

УДК 574.58+582.26+58.009

ДИАТОМОВЫЙ МИКРОФИТОБЕНТОС ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) В ПЕРИОД ПОЛЯРНОЙ НОЧИ

П. Р. Макаревич

Мурманский морской биологический институт РАН (ул. Владимирская, 17, Мурманск, Россия, 183038)

Исследован таксономический состав бентосных диатомовых водорослей залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) в период полярной ночи. В донных сообществах идентифицированы живые клетки 47 видов диатомей при абсолютном преобладании пеннатных форм, что характерно для микрофитобентоса арктического побережья. На исследованных станциях общее число видов диатомовых водорослей варьировало в относительно узких пределах – от 31 до 40 таксонов. Максимальное видовое богатство (40 видов) зарегистрировано на станции 2. Основу сообществ донных микроводорослей залива Грён-фьорд составляли типично бентосные формы, представленные 35 таксонами. Планктонные и планктонно-ледовые диатомеи отмечены в незначительном количестве – 3 и 2 вида соответственно. В составе микрофитобентоса преобладали морские (27 видов) и солоноватоводно-морские (15 видов) формы. Пресноводные формы были представлены единично и отмечались лишь эпизодически. Коэффициент флористического сходства Жаккара для пар станций варьировал в пределах 55,5–60 %, что соответствует диапазону от умеренного до высокого сходства. Результаты исследований указывают на существование в бентосе в период полярной ночи жизнеспособного сообщества диатомовых водорослей, которое поддерживает метаболическую активность.

Ключевые слова: Грён-фьорд (Западный Шпицберген); диатомовые водоросли; микрофитобентос; полярная ночь

Для цитирования: Макаревич П. Р. Диатомовый микрофитобентос залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) в период полярной ночи // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 4. С. 89–97. doi: 10.17076/lim2280

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания ММБИ РАН.

P. R. Makarevich. DIATOM MICROPHYTOBENTHOS OF GRØNFJORD BAY (WEST SPITSBERGEN) DURING THE POLAR NIGHT

Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences (17 Vladimirskaia St., 183010 Murmansk, Russia)

The taxonomic composition of benthic diatoms in Grønfjord Bay (Western Spitsbergen) was studied during the polar night. Living cells of 47 diatom species were identified

in the benthic communities, with pennate forms overwhelmingly predominating, which is typical of the microphytobenthos of the Arctic coast. At the studied stations, the total number of diatom species varied within relatively narrow limits – from 31 to 40 taxa. The maximum species richness (40 species) was recorded at station 2. The core of the benthic microalgae communities in Grønfjord Bay were typically benthic forms, represented by 35 taxa. The quantities of planktonic and planktonic/ice diatoms were minor – 3 and 2 species, respectively. Marine (27 species) and brackish-marine (15 species) forms predominated in the microphytobenthos. Freshwater forms were present only sporadically and as singular specimens. The Jaccard floristic similarity coefficient for pairs of stations ranged from 55.5 to 60 %, i.e. within moderate to high similarity range. The results indicate that a viable diatom community maintaining metabolic activity exists in the benthos even during the polar night.

Keywords: Grønfjord (West Spitsbergen); diatoms; microphytobenthos; polar night

For citation: Makarevich P. R. Diatom microphytobenthos of Grønfjord Bay (West Spitsbergen) during the polar night. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 4. P. 89–97. doi: 10.17076/lim2280

Funding. Financial support for the research was provided from the federal budget for the implementation of state assignment to the Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (MMBI RAS).

Введение

Сообщества микрофитобентоса, в которых доминируют диатомовые водоросли (Bacillariophyta), занимают центральное место в формировании первичной продукции прибрежной бентали. Пеннатные диатомеи присутствуют в этих биоценозах круглогодично [Бондарчук, Кузнецов, 1988] и являются основными продуцентами, формируя базовые звенья трофических сетей прибрежных экосистем [Cahoon, 1999; Smola et al., 2017].

Уникальное географическое положение и океанографический режим вод архипелага Шпицберген создают условия для изучения как глобальных, так и региональных биологических процессов в Арктике. Формирование прибрежных фитоценозов в этом районе характеризуется выраженной сезонностью, обусловленной чередованием полярного дня и полярной ночи.

Согласно традиционным представлениям [Nansen, 1902; Ширшов, 1937], в пелагиали арктических морей в период полярной ночи происходит резкий спад биологической активности, что отмечается, в частности, в прибрежных водах высокобореальных районов [Дружкова, 1999]. Пелагические сообщества в это время из-за низкой доступности пищи и минимальной освещенности переходят в состояние покоя и отличаются низкой продуктивностью. Наиболее значительное снижение обилия и активности наблюдается у сообществ первичных продуцентов, жизнедеятельность которых напрямую зависит от светового режима.

Несмотря на появление в последнее время публикаций о диатомовых водорослях микрофитобентоса прибрежных вод Шпицбергена в зимний период [Сапожников, Калинина, 2016; Stachura-Suchoples et al., 2016; Polar..., 2020], эта группировка остается недостаточно изученной. Имеющиеся данные о видовом составе, экологии и количественных показателях донных альгоценозов фрагментарны. Цель настоящей работы – изучить таксономическую и эколого-флористическую структуру бентосных микроводорослей в прибрежной зоне фьордов архипелага Шпицберген в период полярной ночи, который остается малоисследованным.

Диатомовые водоросли обладают видовой специфичностью к широкому спектру абиотических факторов (соленость, температура, ледовый режим, турбулентность, концентрация биогенов), что делает их высокоинформативными биомаркерами и надежными биоиндикаторами современного состояния и происходящих изменений в арктических морских экосистемах [Dixit et al., 1992].

Полученные данные позволят не только расширить фундаментальные знания о биоразнообразии Арктики, но и послужат основой для мониторинга и оценки будущих изменений в этом быстро трансформирующемся регионе.

Материалы и методы

Отбор проб выполнен в заливе Грөн-фьорд (Западный Шпицберген) в ноябре 2019 года в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы»

Мурманского морского биологического института РАН на трех станциях: 1 – 78°05.618' с. ш. 14°06.912' в. д.; 2 – 78°02.798' с. ш. 14°09.388' в. д.; 3 – 78°00.039' с. ш. 14°14.350' в. д. (рис. 1).

Грён-фьорд (норв. Grønfjorden) – типичный фьорд западного побережья архипелага Шпицберген. Для донных грунтов фьорда характерна четкая пространственная дифференциация: в кутовой части вблизи ледника (ст. 3) залегают алевроито-пелитовые осадки, в средней части (ст. 2) – мягкий мелкоалевритовый ил с примесью песчаного материала, а во внешней части (ст. 1) преобладают гравийно-галечные отложения [Мещеряков, 2017]. Глубины в районе работ были в диапазоне от 71 до 105 м.

Соленость воды в период отбора проб в акватории Грён-фьорда была выше 34,50 ПСЕ, а в придонном горизонте на всех станциях достоверно не различалась. Температура воды у дна колебалась от 3,9 до 4,2 °С.

Колонку донных отложений отбирали дночерпателем «Ван-Вин», далее из верхнего двухсантиметрового слоя донных осадков пластиковым

пробоотборником с диаметром внутреннего сечения 10 мм отбирали пробу на состав микрофитобентоса, с последующей заморозкой. В лаборатории пробы размораживали и фиксировали 1% раствором формалина до конечной концентрации 0,5 %. Для просветления объектов применяли раствор гипохлорита с последующим нагреванием. Подсчет и таксономическая идентификация створок диатомовых водорослей осуществлялись с использованием светового микроскопа Axiolmager D1 (Carl Zeiss, Германия) с увеличением 100–400 раз, а для увеличения 1000 раз – с применением иммерсионного объектива. Просматривались все отобранные пробы.

Для диагностики физиологического состояния клеток микроводорослей использовали метод люминесцентной микроскопии (увеличение ×480 и ×1080). Работы проводились *in vivo* на борту судна с применением модифицированного метода «живой капли» [Методические..., 1989; Горюнова, 1952]. Дополнительно для оценки жизнеспособности клеток было применено окрашивание нейтральным красным [Zetsche, Meysman, 2012].

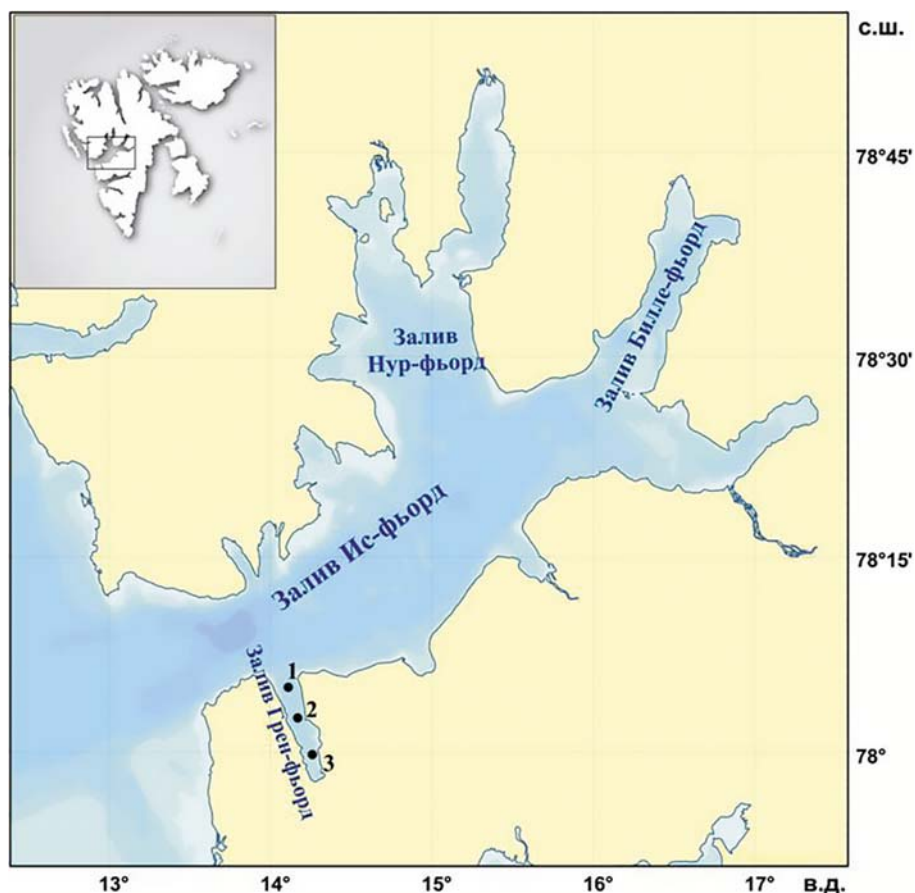


Рис. 1. Карта-схема района работ и расположение станций отбора проб
Fig. 1. Schematic map of the study area and location of sampling stations

Определение видов проводили с использованием определителей и монографий, в том числе: «Диатомовый анализ» [1949, 1950], «Диатомовая флора литорали Баренцева моря» [Короткевич, 1960], «Diatom flora of marine coasts» [Witkowski et al., 2000] и «Диатомовые водоросли водоемов Русской Арктики: архипелаг Новая Земля и остров Вайгач» [Генкал, Вехов, 2007]. Названия видов и систематических групп, а также экологические характеристики микроводорослей приведены согласно номенклатуре, принятой в электронных источниках [von Quillfeldt et al., 2003; AlgaeBase..., 2025; WoRMS..., 2025].

Для оценки флористического сходства бентосных альгоценозов использовали коэффициент Жаккара (Kj) [Миркин и др., 1989].

Результаты и обсуждение

В пробах донных отложений были идентифицированы живые клетки диатомовых водорослей: 47 видов из 20 родов (табл.), представленных как вегетативными, так и споронесущими клетками. Флуоресцентная микроскопия показала наличие хлоропластов в физиологически активном состоянии.

Наличие значительного разнообразия физиологически активных клеток микроводорослей в зимний период и на больших глубинах, где фотосинтез не может служить основным источником энергии, объясняется способностью диатомовых к гетеротрофному питанию [Tuchman et al., 2006; Veuger, van Oevelen, 2011; Fukai et al., 2022]. Данная адаптация становится ключевой в условиях, когда фотосинтез невозможен, например во время полярной ночи. Она включает в себя не только переход на альтернативный тип питания, но и способность формировать покоящиеся стадии – специальные споры или клетки с замедленным метаболизмом [Handy et al., 2024]. Эти структуры позволяют организмам переживать длительные периоды неблагоприятных условий, сохраняя жизнеспособность [Druzhkova et al., 2018].

Видовой состав диатомовых водорослей в исследованных донных сообществах сформирован таксонами, типичными для прибрежных арктических альгоценозов. В пробах преобладали пеннатные диатомеи. Единственной идентифицированной центрической формой оказалась *Melosira arctica* – вид, часто относимый к группе планктонно-бентосных [Баринава и др., 2006].

Таксономический состав и экологические характеристики диатомовых водорослей микрофитобентоса залива Грэн-фьорд в период полярной ночи

Taxonomic composition and ecological characteristics of diatoms of the microphytobenthos of the Grenfjord Bay during the polar night

Вид Taxon name	ЭП		Станции Stations		
	Г	МО	1	2	3
<i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kützing, 1844	СМ	Пл		+	
<i>Amphiroa malectrata</i> var. <i>constricta</i> (Heiden) Simonsen, 2000	М	Б		+	+
<i>Amphora laevis</i> Gregory, 1857	М	Б		+	
<i>A. proteus</i> Gregory, 1857	СМ	Б	+		
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J. C. Lewin, 1964	СМ	Б	+	+	+
<i>Cocconeis costata</i> Gregory, 1855	М	Б	+	+	+
<i>C. scutellum</i> Ehrenberg, 1838	СМ	Б	+	+	+
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) D. M. Williams & Round, 1986	П	Б		+	
<i>Diploneis interrupta</i> (Kützing) Cleve, 1894	СМ	Б	+	+	+
<i>Diatoma vulgare</i> Bory de Saint-Vincent, 1831	П	Б		+	+
<i>Entomoneis kjellmanii</i> (Cleve) Poulin & Cardinal, 1983	М	Пл Пл-Л	+	+	+
<i>E. paludosa</i> (W. Smith) Reimer, 1975	СМ	Б	+	+	+
<i>Fallacia litoricola</i> (Hustedt) D. G. Mann, 1990	М	Б	+	+	
<i>F. marnieri</i> (Manguin) Witkowski, 2000	М	Б	+		+
<i>Fragilaria mutabilis</i> (W. Smith) Grunow, 1862	М	Б		+	
<i>Fragilariopsis cylindrus</i> (Grunow) Krieger, 1954	М	Пл-Л	+	+	+
<i>F. oceanica</i> (Cleve) Hasle, 1965	М	Пл	+	+	+
<i>Gyrosigma fasciola</i> (Ehrenberg) J. W. Griffith & Henfrey, 1856	М	Б	+	+	+
<i>G. scalpoides</i> (Rabenhorst) Cleve, 1894	М	Б	+	+	+
<i>G. tenuissimum</i> (W. Smith) Griffith & Henfrey, 1856	М	Б	+	+	+
<i>Halumphora coffeiformis</i> (C. Agardh) Levkov, 2009	М	Б		+	+

Окончание табл.
Table (continued)

Вид Taxon name	ЭП		Станции Stations		
	Г	МО	1	2	3
<i>H. eunotia</i> (Cleve) Levkov, 2009	СМ	Б		+	
<i>H. hyalina</i> (Kützing) Rimet & R. Jahn in Rimet et al., 2018	М	Б	+		+
<i>H. terroris</i> (Ehrenberg) Wang in Wang et al., 2014	М	Б	+		+
<i>H. woelfeliae</i> Stachura et al., 2015	М	Б Пл-Л			+
<i>Martyana martyi</i> (Héribaud-Joseph) Round, 1990	СМ	Б			+
<i>Melosira arctica</i> Dickie, 1852	М	Пл-Л	+	+	+
<i>Navicula directa</i> (W. Smith) Ralfs, 1861	М	Б	+	+	+
<i>N. distans</i> (W. Smith) Ralfs, 1861	М	Б	+	+	+
<i>N. gemmatula</i> var. <i>gemmatula</i> Grunow in Schmidt et al., 1875	П	Б		+	+
<i>N. hamulifera</i> var. <i>hamulifera</i> Grunow in Cleve & Grunow, 1880	М	Б		+	+
<i>N. peregrina</i> var. <i>peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing, 1844	М	Б		+	+
<i>N. perminuta</i> Grunow, 1880	СМ	Б		+	
<i>N. placentula</i> (Ehrenberg) Kützing, 1844	П	Б		+	
<i>N. rhynchotella</i> Lange-Bertalot, 1993	СМ	Б	+	+	
<i>N. transitans</i> Cleve, 1883	М	Б	+	+	+
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt, 1922	П	Б			+
<i>N. longissima</i> (Brébisson) Ralfs, 1861	СМ	Пл Б	+	+	+
<i>N. polaris</i> Grunow ex Cleve, 1883	М	Пл Б Пл-Л	+	+	+
<i>N. sigma</i> (Kützing) W. Smith, 1853	СМ	Пл Б		+	
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Queckett) W. Smith, 1852	СМ	Б	+	+	+
<i>P. elongatum</i> W. Smith, 1852	СМ	Пл Б	+	+	+
<i>P. formosum</i> W. Smith, 1852	М	Б		+	
<i>P. stuxbergii</i> Cleve & Grunow, 1880	М	Пл Б	+	+	+
<i>Surirella ovalis</i> f. <i>ovata</i> (Kützing) Mayer, 1919	М	Б		+	+
<i>Synedra hyperborea</i> var. <i>hyperborea</i> Grunow, 1884	М	Пл Б	+	+	
<i>S. tabulata</i> f. <i>tabulata</i> (C. Agardh) Kützing, 1844	СМ	Пл	+	+	

Примечание. ЭП – экологическая приуроченность, Г – галобность, МО – местообитание, П – пресноводные, СМ – солоноватоводно-морские, М – морские, Пл – планктонные, Б – бентосные, Пл-Л – планктонно-ледовые.

Note. ЭП – ecological confinement, Г – halobity of the species, МО – habitat, П – freshwater, СМ – brackish-marine, М – marine, Пл – planktonic, Б – benthic, Пл-Л – planktonic-ice.

Количественное доминирование пеннатных диатомей сохраняется в течение всего года. Однако в апреле–мае (период весеннего развития фитопланктона в пелагиали) и в конце осени, когда вегетационный период фитопланктона завершается, в пробах микрофитобентоса возможно заметное увеличение разнообразия типичных планктонных центральных форм [Бондарчук, Кузнецов, 1988].

Таксономическую структуру микрофитобентоса залива Грэн-фьорд формируют виды, относящиеся к широкому спектру экологических условий (рис. 2). Основу таксономического состава диатомовых составили типично бентосные формы: 34 вида, или 72 % от общего числа. С учетом видов, способных обитать как в донных, так и в пелагических и криопелагических биотопах, разнообразие микрофитобентоса в исследованном районе возрастает до 41 вида – 87 % (рис. 2). Помимо бентосных организмов также обнаружены планктонные и планктонно-ледовые виды (таксоны, для которых лед

служит основным или одним из ключевых местообитаний). Вероятно, экологическая принадлежность некоторых видов требует уточнения.

Отдельно следует отметить виды *Entomoneis kjellmanii* и *Nitzschia polaris*. Первый входит в состав весеннего ледового и ранневесеннего планктона, способен активно развиваться как во льду, так и в подледной пелагиали, то есть связан с планктонными и криопелагическими биотопами. *Nitzschia polaris* – высокоспециализированная диатомовая водоросль, эволюционно приспособленная к жизни в условиях морского льда полярных регионов. Ее биотопический статус позволяет относить данный вид одновременно к планктонно-бентосным и криопелагическим формам.

Для пяти видов определить основное местообитание затруднительно, поскольку они регистрируются как в пелагиали, так и в бентали; их присутствие в бентосном биотопе в физиологически активном состоянии, вероятно, связано с нахождением покоящихся клеток или спор.

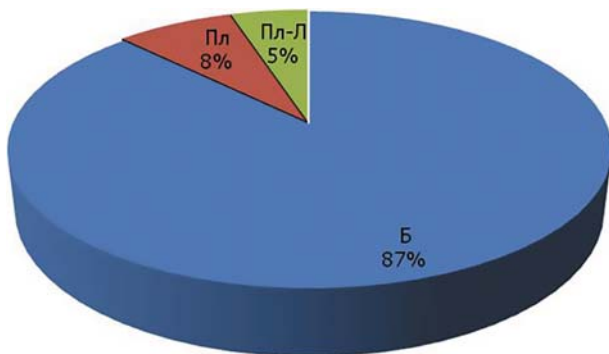


Рис. 2. Соотношение жизненных форм диатомей в микрофитобентосе залива Грэн-фьорд в период полярной ночи: Пл – планктонные, Б – бентосные, Пл-Л – планктонно-ледовые

Fig. 2. The ratio of life forms of diatoms in the microphytobenthos of the Grenfjord Bay during the polar night: Пл – planktonic, Б – benthic, Пл-Л – planktonic-ice

Подобное разнообразие биотопов, заселяемых диатомеями в арктических экосистемах, свидетельствует о широких адаптивных возможностях диатомовых водорослей.

По отношению к солености в структуре сообществ донных микроводорослей залива Грэн-фьорд доминировали виды, характерные для морских и солоноватоводно-морских условий – 27 и 15 таксонов соответственно (рис. 3).

Пресноводные формы были представлены единично и отмечались лишь эпизодически. Их наличие в бентосных сообществах, вероятнее всего, является следствием аллохтонного заноса – попадания клеток микроводорослей

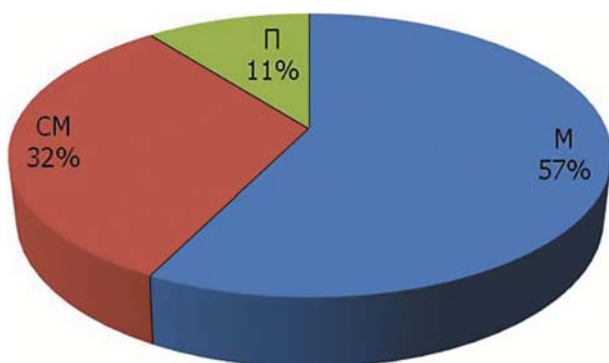


Рис. 3. Соотношение экологических групп диатомей микрофитобентоса залива Грэн-фьорд в период полярной ночи: П – пресноводные, СМ – солоноватоводно-морские, М – морские

Fig. 3. The ratio of ecological groups (habitat) of diatoms of the microphytobenthos of the Grenfjord Bay during the polar night: П – freshwater, СМ – brackish-water-marine, М – marine

в акваторию залива в результате речного и диффузного (склонового) стока в период летнего снеготаяния или дождей. Таким образом, присутствие пресноводных таксонов носит временный характер и не отражает доминирование аутохтонных процессов в формировании донной фитоценотической структуры во фьорде.

Диатомовая флора исследованного района в основном сложена видами с широкой экологической амплитудой и широким географическим распространением. В доминирующем комплексе преобладали космополитные и бореальные виды, что типично для региона и свидетельствует об отсутствии выраженной специфичности или уникальности альгофлоры в период исследований.

Общее число видов диатомовых водорослей на исследованных станциях варьировало в относительно узких пределах – от 31 до 40 таксонов. Максимальное видовое богатство (40 видов) зарегистрировано на станции 2, что может указывать на более благоприятные условия именно здесь для формирования альгоценозов.

Между видовым богатством (количеством видов) и глубиной в точках отбора проб не выявлено достоверной корреляции. Это позволяет предположить, что в условиях данного водоема (акватории) на горизонтальное распределение таксономического разнообразия диатомовых водорослей в большей степени влияют другие факторы.

Таким образом, пространственное распределение видового богатства диатомей на исследованном участке носило мозаичный характер и не было детерминировано батиметрическим градиентом.

Количественная оценка сходства донных диатомовых ценозов на исследованных станциях проведена с использованием коэффициента Жаккара (Kj). Полученные значения составили: 57,7 % для парного сравнения станций 1 и 2, 60,0 % для станций 1 и 3 и 55,5 % для станций 2 и 3. Все рассчитанные коэффициенты находятся в диапазоне от умеренного до высокого сходства, что является статистически достоверным ($p < 0,05$) показателем формирования однородного видового комплекса донных диатомей в заливе. Важно отметить, значительное сходство наблюдается даже между пространственно удаленными станциями, что указывает на единство экологических условий на исследованных участках. Качественный анализ подтвердил выявленное сходство. Для всех трех станций было характерно наличие общего видового ядра, состоящего из 22 таксонов.

В его состав вошли:

1. Морские виды (12 таксонов): *Cocconeis costata*, *Fragilariopsis cylindrus*, *F. oceanica*, *Gyrosigma fasciola*, *G. scalproides*, *G. tenuissimum*, *Melosira arctica*, *Navicula directa*, *N. distans*, *N. transitans*, *Nitzschia polaris*, *Pleurosigma stuxbergii*.

2. Солоноватоводно-морские виды (7 таксонов): *Cylindrotheca closterium*, *Cocconeis scutellum*, *Diploneis interrupta*, *Entomoneis paludosa*, *Nitzschia longissima*, *Pleurosigma angulatum*, *P. elongatum*.

Преобладание в общем ядре стеногалинных морских и эвригалинных солоноватоводно-морских видов отражает типично морской характер среды в придонном слое на большей части акватории.

Основное различие между станциями обусловлено составом пресноводной (аллохтонной) флоры. Наибольшее сходство по этому параметру демонстрируют станции 2 и 3. Помимо двух общих для них пресноводных таксонов – *Diatoma vulgare* и *Navicula gemmatula* var. *gemmatula* – на этих станциях зарегистрировано максимальное количество пресноводных видов: 4 и 3 соответственно.

Станции 2 и 3, по-видимому, находятся под прямым или опосредованным влиянием стока рек Грёндален и Бретьёрна, при этом величины солености, зафиксированные в придонном горизонте на этих станциях, соответствовали океаническим, но в летне-осенний период происходит сезонное снижение значений солености. Таким образом, несмотря на общее высокое сходство сообществ, локальное опреснение является одним из факторов, увеличивающих видовое богатство за счет аллохтонной пресноводной флоры и формирующих дополнительные градиенты в распределении диатомовых водорослей в исследованном заливе.

Заключение

Проведенное исследование микрофитобентоса залива Грэн-фьорд (архипелаг Шпицберген) в период полярной ночи позволило существенно дополнить представления о функционировании арктических прибрежных экосистем в экстремальных условиях освещенности. Вопреки традиционным представлениям о глубоком спаде биологической активности в полярную ночь, нами было обнаружено 47 видов и 20 таксонов надвидового ранга диатомовых водорослей, находящихся в физиологически активном состоянии. Это подтверждает гипотезу о том, что бентосные сообщества микроводорослей могут поддерживать биоразнообразие

и продукционный потенциал экосистемы в темновой период.

Таксономическая структура выявленного сообщества типична для высокоширотных бенталей: абсолютное большинство (более 98 %) составляли пеннатные диатомеи с доминированием морских и солоноватоводно-морских форм. Обнаружение жизнеспособных клеток, включая виды с доказанной способностью к гетеротрофному питанию, указывает на ключевую роль физиолого-биохимических адаптаций, позволяющих диатомеям выживать и сохранять метаболическую активность в условиях многомесячной темноты.

Пространственный анализ выявил высокую степень однородности донных альгоценозов по качественному составу (коэффициент Жаккара 55–60 %), что свидетельствует о стабильности абиотических факторов в придонном горизонте исследованной акватории. Наличие общего ядра из 22 таксонов, включающего типичные морские стеногалинные виды, определяет автохтонную основу сообщества. В то же время присутствие пресноводных аллохтонных видов в средней и кутовой частях фьорда (ст. 2 и 3) демонстрирует влияние локального стока, которое, несмотря на высокую соленость придонных вод, формирует мозаичность в распределении диатомей за счет сезонного опреснения и заноса аллохтонных элементов.

Полученные данные подтверждают высокий биоиндикационный потенциал диатомовых водорослей. Чувствительность их видовой структуры даже к незначительным изменениям среды (в частности, к влиянию пресноводного стока) делает микрофитобентос удобным инструментом для мониторинга состояния арктических экосистем в условиях современных климатических изменений. Расширение списка видов, активно функционирующих в полярную ночь, вносит вклад в понимание глобального биоразнообразия Арктики и подчеркивает необходимость круглогодичных исследований для адекватной оценки продуктивности и устойчивости прибрежных биоценозов.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории планктона ММБИ РАН за помощь в обработке проб и консультирование по верификации полученных данных.

Литература

Баринава С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

Бондарчук Л. Л., Кузнецов Л. Л. Сезонная динамика диатомовой флоры верхней сублиторали Баренцева моря // Новости систематики низших растений. 1988. Т. 25. С. 27–31.

Генкал С. И., Вехов Н. В. Диатомовые водоросли водоемов Русской Арктики: архипелаг Новая Земля и остров Вайгач. М.: Наука, 2007. 64 с.

Горюнова С. В. Применение метода флуоресцентной микроскопии для определения живых и мертвых клеток водорослей // Труды института микробиологии. 1952. Т. 2. С. 57–64.

Диатомовый анализ / Под ред. А. И. Прошкиной-Лавренко. М.: Гос. изд. геол. лит., 1949. Кн. 2. 444 с.; 1950. Кн. 3. 633 с.

Дружкова Е. И. Нанофитопланктон прибрежной зоны морей Северной Европы (Баренцево и Северное моря): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1999. 23 с.

Короткевич О. С. Диатомовая флора литорали Баренцева моря // Труды Мурманского морского биологического института. 1960. Вып. 1(5). С. 68–338.

Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Часть 1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество / Сост. П. Р. Макаревич, Н. В. Дружков. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. 29 с.

Мещеряков Н. И. Современное осадконакопление в заливе Грэн-фьорд (Западный Шпицберген): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2017. 29 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1989. 223 с.

Сапожников Ф. В., Калинина О. Ю. Микрофитобентос окрестных акваторий архипелага Шпицберген в зимнее время // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. 2016. Серия 13. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2016. С. 332–338.

Ширшов П. П. Сезонные явления в жизни фитопланктона полярных морей в связи с ледовым режимом // Труды Арктического института. 1937. Т. 82. С. 47–111.

AlgaeBase. 2025. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 20.12.2025).

Saohon L. B. The role of benthic microalgae in neritic ecosystems // Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 1999. Vol. 37. P. 47–86.

Dixit S. S., Smol J. P., Kingston J. C., Charles D. F. Diatoms: powerful indicators of environmental change // Environ. Sci. Technol. 1992. Vol. 26, no. 1. P. 22–33. doi: 10.1021/es00025a002

Druzhkova E., Oleinik A., Makarevich P. Live autochthonous benthic diatoms on the lower depths of Arctic continental shelf. Preliminary results // Oceanologia. 2018. Vol. 60, no. 1. P. 97–100. doi: 10.1016/j.oceano.2017.07.001

Fukai Y., Matsuno K., Fujiwara A., Suzuki K. Physiological response of diatoms in surface sediments to light exposure: a laboratory experiment on a diatom community in sediments from the Chukchi Sea // Front.

Mar. Sci. 2022. Vol. 9. Art. 998711. doi: 10.3389/fmars.2022.998711

Handy J., Juchem D., Wang Q., Schimani K., Skibbe O., Zimmermann J., Karsten U., Herburger K. Antarctic benthic diatoms after 10 months of dark exposure: consequences for photosynthesis and cellular integrity // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. Art. 1326375. doi: 10.3389/fpls.2024.1326375

Nansen F. Norwegian North polar expedition 1893–1896, scientific results // The oceanography of the north pole basin. Vol. 3. Longmans, Green, Toronto, 1902. 428 p.

Polar night marine ecology / Berge J., Johnsen G., Cohen G. H. (Eds.). Switzerland AG: Springer Nature, 2020. Vol. 4. 375 p. doi: 10.1007/978-3-030-33208-2

Smola Z. T., Tatarek A., Wiktor J. M., jr Wiktor J. M. W., Kubiszyn A., Westawski J. M. Primary producers and production in Hornsund and Kongsfjorden – comparison of two fjord systems // Polish Polar Res. 2017. Vol. 38. P. 351–373. doi: 10.1515/popore-2017-0013

Stachura-Suchoples K., Enke N., Schlie C., Schaub I., Karsten U., Jahn R. Contribution towards a morphological and molecular taxonomic reference library of benthic marine diatoms from two Arctic fjords on Svalbard (Norway) // Polar Biol. 2016. Vol. 39. P. 1933–1956. doi: 10.1007/s00300-015-1683-2

Tuchman N. C., Schollett M. A., Rier S. T., Geddes P. Differential heterotrophic utilization of organic compounds by diatoms and bacteria under light and dark conditions // Hydrobiologia. 2006. Vol. 561. P. 167–177. doi: 10.1007/s10750-005-1612-4

Veuger B., van Oevelen D. Long-term pigment dynamics and diatom survival in dark sediment // Limnol. Oceanogr. 2011. Vol. 56, no. 3. P. 1065–1074. doi: 10.4319/lo.2011.56.3.1065

von Quillfeldt C. H., Ambrose W. G., Clough L. M. High number of diatom species in first-year ice from the Chukchi Sea // Polar Biol. 2003. Vol. 26, no. 12. P. 806–818. doi: 10.1007/s00300-003-0549-1

Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coasts. Part I. Iconographia Diatomologica. 2000. Vol. 7. 925 p.

WoRMS. 2025. World Register of Marine Species [Электронный ресурс]. URL: <http://www.marinespecies.org/index.php> (дата обращения: 20.12.2025).

Zetsche E.-M., Meysman F. Dead or alive? Viability assessment of micro- and mesoplankton // J. Plankton Res. 2012. Vol. 34. P. 493–509. doi: 10.1093/plankt/fbs018

References

AlgaeBase. 2025. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed: 20.12.2025).

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Diversity of algal indicators in the environmental assessment. Tel Aviv, Israel: Pilies Studio; 2006. 498 p. (In Russ.)

Berge J., Johnsen G., Cohen G. H. (eds.). Polar night marine ecology. Switzerland AG: Springer Nature; 2020. Vol. 4. 375 p. doi: 10.1007/978-3-030-33208-2

Bondarchuk L. L., Kuznetsov L. L. Seasonal dynamics of diatom flora of the upper subtidal of the Barents

Sea. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii = Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium*. 1988;25: 27–31. (In Russ.)

Cahoon L. B. The role of benthic microalgae in neritic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 1999;37:47–86.

Dixit S. S., Smol J. P., Kingston J. C., Charles D. F. Diatoms: powerful indicators of environmental change. *Environ. Sci. Technol.* 1992;26(1):22–33. doi: 10.1021/es00025a002

Druzhkova E. I. Nanophytoplankton of the coastal zone of the seas of Northern Europe (Barents and North Seas): Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow; 1999. 23 p. (In Russ.)

Druzhkova E., Oleinik A., Makarevich P. Live autochthonous benthic diatoms on the lower depths of Arctic continental shelf. Preliminary results. *Oceanologia*. 2018;60(1):97–100. doi: 10.1016/j.oceano.2017.07.001

Fukai Y., Matsuno K., Fujiwara A., Suzuki K. Physiological response of diatoms in surface sediments to light exposure: a laboratory experiment on a diatom community in sediments from the Chukchi Sea. *Front. Mar. Sci.* 2022;9:998711. doi: 10.3389/fmars.2022.998711

Genkal S. I., Vekhov N. V. Diatom algae of the reservoirs of the Russian Arctic: Novaya Zemlya Archipelago and Vaygach Island. Moscow: Nauka; 2007. 64 p. (In Russ.)

Goryunova S. V. Application of fluorescence microscopy method for determination of live and dead algae cells. *Trudy Instituta mikrobiologii = Proceedings of the Institute of Microbiology*. 1952;2:57–64. (In Russ.)

Handy J., Juchem D., Wang Q., Schimani K., Skibbe O., Zimmermann J., Karsten U., Herburger K. Antarctic benthic diatoms after 10 months of dark exposure: consequences for photosynthesis and cellular integrity. *Front. Plant Sci.* 2024;15:1326375. doi: 10.3389/fpls.2024.1326375

Korotkevich O. S. Diatom flora of the Barents Sea littoral. *Trudy Murmanskogo morskogo biologicheskogo instituta = Proceedings of the Murmansk Marine Biological Institute*. 1960;1(5):68–338. Moscow; Leningrad. (In Russ.)

Makarevich P. R., Druzhkov N. V. (comps.). *Methodological recommendations for the analysis of quantitative and functional characteristics of marine biocenoses in the northern seas. Part 1. Phytoplankton. Zooplankton. Suspended organic matter*. Apatity: KNTs AN SSSR; 1989. 29 p. (In Russ.)

Meshcheryakov N. I. Modern sedimentation in the Grønfjorden (Western Spitsbergen): Summary of PhD (Cand. of Geogr.) thesis. Moscow; 2017. 29 p. (In Russ.)

Mirkin B. M., Rozenberg G. S., Naumova L. G. Dictionary of concepts and terms of modern phytocology. Moscow: Nauka; 1989. 223 p. (In Russ.)

Nansen F. Norwegian North polar expedition 1893–1896, scientific results. *The oceanography of the north pole basin*. Vol. 3. Longmans, Green, Toronto; 1902. 428 p.

Proshkina-Lavrenko A. I. (ed.). Diatomic analysis. Vol. 2. Moscow: Gos. izd-vo geol. lit.; 1949. Book 2. 444 p.; 1950. Book 3. 633 p. (In Russ.)

Sapozhnikov F. V., Kalinina O. Yu. Microphytobenthos of surrounding waters of the Svalbard Archipelago in winter. *Kompleksnye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilizhashchego shel'fa = Complex studies of the nature of Spitsbergen and the adjacent shelf*. 2016;13: 332–338. Rostov-on-Don: YUNTs RAN; 2016. (In Russ.)

Shirshov P. P. Seasonal phenomena in the life of phytoplankton in polar seas in connection with the ice regime. *Trudy Arkticheskogo instituta = Proceedings of the Arctic Institute*. 1937;82:47–111. (In Russ.)

Smola Z. T., Tatarek A., Wiktor J. M., jr Wiktor J. M. W., Kubiszyn A., Westawski J. M. Primary producers and production in Hornsund and Kongsfjorden – comparison of two fjord systems. *Polish Polar Research*. 2017;38:351–373. doi: 10.1515/popore-2017-0013

Stachura-Suchoples K., Enke N., Schlie C., Schaub I., Karsten U., Jahn R. Contribution towards a morphological and molecular taxonomic reference library of benthic marine diatoms from two Arctic fjords on Svalbard (Norway). *Polar Biology*. 2016;39:1933–1956. doi: 10.1007/s00300-015-1683-2

Tuchman N. C., Schollett M. A., Rier S. T., Geddes P. Differential heterotrophic utilization of organic compounds by diatoms and bacteria under light and dark conditions. *Hydrobiologia*. 2006;561:167–177. doi: 10.1007/s10750-005-1612-4

Veuger B., van Oevelen D. Long-term pigment dynamics and diatom survival in dark sediment. *Limnol. Oceanogr.* 2011;56(3):1065–1074. doi: 10.4319/lo.2011.56.3.1065

von Quillfeldt C. H., Ambrose W. G., Clough L. M. High number of diatom species in first-year ice from the Chukchi Sea. *Polar Biol.* 2003;26(12):806–818. doi: 10.1007/s00300-003-0549-1

Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coasts. Part I. *Iconographia Diatomologica*. 2000. Vol. 7. 925 p.

WoRMS. 2025. World Register of Marine Species. URL: <http://www.marinespecies.org/index.php> (accessed: 20.12.2025).

Zetsche E.-M., Meysman F. Dead or alive? Viability assessment of micro- and mesoplankton. *J. Plankton Res.* 2012;34(6):493–509. doi: 10.1093/plankt/fbs018

Поступила в редакцию / received: 26.12.2025; принята к публикации / accepted: 10.03.2026.
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Макаревич Павел Робертович

д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник
лаборатории планктона

e-mail: makarevich@mmbi.info

CONTRIBUTOR:

Makarevich, Pavel

Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher