) для голоцена позволили



выявить как резкие, так и плавные климатические колебания в Северной Атлантике, отражающие динамику водных масс и особенности межбассейнового водообмена. При этом важную роль играло влияние локальных течений, которые определяли распределение планктонных сообществ и структуру осадков [38–41]. Совокупность этих факторов позволила реконструировать голоценовую изменчивость SST с высокой временной и пространственной детализацией, выявляя периоды потепления и похолодания, а также оценивая взаимосвязь океанических процессов с региональными климатическими событиями. Уже с конца 2000-х г. исследования развивались в том же направлении, но включали не только температурные, но и ледовые реконструкции, что позволило более полно охарактеризовать палеоокеанологические условия региона [42–44].

Особое внимание исследователей было сосредоточено на реконструкции SST и выявлении их связи с атмосферными процессами. В работах А. Miettinen с соавторами [45, 46] были получены высокоразрешающие ряды температурных реконструкций для последних столетий и тысячелетий в Северной Атлантике. Эти исследования продемонстрировали связь температурных трендов с атмосферной циркуляцией (NAO) и стали важным шагом в понимании океан-атмосферных взаимодействий. Кроме того, исследования солнечной модуляции [47] выявили соответствие SST фазам пониженной солнечной активности, включая Малый ледниковый период.

Существенным методическим прорывом стала работа М. Oksman с соавторами [48], заложившая основу для количественных реконструкций SST и ледовитости в субполярных районах. В результате этого исследования была создана калибровочная база данных по 183 образцам поверхностных осадков для северной части Северной Атлантики. Авторы определили температурные оптимумы и температурные диапазоны обитания 21 таксона диатомей, выявив группы, ассоциированные с холодными, умеренными и теплыми водами, а также уточнили виды-индикаторы морского льда.

Большой интерес представляют трансарктические миграции планктона, отражающие изменения межбассейновых связей между Тихим, Арктическим и Атлантическим океанами. Р. С. Reid с соавторами [49] зафиксировали возвращение тихоокеанской диатомеи *Neodenticula seminae* (Simonsen и Т. Kanaya) Akiba et Yanagisawa в Северную Атлантику впервые за последние 800 тыс. лет, что было расценено как свидетельство масштабных перестроек в циркуляции арктических вод и признаков современного потепления. Аналогичные находки были подробно рассмотрены в работе А. Г. Матуля и Г. Х. Казариной [50], в которой показано широкое распространение *N. seminae* в современных

и голоценовых отложениях Северной Атлантики и Арктики. Авторы связали его недавнее появление в Лабрадорском и Ирмингерском морях с усилением притока теплых тихоокеанских вод через Арктику в конце 1990-х гг.

С конца 2010-х гг. наблюдается заметное расширение исследований позднего голоценовой и современной динамики Северной Атлантики. Сравнительно недавно активизировались исследования российских микропалеонтологов [51–57]. Они охватили ключевые районы – пролив Фрама, Норвежско-Гренландский бассейн и район хребта Рейкьянес. В совокупности эти работы реконструировали основные теплые и холодные фазы голоцена, выявили начальные этапы неогляциации, уточнили границы влияния теплого Северо-Атлантического и арктических течений, а также описали сезонную динамику продуктивности и появление инвазивных видов, связанных с трансарктическим переносом водных масс. Тем самым российские исследования за сравнительно короткий период существенно расширили представления о голоценовой и современной океанографической изменчивости Северной Атлантики.

Технологический сдвиг в исследованиях произошел в результате работы Н. Н. Zimmermann с соавторами [58], в которой впервые было использовано метабаркодирование древней ДНК (sedaDNA) в осадках для реконструкции состава морских и ледово-ассоциированных диатомей восточной части пролива Фрама за последние 30 тыс. лет. Полученные данные выявили последовательные смены доминирующих холодноводных и морских ледовых видов после последнего ледникового максимума и позволили расширить временные границы палеоэкологических реконструкций в регионах, где микрофоссилии неполностью сохраняются в осадках.

Таким образом, начиная с конца 1980-х гг., и особенно в последние десятилетия исследования диатомей в Северной Атлантике претерпели переход от описательной биостратиграфии к комплексным палеоокеанологическим реконструкциям, основанным на интеграции микропалеонтологических, геохимических и изотопных данных. Развитие количественных методов, применение передаточных функций и высокоразрешающих подходов позволило не только уточнить стратиграфические шкалы, но и проследить детальные изменения климата и океанической циркуляции в течение позднего кайнозоя и голоцена. Современные исследования показывают, что диатомовые сообщества являются надежными индикаторами динамики субполярного круговорота, ледовых условий и межокеанических связей между Северной Атлантикой и Арктикой, что делает их ключевым инструментом в реконструкции климата высоких широт.



Перспективы изучения диатомей в палеоокеанологии

Диатомовые водоросли на сегодняшний день рассматриваются как один из наиболее перспективных объектов палеоокеанологических исследований благодаря совокупности биологических, морфологических и экологических особенностей, выгодно отличающих их от других групп микрофоссилий. Прежде всего, диатомеи обладают высоким видовым разнообразием, отражающим широкий спектр экологических ниш в современных и ископаемых морских экосистемах. Их представители встречаются в различных субстратах и зонах океана – от сублиторали и прибрежных бентосных сообществ до пелагиальных областей открытого океана, включая полярные и субарктические районы. Экологическое многообразие обеспечивает высокую чувствительность диатомовых комплексов к изменениям температуры, солёности, продуктивности и ледовитости, что делает их универсальными индикаторами изменений поверхностных вод.

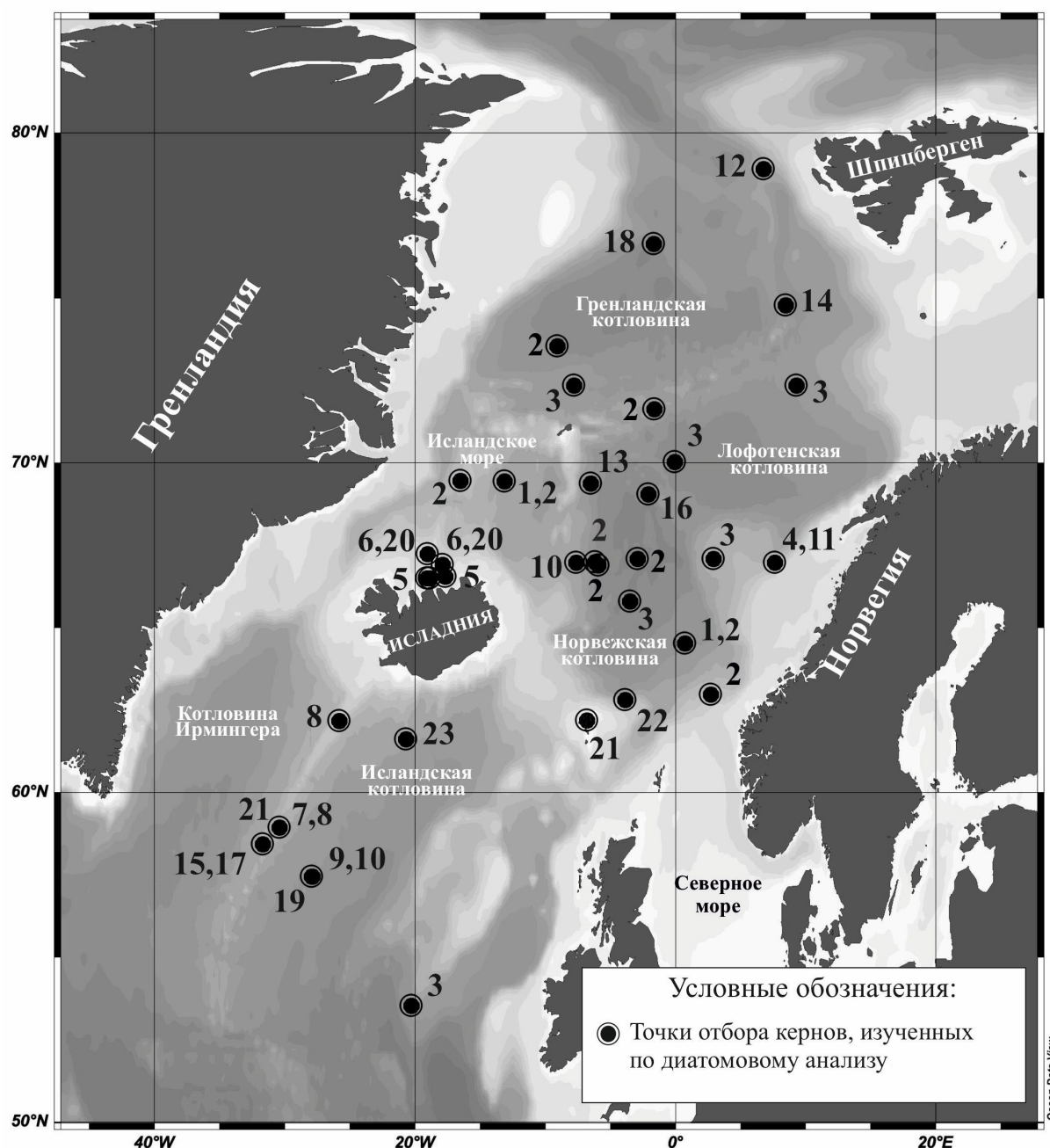
Однако, несмотря на значительный объём накопленных данных по Северной Атлантике, анализ пространственного распределения опубликованных исследований показывает, что изученность региона остается неравномерной и изобилует белыми пятнами. На основе литературных данных составлена схема расположения отбора кернового материала, из которого были изучены диатомовые водоросли (без учета материалов глубоководного бурения и поверхностных проб), что позволило оценить региональную изученность рассматриваемой акватории в позднечетвертичное время (рисунок).

Приведенная карта демонстрирует, что при высокой степени изученности отдельных районов реконструкции палеоокеанологических условий носят фрагментарный характер и сосредоточены преимущественно в южной части Норвежско-Гренландского бассейна. В то же время некоторые акватории остаются слабо представленными в рамках диатомового анализа. К числу таких районов относятся Гренландское море, Лофотенская котловина, Датский пролив, море Ирмингера, а также Северное море, для которых характерно малое число реконструкций на основе диатомовых комплексов. Дополнительно на карте отмечены места отбора проб, исследованные автором (см. рисунок). Так, для южной части Лофотенской котловины на основе анализа диатомовых комплексов были реконструированы изменения поверхностных вод за последние 800 лет, включая эпизоды похолоданий, соотносимые с Малым ледниковым периодом, а также усиление влияния теплых атлантических вод в позднем голоцене [59]. Для района хребта Рейкьянес получены новые данные о развитии восточной части Северо-Атлантического субполярного круговорота в течение последних

10.8 тыс. лет, включая особенности развития голоценового оптимума и события похолодания 8.2 тыс. лет назад [60]. Исследования осадков Гренландского моря позволили установить изменения в составе диатомовых ассоциаций, отражающие изменения ледовых условий и динамику арктических водных масс, а также зафиксировать присутствие вида *N. seminae*, рассматриваемого как индикатор усиления притока тихоокеанских вод через Арктический бассейн [61]. Полученные результаты демонстрируют перспективность дальнейших исследований в слабо изученных районах Северной Атлантики и необходимость расширения региональной базы диатомовых реконструкций. Несмотря на общий прогресс палеоокеанологических исследований, региональная изученность Северной Атлантики остается фрагментарной, что затрудняет возможности комплексной реконструкции пространственной изменчивости океанологических и климатических процессов в позднечетвертичное время. Таким образом, дальнейшее развитие диатомового анализа для позднечетвертичного времени Северной Атлантики видится в исследовании их комплексов из перечисленных акваторий и закрытии белых пятен.

Другим актуальным направлением изучения диатомей является дальнейшая разработка их систематики. Одним из ключевых преимуществ этой группы является их четкая и детально выраженная морфология. Кремнеземные панцири демонстрируют устойчивый набор диагностических признаков, позволяющих уверенно описывать и определять виды. По сравнению с другими группами, морфология диатомей отличается высокой разрешающей способностью таксономических критериев, что существенно повышает точность биостратиграфических и палеоэкологических реконструкций. Кроме того, наличие разнообразных морфологических структур облегчает описание новых видов, что особенно важно для малоизученных районов Северной Атлантики. Такой потенциал расширения таксономической базы открывает дополнительные возможности сверхдетального анализа локальных экологических условий и их изменений во времени для каждой отдельной акватории.

Кроме того, диатомеи также являются ценными индикаторами океанографических фронтов, от которых зависит климат всей Европы. В Северной Атлантике многие виды демонстрируют четкую приуроченность к зонам взаимодействия теплых и холодных водных масс. Примером может послужить вид *Rhizosolenia styliformis* Brightwell, указывающий на взаимодействие атлантических и арктических водных масс [24]. Это делает диатомовые сообщества ключевым инструментом для отслеживания изменений циркуляции поверхностных вод, оценки влияния атлантических течений в субарктической и арктической зонах.



Карта изученности диатомовых комплексов в осадочных кернах Северной Атлантики (номера соответствуют публикациям: 1 – Коç-Karpuz, Schrader, 1990 [2], 2 – Коç с соавт., 1993 [27], 3 – Hass с соавт., 2001 [36], 4 – Birks, Коç, 2002 [38], 5 – Knudsen с соавт., 2004 [39], 6 – Knudsen с соавт., 2004 [40], 7 – Andersen, Коç, 2004 [41], 8 – Berner, Коç, 2008 [42], 9 – Miettinen с соавт., 2011 [44], 10 – Miettinen с соавт., 2012 [45], 11 – Berner с соавт., 2011 [47], 12 – Matul с соавт., 2018 [51], 13 – Матуль, Казарина, 2022 [52], 14 – Ключиткина с соавт., 2023 [54], 15 – Матуль с соавт., 2025 [57], 16 – Мельникова, 2023 [59], 17 – Мельникова, 2025 [60], 18 – Мельникова с соавт., 2025 [61], 19 – Miller, Chapman, 2013 [62], 20 – Sha с соавт., 2022 [63], 21 – Witak с соавт., 2005 [64], 22 – Hoff с соавт., 2019 [65], 23 – Orme с соавт., 2018 [66])

Не менее важна высокая сохранность диатомей в морских осадках кайнозоя. Кремнеземная природа панцирей обеспечивает устойчивость к различным диагенетическим процессам, что позволяет восстанавливать палеоокеанографические условия с высокой временной детализацией даже для глубоководных разрезов позднего кай-

нозоя [19, 20]. Наличие обширного набора экологически чувствительных видов позволяет применять количественные методы для реконструкции параметров поверхностных вод на основе современных калибровочных выборок.

Еще одним перспективным направлением диатомового анализа является метабаркодиро-



вание древней ДНК (sedaDNA) в осадках для реконструкции состава морских и ледово-ассоциированных диатомей в регионах с плохо сохраняющимися в осадках кремневыми панцирями [56]. Комбинация морфологических и генетических данных дает уникальную возможность реконструировать структуру древних сообществ с высокой точностью, уточнять филогенетические связи и выявлять скрытое видовое разнообразие. В перспективе такие подходы позволят связывать изменения в диатомовых комплексах с динамикой продуктивности, миграцией водных масс и трансформациями биогеохимических циклов.

Таким образом, дальнейшее изучение диатомей в Северной Атлантике имеет высокую фундаментальную и практическую значимость. Продолжение исследований позволит не только уточнить историю колебаний температур и ледовитости, но и лучше понять роль атлантической циркуляции в изменчивости арктического климата. В условиях современных климатических изменений расширение знаний о закономерностях поведения диатомовых комплексов Северной Атлантики приобретает особую актуальность, обеспечивая фундамент для прогнозирования будущей динамики морских экосистем и глобальных климатических процессов в ближайшем будущем.

Заключение

Анализ истории изучения диатомовых водорослей Северной Атлантики позволил впервые представить обобщенную периодизацию истории изучения диатомовых водорослей Северной Атлантики, включающую три основных этапа: описательно-накопительный (конец XIX – начало XX в.), этап формирования систематических и эколого-методических представлений (середина XX в.) и современный этап, связанный с развитием палеоокеанологических реконструкций (с конца XX в. по настоящее время). Данная периодизация отражает закономерный переход от описательных исследований к систематическим, экологическим и далее через биостратиграфические изыскания – к комплексному междисциплинарному анализу, основанному на интеграции микропалеонтологических, геохимических, молекулярных и статистических данных.

Составление схемы проведенных исследований позднеледниковых диатомовых комплексов в Северной Атлантике показало, что, несмотря на значительный прогресс, изученность региона остается неравномерной. Слабо изученными акваториями являются: Гренландское море, Лофотенская котловина, Датский пролив, Северное море и море Ирмингера. Перечисленные белые пятна определяют географию дальнейших исследований, направленных на реконструкцию палеоокеанологических условий в Северной Атлантике.

Дальнейшее развитие исследований, включая расширение региональной базы данных и применение современных количественных и молекулярных методов, позволит существенно уточнить представления о динамике океанической циркуляции и климатических изменений в Северной Атлантике в позднем кайнозое, что является прямым выходом на прогнозирование климата в ближайшем будущем.

Библиографический список

1. Delworth T. L., Zeng F. The impact of the North Atlantic oscillation on climate through its influence on the Atlantic meridional overturning circulation // *J. Clim.* 2016. Vol. 29. P. 941–962. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0396.1>
2. Koç-Karpuz N., Schrader H. Surface sediment diatom distribution and Holocene paleo-temperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian // *Paleoceanography*. 1990. Vol. 5. P. 557–580. <https://doi.org/10.1029/pa005i004p00557>
3. Årthun M., Eldevik T., Viste E., Drang H., Furevik T., Johnson H. L., Keenlyside N. S. Skillful prediction of northern climate provided by the ocean // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. Art. 15875. <https://doi.org/10.1038/ncomms15875>, EDN: YIBKEK
4. Cleve P. T. Diatoms from Baffin Bay and Davis Strait // *Bihang till Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*. Stockholm, 1896. Bd. 22, Afd. III, № 4. S. 1–22.
5. Cleve P. T. A treatise on the phytoplankton of the Atlantic and its tributaries and on the periodical changes of the plankton of Skagerak. Upsala : Upsala Nya Tidnings Aktiebolags Tryckeri, 1897. 27 s.
6. Cleve P. T. Synopsis of the Naviculoid diatoms // *Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*. Stockholm : Royal Swedish Academy of Sciences, 1894–1895. Bd. 26, № 2. 194 s.; Bd. 27, № 3. 219 s.
7. Cleve P. T. Plankton table for the North Sea // *Bulletin des résultats acquis pendant les courses périodiques / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*. 1903–1904. P. 216.
8. Gran H. H. Die Diatomeen der Arktischen Meere. 1 Teil. Die Diatomeen des Planktons // *Fauna Arct.* 1904. Bt. 3. S. 509–554.
9. Hustedt F. Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der übrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meersgebiete. Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig K.-G. 1930. Bund. 7, teil 3. S. 557–816.
10. Диатомовый анализ : в 3 кн. Кн. 1. Общая и палеоботаническая характеристика диатомовых водорослей / сост. А. П. Жузе, А. И. Прошкина-Лавренко, В. С. Шешукова ; ред. А. И. Прошкина-Лавренко. Л. : Тип. им. Евг. Соколовой, 1949. 239 с.
11. Диатомовый анализ : в 3 кн. Кн. 2. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядки Centrales и Mediales / сост. А. П. Жузе,



- И. А. Киселев, В. С. Порецкий, А. И. Прошкина-Лавренко, В. С. Шешукова ; ред. А. И. Прошкина-Лавренко. М. : Государственное изд-во геологической литературы, 1949. 444 с.
12. Прошкина-Лавренко А. И., Глезер З. И., Жузе А. П., Макарова И. В., Шешукова-Порецкая В. С. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) : в 2 т. Т. I. Практическое руководство. Л. : Наука, 1974. 403 с.
13. Макарова И. В., Семина Г. И. Новые данные о морфологии и распространении *Thalassiosira Hyalina* (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1982. Т. 67, № 1. С. 109–111.
14. Семина Г. И., Макарова И. В. О морфологии и распространении двух биполярных видов рода *Thalassiosira* (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1983. Т. 68, № 5. С. 611–618.
15. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные : в 3 т. Т. II. Вып. 1 / отв. ред. И. В. Макарова. Л. : Наука, 1988. 116 с.
16. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные : в 3 т. Т. II. Вып. 2 / отв. ред. И. В. Макарова. СПб. : Наука, 1992. 125 с.
17. Schrader H.-J., Fenner J. Part I. Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy and taxonomy // Stan M. White, sci. ed. ; M. Talwani, G. Udintsev, K. Bjorlund [et al.], participating scientists. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1976. Vol. 38. P. 921–1099. <https://doi.org/10.2973/dsdproc.38.130.1976>
18. Dzinoridze R. N., Jousé A. P., Koroleva-Golikova G. S., Kozlova G. E., Nagaeva G. S., Petrushevskaya M. G., Strelnikova N. I. Diatom and radiolarian Cenozoic stratigraphy, Norwegian Basin; DSDP Leg 38 // Stan M. White, sci. ed. ; M. Talwani, G. Udintsev, K. Bjorlund [et al.], participating scientists. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1978. Supplement to vols. 38, 39, 40, 41. P. 289–427.
19. История микропланктона Норвежского моря: (По материалам глубоководного бурения) / гл. ред. О. А. Скарлато. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 192 с.
20. Baldauf J. G. Cenozoic diatom biostratigraphy and paleoceanography of the Rockall Plateau region, North Atlantic, Deep Sea Drilling Project Leg 81 // J. Backman, sci. ed. ; J. B. Keene, shipboard sci. representative ; D. G. Roberts, D. Schnitker, J. Backman [et al.], participating scientists. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1984. Vol. 81. P. 439–478. <https://doi.org/10.2973/dsdproc.81.107.1984>
21. Baldauf J. G. Biostratigraphic and paleoceanographic interpretation of lower and middle Miocene sediments, Rockall Plateau region, North Atlantic Ocean // S. Orlofsky, sci. ed. ; E. Thomas, shipboard sci. representative ; W. F. Ruddiman, R. B. Kidd, J. S. Baldauf [et al.], participating scientists. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1986. Vol. 94, pt. 1. P. 1033–1043.
22. Baldauf J. G. Diatom biostratigraphy of the middle- and high-latitude Atlantic Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 94 // S. Orlofsky, sci. ed. ; E. Thomas, shipboard sci. representative ; W. F. Ruddiman, R. B. Kidd, J. S. Baldauf [et al.], participating scientists. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1987. Vol. 94, pt. 2. P. 729–762.
23. Baldauf J. G., Thomas E., Clement B., Takayama T., Weaver P. P. E., Backman J., Jenkins G., Mudie P. J., Westberg-Smith M. J. Magnetostratigraphic and biostratigraphic synthesis, Deep Sea Drilling Project Leg 94 // S. Orlofsky, sci. ed. ; E. Thomas, shipboard sci. representative ; W. F. Ruddiman, R. B. Kidd, J. S. Baldauf [et al.], participating scientists. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1987. Vol. 94, pt. 2. P. 1159–1205. <https://doi.org/10.2973/dsdproc.94.146.1987>
24. Baldauf J. G., Monjanel A.-L. An Oligocene diatom biostratigraphy for the Labrador Sea: DSDP Site 112 and ODP Hole 674A // S. P. Srivastava, M. Arthur, B. Clement [et al.], eds. Proc. ODP, Sci. Results. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1989. Vol. 105. P. 323–347. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.105.129.1989>
25. Monjanel A.-L., Baldauf J. G. Miocene to Holocene diatom biostratigraphy from Baffin Bay and Labrador Sea, Ocean Drilling Program Site 645 and 646 // S. P. Srivastava, M. Arthur, B. Clement [et al.], eds. Proc. ODP, Sci. Results. 1989. Vol. 105. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1989. Vol. 105. P. 305–322. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.105.127.1989>
26. Schrader H., Koç-Karpuz N. Norwegian-Iceland Seas: Transfer functions between marine planktonic diatoms and surface water temperature // U. Bleil, J. Thiede, eds. Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1990. P. 337–361. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2029-3_19
27. Koç N., Jansen E., Hafliðason H. Paleoclimatographic reconstruction of surface ocean conditions in the Greenland, Iceland and Norwegian Seas through the last 14 ka based on diatoms // Quaternary Science Reviews. 1993. Vol. 12. P. 115–140. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(93\)90012-B](https://doi.org/10.1016/0277-3791(93)90012-B)
28. Koç N., Hodell H., Kleiven D. A., Labeyrie L. High-resolution Pleistocene diatom biostratigraphy of Site 983 and correlations to isotope stratigraphy // E. Jansen, M. Raymo, P. Blum [et al.], eds. Proc. ODP, Sci. Results. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1999. Vol. 162. P. 51–62. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.162.035.1999>
29. Koç N., Scherer R. P. Neogene diatom biostratigraphy of the Iceland sea site 907 // J. Thiede, A. M. Myhre, J. V. Firth, G. L. Johnson, W. F. Ruddiman, eds. Proc. ODP, Sci. Results. 1996. Vol. 151. P. 61–74.
30. Koç N., Flower B. High-resolution Pleistocene diatom biostratigraphy and paleoceanography of Site 919 from the Irminger Basin // A. D. Saunders, H. C. Larsen, S. W. Wise Jr., eds. Proc. ODP, Sci. Results. College



- Station: Ocean Drilling Program. 1998. Vol. 152. P. 209–219. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.152.218.1998>
31. Schrader H., Swanberg I. L., Burckle L. H., Grønlund L. Diatoms in recent Atlantic (20°S to 70°N latitude) sediments: Abundance patterns and what they mean // *Hydrobiologia*. 1993. Vol. 269–270. P. 129–135. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3622-0_15
32. Bodén P. Quantitative biostratigraphy of Neogene diatoms from the Norwegian Sea, North Atlantic and North Pacific // *Stockholm Contrib. Geol.* 1992. Vol. 42. P. 124–202.
33. Bodén P. Taxonomy and stratigraphic occurrence of *Thalassiosira tetraoestrupii* sp. nov. and related species in upper Miocene and lower Pliocene sediments from the Norwegian Sea, North Atlantic and northwest Pacific // *Terra Nova*. 1993. Vol. 5. P. 61–75. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1993.tb00227.x>
34. De Sève M. A. Transfer function between surface sediment diatom assemblages and sea-surface temperature and salinity of the Labrador Sea // *Marine Micropaleontology*. 1999. Vol. 36, № 4. P. 249–267. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(99\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(99)00005-5)
35. Jiang H., Seidenkrantz M.-S., Knudsen K. L., Eiríksson J. Diatom surface sediment assemblages around Iceland and their relationships to oceanic environmental variables // *Marine Micropaleontology*. 2001. Vol. 41, № 1–2. P. 73–96. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(00\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(00)00053-0)
36. Hass H. C., Andruseit H., Baumann A., Baumann K.-H., Kohly A., Jensen S., Matthiessen J., Samtleben Ch., Schäfer P., Schröder-Ritzrau A., Thiede J. The Potential of Synoptic Plankton Analyses for Paleoclimatic Investigations: Five Plankton Groups from the Holocene Nordic Seas // P. Schäfer, W. Ritzrau, M. Schlüter, J. Thiede, eds. *The Northern North Atlantic: A Changing Environment*. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 2001. P. 291–318. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56876-3_18
37. Schröder-Ritzrau A., Andruseit H., Jensen S., Samtleben Ch., Schäfer P., Matthiessen J., Hass H. Ch., Kohly A., Thiede J. Distribution, Export and Alteration of Fossilizable Plankton in the Nordic Seas // P. Schäfer, W. Ritzrau, M. Schlüter, J. Thiede, eds. *The Northern North Atlantic: A Changing Environment*. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 2001. P. 81–104. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56876-3_6
38. Birks C. J. A., Koç N. A high-resolution diatom record of late-Quaternary sea-surface temperatures and oceanographic conditions from the eastern Norwegian Sea // *Boreas*. 2002. Vol. 31, № 4. P. 323–344. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2002.tb01077.x>
39. Knudsen K. L., Rytter F., Eiríksson J., Jansen E., Gudmundsdóttir E. R., Jiang H. Palaeoceanographic changes off North Iceland through the last 1200 years: Foraminifera, stable isotopes, diatoms and ice-rafted debris // *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23, iss. 20–22. P. 2231–2246. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.08.012>, EDN: LTDTMZ
40. Knudsen K. L., Jiang H., Jansen E., Eiríksson J., Heinemeier J., Seidenkrantz M.-S. Environmental changes off North Iceland during the deglaciation and the Holocene: Foraminifera, diatoms and stable isotopes // *Marine Micropaleontology*. 2004. Vol. 50, № 3–4. P. 273–305. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(03\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(03)00075-6), EDN: MFCXZR
41. Andersen C., Koç N., Moros M. A highly unstable Holocene climate in the subpolar North Atlantic: Evidence from diatoms // *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23. P. 2155–2166. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.08.004>
42. Berner K. S., Koç N., Divine D., Godtliebsen F., Moros M. A decadal-scale Holocene sea surface temperature record from the subpolar North Atlantic constructed using diatoms and statistics and its relation to other climate parameters // *Paleoceanography*. 2008. Vol. 23. PA2210. <https://doi.org/10.1029/2006PA001339>
43. Justwan A., Koç N. A diatom based transfer function for reconstructing sea ice concentrations in the North Atlantic // *Marine Micropaleontology*. 2008. Vol. 66. P. 264–278. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.11.001>, EDN: LZQWPZ
44. Мухина В. В., Дмитренко О. Б. Микрофоссилии в верхнечетвертичных осадках Норвежского моря (биостратиграфия и палеоокеанология) // *Океанология*. 2008. № 48. С. 720–734. EDN: JSJSJL
45. Miettinen A., Koç N., Divine D., Hall I. R., Godtliebsen F. North Atlantic sea surface temperatures and their relation to the North Atlantic Oscillation during the last 230 years // *Climate Dynamics*. 2011. Vol. 36. P. 533–543. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0791-5>, EDN: OKWDKP
46. Miettinen A., Divine D., Koç N., Godtliebsen F., Hall I. R. Multicentennial variability of the sea surface temperature gradient across the subpolar North Atlantic over the last 2.8 kyr // *Journal of Climate*. 2012. Vol. 25. P. 4205–4219. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00581.1>, EDN: RMNPAR
47. Berner K. S., Koç N., Godtliebsen F., Divine D. Holocene climate variability of the Norwegian Atlantic Current during high and low solar insolation forcing // *Paleoceanography*. 2011. Vol. 26. PA2220. <https://doi.org/10.1029/2010PA002002>
48. Oksman M., Juggins S., Miettinen A., Witkowski A., Weckström K. The biogeography and ecology of common diatom species in the northern North Atlantic, and their implications for paleoceanographic reconstructions // *Marine Micropaleontology*. 2019. Vol. 148. P. 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.02.002>
49. Reid P. C., Johns D. G., Edwards M., Starr M., Poulin M., Snoeijs P. A biological consequence of reducing Arctic ice cover: Arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800 000 years // *Global Change Biology*. 2007. Vol. 13. P. 1910–1921. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01413.x>, EDN: MHUJTH
50. Matul A. G., Kazarina G. Kh. The North Pacific diatom species *Neodenticula seminae* in the modern and Holocene sediments of the North Atlantic and Arctic // *Geosciences*. 2020. Vol. 10, № 5. Art. 173. <https://doi.org/10.3390/geosciences10050173>, EDN: NFCVSB



51. Matul A., Spielhagen R. F., Kazarina G., Kruglikova S., Dmitrenko O., Mohan R. Warm-water events in the eastern Fram Strait during the last 2000 years as revealed by different microfossil groups // *Polar Research*. 2018. Vol. 37. Art. 1540243. <https://doi.org/10.1080/17518369.2018.1540243>, EDN: HPYLR
52. Матуль А. Г., Казарина Г. Х. Природные условия в центре Норвежско-Гренландского бассейна во время неогляциации за последние 5 тысяч лет // *Доклады Академии наук. Науки о Земле*. 2022. Т. 507, № 2. С. 325–329. <https://doi.org/10.31857/S268673972260179X>, EDN: GEDIVF
53. Матуль А. Г., Новичкова Е. А., Казарина Г. Х. Донные осадки Северной Атлантики на профиле вдоль 59.5° с. ш. // *Океанология*. 2023. Т. 63, № 2. С. 307–327. <https://doi.org/10.31857/S0030157423010100>, EDN: FAXKBV
54. Ключиткина Т. С., Агафонова Е. А., Новичкова Е. А., Лозинская Л. А., Чеховская М. П., Матуль А. Г., Кравчишина М. Д. Условия осадконакопления в районе хребта Книповича (Норвежское море) в голоцене по данным анализа микрофоссилий // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2023. № 6. С. 119–131. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.6.11>, EDN: SRRMYW
55. Новичкова Е. А., Агафонова Е. А., Ключиткин А. А., Ключиткина Т. С., Кравчишина М. Д., Новигатский А. Н., Булохов А. В. Динамика состава осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря // *Океанология*. 2025. Т. 65, № 5. С. 841–859. <https://doi.org/10.7868/S3034597925050098>, EDN: RVCHNW
56. Агафонова Е. А., Ключиткин А. А., Новигатский А. Н., Кудрявцева Е. А., Кравчишина М. Д. Инвазивные виды диатомовых водорослей в осадочном веществе Лофотенской котловины (Норвежское море) // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2025. Т. 524, № 1. С. 114–123. <https://doi.org/10.7868/S3034506525090144>, EDN: MZDYIG
57. Матуль А. Г., Мельникова А. А., Казарина Г. Х., Новичкова Е. А. Природные условия голоцена в районе хребта Рейкьянес, Северная Атлантика, по микропалеонтологическим данным // *Океанология*. 2025. Т. 65, № 5. С. 758–766. <https://doi.org/10.7868/S3034597925050106>, EDN: JJIQGN
58. Zimmermann H. H., Stoof-Leichsenring K. R., Kruse S., Müller J., Stein R., Tiedemann R., Herzschuh U. Changes in the composition of marine and sea-ice diatoms derived from sedimentary ancient DNA of the eastern Fram Strait over the past 30 000 years // *Ocean Sci.* 2020. Vol. 16. P. 1017–1032. <https://doi.org/10.5194/os-16-1017-2020>, EDN: YSKIME
59. Мельникова А. А. Климатические события позднего голоцена в Лофотенской котловине Норвежского моря на основе диатомового анализа // *Геология морей и океанов : материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии : в 4 т. М. : ИО РАН, 2023. Т. 4. С. 77–79.*
60. Мельникова А. А. Ассоциации диатомовых водорослей голоценовых отложений в Северной Атлантике (район хребта Рейкьянес) // *Вопросы современной альгологии*. 2025. № 1 (37). С. 282–285. [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-282-285](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-282-285), EDN: SIKPKG
61. Мельникова А. А., Агафонова Е. А., Новичкова Е. А., Козина Н. В. Диатомовые водоросли в поверхностных осадках Гренландского моря как индикатор современных климатических условий // *Геология морей и океанов : материалы XXVI Международной научной конференции по морской геологии : в 4 т. М. : ИО РАН, 2025. Т. 2. С. 91–74.*
62. Miller K. R., Chapman M. R. Holocene climate variability reflected in diatom-derived sea surface temperature records from the subpolar North Atlantic // *The Holocene*. 2013. Vol. 23. P. 882–887. <https://doi.org/10.1177/0959683612470174>, EDN: RKJKXP
63. Sha L., Knudsen K. L., Eiríksson J., Björck S., Jiang H., Yang X., Yu X., Li D. Diatom-reconstructed summer sea-surface temperatures and climatic events off North Iceland during the last deglaciation and Holocene // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2022. Vol. 602. Art. 111154. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111154>, EDN: BXVJTW
64. Witak M., Wachnicka A., Kuijpers A., Troelstra S., Prins M. A., Witkowski A. Holocene North Atlantic surface circulation and climatic variability: Evidence from diatom records // *The Holocene*. 2005. Vol. 15, iss. 1. P. 85–96. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl768rp>, EDN: ISZVFH
65. Hoff U., Rasmussen T. L., Meyer H., Koç N., Hansen J. Palaeoceanographic reconstruction of surface-ocean changes in the southern Norwegian Sea for the last 130,000 years based on diatoms and with comparison to foraminiferal records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2019. Vol. 524. P. 150–165. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.03.006>, EDN: YQTJCI
66. Orme L. C., Miettinen A., Divine D., Husum K., Pearce C., Nieuwenhove N. V., Born A., Mohan R., Seidenkrantz M. Subpolar North Atlantic sea surface temperature since 6 ka BP: Indications of anomalous ocean-atmosphere interactions at 4–2 ka BP // *Quaternary Science Reviews*. 2018. Vol. 194. P. 128–142. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.007>, EDN: YJSJVJ

Поступила в редакцию 13.04.2026; одобрена после рецензирования 16.05.2026; принята к публикации 16.06.2026; опубликована 30.09.2026

The article was submitted 13.04.2026; approved after reviewing 16.05.2026; accepted for publication 16.06.2026; published 30.09.2026