Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Мурманский морской биологический институт
Российской академии наук

Мурманское областное отделение
Русского географического общества

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА — 2025

Тезисы докладов XVI Международной научной конференции, посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23-24 октября 2025 г.)

Апатиты
2025

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Российская академия наук
Мурманский морской биологический институт

Русское географическое общество
Мурманское областное отделение

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА – 2025

Тезисы докладов XVI Международной научной конференции,
посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене
(г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.)

Апатиты
2025

УДК 574.5

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 117 с.

ISBN 978-5-91137-550-8
DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Представлены материалы XVI Международной научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025» (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.), посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене. В материалах рассматривается широкий круг вопросов, связанных с современным изучением архипелага.

Тезисы представлены в авторской редакции.

Мероприятие проведено в рамках темы Госзадания ММБИ РАН «Состояние морских и наземных экосистем архипелага Шпицберген в условиях современной климатической и антропогенной изменчивости»

Научное издание

Технический редактор В. Ю. Жиганов
Подписано к печати 20.10.2025. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 13.6. Тираж 100 экз. Заказ № 78.
ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН
184209, г. Апатиты, Мурманская область, Ферсмана, 14
naukaprint.ru

Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation

Russian Academy of Sciences
Murmansk Marine Biological Institute

Russian Geographical of Society
Murmansk Regional Branch

COMPREHENSIVE STUDIES OF SVALBARD'S NATURE AND THE ADJACENT SHELF – 2025

Abstracts of the XVI International Scientific Conference dedicated
to the 100th anniversary of the entry into force of the Svalbard Treaty
(Murmansk, October 23–24, 2025)

Apatity
2025

UDC 574.5

Comprehensive Studies of Svalbard's Nature and the Adjacent Shelf – 2025: Abstracts of the XVI Intern. Sci. Conf., dedicated to the 100th anniversary of the entry into force of the Svalbard Treaty (Murmansk, October 23–24, 2025). Apatity: Publ. FRC Kola Science Centre RAS, 2025. 117 p.

ISBN 978-5-91137-550-8
DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

This publication presents abstracts of the XVI International Scientific Conference «Comprehensive Studies of Svalbard's Nature and the Adjacent Shelf 2025» (Murmansk, October 23–24, 2025) dedicated to the 100th anniversary of the entry into force of the Svalbard Treaty. The abstracts address various aspects of modern research on the archipelago.

The abstracts are presented in the author's edition.

The event was held within the framework of the MMBI RAS State Assignment theme "Status of marine and terrestrial ecosystems of the Svalbard Archipelago under modern climatic and man-caused changes"

ИССЛЕДОВАНИЯ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА ЗАПОЛЯРНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ МУРМАНСКА (1970–2025 гг.)

академик Г. Г. Матишов[1], А. Г. Казанин[2], М. В. Макаров[1], П. Р. Макаревич[1], С. И. Шкарубо[2], Д. В. Моисеев[1]

[1]Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
[2]АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция», г. Мурманск, Россия

Архипелаг Шпицберген (Грумант) и прилегающие воды российские мореходы, зверобои и промысловики посещали и обследовали (зимовали) начиная еще с XVIII века. Промышленное освоение архипелага началось с 1913 г. Создание треста «Арктикуголь» для добычи угля относится к 1931–1932 годам. Научно-исследовательские изыскания активно продолжались в советский и постсоветский периоды. Спектр работ включал археологию, биологические науки и науки о Земле. В экспедициях на островах присутствовали специалисты из Санкт-Петербурга, Москвы, Ростова-на-Дону, Архангельска и других регионов. В данной статье кратко анализируются исследования заполярных организаций Мурманска на Шпицбергене и прилегающем шельфе.

ПОЛЯРНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ им. Н. М. КНИПОВИЧА ведет свою историю от Плавморнина – Плавучего морского научного института, – декрет об образовании которого подписал 10.03.1921 г. В. И. Ленин. В разработке декрета принимали участие И. И. Месяцев, Н. Н. Зубов, В. К. Солдатов и др. Вновь созданный институт был призван заниматься комплексными рыбохозяйственными исследованиями северных морей, содействовать развитию производительных сил Советской России в самых отдаленных районах. Главная задача ПИНРО – разработки биологических основ рационального рыболовства в Северной Арктике, морях Северо-Европейского бассейна и западного сектора российской Арктики, включая акваторию архипелага Шпицберген.

1950–1970-е годы явились эпохой освоения атомным флотом и рыбаками Мирового океана. Новые знания были необходимы для подводного плавания, поиска рыбы и тралового лова в океане, для ориентации при бурении и сейсмопрофилировании шельфа. Лаборатория геологии моря ПИНРО – П. С. Виноградов, В. М. Литвинов, В. Д. Рвачев, В. В. Назимов, Г. Г. Матишов. Картирование рельефа дна, особенности топографии, литологии донных отложений, эхолотирование дна Гренландского моря Западного Шпицбергена на НИС «Академик Книпович» позволили открыть и оконтурить рифтовый хребет Книповича. Название, предложенное проф. В. М. Литвиным в 1964 г. закрепилось на всех мировых картах.

В 1960–1970-е годы Г. Г. Матишов, в итоге кропотливой работы, подготовил крупномасштабную (на 200 листах) батиметрическую карту океана от Азорских островов до Земли Франца-Иосифа. Теоретическую базу он почерпнул у своих учителей проф. Д. Г. Панова, В. М. Рвачева, М. В. Литвина и О. К. Леонтьева.

Автор новой батиметрии успел при помощи линейной экстраполяции эхолотирования дна к геоморфологическому дешифрованию записей, по оригинальной новаторской технологии, впервые в СССР, представить не только карты батиметрии и рельефа дна, но и рыбопромысловые лоции. В середине 1970-х годов, при разработке концепции развития шельфа в период материковых оледенений, Г.Г. Матишов открыл явление океанического перигляциала с системой абиссальных каналов. И в России, и за рубежом данный факт считают одним из «пионерных». В результате данного труда Г. Г. Матишов в 1980 г. в МГУ защитил докторскую диссертацию «Гляциальный и перигляциальный рельеф дна океана». В 1990 году Г. Г. Матишов был избран академиком АН СССР по специальности «Океанология, география».

Обобщение всего материала ПИНРО и литературных данных позволили разработать Г. Г. Матишову оригинальную концепцию оледенения шельфа. Мир изменчив. В северном полушарии 17–20 тыс. лет назад произошло очередное оледенение материков. Ледники перекрыли Баренцево море. Уровень океана опускался на 120 м. Гляциальные шельфы и Азовское море осушались.

МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ММБИ РАН) – старейшее учреждение Российской академии наук на Севере. В 1935 году с ходатайством об организации биологической станции в Правительство (председателю СНК СССР В. М. Молотову) обратился профессор К. М. Дерюгин. 10 марта 1935 г. Совнарком СССР принял решение (№ 501-50) о создании станции Академии наук СССР в Зеленецкой губе на побережье Баренцева моря. Директором станции был назначен академик С. А. Зернов. В 1958 году Мурманская биологическая станция Академии наук СССР в пос. Дальние Зеленцы была реорганизована в Мурманский морской биологический институт.

В 1980-е годы в ММБИ, наряду с исследованиями морской арктической флоры и фауны на клеточном, тканевом, организменном и популяционном уровне, начинается процесс внедрения компьютерных технологий в биологические и океанографические работы. Одновременно усиливаются разработки теоретических основ марикультуры, морских технологий рационального природопользования. В середине 1980-х гг. в ММБИ начинается деятельность по новым научным направлениям – орнитологии, радиоэкологии, по адаптации камчатского краба, работы с морскими млекопитающими (в том числе в интересах Северного военно-морского флота).

В 1992 году на базе ММБИ в Мурманске был открыт первый на севере России океанариум – современный научно-познавательный комплекс, одновременно являющийся научно-экспериментальной базой для работы специалистов в области физиологии, этологии и зоопсихологии морских животных.

ММБИ проводит научные исследования в районе архипелага Шпицберген с 1960-х гг. Начиная с 1990-х гг. исследования приобрели комплексный экосистемный характер, когда изучаются все компоненты морских экосистем: от бактерий до белого медведя. В эти годы ММБИ резко усиливает комплексные исследования северных морей, последовательно расширяя географию своих работ от Зеленецкой бухты до океанических пространств: от Исландии до моря Лаптевых, в том числе на трассе Севморпути, на Шпицбергене, Земле Франца-Иосифа и прилегающих шельфах.

Важной директивой и целеуказанием стало Постановление № 14 от 03 марта 1994 г. Бюро Отделения общей биологии.

1. Считать целесообразным создание биологической станции в рамках Международной экологической лаборатории Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН (архипелаг Шпицберген, пос. Баренцбург).

2. Утвердить основные направления научных исследований биостанции: получение сравнительных данных о биоразнообразии, исследование морских экосистем на северном участке действия западной ветви Гольфстрима; разработка модели процессов влияния талых (пресных) ледниковых вод на морскую экосистему в ледниковых бухтах разного типа Западного Шпицбергена; исследование динамических процессов в арктических экосистемах и других явлений природы.

С 2001 года НИС «Дальние Зеленцы» работает в районе Шпицбергена на регулярной основе. В этот период проведено 19 экспедиций с заходом судна в территориальные воды архипелага, в порты Баренцбурга и Лонгиербюена. Выполнены десятки комплексных станций, на которых произведены СТД-профилирования водной толщи и гидрохимические исследования; отобраны пробы всех видов планктона, макрозообентоса, воды на определение уровней радионуклидов, донных осадков на загрязнение и гранулометрический состав; проведены наблюдения за морскими птицами и млекопитающими. Кроме этого, в ходе этих рейсов НИС «Дальние Зеленцы» в рамках доставки разнообразных необходимых грузов обеспечивало успешное функционирование Биогеостанции ММБИ РАН в Баренцбурге и организаций Российского научного центра на Шпицбергене. По результатам исследований опубликованы десятки публикаций в ведущих российских и зарубежных научных изданиях. Представлены доклады на важнейших международных научных мероприятиях.

С новым размахом специалисты ММБИ сфокусировались на важных комплексных вопросах биогеографии, гидробиологии, орнитологии, почвоведения. Начиная с 1980 г. морские наблюдения стали выполнять на научно-исследовательских судах ММБИ «Помор», «Дальние Зеленцы». Спектр исследовательских работ охватывает ключевые вопросы и разделы гидробиологии, такие как: распределение *Calanus* sp., сообществ мшанок (Bryozoa) и гидроидных (Hydrozoa), полихет и других представителей зоопланктона и бентоса на прибрежном шельфе в зимний период, особенности биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) из фьордов Западного Шпицбергена (Берченко, Дружкова, 2023; Берченко, Олейник, 2023; Дворецкий и др., 2023; Дикаева, Фролова, 2018; Дикаева, 2023; Зимина, Мещеряков, 2017; Любина, Фролова, 2006; Любина и др., 2011; Макаревич и др., 2024; Dvoretsky, Dvoretsky, 2020; Evseeva, Dvoretsky, 2023; Namyatov et al, 2023; Noskovich, Dvoretsky, 2024).

Целенаправленно и не один год подряд на побережье Западного Шпицбергена изучалось поведение, питание, конкуренция, миграции, трофические связи таких животных как обыкновенная гага *Somateria mollissima*, чайка *Larus* sp., полярный песец *Alopex lagopus*, моржи и тюлени (Лебедева и др., 2012, 2018, 2021; Лебедева, Коблик, 2019; Lebedeva, Taskaeva, 2012).

В комплексе работ ММБИ на Шпицбергене присутствовали исследования, в частности: измерения накопления стронция-90 в донных отложениях и биоте, особенности аккумуляции ^{137}Cs различными типами донных отложений на прибрежном шельфе, обращалось внимание на радионуклиды в почвах типичной арктической тундры и под колонией птиц в районе российского пос. Баренцбург (Матишов и др., 2018; Leppänen et al., 2012).

На архипелаге Шпицберген, опираясь на теорию океанического перигляциала и цикличность материковых оледенений, специалисты ММБИ и МАГЭ исследовали геоморфологические признаки воздействия ледников, их дегляциацию на поверхность шельфа и глубже, на подводной материковой окраине (Захаренко и др., 2007; Казанин и др., 2005, 2006; Мещеряков и др., 2023, 2024; Митяев и др., 2005; Погодина, 2005; Шипилов, 2007; Shipilov, 2010).

Получены новые данные по геоморфологии береговых линий на архипелаге, и особенностям осадконакопления в заливах Грён-фьорд, Ис-фьорд, Хорнсунн, в проливе Стур-фьорд.

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, НЕФТЕГАЗ (МАГЭ). Акватория вокруг архипелага Шпицберген, благодаря своему геологическому строению, географическому положению и политическому статусу привлекает внимание многих геологов из разных стран. Геолого-геофизические работы проводились многими странами: Россией, Норвегией, США Францией, Германией, Польшей, Англией и др.

Первая в Мурманской области морская геологоразведочная организация была создана в 1972 году. Приказ об организации в Мурманске Комплексной морской арктической геолого-геофизической экспедиции (КМАГЭ) подписал министр геологии СССР, академик А. В. Сидоренко. Инициаторами ее создания были такие выдающиеся учёные, как член-корреспондент АН СССР, член Коллегии Мингео СССР, профессор В. В. Федынский, профессор Р. М. Деменицкая, директор института ВНИИОкеанология, профессор и впоследствии академик РАН И. С. Грамберг.

Морская арктическая геологоразведочная экспедиция (МАГЭ), представляя СССР, а затем Россию, с 1973 года проводила в этом регионе комплексные геофизические наблюдения, включающие сейсмические исследования методами МОВ ОГТ и КМПВ, гидромагнитные измерения, надводную гравиметрию, сейсмоакустическое профилирование. До 1991 года почти каждый полевой сезон проводились геофизические исследования на различных участках (Казанин и др., 2004–2007). В основном работы носили рекогносцировочный характер. Это были профильные комплексные геофизические наблюдения, включающие 24-кратную сейсморазведку МОВ ОГТ, гидромагнитные измерения, надводную гравиразведку, сейсмоакустическое профилирование, сейсморазведка МПВ, и донный пробоотбор на отдельных участках. Всего за этот период было отработано 109 профилей МОВ ОГТ общей длиной 16 462 км.

Результаты работ «МАГЭ» в период с 1973 по 1991 гг., а также исследований НИИ Геологии Арктики и Полярной геофизической экспедиции на островах, были обобщены в многочисленных публикациях, наиболее крупные из которых представляют монографии «Моря Советской Арктики» (ред. И. С. Грамберг, Ю. Е. Погребицкий, 1984), «Баренцевская шельфовая плита» (ред. И. С. Грамберг, 1988), а также диссертационные работы Д. Г. Батурина (1988), С. И. Шкарубо (1997), Е. А. Гусева (2001) и положены в основу первоначальной оценки перспектив нефтегазоносности архипелага и прилегающей шельфовой зоны («ВНИИОкеангеология» – Ю. Я. Лившиц, 1989; ОАО «МАГЭ» – А. К. Боголепов, 1999; Т. Я. Федухина, Т. А. Кириллова, 2002).

В результате интерпретации и обобщения геолого-геофизических материалов, полученных в рамках производственных и тематических работ, были разработаны принципиальные сейсмостратиграфические и тектоно-геодинамические модели строения Норвежско-Гренландского океанического бассейна и шельфа архипелага Шпицберген, освещенные в многочисленных публикациях (Боголепов и др., 1991; Батурин, 1992, 1993; Шкарубо, 1999; Гусев и др., 2003; Тебеньков и др., 2004; Казанин и др., 2005, 2006; Шипилов и др., 2005).

Первые сейсмические работы модификации МОВ ЦЛ были выполнены в 1976 г. в Ван-Майен- и Ис-фьорде. В 1978 году в восточной части Шпицбергенского шельфа в проливе Ольги были проведены первые опытно-методические работы по методике ОГТ. В ходе этих работ был выявлен крупный антиклинальный объект, который специалисты МАГЭ назвали валом Соколова (Иванова, 1981). С этого времени МАГЭ перешла на выполнение сейсмических работ только в модификации ОГТ. Основной объём работ МОВ ОГТ был выполнен в 1979–1988 гг., в результате которых проведено тектоническое районирование Восточно-Шпицбергенского шельфа, уточнено строение PZ-MZ осадочного чехла, в прогибе Ольги выявлен вал Химкова и диапировые структуры, дана предварительная оценка перспектив нефтегазоносности выявленных локальных структур (Иванова, 1981, 1989; Мурзин, 1982).

В 1982–1984 годах параллельно с работами МОГТ МАГЭ проводила работы КМПВ. По результатам этих работ была определена глубина залегания кристаллического фундамента в южной части шельфа и порядка 11–14 км в прогибе Ольги (Бурбо, 1982; Мурзин, 1982; Нечхаев, 1983; Дергунов, 1984).

В 1989–1991 годы МАГЭ продолжила региональные сейсмические работы МОГТ и НСАП в комплексе с гравимагнитными и геологическими исследованиями. Во время полевых работ 1991 г. была выполнена 101 геологическая станция на Южно-Шпицбергенском шельфе и прилегающей части Норвежско-Гренландского океанического бассейна. В результате комплексной интерпретации разносторонне охарактеризовано строение Южно-Шпицбергенского шельфа, западной окраины Баренцева моря и прилегающей части Норвежско-Гренландского глубоководного бассейна. Выделены три главные тектонические области, различающиеся типом земной коры: область древней платформы с палеозойскими комплексами на гетерогенном фундаменте, переходная область континент–океан (рифтогенная деструкция континентальной коры) и область океанической коры с кайнозойским осадочным бассейном. В платформенной области установлено продолжение на шельфе Шпицбергена ветви каледонид, которая маркируется прогибами, заполненными девонской молассой (Шкарубо, Иванова, 1993).

В 2002 году после десятилетнего перерыва ОАО МАГЭ возобновила комплексные геолого-геофизические исследования на шельфе архипелага Шпицберген. Морские исследования Западно-Шпицбергенского шельфа в районе прогиба Атка проводились НИС «Геофизик» и НИС «Профессор Куренцов». На первом этапе, в сентябре–октябре 2002 г. НИС «Геофизик» выполнил гравиметрические – 3 557,4 п. км и гидромагнитные работы – 3 253,186 п. км, непрерывное сейсмоакустическое профилирование НСАП – 1 115,1 п. км, донное опробование 69 ст.; на втором этапе, в июне 2003 г. – 2 профиля МПВ общей длиной 200 п. км. На третьем этапе, с октября по декабрь 2003 г. на НИС «Профессор Куренцов» было отработано 3400 пог. км профилей МОВ ОГТ по сети 10–25×5–10 км.

По существу, МАГЭ был получен первый фактический материал (аналоговый), позволивший определить строение шельфовых областей архипелага и выявить предпосылки нефтегазоносности региона. Интерпретация сейсморазведочных материалов МОВ ОГТ позволила выявить особенности разломной тектоники и уточнить строение осадочного кайнозойского чехла в зоне сочленения Западно-Баренцевской континентальной окраины и Норвежско-Гренландского бассейна. Сейсмогеологический разрез, построенный по линии а-а иллюстрирует строение тектонических элементов, составляющих структуру изучаемой части акватории. С востока на запад, вкрест простирания континентальной окраины и океанического бассейна, выделяются следующие структуры: грабен Форлансунн, зона предокеанических шельфовых ступеней, представленная террасами Кнелегга-Хорнсунн и Принца Карла, периокеанический Поморский мегапрогиб, структуру которого в районе исследований представляет прогиб Атка, элементы системы срединно-океанического хребта Книповича (Казанин и др., 2006).

В результате региональных комплексных геолого-геофизических исследований (около 12 тыс. п. км профилей) была составлена обобщенная модель геологического строения юго-западного сектора Шпицбергенского шельфа, проведена привязка отражающих сейсмических горизонтов к разрезу глубоководной скважины ODP 986, составлена схема районирования осадочного чехла, выявлены зоны и объекты потенциального нефтегазонакопления и составлена карта перспектив нефтегазоносности (Федухина, Кириллова-Покровская, 2005; Черников, 2007; Федухина, Шлыкова, 2008). В пределах Восточно-Шпицбергенского шельфа на основе изучения распределения в донных осадках углеводородных газов и битумов установлены локальные аномалии метана и его гомологов, а также повышенные содержания углеводородов в целом.

Таким образом, российские геолого-геофизические исследования в прибрежных водах архипелага проводились в 2 этапа: в период с 1973 по 1991 гг. по заказам Мингео СССР и в первых десятилетиях XXI века по заказу МПР России и затем, Роснедра. Из российских организаций, проводивших геолого-геофизические исследования в акватории арх. Шпицберген, значительную роль играла Морская арктическая геологоразведочная экспедиция «МАГЭ» (Г. С. Казанин, А. Г. Казанин, Д. Г. Батурин, Н. М. Иванова, Р. Р. Мурзин, Т. Я. Федухина, Э. В. Шипилов, В. А. Тюремнов, В. Н. Глазнев, С. И. Шкарубо, Т. А. Кирилллова-Покровская, С. Ф. Черников, В. В. Шлыкова, Л. Г. Осипенко, В. А. Голубев, В. С. Захаренко, Е. А. Крисанова и др.).

Как в прошлом, так и в настоящее время международные исследования в высоких широтах Евразии и Северной Америки являлись стратегическими и первостепенными мероприятиями. Традиционно работы проводились на побережье и шельфе, а также на архипелагах Баренцева, Норвежского и Карского морей. Кооперация ММБИ, МАГЭ, ПИНРО и других организаций, осуществлялась по научным программам с институтами и компаниями Норвегии, Финляндии, Германии, США, и с международными организациями.

Сегодня наши возможности общения с западными коллегами ограничены, но надо быть в курсе событий. В частности, в рамках «Арктических границ» запустили премию имени Херника (Генриха) Мона (Муна) (Mohn Prize) за выдающиеся заслуги в исследовании Арктики (рассматривается международным научным комитетом; указываются два рекомендующих эксперта-рецензента). Премия – это общие усилия академии наук и искусств Северной Норвегии, Арктического университета Норвегии (Университета Тромсё) и Научного фонда Тромсё.

В конце июля 2025 г. в Нууке (Гренландия) прошло мероприятие, посвящённое вопросам коренных народов (семинар по взаимосвязи научных знаний и традиционных знаний коренных народов). Организаторы: Университет Бергена и Ассоциация молодых полярных исследователей (APECS). В 2026 году, в период 2–5 февраля, запланировано проведение 20-й Конференции Arctic Frontiers («Арктические рубежи») (традиционно в Тромсё). На конференции запланировано 7 научных тем, охватывающих социальные и политические науки, науки о Земле и жизни, управление и этику.

Статьи ММБИ РАН в журналах

Берченко И. В., Дружкова Е. И. Сезонная изменчивость размерной структуры популяций *Calanus* sp. в водах Шпицбергена // Океанология. 2023. Т. 63. № 1. С. 52–61. DOI: 10.31857/S003015742301001X – EDN: AFRFOI = *Berchenko I. V., Druzhkova E. I.* Seasonal Variability of the Size Structure of *Calanus* sp. Populations in Spitsbergen Waters // Oceanology. 2023. Vol. 63. No. 1. P. 45–53. DOI: 10.1134/S0001437023010010

Берченко И. В., Олейник А. А. Структура зоопланктонного сообщества в водах Шпицбергена в зимний период // Биология моря. 2023. Т. 49. № 3. С. 175–185. DOI: 10.31857/S0134347523030038 – EDN: SAYGLE = *Berchenko I. V., Oleinik A. A.* The Structure of the Zooplankton Community in Spitsbergen Waters during the Winter Period // Russian Journal of Marine Biology. 2023. Vol. 49, No. 3. P. 172–181. DOI: 10.1134/S1063074023030033

Дворецкий В. Г., Венгер М. П., Макаревич П. Р., Моисеев Д. В. Летний бактерио- и зоопланктон прибрежных вод архипелага Шпицберген // Биология моря. 2012. Т. 38. № 1. С. 82–85.

Дикаева Д. Р., Фролова Е. А. Распределение сообществ полихет в районе Западного Шпицбергена в зимний период (декабрь 2015 г.) // Доклады академии наук. 2018. Т. 480. № 5.

С. 625–629. DOI: 10.7868/S0869565218050274 – URL: https://doi.org/10.7868/S0869565218050274 = *Dikaeva D. R., Frolova E. A.* Distribution of Polychaeta Communities in the West Spitsbergen Area in Winter (December 2015) // Doklady Biological Sciences. 2018. Vol. 480. Issue 1. P. 114–118. DOI: 10.1134/S0012496618030110

Дикаева Д. Р. Распределение сообществ полихет в районе Западного Шпицбергена // Известия РАН. Серия биологическая. 2023. № 5. С. 546–556. DOI: 10.31857/S102634702110067X – EDN: TNQVSN = *Dikaeva D. R.* Distribution of Polychaete Communities in West Spitsbergen // Biology Bulletin. 2023. Vol. 50. No. 5. P. 1003–1013. DOI: 10.1134/S1062359023600721

Захаренко В. С., Тарасов Г. А., Романченко А. Ю., Матишов Г. Г. Соотношение экзогенных и неотектонических процессов в позднем кайнозое на подводной окраине Западного Шпицбергена // Доклады академии наук. 2007. Т. 416. № 5. С. 657–661.

Зимина О. Л., Мещеряков Н. И. Количественная характеристика литоральной фауны залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) в зимне-весенний период 2016 г. // Доклады академии наук. 2017. Т. 474. № 2. С. 259–263. = *Zimina O. L., Meshcheryakov N. I.* Quantitative Characteristics of the Littoral Fauna of Grønfjorden Gulf (Spitsbergen) during Winter and Spring of 2016 // Doklady Biological Sciences. 2017. Vol. 474. P. 102–105. DOI:10.1134/S001249661703005X

Лебедева Н. В., Мелехина Е. Н., Гвяздович Д. Я. Новые данные о почвенных клещах в гнездах бургомистра *Larus hyperboreus* L. на архипелаге Шпицберген // Вестник Южного научного центра РАН. 2012. Т. 8. № 1. С. 70–75.

Лебедева Н. В., Зимина О. Л., Фатеев Н. Н., Никулина А. Л., Берченко И. В., Мещеряков Н. И. Ртуть в гидробионтах и среде обитания Грён-фьорда (Западный Шпицберген) ранней весной // Геохимия. 2018. № 4. С. 351–362. DOI: 10.7868/S0016752518040052 = *Lebedeva N. V., Zimina O. L., Fateev N. N., Nikulina A. L., Berchenko I. V., Meshcheryakov N. I.* Mercury in Hydrobionts and Their Habitat in Grønfjorden, West Spitsbergen, in Early Springtime // Geochemistry International. 2018. Vol. 56. No. 4. P. 332–343. DOI: 10.1134/S0016702918040031

Лебедева Н. В., Фатеев Н. Н., Никулина А. Л., Зимина О. Л., Гарбуль Е. А. Ртуть в компонентах экосистемы заливов Западного Шпицбергена в летний период 2017 года // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 3. С. 311–325. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-3-311-325

Лебедева Н. В., Коблик Е. А. Случай меланизма у чайки *Larus* sp. на Шпицбергене // Орнитология. 2019. Т. 43. С. 116–119.

Лебедева Н. В., Усягина И. С., Валуйская Д. А. Радионуклиды в почвах типичной арктической тундры и под колонией птиц в районе российского поселка Баренцбург (арх. Шпицберген) // Атомная энергия. 2021. Т. 131. № 4. С. 219–223. = *Lebedeva N. V., Usyagina I. S., Valuyskaya D. A.* Radionuclides in the soil of typical arctic tundra and beneath a bird colony near the Russian village of Barentsburg (Svalbard Archipelago) // Atomic Energy. 2022. Vol. 131. No. 4 (February). P. 219–224. DOI: 10.1007/s10512-022-00870-8

Любина О. С., Фролова Е. А. Исследования сообществ донных беспозвоночных в заливе Грён-фьорд архипелага Шпицберген // Доклады академии наук. 2006. Т. 411. № 1. С. 131–133.

Любина О. С., Зимина О. Л., Фролова Е. А., Любин П. А., Фролов А. А., Дикаева Д. Р., Ахметчина О. Ю., Гарбуль Е. А. Особенности распределения бентосных сообществ во фьордах Западного Шпицбергена // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1(87). С. 28–40.

Макаревич П. Р., Моисеев Д. В., Венгер М. П., Максимовская Т. М., Румянцева З. Ю. Океанологические исследования на высокоширотных разрезах у архипелага Шпицберген в период полярной ночи // Океанология. 2024. Т. 64. № 5. С. 846–848. DOI: 10.31857/S0030157424050112 – EDN: OFIQQX = *Makarevich P. R., Moiseev D. V., Venger M. P., Maksimovskaya T. M., Rumyantseva Z. Y.* Oceanological Research on High Latitude Transects Near the Spitsbergen Archipelago during the Period of Polar Night // Oceanology. 2024. Vol. 64. No. 5. P. 743–745. DOI: 10.1134/S0001437024700437 – EDN: TFZOEI

Матишов Г. Г., Ильин Г. В., Усягина И. С., Валуйская Д. А., Дерябин А. А. Результаты морских радиоэкологических исследований фьордов Западного Шпицбергена // Доклады академии наук. 2018. Т. 480. № 3. С. 353–358. DOI: 10.7868/S0869565218150203 = *Matishov G. G., Ilyin G. V., Usyagina I. S., Valuyskaya D. A., Deryabin A. A.* Results of Marine Radioecological Study of Fjords of Western Spitsbergen // Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 480. Part 1. P. 679–684. DOI: 10.1134/S1028334X18050252

Мещеряков Н. И., Усягина И. С., Ильин Г. В. Хронология современного осадконакопления в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) // Геохимия. 2023. Т. 68. № 5. С. 521–532. DOI: 10.31857/S001675252304009X – EDN: JTOPRN = *Meshcheryakov N. I., Usyagina I. S., Ilyin G. V.* The Chronology of Modern Sedimentation in the Storefjorden Strait (Svalbard Archipelago) // Geochemistry International. 2023. Vol. 61. No. 5. P. 529–538. DOI: 10.1134/S0016702923040092

Мещеряков Н. И., Усягина И. С., Намятов А. А., Токарев И. В. Стратиграфическая хронология и Механизмы формирования донных отложений на устьевом взморье реки Грёндален (залив Грён-фьорд, Западный Шпицберген) в период климатических изменений // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2024. Т. 32. № 5. С. 104–120. DOI: 10.31857/S0869592X24050051 – EDN: AKWEPE = *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. Vol. 32. No. 5. C. 631– 645. DOI: 10.1134/S0869593824700151

Митяев М. В., Погодина И. А., Герасимова М. В. Фациальная изменчивость современных отложений залива Хорнсунн, Западный Шпицберген // Литология и полезные ископаемые. 2005. Т. 40. № 5. С. 465–471.

Погодина И. А. Бентосные фораминиферы фьорда Хорнсунн (Западный Шпицберген) // Океанология. 2005. Т. 45. № 4. С. 559–566.

Шипилов Э. В., Разницин Ю. Н., Шкарубо С. И., Голубев В. А. Новая геодинамическая модель эволюции северного сегмента Норвежско-Гренландского бассейна // Доклады академии наук. 2007. Т. 416. № 6. С. 1–6.

Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G. Arctic marine mesozooplankton at the beginning of the polar night: a case study for southern and south-western Svalbard waters // Polar Biology. 2020. Vol. 43. P. 71–79. DOI: 10.1007/s00300-019-02605-1

Evseeva O. Y., Dvoretsky A. G. Shallow-Water Bryozoan Communities in a Glacier Fjord of West Svalbard, Norway: Species Composition and Effects of Environmental Factors // Biology. 2023. Vol. 12. Issue 2. Article 185. P. 1–19. DOI: 10.3390/biology12020185

Lebedeva N. V., Taskaeva A. A. Collembola (Arthropoda: Hexapoda) from the Arctic Skua (Stercorarius parasiticus L.) habitat on the Nordaustlandet (Svalbard) // Russian Entomol. Journal. 2012. Vol. 21(4). P. 351–355.

Leppänen A.-P., Kasatkina N., Vaaramaa K., Matishov G. G., Solatie D. Selected anthropogenic and natural radioisotopes in the Barents Sea and off the western coast of Svalbard // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 126. P. 196–208.

Namyatov A., Makarevich P., Tokarev I., Pastuhov I. Hydrochemical basis of marine waters biological productivity surrounding Svalbard archipelago // Biological communication. 2023. Vol. 68. No. 1. P. 30–48. DOI: 10.21638/spbu03.2023.104 – EDN: YRVLWY – URL: https://doi.org/10.21638/spbu03.2023.104

Noskovich A. E., Dvoretsky A. G. Spatial distribution and growth patterns of a common bivalve mollusk (Macoma calcarea) in Svalbard fjords in relation to environmental factors // Animals. 2024. Vol. 14. Issue 23. Article 3352. P. 1–16. DOI: 10.3390/ani14233352 – EDN: DLGXSY – URL: https://doi.org/10.3390/ani14233352

Shipilov E. V., Vernikovsky V. A. The Svalbard–Kara plates junction: structure and geodynamic history // Russian Geology and Geophysics. 2010. Vol. 51. P. 58–71.

Избранные публикации МАГЭ

Баренцевская шельфовая плита / Под ред. акад. И. С. Грамберга. Л.: Недра, 1988. 263 с.

Батурин Д. Г. Сейсмостратиграфия осадочных бассейнов Западно-Шпицбергенской континентальной окраины // Сов. геология. 1992. № 10. С. 67–74.

Батурин Д. Г. Структура осадочного чехла и развитие Шпицбергенской континентальной окраины // Осадочный чехол Западно-Арктической метаплатформы. Мурманск, 1993. С. 55–47.

Боголепов А. К., Журавлев В. А., Шипилов Э. В., Юнов А. Ю. Глубинное строение западного сектора Евразиатско-Арктической зоны перехода от континента к океану // Глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1991. С. 31–41.

Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых: в 10 т. – Т. 9: Моря Советской Арктики / М. Л. Верба, Ю. Н. Кулаков, В. А. Виноградов и др.; Под ред. И. С. Грамберга, Ю. Е. Погребицкого. Л.: Недра, 1984. 280 с.

Гусев Е. А., Рекант П. В., Мусатов Е. Е., Шкарубо С. И. Сейсмостратиграфическая основа расчленения четвертичного чехла Шпицбергенского шельфа // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 85–91.

Казанин Г. С., Федухина Т. Я., Кириллова-Покровская Т. А., Федухин Н. В. Геолого-геофизические исследования Морской арктической геологоразведочной экспедиции на шельфе и континентальной окраине архипелага Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 48–54.

Казанин Г. С., Тарасов Г. А., Федухина Т. Я., Черников С. Ф., Кириллова-Покровская Т. А. Новые данные геолого-геофизических исследований в прогибе Атка (Западно-Шпицбергенский шельф) // Доклады Академии наук. 2005. Т. 405. № 5. С. 646–651.

Казанин Г. С., Кириллова-Покровская Т. А., Тарасов Г. А., Федухина Т. Я., Шлыкова В. В. Перспективы нефтегазоносности Шпицбергенского шельфа в районе прогиба Атка в свете результатов сейсморазведочных работ // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 65–75.

Казанин Г. С., Кириллова-Покровская Т. А., Дьяченко А. Б., Пенедюк Е. В., Романченко А. Ю., Федухина Т. Я., Шкарубо С. И., Шлыкова В. В. Строение локального поднятия Тампенфлакет в прогибе Атка (Западно-Шпицбергенский шельф) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 59–74.

Тебеньков А. М., Джи Д. Г., Утта Й., Йохансен У., Ларионов А. Н. История тектонического развития фундамента Шпицбергена (по геохронологическим данным) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 90–100.

Шипилов Э. В., Тюремнов В. А., Глазнев В. Н., Шкарубо С. И., Осипенко Л. Г., Голубев В. А., Захаренко В. С., Крисанова Е. А. О тектоническом преобразовании северо-западного сегмента Баренцевоморской континентальной окраины в эпоху становления Норвежско-Гренландского и Евразийского океанических бассейнов // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 266–279.

Шкарубо С. И. Геодинамические аспекты эволюции северной части Норвежско-Гренландского бассейна // 25 лет на Арктическом шельфе России: Сб. науч. тр. МПР РФ, МАГЭ, ВНИИОкеангеология. СПб., 1999. С. 71–79.

Сборники материалов конференций ММБИ по Шпицбергену

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XV Всерос. науч. конф. (г. Мурманск, 28–30 октября 2020 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2020. 113 с. DOI: 10.37614/978.5.91137.435.8

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. 133 с. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.). Вып. 13. / Под общ. ред. Г. Г. Матишова и Г. А. Тарасова. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. 424 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 6–8 ноября 2014 г.). Вып. 12. М.: ГЕОС, 2014. 378 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.). Вып. 11. М.: ГЕОС, 2012. 284 с.

Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 27–30 октября 2010 г.). Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. 520 с.

Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Матер. VIII Всерос. школы по морской биологи и IX Междунар. науч. конф. «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген» (Мурманск, 12–14 ноября 2009 г.). М.: ГЕОС, 2009. 418 с.

Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 9–11 ноября 2008 г.). Вып. 8. М: ГЕОС, 2008. 432 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. 369 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. 437 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. 590 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. 321 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 260 с.

Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 2. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 220 с.

Список фондовых источников МАГЭ

Батурин Д. Г. и др. Региональные геофизические исследования на Шпицбергенском шельфе в 1985–1986 годах. Мурманск: МАГЭ, 1987. 147 с.

Иванова Н. М. и др. Региональные геолого-геофизические работы на Шпицбергенском шельфе в 1987–1988 гг. Мурманск: МАГЭ, 1989. 141 с.

Лившиц Ю. Я. и др. Строение осадочного чехла и оценка перспектив нефтегазоносности архипелага Шпицберген и Шпицбергенского шельфа. Л.: ВНИИОкеанология, 1989. 254 с.

Федухина Т. Я., Кириллова-Покровская Т. А. и др. Глубинная структура и прогноз перспектив нефтегазоносности шельфа архипелага Шпицберген. Мурманск: ОАО «МАГЭ», 2002. 52 с.

Федухина Т. Я., Кириллова-Покровская Т. А., Черников С. Ф. и др. Проведение региональных работ по уточнению геологического строения и выявлению перспективных зон нефтегазонакопления на Западно-Шпицбергенском шельфе. Мурманск: ОАО «МАГЭ», 2005. 244 с.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ И КРИОКОНИТОВ ЛЕДНИКОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Е. В. Абакумов[1], В. И. Поляков[1], Т. И. Низамутдинов[1], Д. Ю. Власов[2], Б. Р. Мавлюдов[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт географии РАН, г. Москва, Россия
E_abakumov@mail.ru

Почвы Западного Шпицбергена являются одними из самых теплых, с наиболее глубоким профилем и деятельным слоем среди почв данного широтного пояса криолитозоны Северного полушария. В связи с этим, они играют существенную роль в формировании, депонировании и стабилизации органического вещества, которое сильно дифференцированно по составу внутри относительно глубоких профилей. Кроме полноразвитых профилей почв, в приледниковой зоне формируются первичные маломощные почвы, существенное воздействие на состав мелкозема которых оказывает материал криоконитов – органо-минеральных и минеральных образований на поверхности ледника. Изучено органическое вещество различных органо-минеральных структур: полноразвитых и первичных почв и криоконитов. Основное внимание уделено использованию высокоточных инструментальных методов, в частности, ядерного магнитного резонанса (13C-NMR, 1H-NMR).

Полнопрофильные почвы представлены следующими типами: криоземы, криоглееземы, криометаморфические, буроземы, аллювиальные, торфяные. Данные почвы демонстрируют мощный, развитый профиль, с глубиной активного слоя от 30 до 170 см. Содержание углерода органических соединений колеблется от первых процентов до десятков процентов. Чаще всего, эти почвы приурочены к аккумулятивным позициям рельефа, хотя, некоторые буроземы можно найти на горных склонах. В случае криоземов в срединных CR горизонтах содержание органических веществ может быть повышенным за счет криогенного массобмена, что необходимо учитывать при профильной оценке запасов почвенного органического вещества. Спектры ядерного магнитного резонанса гуминовых кислот полноразвитых почв наиболее разнообразны по типам молекулярных фрагментов. В спектрах явно прослеживается ароматическая часть при преобладании алифатической.

Первичные почвы приледниковой зоны (литоземы, органо-аккумулятивные серогумусовые) и на выходах скальных пород (петроземы, литоземы) содержат углерод органических соединений в долях процента или около 1 %, реже, в случае развитых органогенных горизонтов, содержание и запасы органического вещества немного выше. В ЯМР спектрах гуминовых кислот наблюдается большее преобладание алифатических групп по сравнению с ароматическими, если сравнивать указанные почвы с полнопрофильными.

Материал криоконитов в трещинах и стаканах на поверхности ледников Гренфьорд и Альдегонда содержит очень небольшое количество углерода органических соединений, за исключением тех криоконитовых материалов, которые находятся под влиянием орнитогенного фактора. Гуминовые или гуминоподобные вещества выделяются не из всех криоконитов, или вообще не выделяются. Спектры ЯМР достаточно однородны при крайне низкой выраженности ароматических компонентов.

Таким образом, с помощью молекулярных методов охарактеризованы уровни молекулярно-структурной организации органического вещества почв и почвоподобных образований Западного Шпицбергена. Установлено, что система органического вещества усложняется вместе со степенью развития мелкоземистого профиля почв от почвоподобных образований к полноразвитым почвенным профилям.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 24-44-00006.

ГЕОХИМИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ФОНОВЫХ ОЗЁР МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ ПОЛУОСТРОВОВ РЫБАЧИЙ И СРЕДНИЙ

П. Н. Адамская[1,2], З. И. Слуковский[1]

[1]Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
polina.adamskaya@bk.ru
[2]Апатитский филиал Мурманского арктического университета, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
@polina.adamskaya@bk.ru

Исследование колонок донных отложений водоемов представляет собой эффективный инструмент реконструкции климатических и ландшафтно-географических изменений озерных экосистем и прилегающих территорий, а также в оценке их экологического состояния в условиях промышленного освоения Мурманской области (Даувальтер, 2012). Одним из основных подходов к анализу состояния водоемов является геохимический метод, позволяющий выявить особенности миграции и накопления химических элементов в донных отложениях. Цель работы заключается в определении содержания главных элементов в современных осадках озер Скорбеевское, Крайнее, Лохи, Питьевое, Карху и Поропеллон, расположенных на полуостровах Рыбачий и Средний, а также в установлении взаимосвязи их распределения с ведущими факторами седиментации для фоновых территорий – геологическим строением и климатическими особенностями.

Отбор проб донных отложений проводился в летний период 2020 и 2024 гг. с использованием пробоотборника системы Стогхейма и дночерпателя Экмана-Берджа. Мощность полученных проб составила от 25 до 35 см. Лабораторные исследования проводились на базе Института геологии Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск). Главные элементы (оксиды Si, Ti, Al, P, Mn, Mg, Fe, K, Na, Ca) определялись с применением рентген-флуоресцентного спектрометра марки ARL ADVANT'X (Thermo Fisher Scientific). Определение ППП проводилось весовым методом после нагревания исследуемых образцов в муфельной печи до температуры 500 °C. Более подробная методика подготовки проб и описание методов лабораторных исследований представлены в работе Т. С. Шелеховой и др. (2020). Применение и интерпретация геохимических индексов (CIA, титановый модуль, железный модуль, гидролизатный модуль, калиевый модуль) подробно описаны в работах Е. В. Склярова (2001), Я. Э. Юдовича и М. П. Кэтрис (2011).

Эрозия пород водосборных территорий способствует переносу силикатных минералов в водоемы и их последующему накоплению в донных осадках. В результате элементы Si и Al становятся доминирующими компонентами осадков (Даувальтер, 2012). Основу химического состава донных отложений исследуемых озёр составляют оксиды кремния – содержание SiO_2 колеблется от 49.4 до 59.5 % на п-ове Рыбачий и от 55.2 до 60.3 % на п-ове Средний. Осадки оз. Лохи характеризуются повышенными концентрациями Al_2O_3 (до 14.2 %) и P_2O_5 (до 0.6 %), что, вероятно, связано с выщелачиванием фосфатоносных пород (Негруца и др., 1993). Низкие значения ППП (7.2 %) при содержании SiO_2, близком к кларку земной коры (Wedepohl, 1995), указывают на преобладание минеральной составляющей (Субетто, 2009). В отличие от этого, донные отложения других изученных водоемов относятся к органо-силикатному типу (Шелехова и др., 2020), с долей ППП 24.2–35.2 % и содержанием SiO_2 41.4–59.7 %, что говорит о значительном вкладе органического вещества.

Рост концентраций Al_2O_3, K_2O и Na_2O с глубиной в осадках ряда озёр (Скорбеевское, Крайнее, Карху, Питьевое) коррелирует с увеличением глинистой фракции (0.05–0.001 мм), что указывает на постседиментационную сортировку материала (Loring, 1991). В оз. Поропеллон наблюдается противоположная тенденция, вероятно обусловленная различиями в гидродинамике и особенностях седиментогенеза.

Для уточнения генезиса проведены расчёты геохимических индексов донных отложений озёр полуостровов Рыбачий и Средний, а также пород водосборных комплексов (Сорохтин и др., 2022). По модулю железистости (Юдович, Кэтрис, 2001) большинство осадков относятся к нормально-железистым (ЖМ = 0.20–0.60), за исключением оз. Лохи (ЖМ = 0.75), где, вероятно, присутствуют локальные железистые пелиты. Минеральный состав осадков озер Рыбачьего полуострова близок к глинистым сланцам скорбеевской свиты, а в оз. Лохи – к их сульфидизированным разностям. По данным индекса калиевого модуля (КМ = 0.13–0.21) основное влияние на состав осадков оказывают гидрослюды и хлориты с участием плагиоклаза (Скляров и др., 2001). На п-ове Средний осадки озер Поропеллон и Карху коррелируют с гидрослюдистыми пелитами поропеллонской свиты, а донные отложения оз. Питьевое – с хлорит-серицитовыми сланцами куяканской свиты (Негруца и др., 1993).

Значения индекса выветривания (CIA > 70) отражают формирование осадков в условиях холодного гумидного климата с тенденцией к потеплению, выраженной уменьшением значений индекса к верхней части колонки. Средние значения гидролизатного модуля зрелости (ГМ ≤ 0.43) свидетельствуют о преимущественно локальном накоплении материала при активном химическом выветривании (Скляров и др., 2001).

Работа производилась при поддержке и в рамках реализации проекта РНФ24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

Список литературы

Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: МГТУ, 2012.

Негруца В. З., Басалаев А. А., Чикирев И. В. Баренцевоморский фосфоритовый бассейн. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1993.

Скляров Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В. и др. Интерпретация геохимических данных. Учеб. пособие. М.: Интермет Инжиниринг, 2011.
Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е., Глазнев В. Н. и др. Архей и неопротерозой полуостровов Рыбачий и Средний (Балтийский щит): геология, геодинамика, нефтегазоносность и алмазоносность. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2022.
Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009.
Шелехова Т. С., Слуковский З. И., Лаврова Н. Б. Методы исследования донных отложений озер Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2020.
Юдвоч Я. Э., Кэтрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011.
Loring D. H. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments // Journal du Conseil. 1991. № 48. P. 101–115.
Wedepohl K. H. The Composition of the Continental Crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. № 59. P. 1217–1232.

ОЦЕНКА ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ ВОДА–АТМОСФЕРА И СОСТОЯНИЕ МОРСКОЙ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ ВО ФЬОРДАХ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Н. К. Алексеева, А. Л. Никулина, Я. В. Швед, Т. Н. Еремейко, Е. В. Блошкина, И. В. Рыжов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
nkalekseva@aari.ru

В глобальном цикле углерода роль углекислого газа (CO_2) вызывает интерес со стороны его влияния на равновесие морской карбонатной системы. Повышение содержания CO_2 в атмосфере снижает pH океана и вызывает масштабные сдвиги в химическом составе карбонатов морской воды, которые могут привести к дальнейшей перестройке морской экосистемы и привести к закислению океана. Поток углекислого газа на границе океан–атмосфера обусловлен разницей парциального давления углекислого газа в приводном слое атмосферы и поверхностном слое воды, а скорость его напрямую зависит от скорости ветра (Artioli Y., 2012).

Исследования потоков CO_2 в системе вода-атмосфера и карбонатной системы в заливах Западного Шпицбергена были проведены с целью оценки состояния морской экосистемы в современных условиях изменения Арктики. Фьорды Западного Шпицбергена расположены в зоне активного взаимодействия притока теплых и соленых атлантических вод и поступления арктической воды из Баренцева моря. Район исследования включает Исфьорд – один из крупнейших фьордов в Арктике и второй по длине на архипелаге Шпицберген, и Грёнфьорд – относительно небольшой фьорд, расположенный на южной стороне Исфьорда, недалеко от его устья (Блошкина Е. В., 2018). В ходе экспедиционных исследований заливах были выполнены океанологические и гидрохимические работы: отбор проб морской воды на стандартных горизонтах и анализ образцов в химико-аналитической лаборатории Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ).

Изучены физико-химические параметры воды, такие как общая щелочность, pH и парциальное давление CO_2(pCO_2) в воде и атмосфере. Для определения pH использовалась шкала NBS и измерения выполнялись на лабораторном pH-метре Mettler Toledo. Калибровку прибора проводили по трём буферным точкам 4,01; 7,00 и 9,21 с использованием стандартных буферных растворов. Для определения общей щелочности выполнялось потенциометрическим титрованием пробы раствором соляной кислоты 0,02 н. с одновременным пропусканием через титруемую пробу потока свободного от CO_2 воздуха до точки эквивалентности 5,4–5,5. Компоненты карбонатной системы (равновесное парциальное давление углекислого газа pCO_2, гидрокарбонатный ион HCO_3^-, карбонатный ион CO_3^{2-}), а также степень насыщенности воды арагонитом Ω_{Ar} и кальцитом Ω_{Ca} были рассчитаны в программе «Program Developed for CO2 System calculations» (Robbins L. L., 2010). Направление потока углекислого газа в системе «вода–атмосфера» было рассчитано с использованием кубической параметризации Ваннинкова (Wanninkhof R., 2014), в которой для расчета использовались данные о парциальном давлении углекислого газа (pCO_2) в воде, скорости ветра и парциальном давлении CO_2 в атмосфере.

Общая щелочность в заливах изменяется в пределах 1500–1970 мкмоль/дм^3. Например, в заливе Исфьорд средние значения общей щелочности составляют 1798 мкмоль/дм^3, в заливе Грёнфьорд – 1831 мкмоль/дм^3. Такое изменение величины щелочности можно объяснить поступлением терригенного стока речных долин и ледникового стока, что способствует активному динамическому смешению морских и пресных вод в поверхностном слое заливов. Средние значения pH составляли 8,1 для обоих заливов. Парциальное давление углекислого газа в воде варьировалось от 200 до 539 мкатм. В заливе Грёнфьорд концентрации продуктов диссоциации угольной кислоты в виде гидрокарбонатов (HCO_3^-) и карбонатов CO_3^- в среднем составляли 1533 мкмоль/дм^3 (HCO_3^-) и 106 мкмоль/дм^3 (CO_3^-). В заливе Исфьорд средние значения составляют 1534 мкмоль/дм^3 (HCO_3^-) и 101 мкмоль/дм^3 (CO_3^-). Поверхностный слой морской воды был достаточно насыщения арагонитом (при Ω_{Ar}>1), такая среда благоприятно способствует образованию карбоната кальция ($CaCO_3$), раковин и скелетов. Степень насыщения морских вод арагонитом (Ω_{Ar}) составляла 1,5. По данным за август 2023 г. поток CO_2 в системе вода–атмосфера в заливах Западного Шпицбергена (Исфьорд и Грёнфьорд) оказались ниже по сравнению с оценками, полученными для Темплфьорда (−11…−17 ммоль·м$^{-2}$сут$^{-1}$) для июня–начала августа 2017 г. (Ericson Y., 2019), но близкими к оценкам, полученным нами в исследуемых заливах в сентябре 2022 г. (−0,2…−1,9 ммоль·м$^{-2}$сут$^{-1}$) (Alekseeva N., 2023). В летние сезоны 2023 и 2024 г. не наблюдалось значительной разницы в распределении величин параметров карбонатной системы как в заливе Исфьорд, так и в заливе Грёнфьорд, а полученные данные в целом имеют сходимость с данными, полученными в летне-осенний сезон 2022 г. Предварительно можно заключить, что морская система заливов Исфьорд и Грёнфьорд характеризуется достаточной буферной емкостью в отношении закисления океана, определяемой по фактору Ревеля (Egleston E. S., 2010), который в исследуемых заливах составляет 12, что укладывается в диапазон 8–20 принятых нормальных значений для морской воды.

Список литературы

Блошкина Е. В., Фильчук К. В. Современное состояние вод фьордов Западного Шпицберегена // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. № 64(2). С. 125–140.

Artioli Y., Blackford J. C., Butenschön M., Holt J. T., Wakelin S. L., Thomas H., Borges A. V., Allen I. The carbonate system in the North Sea: sensitivity and model validation // Journal of Marine Systems. 2012. Vol. 102–104. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2012.04.006

Alekseeva N., Nikulina A., Ryzhov I., Novikhin A., Kornilova R., Smirnov N., Fedorova A. Marine Carbonate System Parameters of the West Spitsbergen Fjords in Late Summer 2022 // Complex Investigation of the World Ocean (CIWO-2023) / Ed. T. Chaplina. Cham: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2023. P. 233–238. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-47851-2_27

Egleston E. S., Sabine C. L., Morel F. M. M. Revelle revisited: Buffer factors that quantify the response of ocean chemistry to changes in DIC and alkalinity // Global Biogeochem. Cycles. 2010. 24. GB1002. DOI: 10.1029/2008GB003407

Ericson Y. et al. Marine CO_2 system variability in a high arctic tidewater-glacier fjord system, Tempelfjorden, Svalbard // Cont. Shelf Res. 2019. Vol. 181. P. 1–13. URL: https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.04.013

Robbins L. L., Hansen M. E., Kleypas J. A., Meylan S. C. CO_2calc–A user-friendly seawater carbon calculator for Windows, Max OS X, and iOS (iPhone). U.S.: Geological Survey Open-File Report. 2010. 17 p.

Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited // Limnology and Oceanography: Methods. 2014. Vol. 12. No. 6. C. 351-362.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ВОЗМУЩЕННОСТЬ GPS СИГНАЛОВ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ЩПИЦБЕРГЕН

В. Б. Белаховский[1], О. И. Ягодкина[1], Я. Джин[2], В. Милош[2]

[1]Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
[2]Университет Осло, г. Осло, Норвегия
belakhov@mail.ru

Проведена оценка влияния различных типов высокоширотных ионосферных возмущений на рост сцинтилляций сигналов GPS спутников с использованием данных в обсерватории ПГИ "Баренцбург" и станции Ny-Ålesund (архипелаг Шпицберген). Для определения типов ионосферных возмущений использованы оптические наблюдения полярных сияний, данные радара некогерентного рассеяния EISCAT 42 m, данные спутников DMSP по заряженным частицам. На основе анализа данных за 2010–2021 гг. показано, что наиболее сильный рост фазового индекса сцинтилляций происходит в период суббурь, в период появления дискретных дуг полярных сияний. PCPs (polar cap patches – "патчи" полярной шапки), связанные с возмущениями ионосферы выше 200 км, приводят к менее значительным GPS сцинтилляциям. Сравнение уровня GPS сцинтилляций с индексами геомагнитной активности (IE, AE, PC, SYM-H) показывает сильно нелинейную связь. Это говорит о том, что уровень GPS сцинтилляций определяется локальными процессами в ионосфере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (№ 25-17-20038, https://rscf.ru/project/25-17-20038) и гранта Министерства образования и науки Мурманской области.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ ПАРУСНЫХ СУДОВ ДЛЯ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШПИЦБЕРГЕНА

Н. И. Беляев[1], А. С. Недошивин[1], М. Б. Сергеев[2], К. Г. Смирнов[3]

[1]Научно-исследовательский центр морских экспедиций, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–г. Ломоносов, Россия
[3]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
info@marinexpedition.ru

Малые парусные суда (МПС) – это суда размером от 15 до 30 метров, водоизмещением 15–100 тонн, основным движителем которых является парусное вооружение, а механический двигатель мощностью 30–300 кВт играет лишь вспомогательную роль и используется при маневрировании в узкостях, швартовке и при движении в безветренную погоду.

Оценивая перспективы использования малых парусных судов для производства научно-исследовательских работ, корректно сравнивать их, прежде всего, с малыми НИС по классификации Руководства по гидрологическим работам в океанах и морях (Руководство, 2016).

Главными преимуществами малых парусных судов по сравнению с малыми судами с механическим двигателем (Недошивин А. С., 2025) являются их практически неограниченная мореходность и высокая экономичность. Данные преимущества дают малым парусным судам возможность плавать и выполнять научно-исследовательские работы практически в любом районе Мирового океана. И несмотря на то, что малые парусные суда плавают по всему Мировому океану как большие НИС, их уровень эксплуатационных расходов соответствует уровню расходов обычного судна аналогичного размера. А расходы на строительство малых парусных судов и финансирование экспедиционных плаваний на них в десятки раз меньше расходов на большие НИС.

Также достоинствами малых парусных судов являются:

1. Большая автономность и дальность плавания: большую часть пути малые парусные суда двигаются под парусами, а значит двигатель используется мало и расход ГСМ незначительный. Автономность малых парусных судов определяется, в основном, запасом еды и воды, а также, усталостью экипажа и составляет 30–40 суток.

2. Высокая маневренность и управляемость: позволяет маневрировать в непосредственной близости от навигационных опасностей и от крупных плавучих объектов – судов, айсбергов и пр.

3. Возможность плавания по мелководью: малые парусные суда обладают глубоким балластным килем и садятся на мель именно им. В подавляющем большинстве случаев посадка на мель не приводит к повреждению обшивки и силового набора корпуса, а сняться с мели малые парусные суда могут самостоятельно.

4. Высокая доля научного состава в экипаже: вместимость малого парусного судна 10–20 человек. Из них 3 человека – командный состав из опытных моряков высокой квалификации. Остальные члены экипажа – ученые, прошедшие начальную подготовку по управлению парусным судном.

5. Малая шумность: отсутствуют шумы от работающего двигателя и вращающегося гребного винта. Низкий уровень подводных шумов, необходим для эффективной работы гидроакустических средств наблюдения, беззвучных наблюдений за китами и минимально воздействует на морскую биоту.

6. Практически отсутствует сброс сточных вод и выброс выхлопных газов.

7. Слабое возмущение поверхностного слоя: искажения, связанные с нарушением тонкой структуры поверхностного слоя корпусом судна и кильватерной струей, на малом парусном судне намного меньше, чем на судах с механическим двигателем.

8. Низкий (1,5–2 м) борт, позволяющий во многих случаях отбирать пробы и оперировать приборами без необходимости использования подъемных механизмов.

9. Упрощенные административные и навигационные процедуры. На суда с некоммерческим статусом (маломерное судно для некоммерческого использования, прогулочное судно – pleasure craft, non-commercial vessel) не распространяется действие многих международных морских конвенций. Почти никогда не требуется лоцманская проводка. Минимальный набор судовых документов: судовой билет, судовая роль, разрешение на судовую радиостанцию.

Уже накоплен достаточно большой опыт использования малых парусных судов в качестве научно-исследовательских, в том числе в приполярных районах (Гаврило М. В., 2018).

Основными ограничивающими факторами для оснащения большинства малых парусных судов научным и технологическим оборудованием являются их небольшие вместимость и энергообеспеченность.

Вместе с тем, в настоящее время существует много приборов габаритом, весом и энергопотреблением вполне подходящими для использования на малом парусном судне. Также нами проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию комплекса научного и технологического оборудования, и разработке соответствующих методов, предназначенных для глубоководных (до 6000 м) океанографических исследований с борта малых (в том числе парусных) судов на основе автономного всплывающего буя.

Одним из перспективных районов применения МПС являются прибрежные воды архипелага Шпицберген, включая весь Западный Шпицберген, Землю Принца Карла, остров Баренца, остров Эдж, Землю Короля Карла и Северо-Восточную Землю.

Малые парусные суда можно задействовать не только для широкого круга океанографических работ (в том числе для проведения CTD-зондирований, постановки небольших автономных донных станций, отбора проб воды), но и в других научных целях, таких как отбор проб верхних донных слоев, исследования морской и прибрежной флоры и фауны, мониторинга уровня загрязнений. Апробацию возможности выполнения таких работ даже на совсем небольших МПС была выполнена нами в акватории пролива Бьёркезунд Финского залива. Кроме того, МПС могут эффективно использоваться для точечной заброски и эвакуации полевых отрядов геологов, орнитологов, биологов, гляциологов и археологов в удаленные районы архипелага Шпицберген, регулярного снабжения полевых лагерей продовольствием, топливом и осуществления ротации персонала.

Список литературы

Гаврило М. В., Анисимов М. А., Крашенинников А. Б., Мосеев Д. С., Романенко Ф. А., Чичаев А. Н. Арктические экспедиции на малом парусно-моторном судне: к вопросу о диверсификации исследовательских платформ в условиях современного потепления климата // Полярные чтения на ледоколе «Красин». 2018. С. 380–409.

Недошивин А. С., Смирнов К. Г. Использование малых парусных судов для океанографических исследований // Состояние и задачи мониторинга природных условий Обь-Енисейского устьевого региона на фоне изменяющегося климата и интенсивной хозяйственной деятельности: Сб. ст. / Под ред. Ю. П. Гудошникова, М. В. Третьякова. Электрон. изд. сетевого распространения. СПб.: ААНИИ, 2025. 141 с. URL: https://data.aari.ru/publicat/publishing_el.php

Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ГОИН им. Н. Н. Зубова, 2016.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОДОВИТОСТИ *CALANUS FINMARCHICUS* (GUNNERUS, 1770) В ВОДАХ ШПИЦБЕРГЕНА (ЗАЛИВ ГРЁН-ФЬОРД) В МАЕ 2025 г.

И. В. Берченко

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
berchenko.igor@gmail.com

Плодовитость является важным параметром для понимания и оценки уровня вторичной продукции и популяционной динамики как отдельных представителей зоопланктона (Hirche et al., 1997), так и функционирования планктонных сообществ в целом. Особый интерес в этом отношении представляет плодовитость массовых видов зоопланктона, играющих ключевую роль в функционировании планктонных сообществ, таких как копеподы Арктики и Атлантики *Calanus glacialis* и *C. finmarchicus* (Falk-Petersen et al., 2007; Falk-Petersen et al., 2009).

В высоких широтах наибольшее внимание уделяется изучению *C. glacialis*, тогда как информация о плодовитости *C. finmarchicus* носит отрывочный характер (Hirche, 1990; Pasternak et al., 2002; Hirche, Kosobokova, 2003; Eide, 2016) из-за меньшей представленности второго вида, по сравнению с первым. Однако, во фьордах Западного Шпицбергена в виду сильного влияния атлантических водных масс, *C. finmarchicus* может преобладать над арктическим *C. glacialis*. В связи с этим получение новых данных о параметрах плодовитости этого вида во фьордах Западного Шпицбергена имеет высокую значимость для понимания процессов, протекающих на их акватории.

Определение показателя среднесуточной плодовитости самок (N яиц$\cdot$самка$^{-1}\cdot$сут$^{-1}$) в условиях *in situ* не вызывает особых затруднений и выполняется путем подсчета яиц в первые сутки после отлова (Hirche, 1990). При этом, получение значений величины разовой кладки и интервала между ними обычно требует более длительного наблюдения и содержания животных в искусственных условиях (Кособокова, 1993; Hirche et al., 1997). Совмещение двух этих методов может давать неоднозначный результат. Так, суточная плодовитость самок *C. finmarchicus*, определенная *in situ*, в арктических водах в июне 1988 года составляла 12.1 яиц$\cdot$самка$^{-1}\cdot$сут$^{-1}$, а в атлантических (апрель 1989 г.) – 13.7 яиц$\cdot$самка$^{-1}\cdot$сут$^{-1}$ (Hirche, 1990). В то же время, интервал между кладками, расчитанный на более длинном временном интервале, составил 2.37 и 2.08 суток, а размер разовой кладки – 49.9 и 56.81 яиц$\cdot$самка$^{-1}$. Расчитанная по этим данным суточная плодовитость составила 19.94 и 24.41 яиц$\cdot$самка$^{-1}\cdot$сут$^{-1}$ соответственно. Столь значительная разница в показателях суточной плодовитости (1.6–1.8 раза) может быть связана с недостатками обоих методов. Например, возможное влияние стресса на продукцию яиц самками при длительном содержании в искусственных условиях или ошибочный учет нулевых значений, связанных с физиологическим состоянием половых органов самок.

Существует и альтернативный метод расчета интервала между кладками, основанный на отношении несущихся самок к их общему количеству в выборке и выполняемый за одни сутки наблюдения (Head, Ringuette, 2017). Зная интервал, не составляет труда расчитать и размер разовой кладки самок.

Логично предположить, что для применения данного подхода и получения точных значений необходимо соблюсти ряд условий. Первое, интервал между наблюдениями (подсчетом яиц) должен быть меньше интервала между кладками самок. В этом случае часть значений в выборке будут нулевыми, а число несущихся самок не будет совпадать с общим количеством. И второе, нулевые значения не должны быть вызваны смертью, стрессом, физиологическим состоянием самок и т. д.

Для соблюдения этих условий мы внесли ряд модификаций в стандартный метод определения плодовитости самок в *in situ* условиях:

1. Проверка первого условия на маленькой группе животных. Если после суток содержания для некоторых самок отмечаются нулевые значения, то последующие выборки проверяются с той же периодичностью.

2. Через сутки после отлова, за самками, не продуцирующими яйца, наблюдение продолжается. С остальными особями эксперимент прекращается.

3. В случае, если самка не несет яйца в течение нескольких дней, наблюдение прекращается и самка исключалается из дальнейшего анализа.

В качестве практической проверки были проведены следующие работы. В ходе экспедиции в пос. Баренцбург (арх. Шпицберген) в период с 06.05.25 г. по 24.05.25 г. было выполнено четыре выхода на акваторию Грён-фьорда с целью отлова живых половозрелых особей вида *C. finmarchicus* для определения величины продукции яиц самками в весенний период. Всего было поймано 20 особей. Вода для содержания животных отбиралась в районе биогестанции ММБИ РАН ежедневно и менялась непосредственно перед подсчетом яиц. После отбора воду пропускали через газ с величиной ячеи 100 мкм с целью удаления мезозоопланктонных (и крупнее) организмов и сохранения естесственных условий питания при проведении эксперимента. Животные содержались по одной особи в пластиковых емкостях объемом 700 мл с дном, выполненным из газа с ячеей равной 250 мкм, с целью отделения самок от произведенных яиц во избежание каннибализма. Пойманные животные доставлялись в лабораторию и содержались при 0 °С. Подсчет количества яиц производился ежедневно. Для расчета параметров плодовитости самок in situ использовались данные, полученные после первых суток. Дальнейшее наблюдение за животными проводилось с целью выявления не несущихся самок.

В итоге, в ходе проведения эксперимента среднесуточная плодовитость самок *C. finmarchicus* составила 15.9 яиц·самка$^{-1}$·сут$^{-1}$. При этом величина разовой кладки составляла 33.4 яиц·самка$^{-1}$, а интервал между кладками – 2.1 суток. Одна самка умерла в первые сутки, две не откладывали яиц в течение всего периода наблюдения (3-х дней) и, как следствие, были исключены из расчетов.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что внесенные изменения в метод определения плодовитости действительно позволяют получить более точную и многостороннюю оценку продукции яиц самками и помогают избежать ряда недостатков общепринятых методов.

Список литературы

Head E. J. H., Ringuette M. Variability in Calanus finmarchicus egg production rate measurements: methodology versus reality // Journal of Plankton Research. 2017. Vol. 39. No. 4. P. 645–663. URL: https://doi.org/10.1093/plankt/fbx022

Hirche H. J. Egg production of *Calanus finmarchicus* at low temperature // Marine Biology. 1990. Vol. 106. P. 53–58. URL: https://doi.org/10.1007/BF02114674

Hirche H. J., Meyer U., Niehoff B. Egg production of *Calanus finmarchicus*: effect of temperature, food and season // Marine Biology. 1997. Vol. 127. P. 609–620. URL: https://doi.org/10.1007/s002270050051

Кособокова К. Н. Размножение и плодовитость беломорской копеподы *Calanus glacialis* в экспериментальных условиях // Океанология. 1993. Т. 33. № 3. С. 392–396.

Hirche H. J., Kosobokova K. Early reproduction and development of dominant calanoid copepods in the sea ice zone of the Barents Sea – need for a change of paradigms? // Marine Biology. 2003. Vol. 143. P. 769–781. URL: https://doi.org/10.1007/s00227-003-1122-8

Eide H. O. Fate of *Calanus* spp. reproduction and development under different environmental stressors. PhD thesis. Tromso: UiT Norges arktiske universitet, 2016. 48 p.

Pasternak A., Riser C. W., Arashkevich E., Rat'kova T., Wassmann P. Calanus spp. grazing affects egg production and vertical carbon flux (the marginal ice zone and open Barents Sea) // Journal of marine systems. 2002. Vol. 38. No. 1–2. P. 147–164. URL: https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00174-4

Falk-Petersen S., Pavlov V., Timofeev S., Sargent J. R. Climate variability and possible effects on arctic food chains: the role of Calanus // Arctic alpine ecosystems and people in a changing environment. Springer: Berlin, Heidelberg, 2007. P. 147–166. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-48514-8_9

Falk-Petersen S., Mayzaud P., Kattner G., Sargent J. Lipids and life strategy of Arctic Calanus // Marine Biology Research. 2009. Vol. 5. No. 1. P. 18–39. URL: https://doi.org/10.1080/17451000802512267

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕДНИКОВ ЗЕМЛИ НОРДЕНШЕЛЬДА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 15 ЛЕТ ПО ДАННЫМ ПОВТОРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СЪЁМОК

А. Л. Борисик[1], И. И. Лаврентьев[2], А. Ф. Глазовский[2], А. Л. Новиков[1]

[1]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт географии РАН, г. Москва, Россия
alexborisik@gmail.com

История применения подповерхностной радиолокации на архипелаге Шпицберген отечественными специалистами насчитывает более 50-ти лет. Первый, наиболее масштабный этап, пришёлся на 1974–1984 годы, когда экспедицией института географии АН СССР были изучены более 130 ледников и ледниковых куполов на большей части архипелага. С учётом масштабности проекта и удалённости большинства ледников, основным видом съёмки являлось аэрозондирование с вертолёта, а запись велась на аналоговые носители. В ходе проведённых наблюдений был обнаружен и описан новый, политермический тип ледников, в которых придонная часть льда находится при температуре около 0 °С. Основные результаты тех исследований легли в основу монографии (Гляциология Шпицбергена, 1985). Следующий этап, пришёлся на 2000–2010-е годы и связан с переходом к современной цифровой регистрации и обработки данных, а также привязки получаемых данных с помощью gps-приёмников. В это время, с использованием наземной радиолокации, были получены подробные данные о внутреннем строении 16 ледников Земли Норденшельда и распределении в них холодного и тёплого льда (Мачерет и др., 2019). На последнем этапе, начиная с 2018 года, сотрудниками Российской Арктической экспедиции на Шпицбергене (РАЭ-Ш) ААНИИ, совместно со специалистами института географии РАН, ведётся планомерное изучение ледников архипелага, имеющее своей целью построение сети долговременных наблюдений за гидротермическим состоянием ледников и происходящими с ними изменениями.

Фиксируемое в Арктике потепление климата вызывает ускорение таяния ледников архипелага, что отражается не только на сокращении их площади и объёма, но и приводит к внутренним изменениям ледников, не видимым с поверхности. Для прослеживания таких изменений целесообразно использовать сопоставление разновременных радиолокационных съёмок, что позволяет проследить происходящие скрытые изменения и наметить дальнейшие пути эволюции ледников. Наиболее подходящими объектами для таких исследований являются ледники политермического типа, состоящие из верхнего слоя сухого холодного льда и нижнего водосодержащего тёплого льда. Данный тип ледников быстро реагирует на короткопериодные колебания климата изменением толщины холодного и тёплого льда и содержания воды в тёплом льду, что оказывает заметное влияние на реологические свойства, скорость движения льда и динамическую устойчивость ледников.

Несмотря на большой объём радиолокационных исследований, выполненных на Шпицбергене, систематически проводимых повторных наблюдений выполнено довольно мало, а полученные результаты говорят о разных сценариях эволюции тёплого ядра ледников. Так, на леднике Ханс, последовательно проводимые радиолокационные измерения в нижней части ледника с 2007 по 2021 гг. показали практически полное исчезновение слоя холодного льда (Kachniarz et al., 2025), в то время как на леднике Фритьоф, по данным съёмок 2010 и 2021 гг. в верхней части ледника, отмечено значительное понижение границы кровли тёплого льда в три раза опережающее абляцию ледника с поверхности (Borisik et al., 2022).

В докладе представлено сопоставление профильных наблюдений на политермических ледниках Западный Грёнфьорд, Восточный Дальфонна, Эрдмана и Тавле выполненных в период с 2010 по 2025 гг. по общим профилям, расположенным в разных высотных зонах ледников. Изучаемые ледники, относятся к горно-долинному типу, оканчиваются на суше и расположены на высотах от 30–180 м до 350–550 м. На момент повторных исследований, вся поверхность ледников находится в зоне абляции.

Сравнивая изменения толщины ледников за прошедшие 13–15 лет, можно отметить уверенную корреляцию величины снижения поверхности в зависимости от её высоты. Так, на леднике Западный Грёнфьорд, язык которого располагается наиболее низко, величина поверхностной абляции достигает 3–3.5 м/год, в то время как на высотах более 400 м, снижение поверхности не превышает 0.4–0.9 м/год. Вариации в величине таяния вероятно связаны с экспозицией различных частей склона и с затенённостью некоторых его участков окружающими горными вершинами. В то же время, сравнивая изменения, происходящие в слое тёплого льда с высотой над уровнем моря, такая закономерность не прослеживается. Так на ледниках Западный Грёнфьорд и Восточный Дальфонна отмечается повсеместное сокращение тёплого ядра ледника со скоростью от 1 до 2 м/год вне зависимости от высотного положения. При этом, на леднике Эрдмана, на высотах более 330 м отмечено небольшое (в пределах 0.5 м/год) увеличение толщины тёплого льда.

Изменения толщины слоя холодного льда, находящегося ближе к поверхности, зависит как от скорости отступания тёплого ядра, так и от скорости абляции. На ледниках Западный Грёнфьорд и Восточный Дальфонна на высотах 250–500 м изменения толщины холодного слоя колеблется от –1 до 1 м/год, т. е. происходит относительно синхронное отступание кровли тёплого льда и таяния ледника с поверхности. Ниже 250 м, наблюдается истончение слоя холодного льда, происходящее со скоростью до 3 м/год опережающее отступание тёплого ядра и связанное с высокой скоростью поверхностного таяния. При этом, на ледниках Эрдмана и Тавле, ускоренное сокращение слоя холодного льда происходит и на больших высотах.

Полученные новые данные о внутреннем строении ледников свидетельствуют о зависимости направления эволюции их гидротермического типа от высотного положения и скорости абляции. На высотах ниже 250 м, наблюдаемая высокая скорость поверхностного таяния и быстрого истончения слоя холодного льда, приводит к среднему отеплению толщи льда. В то же время на высотах более 250–300 м, отмечено интенсивное отступание кровли тёплого льда, т. е. выхолаживания толщи льда и постепенного превращения его в холодный тип. С учётом всё возрастающих среднегодовых температур воздуха и ускорения абляции, вероятно постепенное смещение условной равновесной границы 250 м выше по склону.

Список литературы

Гляциология Шпицбергена. М.: Наука, 1985. 200 с.

Мачерет Ю. Я., Глазовский А. Ф., Лаврентьев И. И., Марчук И. О. Распределение холодного и тёплого льда в ледниках на Земле Норденшельда (Шпицберген) по данным наземного радиозондирования // Лёд и Снег. 2019. Т. 59. № 2. С. 149–166. DOI: 10.15356/20766734-2019-2-430

Kachniarz K., Grabiec M., Wróbel K. et al. Glacier internal structure revealed by automatic image processing-powered classification of radar images // Appl Geomat. 2025. URL: https://doi.org/10.1007/s12518-025-00635-5

Borisik A., Novikov A., Lavrentiev I., and Glazovsky A. Changes in the internal structure of polythermal glaciers over the last decade: the case study of Fridtjofbreen and Erdmanbreen from 2010 to 2021, Svalbard. EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-1852. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1852, 2022

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН. СРАВНЕНИЕ ПРЯМОГО И КОСВЕННОГО МЕТОДОВ

И. И. Василевич, А. М. Безгрешнов, И. Л. Калюжный,
А. С. Масловский, Е. В. Зотова, Н. Л. Секисов, Б. В. Иванов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Снежный покров играет ключевую роль в водном балансе поверхностных водных объектов арктических архипелагов. Снег является одной из основных составляющих баланса массы ледников, определяет продолжительность и объем половодья на реках, влияет на устойчивость многолетних мерзлых пород, а также на химический состав прибрежных морских вод. В свою очередь он в силу климатических особенностей региона (невысокие температуры, длительная экспозиция) подвержен испарению (сублимации). По существующим оценкам, величина испарения для арктических архипелагов может достигать 50 % от его влагозапасов (Liston, Sturm, 2004). Учитывая изменения климата арх. Шпицберген последние 25 лет, оценка испарения с поверхности снежного покрова становится актуальной проблемой.

Начиная с 2021 года, для оценки испарения с поверхности снежного покрова в арктических широтах применяется преимущественно расчетные методы, инструментальные оценки испарения немногочисленны (Василевич и др., 2025). ФГБУ «ААНИИ» на архипелаге Шпицберген ежегодно проводит инструментальные наблюдения за испарением с поверхности снежного покрова в весенний период с 2021 года. Наблюдения выполняются в соответствии с методическими рекомендациями, применяемыми на сети Росгидромета (Рекомендации, 1991). Инструментальные наблюдения проводятся на специально оборудованной площадке и заключаются во взвешивании два раза в сутки испарителей со снежными монолитами. По результатам наблюдений были разработаны полуэмпирический метод, основанный на статистической связи соотношений величин испарения в ночной, дневной период, а также суммарно за сутки, и метод множественной линейной регрессии, полученный на основании наблюдений за испарением и факторами, которые его обуславливают. Для восстановления пропусков наблюдений за испарением с поверхности снежного покрова в соответствии с Рекомендациями применяют метод П. П. Кузьмина. В качестве эксперимента также был использован метод расчета испарения через турбулентный поток влаги, основанный на полуэмпирической теории турбулентности Монина-Обухова (Монин, Обухов, 1954). Для сравнения среди расчетных методов были отобраны следующие – уравнение множественной линейной регрессии; метод Кузьмина П. П.; методика, основанная на полуэмпирической теории турбулентности Монина-Обухова.

Сравнение результатов измерений и расчета величины суточного испарения на арх. Шпицберген говорит о наличии умеренной связи между расчетными и инструментальным методами. Соответствующие коэффициенты корреляции между расчетными и измеренными величинами для всех расчетных методов примерно одинаковы и варьируются от 0,51 до 0,55. То же самое можно сказать и для средней абсолютной погрешности расчета, изменяющейся в пределах 0,21–0,26 мм при средней величине измеренного испарения в 0,53 мм/сут. Средние величины рассчитанного суточного испарения для уравнения регрессии, метода П. П. Кузьмина и турбулентного потока влаги соответственно составили 0,53 мм, 0,63 мм и 0,37 мм.

Таким образом, по совокупности результатов сравнения, с учетом требований к данным для расчетных методов, наиболее удовлетворительными расчетными методами для оценки величины испарения на арх. Шпицберген можно назвать уравнение регрессии и метод Кузьмина П. П. Тем не менее, необходимо продолжать комплексные наблюдения за испарением с поверхности снежного покрова и факторами его обуславливающими на арх. Шпицберген с точки зрения влияния на процесс текущих климатических изменений и совершенствования расчетных методов.

Список литературы

Василевич И. И., Калюжный И. Л., Масловский А. С. Испарение со снежного покрова на арх. Шпицберген в весенний период // Проблемы Арктики и Антарктики. 2025. № 71. Вып. 1. С. 17–31. URL: https:// doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-17-31

Методические рекомендации по производству наблюдений за испарением с почвы и снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 234 с.

Монин А. С., Обухов А. М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. 1954. № 24(151). С. 163–187.

Liston, G. E., Sturm M. The role of winter sublimation in the Arctic moisture budget // Nordic Hydrology. 2004. № 35. P. 4–5. URL: https://doi.org/10.2166/nh.2004.0024

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ У ДОМИНАНТНЫХ ВИДОВ ВОДОРОСЛЕЙ-МАКРОФИТОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Г. М. Воскобойников[1], Л. О. Метелькова[2,1], Д. О. Салахов[1]

[1]Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, г. Санкт-Петербург, Россия
grvosk@mail.ru

Водоросли-макрофиты, обитающие в прибрежных акваториях архипелага Шпицберген, по-прежнему остаются мало изученными. Особенно это относится к морфо-физиологии макроводорослей, их устойчивости к факторам внешней среды, в том числе к токсикантам. Ранее в наших исследованиях было показано, что содержание нефтяных углеводородов (НУ) в воде может служить показателем загрязнения среды, только в случае продолжительного мониторинга с учетом наличия данных о содержании НУ в течение суток: с учетом измерений концентрации НУ в воде, выполненных на приливах-отливах. На примере губ Восточного Мурмана было определено, что такие результаты могут различаться в течение суток в 3–4 раза. Более надежным показателем уровня загрязнения окружающей среды могут служить водоросли-макрофиты, способные депонировать НУ. Несомненно, еще большую информативность о степени загрязнения морской среды могут иметь сведения из трех биокосов: грунт-вода-водоросли. Авторами проанализированы результаты исследований содержания НУ в водорослях-макрофитах и среде обитания (вода, грунт), полученные в 2019–2024 гг. в двух точках прибрежья Грён-фьорда Гренландского моря. Одна точка (1) находилась на литорали в центральной части береговой полосы акватории Баренцбурга (E 14°12.28,37' N 78°03.16,51'), вторая точка (2) (E 14°10.55.32' N 78°06.05.08') на выходе из Грён-фьорда: открытое побережье с природными (каменистыми) ваннами.

Проведенные измерения показали, что содержание НУ в воде незначительно превышает предельно допустимые концентрации, однако содержание НУ в грунте в районе ТЭЦ более чем в 25 раз выше по сравнению с точкой два (открытое побережье). Для сравнения также было проанализировано содержание НУ в грунте, воде и водорослях в губах Кольского залива и побережья Восточного Мурмана. Выявлено, что массовая доля НУ в данных акваториях выше по сравнению с Грён-фьордом в десятки раз. Выявлена прямая зависимость содержания НУ в грунте, воде и водорослях от влияния антропогенного фактора: судовые причалы, перегрузочные комплексы, разливы нефтепродуктов и обратная зависимость: видового разнообразия водорослей-макрофитов от содержания НУ в воде и грунте. Наибольшей способностью к аккумуляции нефтяных углеводородов среди водорослей-макрофитов обладает сахарина большая, а наибольшей устойчивостью к высоким концентрациям НУ – фукус пузырчатый. Согласно результатам исследования, Грён-фьорд в настоящее время можно отнести к незагрязненным нефтяными углеводородами морским акваториям.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 22-17-00243-П “Радиационная океанология и геоэкология прибрежного шельфа Баренцева и Белого морей. Биокосные взаимодействия в системе: донные отложения-вода-макроводоросли-микроорганизмы, их роль в ремедиации морской прибрежной экосистемы при радиационном и химическом загрязнении в условиях Арктики”.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ОЗЕРА КОНГРЕСС В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ СЕЗОНЫ

А. М. Голубков, К. В. Ромашова, И. И. Василевич, Г. А. Шарков, М. В. Третьяков

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Современные климатические изменения оказывают значительное влияние на гидрологический режим и водный баланс озер, в частности, на термический режим водоемов, что позволяет рассматривать его в качестве индикатора глобальных трансформаций. Архипелаг Шпицберген, являясь регионом с одними из наиболее высоких темпов потепления в Арктике, представляет собой уникальный природный полигон для исследования последствий климатических изменений. На его территории общая площадь озерных вод составляет около 395 км^2. Озера в основном ледникового происхождения. Множество мелких карстовых и термокарстовых озер, распространенных на западной периферии о. Западный Шпицберген и в его северной части. Большинство озер проточные. Их питание главным образом ледниковое и снеговое что определяет невысокую минерализацию воды, и ее пригодность для питья.

К группе немногочисленных водоемов без ледникового питания относится озеро Конгресс, расположенное вблизи российского поселка Баренцбург на западном побережье залива Грёнфьорд в изолированной котловине с абсолютной отметкой уреза воды около 97 м. Озеро имеет округлую форму и составляет в диаметре около 900 м, максимальная глубина не превышает 55 м. Наблюдения на озере проводятся ФГБУ «ААНИИ» начиная с 2016 года. Для получения вертикальных профилей температуры и электропроводности, а также для определения химического состава вод, дважды в год на пяти станциях озера выполняются комплексные гидрологические измерения с использованием CTD-зонда и батометра Руттнера. Анализ проб воды производится в химико-аналитической лаборатории Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ), пос. Баренцбург.

Воды оз. Конгресс пресные и относятся к сульфатному классу, группа кальция III по классификации природных вод О. А. Алекина. Электропроводность варьируется от 620 до 2100 мкСм/см в зимний период и от 490 до 1400 мкСм/см в летний. Среди главных ионов доминируют сульфаты, гидрокарбонаты и кальций.

Обобщение данных десятилетних экспедиционных исследований (2016–2025 гг.) позволило установить, что в зимний период в водной толще формируются два термоклина: приповерхностный, расположенный на глубинах 3–6 м, и глубинный, наблюдаемый на горизонтах 30–45 м. Наблюдается обратная температурная стратификация. Средняя температура воды колеблется от 1 до 2 °С. В летний период зафиксирован один термоклин на глубинах 3–20 м. Наблюдается прямая температурная стратификация. Средняя температура воды колеблется от 3 до 4 °С. Слой эпилимниона располагается на глубине от 5 до 20 м с температурой 5–10 °С, металимниона – от 5 до 10 м с температурой 2–10 °С, гиполимниона – от 20 до 40 м с температурой 2–3 °С.

Наблюдается тренд на ежегодное увеличение показателя удельной электропроводности в оба периода и уменьшение глубины залегания термоклина для летнего сезона.

ПЕРЕКРЕСТНОЕ ^{230}Th/U–^{14}C ДАТИРОВАНИЕ ГОЛОЦЕНОВЫХ РАКОВИН МОЛЛЮСКОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН КАК ПРИМЕР МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ^{230}Th/U-МЕТОДА

В. А. Григорьев, Ф. Е. Максимов, Е. А. Гусев, В. В. Шарин

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
vasily.grigoriev@gmail.com

В 2017 году геологами Шпицбергенской партии ПМГРЭ (Шариным В. В. и др.) было проведено изучение опорного разреза в бухте Скилвика на о. Западный Шпицберген, а также ряда других разрезов морских террас арх. Шпицберген, в которых зафиксирована хронологическая последовательность от начала позднего плейстоцена (а где-то захватывающего верх среднего плейстоцена) до голоцена. Для уточнения хроностратиграфического положения отложений морского генезиса в изученных разрезах был применен геохронометрический подход, на основе перекрестного уран-ториевого (^{230}Th/U) и радиоуглеродного (^{14}C) датирования органогенных отложений (раковин моллюсков), отобранных с различных террасовых уровней.

Датирование ископаемых раковин морских моллюсков ^{230}Th/U методом распространено весьма давно, однако его применение по ряду причин, связанных с условиями залегания и сохранностью раковин, возможными диагенетическими процессами, может быть проблематичным (Kaufman et al., 1996; Edwards et al., 2003; Choukri et al., 2007; Rowe et al., 2015). Его основные предпосылки формулируются следующим образом: 1) в момент своего формирования отложения включают только U, из которого со временем в результате радиоактивного распада накапливается дочерний изотоп ^{230}Th; 2) датируемые отложения в постседиментационное время представляют собой закрытую радиометрическую систему относительно изотопов U и Th.

^{230}Th/U датирование раковин включает определение изотопов U и Th либо во всем карбонатном скелете, либо в его отдельных частях. Во втором варианте принимается во внимание факт неодинакового распределения изотопов U и Th во внутренних и внешних слоях ископаемых раковин, что объясняется их разной доступностью для воздействия внешней среды, в частности грунтовых вод (Kaufman et al., 1996; Labonne and Hillaire-Marcel, 2000; Максимов и др., 2016; Ayling et al., 2017 et al.). Соответственно степень достоверности ^{230}Th/U возрастных данных в разных частях раковин может меняться.

Для ряда выбранных образцов раковин возраст внутренней фракции мы определяли с применением ^{14}C и ^{230}Th/U методов. При ее растворении в разбавленной кислоте (соляной или азотной) выделялся CO_2, из которого через ряд промежуточных стадий синтезировался бензол согласно известной методике (Арсланов, 1987). Активность ^{14}C бензольного сцинтиллятора измерялась на сцинтилляционном спектрометре Quantulus. Оставшийся после первой стадии кислый раствор был использован для количественного определения изотопов U и Th (Максимов и др., 2016).

Ряд полученных ^{230}Th/U и ^{14}C датировок образцов раковин из разрезов в бухте Скилвика и в долине Матисондален (в районе Билле-фиорда) относятся к голоцену. Сопоставление ^{230}Th/U и ^{14}C данных, полученных для этих образцов, позволяет провести обоснование уран-ториевого датирования, учитывающее постседиментационную миграцию изотопов урана в карбонатном скелете раковин. ^{230}Th/U и ^{14}C датировки этих раковин различаются между собой, но, тем не менее, все они относятся к раннему голоцену: для раковин *Mya truncata* из кровли разреза бухты Скилвика получены ^{14}C и ^{230}Th/U-возраста 13100±150 кал. лет и 8400±70 лет, соответственно; для раковин из кровли разреза морской террасы долины Матисондален – 10940±150 кал. лет и 9000±40 лет, соответственно. Эти данные позволяют предположить, что в нашем случае ^{230}Th/U метод для голоценовых образцов в грубом приближении дает вполне кондиционные результаты, и отклонения, скорее всего, связаны с моделью раннего (в течение нескольких тысяч лет) поглощения U ископаемыми раковинами (Kaufman et al., 1996; Rowe et al., 2015).

Список литературы

Арсланов Х. А. Радиоуглерод: Геохимия и геохронология. Л.: ЛГУ, 1987. 300 с.

Максимов Ф. Е., Шарин В. В., Кузнецов В. Ю., Окунев А. С., Григорьев В. А., Петров А. Ю. Уран-ториевое датирование высоких морских террас архипелага Шпицберген // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. 2016. Вып. 2. С. 54–62.

Ayling B., Eggins S., McCulloch M., Chappell J., Grün R, Mortimer G. Uranium uptake history, open-system behaviour and uranium-series ages of fossil Tridacna gigas from Huon Peninsula, Papua New Guinea // Geochim. Cosmochim. Acta. 2017. Vol. 213. P. 475–501.

Choukri A., Hakam O.-K., Reyss J.-L., Plaziat J.-C. Radiochemical dates obtained by alpha spectrometry on fossil mollusk shell from the 5e Atlantic shoreline of the High Atlas, Morocco // Applied Radiation and Isotopes. 2007. Vol. 65. P. 883–890.

Edwards R. L., Gallup C. D., Cheng H. Uranium-series dating of marine and lacustrine carbonates // Uranium-series geochemistry. Reviews in mineralogy and geochemistry. Geochemical Society, Mineralogical Society of America. 2003. Vol. 52 (1). P. 363–405.

Kaufman A., Broecker W. S., Ku T.-L., Thurber D. L. The status of U-series methods of mollucs dating // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1971. Vol. 35. No. 11. P. 1155–1183.

Labonne M., Hillaire-Marcel C. Geochemical gradients within modern and fossil shells of Concholepas concholepas from Northern Chile: an insight into U-Th systematics and diagenetic/authigenic isotopic imprints in mollusk shells // Geochim. Cosmochim. Acta. 2000. Vol. 64. No. 13. P. 1523–1534.

Rowe P. J., Turner J. A., Andrews J. E., Leeder M. R., Calsteren P. van, Thomas L. Uranium-thorium dating potential of the marine bivalve Lithophaga lithophaga // Quaternary Geochronology. 2015. Vol. 30. P. 80–89.

БИОИНДИКАЦИЯ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ГРЁН-ФЬОРДА, ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

А. В. Гудимов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
alexgud@mail.ru

Потепление климата в Арктике продолжается, вызывая изменения как наземных, так и морских экосистем. Однако, до настоящего времени не разработаны актуальные методы обнаружения ранних, в том числе, современных (текущих) климатических изменений морских биологических сообществ. Средствами стандартного мониторинга и традиционной биоиндикации невозможно получить оперативную информацию о степени изменения биосистем какого-либо ранга (популяции, сообщества, экосистемы) за короткий период (1–3 года и менее). Главным образом, потому что их реакции сильно (часто, на несколько лет) запаздывают к моменту значительного/аномального изменения условий среды и/или к началу антропогенного воздействия.

Биоиндикация во многих случаях позволяет получить наиболее быстрый ответ биосистемы на изменения среды, но выбор индикаторного показателя системы или вида-биоиндикатора и его измеряемых параметров не прост и является предметом специального исследования.

Биоиндикация изменений донных сообществ имеет 2 аспекта – фундаментальный и прикладной. Фундаментальная биоиндикация отражает влияние естественных природных факторов, в то время как прикладная – антропогенное воздействие на сообщество или экосистему.

Общие подходы к выбору биоиндикаторов (Новые технологии …, 2009) показывают, что виды-биоиндикаторы должны, как правило, быть распространены в достаточном количестве по всему району исследования и легко отбираемы на пробы объективными и количественными методами. Они должны обеспечивать возможность градации реакции на стресс в зависимости от его величины и интенсивности. В отдаленном и пока редко достижимом идеале, т. е. очень желательно, но пока больше теоретически, они должны еще демонстрировать специфичность реакций, так чтобы можно было определить тип воздействия. Биоиндикаторы должны быть преимущественно неэксплуатируемые виды, иначе будет сложно проследить тенденции их численности. Важна многочисленность вида и его относительно легкая доступность для сбора во все сезоны. Несомненно, важна постоянная связь вида с локальной средой обитания и антропогенными воздействиями (в прикладном биомониторинге).

В поисках универсальных биоиндикаторов одним из результатов данного исследования стали следующие основные принципы их выбора:

1. Надежными видами-биоиндикаторами могут считаться только массовые организмы, имеющие максимальное распространение в экосистеме моря; а лучше всего, встречающиеся и в других морях Мирового океана, где они представлены местными видами того же рода или близких по систематике и экологии видами в той же экологической нише. Например, *Chlamys islandica* арктических морей *Mizuhopecten yessoensis* Тихого океана.

2. Вид должен иметь широкий спектр реакций на изменения факторов среды.

3. Быть доступным для круглогодичного сбора и индикации.

4. Сочетать чувствительность к изменениям факторов среды по отдельным реакциям (физиологическим или поведенческим) с общей толерантностью организма к совокупному воздействию природных факторов и антропогенного загрязнения в пределах естественного максимального по амплитуде (вплоть до аномального) диапазона их колебаний.

5. В отношении загрязнения это означает сохранять жизнедеятельность и устойчивость в значительном диапазоне концентраций загрязняющих веществ вплоть до острой токсичности, приводящей к гибели животного.

Есть и другие требования, которые не всегда возможно соблюсти для одного вида, поэтому лучше использовать группу видов-биоиндикаторов.

Кроме того, что вид-индикатор должен соответствовать ряду требований, важно, прежде всего, определить может ли данный вид быть адекватным биоиндикатором, т. е. нужно провести скрининг-тест, чтобы получить данные о характере реагирования потенциального вида-индикатора на изменения условий среды. Причем здесь важен баланс между скоростью реакции вида и устойчивостью данной реакции. Ведь первоначально быстрая реакция может также быстро затухнуть в уже измененных условиях, не отражая в дальнейшем состояние среды или наличие воздействия.

Такой группой видов могут служить некоторые двустворчатые моллюски Шпицбергена. Тестирование *Chlamys islandica, Mya truncata* и *Tridonta borealis,* обитающих в Грён-фьорде было выполнено на берегу фьорда, в условиях максимально приближенных к природным. Цифровая запись поведенческих реакций (движений створок) проводилась в режиме реального времени с помощью оригинальной установки (разработана ММБИ в сотрудничестве с ИЭФБ им. Сеченова РАН), состоящей из тензометра (датчика), усилителя, АЦП и компьютера. В дополнение к этому в разное время суток проводилась фото и видеосъемка группы гребешков (15 экз.), содержащихся в контейнере с природной морской водой при температуре около 1–2 ^{o}C (температура их обитания).

Исследование фоновой активности и тестирование поведенческих реакций моллюсков по 3 параметрам показало, что гребешки обладают наиболее пластичным поведением. Гребешки *Ch. islandica* быстрее и стабильнее других моллюсков реагировали на любые раздражители и изменения среды: свет/тень, вибрацию, движение воды и шум (от аэрации), изменения температуры, солености, концентрации кислорода и проток (поступление пищи).

Биоиндикация на уровне популяций в прибрежье Шпицбергена должна быть особенно эффективной, поскольку, как было установлено ранее (Гудимов А. В., 2023), в экстремальных условиях, на границе ареала распространения видов, и, особенно, в эстуариях, чувствительность организмов к изменениям факторов среды возрастает многократно.

Список литературы

Гудимов А. В. Краевые популяции балянуса *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) как биоиндикатор влияния ранних климатических изменений среды // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Беломорской биостанции им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2023. С. 50–51.

Новые технологии мониторинга природных процессов в зоне взаимодействия пресных и морских вод (биологическая индикация). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. 262 с.

МОРСКИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОСАДКИ ШПИЦБЕРГЕНА И ОКРУЖАЮЩЕГО ШЕЛЬФА

Е. А. Гусев[1], А. С. Окунев[1], Д. В. Бердинских[1,2], А. А. Крылов[1], Д. В. Элькина[1], Т. И. Хоснуллина[1], П. Б. Семенов[1], В. Ю. Захаров[1]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И. С. Грамберга, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
gus-evgeny@yandex.ru

В 2021–2025 годах силами Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология) изучались морские террасы поздненеоплейстоцен-голоценового возраста на западном побережье Шпицбергена от Ис-фиорда на юге до Кросс-фиорда на севере. В 2022–2024 годах были проведены морские геолого-съемочные работы на шельфе к востоку от Шпицбергена на поднятии Персея, у острова Надежды и архипелага Тысяча островов, а также в районе Стур-фиорда.

Морские неоплейстоцен-голоценовые отложения на Шпицбергене в основном формируют лестницы морских террас, осложняющих рельеф горных районов и стрэндфлетов. Наибольшей сохранностью морские террасы характеризуются в тех районах, где в течение последних оледенений не происходило значительного разрастания ледников. На севере Шпицбергена наибольшая высота распространения голоценовых морских осадков по данным российских и зарубежных исследований не превышает 35 м, выше фиксируются поздненеоплейстоценовые морские террасы.

Морские террасы часто имеют чисто абразионное происхождение, но иногда присутствует и аккумулятивная часть террасы, сложенная песками, гравийниками, галечниками, с прослоями и линзами алевритов. По данным космо- и аэрофотосъемок прослеживаются такие детали строения морских террас, как штормовые валы, лагуны и протоки. На местности обычно уровни стояния моря выражены слабо, только в местах прорезания реками стрэндфлетов встречаются представительные разрезы голоценовых морских отложений. Осадки иногда содержат раковины морских моллюсков – двустворок, гастропод, домики морских усоногих раков, кости морских млекопитающих – моржей, тюленей, китов, а также северного оленя, и даже белого медведя (Окунев и др., 2024). На берегах пролива Форландсуннет, а также в Конгс-фиорде иностранными коллегами детально изучены прибрежно-морские террасы неоплейстоценового и голоценового возраста, которые по уровню тщательности исследования можно отнести к ключевым стратотипическим разрезам (Alexanderson et al., 2011, 2018).

Нами изучались разрезы неоплейстоцен-голоценовых морских террас на полуострове Брегтер, в районе Конгс- и Кросс-фиордов, на равнине Митра, на Земле Принца Карла и в других местах. Северные районы архипелага характеризуются бедностью органических остатков в морских голоценовых осадках, встречаются в основном лишь раковинный детрит, что создает трудности для датирования вмещающих отложений. В то же время в ключевых разрезах на полуострове Брегтер, в Конгс-фиорде и на Земле Принца Карла встречены довольно представительные комплексы морских моллюсков, включающих *Macoma calcarea, Astarte borealis, Astarte crenata, Clinocardium ciliatum, Chlamys islandica, Balanus balanoides, Mya truncate, Hiatella arctica, Macoma calcarea, Macoma baltica, Astarte borealis, Astarte crenata, Portlandia arctica, Clinocardium ciliatum, Chlamys islandica, Balanus balanoides, Mya truncate, Hiatella arctica, Buccinum* sp., *Cylichna alba* и другие виды. В случае наличия песчаных отложений, отбирались пробы для определения возраста методом оптико-стимулированной люминесценции. Некоторые из ключевых разрезов островной суши уже детально изучались зарубежными исследователями, другие обследовались нами впервые.

На шельфе Шпицбергена в 2022 и 2024 годах работы проводились с борта НИС «Профессор Молчанов», в 2023 г. – с судна «Иван Петров» (судовладелец ФГБУ «Северное УГМС», г. Архангельск) в районе возвышенности Персея, у острова Надежды и архипелага Тысяча островов, в Стур-фиорде в интервале глубин 50–350 м, и включали в себя сейсмоакустическое профилирование с использованием профилографа и спаркера, многолучевое эхолотирование и донный пробоотбор с помощью дночерпателя ван-Вина и грунтовой трубки (Комаров и др., 2022;

Гусев и др., 2024). По сейсмоакустическим данным можно судить о рельефе морского дна и мощности самого верхнего осадочного слоя, а также иногда – о строении дислоцированных горных пород мезозойского возраста. Донное опробование на шельфе Шпицбергена за три года выполнено на 194 станциях. Плейстоцен-голоценовые осадки, вскрытые дночерпателем, представлены в основном алеврито-пелитовыми осадками, иногда с примесью песка. На нескольких станциях донные осадки отсутствовали, зато был поднят донно-каменный материал, а иногда и железо-марганцевые конкреции. Местами на поверхности морского дна обнажаются коренные породы и их элювий.

Поздненеоплейстоцен-голоценовые осадки на шельфе Шпицбергена имеют незначительную мощность, составляя в среднем 7–10 м, и лишь местами увеличиваясь до 25–35 м в местах развития флювиогляциальных и склоновых образований у подножия склонов. На вершинах банок и подводных возвышенностей поздненеоплейстоцен-голоценовые отложения либо отсутствуют вовсе, либо покрывают коренные породы тонким плащом мощностью менее метра.

На мелководных участках в морском дне часто встречаются локальные холмы и плосковершинные возвышенности, которые являются, по-видимому, эрозионными останцами, вершины которых сложены устойчивыми к разрушению базальтами или долеритами.

По морским и сухопутным данным можно отметить, что в среднем голоцене скорости осадконакопления значительно снижались, либо среднеголоценовые осадки отсутствуют в разрезе. Это говорит о возможной кратковременной регрессии морского бассейна. На островах архипелага голоценовые морские террасы подвергались заметному воздействию выветривания, размыва речными и флювиогляциальными потоками, склоновыми процессами и др. На шельфе поздненеоплейстоцен-голоценовое осадконакопление происходило неравномерно в разных районах, и было изменчивым по интенсивности во времени.

Список литературы

Гусев Е. А., Крылов А. А., Сазонов А. Ю. и др. Четвертичные отложения района желоба Стур-фиорд (Баренцево море) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2024. Вып. 11. С. 69–80.

Комаров А. Ю., Гусев Е. А., Крылов А. А. и др. Строение дна Баренцева моря в районе западных отрогов возвышенности Персея // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022. Вып. 9. С. 128–132.

Окунев А. С., Фомичева Е. Д., Соловьева Д. А., Веркулич С. Р. Палеогеографические и геоморфологические исследования северо-западного побережья Земли Оскара II и северной части Земли Принца Карла (Шпицберген) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2024. Вып. 11. С. 269–274.

Alexanderson H., Landvik J. Y., Ryen H. T. Chronology and styles of glaciation in an interfjord setting, northwestern Svalbard // Boreas. 2011. Vol. 40. P. 175–197.

Alexanderson H., Henriksen M., Ryen H. T. et al. 200 ka of glacial events in NW Svalbard: an emergence cycle facies model and regional correlations // Arktos. 2018. Vol. 4. P. 1–25.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ШПИЦБЕРГЕНА – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ РАЗНООБРАЗИЯ

Д. А. Давыдов

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
d.davydov@ksc.ru

Многолетние результаты изучения цианопрокариот экосистем Шпицбергена демонстрируют, что все разнообразие местообитаний архипелага используется теми или иными видами группы (Davydov, 2021; Давыдов, 2022). Высокая адаптивность обуславливает широкое распространение цианопрокариот, особенно в наземных местообитаниях, где они образуют заметные обрастания на поверхности и в толще почвы. Цианопрокариоты играют здесь фундаментальную роль, так как не только вносят вклад в фиксацию углерода и азота, но и часто выступают в качестве эдификаторов, формируя специфические сообщества почвенных корочек. Цианопрокариоты формируют литобионтные сообщества, активно осваивают поверхность и трещины скальных обнажений.

Одной из важнейших фундаментальных задач по изучению цианопрокариот Шпицбергена является выявление видового богатства различных районов архипелага. Актуальность этой работы обусловлена, прежде всего, низкой степенью изученности разнообразия полярных областей Земли. В течение ряда сезонов изучено 12 локальных флор Шпицбергена, из них 4 территории относятся к зоне полярных пустынь, 8 – к тундровой зоне. В исследование также включены литературные данные по флорам, для которых известны полные списки видов. Из изученных нами локальных флор самые богатые по числу видов цианопрокариот формируются в районах имеющих значительную дифференциацию литологических и орографических условий, а также в районах с концентрацией карбонатных пород. Самые бедные флоры выявлены на однотипных силикатных породах. В целом флоры характеризуются значительной степенью дифференциации видового состава. Наибольшее сходство по набору видов имеют флоры полярных пустынь Северо-Восточной Земли (Давыдов, 2019).

Видовой состав цианопрокариот отличается значительной приуроченностью к микроусловиям местообитаний. Большинство выявленных видов (50 %) распространены локально – выявлены только в одном районе, 18% найдены в двух районах, 9.3 % – в трех. Только семь видов широко распространены по территории архипелага. Данная закономерность накладывает большие ограничения на изученность группы на Шпицбергене, так как полное выявление видового богатства возможно только при полномасштабном обследовании «белых пятен». Следствием этого является продолжающийся процесс описания новых для науки видов (Raabová et al., 2019; Davydov et al., 2020; Jung et al., 2020).

Предложена основа классификации местообитаний цианопрокариот арктических территорий (Davydov, 2024b). Выделены две больших группы местообитаний: пресноводные и наземные. Последняя, в свою очередь, разделена на амфибиальную и типично наземную подгруппы. Вариабельность полярных местообитаний можно представить в виде градиента увлажнения, который проходит от пресноводных через субаэрофитные до сухих типично наземных. Различия периодичности, амплитуды и регулярности увлажнения местообитаний приводят к дифференцировке видового состава цианопрокариот.

Выполнен анализ экологических особенностей цианопрокариот архипелага Шпицберген (Davydov, 2024a). Исходя из количества находок и видового богатства сделан вывод, что наиболее благоприятными для цианопрокариот в условиях Шпицбергена являются: 1) скальные сообщества в условиях достаточного увлажнения, 2) оголенные грунты, на которых формируются биологические почвенные корочки, 3) медленные хорошо прогреваемые ручьи, а также 4) специфические переувлажненные местообитания – просачивания. На примере анализа экологических особенностей видов, произрастающих на архипелаге, показано, что представления об эврибионтных свойствах цианопрокариот несостоятельны.

Важным прикладным аспектом изучения разнообразия цианопрокариот является скрининг видов, которые могут быть положены в основу технологий ремедиации и рекультивации. Проблема рекультивации терриконов и отходов рудообогащения заключается в том, что они могут содержать токсичные элементы (тяжелые металлы), бедны органическими соединениями и плохо удерживают воду, что затрудняет естественное восстановление растительности. Перспективным представляется изучение штаммов цианобактерий, устойчивых к тяжелым металлам, способных колонизировать рыхлые песчаные субстраты.

За период изучения экосистем Шпицбергена накоплена обширная коллекция штаммов, насчитывающая 40 штаммов различных видов. Приспособленность популяций к экстремальным условиях архипелага позволяет предположить наличие у них механизмов, способствующих выживанию в суровых климатических условиях, что является залогом успеха при разработке технологий восстановления техногенных пустошей и рекультивации нарушенных территорий.

В настоящий момент идет тестирование данных штаммов для выявления наилучших устойчивых кандидатов при зарастании нефелиновых шламов и устойчивости к сублетальным концентрациям меди, что может быть использовано при восстановлении территорий вокруг медно-никелевых производств Мурманской области.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-14-20011, https://rscf.ru/project/25-14-20011/

Список литературы

Давыдов Д. А. Специфика цианопрокариот евроазиатской Арктики на примере флоры архипелага Шпицберген: Дис. … докт. биол. наук. Новосибирск: Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 2022. 591 с.

Давыдов Д. А. Сравнительная характеристика флор цианопрокариот полярных пустынь и тундр Европы // Тр. Карел. науч. центра РАН. Сер. Биогеография. 2019. № 1. С. 3–21.

Davydov D. Cyanobacterial Diversity of the Northern Polar Ural Mountains // Diversity. 2021. Vol. 13(11). P. 607. URL: https://doi.org/10.3390/d13110607

Davydov D. A. Ecological Analysis of Cyanoprokaryotes of the Svalbard Archipelago // Contemporary Problems of Ecology. 2024a. Vol. 17. No. 4. P. 461–476. URL: https://doi.org/10.1134/S1995425524700264

Davydov D. A. Typology of cyanoprokaryotes habitats in Arctic ecosystems based on the analysis of the Svalbard archipelago flora // Ecosystem Transformation. 2024b. Vol. 7(4). P. 135–161. URL: https://doi.org/10.23859/estr-230415

Davydov D., Shalygin S., Vilnet A. New cyanobacterium *Nodosilinea svalbardensis* sp. nov. (Prochlorotrichaceae, Synechococcales) isolated from alluvium in Mimer river valley of the Svalbard archipelago // Phytotaxa. 2020. Vol. 442(2). P. 61–79. URL: https://doi.org/10.11646/phytotaxa.442.2.2

Jung P., Mikhailyuk T., Emrich D., Baumann K., Dultz S., Büdel B. Shifting boundaries: ecological and geographical range extension based on three new species in the cyanobacterial genera Cyanocohniella, Oculatella, and Aliterella // Journal of Phycology. 2020. Vol. 56. P. 1216–1231.

Raabová L., Kovacik L., Elste J., Strunecký O. Review of the genus Phormidesmis (Cyanobacteria) based on environmental, morphological, and molecular data with description of a new genus Leptodesmis // Phytotaxa. 2019. Vol. 395. P. 1–16. URL: https://doi.org/10.11646/phytotaxa.395.1.1

ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕР ОСТРОВА КИЛЬДИН

В. А. Даувальтер, П. Н. Адамская, З. И. Слуковский, И. Р. Елизарова

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
v.dauvalter@ksc.ru

Остров Кильдин расположен в 1.5 км от Мурманского берега Кольского полуострова к востоку от выхода Кольского залива Баренцева моря. Длина острова 17.6 км, ширина до 7 км. Остров представляет собой холмистое плато высотой до 280 м.

Целью впервые проведенных гидрохимических исследований является определение содержания микроэлементов в водных объектах острова Кильдин и установление основных факторов формирования микроэлементного состава этого фонового района, находящегося в Арктической зоне Российской Федерации.

Проведены исследования микроэлементного состава 12 водных объектов поверхностных вод – в 8 озерах, включая реликтовое озеро Могильное, и 4 ручьях. Пробы воды отбирались с берега водных объектов с их поверхности вследствие отсутствия лодки в пластиковые бутылочки объемом 100 мл и хранились при температуре 4 °С до проведения анализа. Микроэлементный состав определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре ELAN-9000 (PerkinElmer, США). Проводилось определение более 40 микроэлементов, включая тяжелые металлы и редкоземельные элементы (РЗЭ).

Образования острова Кильдин относятся к Тимано-Варангерской системе байкалид и представляют собой моноклинальное напластование метаморфизованных осадочных комплексов, датируемых средним, поздним рифеем и вендом. Возраст пород был определен калий-аргоновым методом по глаукониту из песчаника, и составляет 1059–762 млн лет. Кильдинский литотип представлен песчаниками (30 %), аргиллитами (19 %) и алевролитами (24 %). В его составе также определяется сульфидная минерализация, включая пирит, халькопирит и лимонит (1.5–7.8 %). В разрезе встречаются полимиктовые конглобрекчии с фосфоритовыми обломками и карбонатными стяжениями, указывающими на начальный метаморфизм. На большей части о. Кильдин коренные породы не перекрыты слоями четвертичных отложений и выходят на дневную поверхность.

На острове Кильдин находится реликтовое озеро Могильное, примечательное наличием хорошо проницаемой перемычки и проникновением морских вод, вследствие чего в озере отмечается плотностная стратификация с высокими значениями градиента плотности. Разрез воды в озере имеет несколько слоев воды разной солености, от почти пресной на поверхности (соленость не более 3 ‰) до солености более 30 ‰ в придонном слое, характеризующимся наличием анаэробной сероводородной толщи.

Исследования микроэлементного состава поверхностных вод о-ва Кильдин сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН в 2024 г. были проведены впервые. До настоящего времени химический состав воды был исследован только в оз. Могильное, и подробное его описание дано по результатам исследований сотрудников ММБИ КНЦ РАН, проведенные в 70-х гг. прошлого века. Вследствие проникновения морских вод в оз. Могильное через хорошо проницаемую перемычку, вода во всех слоях хлоридно-натриевого состава, на втором месте среди главных ионов сульфат-ион и магний. Вследствие набольших размеров озера Могильное влияние морских аэрозолей должно сказываться на формировании химического состава всех водных объектов озера, поэтому можно предполагать, что поверхностные воды здесь должны быть хлоридно-натриевого состава, как это было отмечено в озерах прибрежной зоны северо-запада Мурманской области. Но наличие карбонатных отложений и сульфидной минерализации в составе горных пород о. Кильдин может вносить свои коррективы в формирование главного ионного состава поверхностных вод острова. Например, известно, что вода подземного источника, впадающего в оз. Могильное и оказывающего опресняющее воздействие на поверхностный слой оз. Могильное, сульфатно-натриевого состава при минерализации 0.52 г/л, что не характерно для природных вод Мурманской области.

На микроэлементный состав оз. Могильное оказывает влияния просачивание морской воды, поэтому даже в опресненном поверхностном слое воды озера сохранялись особенности химического состава морской воды. Поэтому среди всех исследованных водных объектов о. Кильдин наибольшие содержания щелочных и щелочноземельных металлов (Li, Rb, Sr, Cs и Ba), а также тяжелых металлов (Ni, Cu, Co, Sb, V, Ti, Bi, U, Nb, W, Mo) зафиксировано в оз. Могильное, и они выше, чем в озерах северо-западной части Мурманской области, что, вероятно, связано с особенностями морской воды, химический состав которой характеризуется повышенным микроэлементным содержанием щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов. Содержание щелочных и щелочноземельных металлов в воде озера Могильное на 1–2 порядка выше, чем во всех других водных объектах, и также выше их концентраций в озере Большой Вудъявр Хибинского горного массива, в которое поступают стоки апатит-нефелинового производства из АО «Апатит». Апатит-нефелиновые руды характеризуются повышенным содержанием всех щелочных и щелочноземельных металлов, а также РЗЭ, поэтому сточные воды АО «Апатит» также содержат повышенные концентрации вышеперечисленных элементов.

Наибольшие содержания всех РЗЭ, а также Cd, Zr и Hf, обнаружены в воде озера Последнее, что, вероятно, связано с особенностями геохимического состава слагающих водосбор этого озера горных пород. Эти максимальные содержания также выше концентраций РЗЭ и других вышеперечисленных элементов в озере Большой Вудъявр. Высокое содержание РЗЭ, а также сопутствующих им Zr и Hf, связано, скорее всего, с наличием выходящих на поверхность острова фосфоритов. В воде озера Последнее фиксируются также высокие содержания тяжелых металлов, что связано с упомянутыми выше геохимической ассоциацией P, Mo, Pb и Cu и рудопроявлениями Zr и Cu.

Для выявления связей между содержаниями микроэлементов в поверхностных водах о. Кильдин был использован корреляционный анализ и факторный анализ методом главных компонент, традиционно применяемые для интерпретации результатов гидрохимических исследований. По результатам корреляционного и факторного анализа выявлено две группы микроэлементов и два значимых фактора, объясняющих 65 % общей дисперсии. Первая группа микроэлементов объединяет РЗЭ, Zr и Hf и основную часть тяжелых металлов (Mn, Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni и др.). Это первый фактор в факторной модели, и он объясняется влиянием особенностей геохимического состава коренных горных пород, т. е. отмеченные ранее сульфидная минерализация, геохимическая специализация фосфоритов, включающая P, РЗЭ, Zr, Pb, Cu и другие тяжелые металлы в составе сульфидов. Влияние морских аэрозолей и морских вод, поступающих в оз. Могильное и других водных объектов острова, сказалось в формировании второй группы микроэлементов – это объединение щелочных и щелочноземельных металлов (Li, Rb, Sr, Cs и Ba) и сопутствующие им V, Mo, Nb, W.

Работа выполнена в рамках темы гранта РНФ 24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ КРИОСФЕРЫ ШПИЦБЕРГЕНА ПО ИТОГАМ 10-ЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЭ-Ш

Н. Э. Демидов[1], А. Л. Борисик[1], С. Р. Веркулич[1], А. В. Гузева[2], А. Ю. Гунар[3], В. Э. Демидов[1], А. В. Кошурников[3], А. Л. Никулина[1], А. Л. Новиков[1], Ю. В. Угрюмов[1]

[1]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

В сезонных работах Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) группа изучения многолетней мерзлоты работает с 2016 г. Основная задача состоит в формировании в составе общей системы наблюдений за криосферой Шпицбергена мерзлотного полигона, на котором отслеживается динамика температурного режима мерзлых пород. Мониторинг температурного состояния многолетней мерзлоты ведется в 16 скважинах, среднегодовая температура грунтов в них варьирует в пределах от –3,5 до –2,2 °C в районе пос. Пирамида и от –3,1 до –2,6 °C в районе пос. Баренцбург. Сравнение с предшествующими данными, приведенными в монографии (Гидрогеология …, 1983), показывает, что за последние десятилетия среднегодовая температура грунтов в районе Баренцбурга практически не изменилась; в работающих с 2016 г. скважинах значимого тренда на изменение температуры также не регистрируется. Напротив, в районе Пирамиды среднегодовые температуры грунтов в советское время были ниже современных и находились в диапазоне –6,0÷–3,2 °C. Причины такого различия в реакции грунтов на синхронный рост среднегодовой температуры воздуха в Баренцбурге и Пирамиде остаются не до конца ясными. Возможно, в районе Баренцбурга грунты достигли температуры фазового перехода, что стабилизирует на некоторое время дальнейший рост их температуры перед переходом к стадии деградации мерзлоты.

Выполненные модельные оценки показали, что начало опускания кровли многолетней мерзлоты при условии сохранения текущих темпов потепления климата прогнозируется для района Баренцбурга уже в ближайшие 30 лет. Скорость опускания кровли составит около 12,5 см/год. Среди криогенных явлений, развитие которых будет активизироваться при сохранении темпов роста температуры воздуха, – оползни по сезонно-талому слою и термокарст. Оползни уже наблюдаются непосредственно над зданиями в Баренцбурге. В 2019–2022 годах в долине р. Холлендар зафиксировано новообразование термокарстовых воронок, в которые уходила часть расхода реки. С инженерных позиций повышение температуры грунтов несет в себе особенно большие риски на Пирамиде. Это связано с тем, что в этом поселке используются висячие сваи, тогда как неглубокое расположение скального основания в Баренцбурге предопределило преимущественное использование свай–стоек.

Опробование вод источников, наледей, шахтных вод, а также криопэгов, встреченных при бурении многолетнемерзлых пород, подтвердило сделанный в советское время вывод о существовании трех генетических типов подземных вод в пределах Западно-Шпицбергенского криоадартезианского бассейна. Подмерзлотные солоноватые гидрокарбонатные натриевые воды имеют минерализацию около 0,5–3,5 г/л, их питание происходит главным образом за счет донного таяния льда политермических ледников. Подмерзлотные соленые хлоридные натриевые воды морского типа с минерализацией в 30–35 г/л формируются за счет интрузии морских вод. Воды надмерзлотных таликов имеют пестрый состав, но наиболее характерным для них является сульфатный состав. Эти воды за счет выветривания пирита из коренных пород могут иметь очень низкие значения pH и обладают высокой агрессивностью по отношению к фундаментам.

Результаты бурения ледяных ядер гидролакколитов и опробования выходящих на поверхность у их подножия источников подземных вод свидетельствуют о том, что большинство гидролакколитов Западно-Шпицбергенского криоадартезианского бассейна образовано за счет промерзания мест разгрузки гидрокарбонатных натриевых вод. В нижних частях долин источником воды для ледяных ядер явились также подземные воды морского состава. Бурение гидролакколитов Фили и Нори в долине Грёндален показало, что основание ледяных ядер проморожено, а значит их рост закончен. Геометрия ядра Фили изучена не только бурением, но и детально прослежена с помощью георадиолокации. Сравнительный анализ современных изображений гидролакколитов с аэрофотосъемкой 1938 г. свидетельствует, что за неполные 100 лет их форма практически не изменилась.

Одним из главных нерешенных вопросов является увязка выявленного строения мерзлоты с историей изменения климата, оледенения и уровня моря. По данным электроразведки и бурения в нижней части долины Грёндален мерзлые породы имеют мощность всего несколько метров и подстилаются хлоридно-натриевыми криопэгами, что, по-видимому, связано с недавним выходом долины из-под уровня моря. Бурение ряда скважин в районе Баренцбурга показало, что несколькими метрами ниже сезонно-талого слоя находится геохимический барьер, на котором происходит резкое возрастание засоленности. Наличие этого барьера может быть связано с недавней эпохой более теплого климата (климатический оптимум голоцена?), в течение которой происходило более глубокое сезонное оттаивание или даже деградация мерзлоты. Одной из главных загадок является время формирования гидролакколитов – было ли их образования связано с промерзанием после выхода осадков из-под уровня моря во время его последней регрессии или промерзание было связано со сменой теплой климатической эпохи на холодную в конце климатического оптимума голоцена. Остается нерешенным вопрос о наличии субмаринной мерзлоты в мелководной части фьордов, который во многом определяется палеогеографическим сценарием. В долинах Грёндален, Грёнфиорддален, Холлендар, Мимер и Свеа в 2021 г. выполнялись электроразведочные работы методом ЗСБ с выходом на припай, по результатам которых построены геоэлектрические профили, но для их надежной интерпретации требуется постановка бурения со льда с последующей скважинной термометрией. С палеоклиматом связан также вопрос возможного поступления ртути из деградирующей мерзлоты. Анализ содержания ртути в мерзлых кернах из 15 скважин в районе Баренцбурга показал, что ее концентрация не зависит от возраста осадка и соответствующего ему палеоклимата. Отсутствие вариаций в накоплении ртути в зависимости от климата прошлого позволяет поставить под сомнение существующие прогнозы резкого поступления ртути из мерзлоты при развитии современного глобального потепления.

Список литературы

Гидрогеология, инженерная геология, геоморфология архипелага Шпицберген / Под ред. Я. В. Неизвестнова, Д. В. Семевского. Л.: ПГО «Севморгеология», 1983. С. 16–33.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАМЯТНИКАХ ПОМОРСКОЙ МАТЕРИАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН ПО МАТЕРИАЛАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА АРХЕОЛОГИИ РАН ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ

В. Л. Державин, А. Б. Колесников, А. С. Федоров, Н. В. Чалая

Институт археологии РАН, г. Москва, Россия
derzh@yandex.ru, abkolesnikov60@mail.ru, sholaland@inbox.ru, natalia.chalaya@gmail.com

Памятники поморской материальной культуры на архипелаге Шпицберген являются зримым фактом российского присутствия на полярном архипелаге с периода Позднего Средневековья/Нового времени по сегодняшний день. Основным источником новых данным об освоении архипелага поморами являются результаты археологических исследований.

Экспедиция Института археологии РАН проводит археологические исследования на архипелаге с 1978 года. С 1978 по 2022 гг. бессменным руководителем Шпицбергенской археологической экспедиции был Вадим Федорович Старков. В ходе работ В. Ф. Старкова раскопки проведены на десятках поморских становищ. Благодаря его работам сформированы коллекции археологические предметов, ставшие основой (в основном индивидуальные находки) для создания музея Помор в п. Баренцбург на архипелаге Шпицберген.

Важной особенностью археологических работ в «старковский» период была возможность проведения раскопок. С 2007 года проведение раскопок на Шпицбергене запрещено норвежским законодательством. На сегодняшний день российские археологи ограничены методами проведения археологических разведок и мониторингов без физического воздействия на памятник. Данный запрет, с одной стороны, ограничивает возможность изучения поморской материальной культуры на архипелаге Шпицберген. Однако, современные методики цифровой фиксации открывают новые горизонты для изучения памятников поморской материальной культуры.

Цель работ Шпицбергенского археологического отряда на современном этапе – изучения процесса освоения архипелага русскими поморами в XVIII–XIX вв. и российскими экспедициями XVIII–начала XX вв. посредством современных цифровых методик. Создание цифровых моделей поверхности объектов поморской материальной культуры осуществляется посредством перспективной фотосъемки с малых высот. Последующая обработка съемки выполняется в программном пакете Agisoft Metashape путем построения цифровой модели рельефа и ортофотоплана. На основе цифровых моделей поверхности создаются топографические планы памятников. Цифровая модель поверхности используется для отрисовки наблюдаемых перепадов высот и визуализации современной поверхности посредством изолиний с различным шагом.

Археологические разведки проведены на 5 памятниках в юго-западной части острова Западный Шпицберген: Земля Оскара II, Земля Норденшельда и Земля Принца Карла (остров Принца Карла).

1. Свардфьелетбеккен. Становище.

Становище Свардфьелетбеккен в районе Свартфьельстранда на земле Оскара II. Памятник открыт в 1982 г археологической экспедицией ИА РАН, однако подробно исследован не был.

На становище, расположенном в 1.4 км к югу от устья реки Свартфьельбеккен частично сохранилась деревянная постройка, удаленная на 42 м от берега моря. Постройка двухчастная, состоит из жилого помещения и сеней.

Жилое помещение представляет собой рубленную в обло с остатком постройку, от которой сохранились три нижних венца. С северной, южной и западной стороны имеется обваловка шириной 1.2–1.5 м, высотой 30 см от дневной поверхности. Внутренние размеры помещения 2.7×3 м. Вход в помещение располагался с восточной стороны, в бревне восточной стены сохранился дверной выруб шириной 80 см. Справа от входа, в северо-восточном углу располагалась печь размером около 1.2×1 м, от нее сохранился развал красного кирпича. Внутри помещения на поверхности лежат массивные деревянные плахи шириной 28–30 см и толщиной 8–9 см, вероятно, это остатки полового настила.

С восточной стороны к жилому помещению примыкали сени, от которых прослеживаются остатки северного и южного бревен длиной 2.4 и 2.7 м соответственно. Следы восточной стенки на поверхности не прослеживаются. Общие размеры помещения составляли 2.8×3м. Сени, вероятно, представляли собой каркасно-столбовую конструкцию, в юго-западном углу обнаружены следы вертикально вкопанного столба.

2. Кофьоэйра. Основание креста.

Основание поморского креста на побережье равнины Кофьоэйра на земле Оскара II.

Памятник находится в районе мыса Ойрнес, в 1 км к югу от устья реки Ойрнесбеккен. Крест был установлен на краю второй береговой террасы высотой около 4 м над уровнем моря. От креста сохранилась нижняя часть высотой 21 см, имеющая в настоящее время подпрямоугольную форму 12.5×12 см, часть внешних колец не сохранилась. Вокруг креста сохранилась земляная насыпь размером около 1.2×1.2 м и высотой около 15 см.

3. Селвоген. Становище.

Становище Селвоген на южном берегу бухты Селвоген на Земле Принца Карла.

Становище расположено в 1.6 км к западу от мыса Дэйвспюнтен на низкой береговой террасе в 30 м от берега моря.

На территории, протяженностью 60 м вдоль берега моря и шириной 10–15 м располагается подъемный материал, относящийся к поморскому зимовью. Площадка частично перекрыта современными делювиальными отложениями из гравия и песка

Среди обнаруженного материала особое внимание привлекает скопление красного кирпича и его обломков, которые, вероятно, относятся к развалу печи жилища разрушенного зимовья. Следов конструкций на дневной поверхности зафиксировать не удалось. Помимо развала печи на прилегающей территории зафиксированы отдельные кирпичи, клепки от бочек, деревянные детали с нагелями, прочие деревянные фрагменты, в том числе с железными гвоздями четырехгранного сечения.

4. Селвоген. Погребение.

Погребение Селвоген расположено на южном берегу бухты Селвоген на Земле Принца Карла.

Памятник расположен в 2 км к западу от мыса Дэйвспюнтен и в 450 м к западу от остатков Становище Селвоген. На небольшом скалистом мысе обнаружена выкладка из крупных камней, квадратной формы размером 2×2 м. Внутри выкладки располагается земляная (могильная?) насыпь размерами 1.4×0.6 м и высотой 20–30 см. На насыпи лежат 2 крупных камня.

От креста сохранилась нижняя часть высотой 21 см, имеющая в настоящее время подпрямоугольную форму 12.5×12 см, часть внешних колец не сохранилась. Вокруг креста сохранилась земляная насыпь высотой 15 см. В юго-западной части выкладки найдены остатки вертикально вкопанной доски 3×9 см и высотой 10 см (остатки креста?).

Определить культурную принадлежность памятника затруднительно.

5. Херфьельступет. Шахта.

Шахта Херфьельступет расположена северном склоне горы Херфьельступет в 6 км южнее поселка Баренцбург и в 1 км к востоку от мыса Ларвикпюнтен.

Памятник представляет собой разрушенный вход в шахту начала XX века. Вход шахты устроен в виде прямоугольной крепи шириной 1.2 м из бревен диаметром около 15 см, верхняя балка проломилась под весом породы, обрушив всю входную зону. Помимо основных балок крепей так же прослеживаются доски перекрытия и распорок. На месте входа фиксируются обломки деревянной конструкции, засыпанные обломками скальной породы.

При входе располагается заявочный знак – стальная табличка размером 35×25 см с буквами “F H” в верхней строке и цифрами “1908” в нижней. Буквы и цифры выполнены перфорацией. Знак закреплен на стальной стойке из Г-образного профиля с помощью заклепок. Высота стойки 50 см, она наклонена под углом 60^{o} к земле.

Перед входом шахты, на площадке 5×5 м лежат в большом количестве доски и фрагменты конструкций, проволока, веревки. Фрагменты древесины так же обнаруживаются вниз по склону в сторону Грёндален.

Шахта относится к началу XX в и была заложена для геологической разведки.

На основании созданных цифровых моделей поверхности объектов поморской материальной культуры осуществляется мониторинг современного состояния памятников. При сопоставлении его с результатами прошлых лет сделан вывод, что в результате воздействия природных факторов происходит медленное, но неуклонное разрушение определенной части археологических памятников. Поэтому, ежегодный мониторинг археологических объектов представляется актуальным, поскольку степень разрушения памятников каждый год может иметь различную степень интенсивности.

Все сведения, касающиеся сохранности археологических памятников отправляются в Контору Губернатора Свальбарда. И, в случае серьезного аварийного состояния памятника, норвежская администрация, в идеале, должна принять меры по обеспечению его сохранности. Однако в современных политических условиях, когда Норвегия объявлена недружественной страной, контакты с норвежской администрацией становятся проблематичными.

Список литературы

Державин В. Л. Раскопки поселения Кокеринесет в 2007–2008 гг. // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Матер. VIII Всерос. Щколы п морской биологии и IX Междунар. науч. конф. «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген» (Мурманск, 12–14 ноября 2009 г.). М.: Геос, 2009. С. 229–241.

Державин В. Л., Колесников А. Б. Археологическая коллекция музея Помор на Шпицбергене. М.: ИА РАН, 2020. 160 с.

Самойлович Р. Л. Остров Шпицберген и первая русская научно-промысловая экспедиция. Архангельск, 1913. 38 с.

Старков В. Ф. Отчет о работах Шпицбергенской экспедиции в 1978 г. Баренцбург–Москва, 1981. Архив ИА РАН, Р-1, № 8378.

Старков В. Ф. Первые археологические раскопки на архипелаге Шпицберген. М.: Таус, 2011. 127 с.

Старков В. Ф., Черносвитов, П. Ю., Державин В. Л., Захаров В. Г.,Звягин В. Н., Шарин В. В. Материальная культура русских поморов. Вып. II. Поселения и погребения. М.: Научный мир, 2005. 212 с.

Старков В. Ф., Державин В. Л., Захаров В. Г. Материальная культура русских поморов по данным исследований на архипелаге Шпицберген. Вып. III. Жилищно-хозяйственные комплексы. М.: Научный мир, 2007. 152 с.

Jasinski M. E., Pękala K. The Svarthameren Archaeological Site Complex at Robert River, Recherchefjorden – Spitsbergen. Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen. UMCS, Lublin, 1994.

Conway M. No man′s land. Cambridge. 1906. 377 p.

Christiannsen H. The russian Settlement at Russekeila and land Rise in Spitsbergen // Arctic-Journal of the Arctic Institute of North Amerika. 1961. P. 112–118.

О ВАРИАЦИЯХ МИКРОКЛИМАТА И СОЗДАНИИ ДЛИННОГО РЯДА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В БАРЕНЦБУРГЕ

В. И. Демин[1,2], Б. В. Иванов[2,3], М. В. Колосова[1], А. М. Масловский[1]

[1]Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
demin@pgia.ru

Ряд приземной температуры воздуха (ПТВ), полученный в Баренцбурге, является самым длинным среди всех имеющихся на Шпицбергене и методически однородным (Demin et al., 2024). Представляется важным и то обстоятельство, что менее, чем в 1.5 км от современного положения гидрометеорологической обсерватории (ГМО), в 1911–1930 гг. на мысе Финнесет работала норвежская метеорологическая станция (МС) «Green Harbor» (GH). Близкое расстояние ГМО и GH (фактически в пределах прямой видимости) предполагает и схожий характер изменений климата. Однако прямое объединение рядов GH и ГМО для создания композитного ряда ПТВ сталкивается с рядом трудностей, обусловленных разным микроклиматом, наблюдаемым в местах их расположения. Мыс Финнесет представляет собой низменный прибрежный участок, в то время как ГМО всегда располагалась на склоне восточного берега залива Грён-фьорд. Суммарный тепловой эффект от влияния рельефа и залива предсказать трудно, так как их воздействие может быть противоположным по знаку. Например, в холодное время года в районе GH можно ожидать более низких, по сравнению с ГМО, значений ПТВ за счет стока холодного воздуха с прилегающих склонов. В то же время, в безледные периоды зимой в районе GH должно быть более сильным отепляющее воздействие Грён-фьорда.

Традиционная процедура создания композитных рядов предусматривает проведение серии параллельных измерений для последующего перерасчета (расчета) более ранних значений ПТВ. По результатам таких серий, выполненных в 2013/14 и 2024/25 гг., было обнаружено, что на мысе Финнесет теплее, чем в районе ГМО «Баренцбург»: зимой примерно на 0.6–0.8 °С, а летом на 0.3 °С. В зимний период разность не зависит от времени суток. Летом она максимальна в ночные часы, а в послеполуденные приближается к нулю или даже становится немного отрицательной. Такой сезонный и суточный характер разностей ПТВ возможен только за счет отепляющего воздействия Грён-фьорда. Необходимо отметить, что серии измерений 2013/14 и 2024/25 гг. были проведены на фоне относительно высоких зимних ПТВ и при отсутствии устойчивого припая на акватории залива (наблюдались только начальные виды льда в мелководной его части). Очевидно, что климатические условия этих лет, не соответствовали ледовому и температурному режиму, которые наблюдались здесь в 1911–1920-е гг., когда среднемесячные зимние ПТВ опускались ниже –25…–20 °С, а Грён-фьорд замерзал.

Пример таких условий можно найти в норвежском поселке Sveagruva (Ван-Майен-фьорд, ~62 км юго-восточнее Баренцбурга). Наличие выраженного препятствия в виде острова Аксель, расположенного поперек вышеназванного фьорда, ограничивает поступление теплых вод Западно-Шпицбергенского течения во внутренние района фьорда, что делает его более холодным, по сравнению с другие фьордами острова Западный Шпицберген. Морской ледяной покров, формирующийся в этом фьорде, существует более продолжительный период времени и остается более стабильным. Сравнительная серия измерений ПТВ, выполненная в 2016–2019 гг., показала, что замерзшая поверхность фьорда в районе поселка Sveagruva служит местом аккумуляции стекающего с окружающих склонов холодного воздуха: зимние ПТВ на прибрежном участке были в среднем на 1.0–1.4 °С ниже, чем на возвышенном (50 м н.у.м.), расположенном на расстоянии, порядка, 1 км от первого. Такое же явление, по всей видимости, должно наблюдаться в суровые зимы и в районе Баренцбурга. Действительно, в более холодные по сравнению с современным периодом 1970–1980-е гг., значения ПТВ в районе аэрологической станции (АС) в Баренцбурге, которая располагалась на высоте 20 м н.у.м. и гораздо ближе к заливу, чем площадки ГМО, ПТВ оказались в среднем ниже, чем на ГМО (Demin et al., 2024). Отепляющий эффект Грён-фьорда из-за льда оказался слабее, чем в зимние сезоны 2013/14 и 2024/25 гг. Распределение ПТВ в районе Баренцбурга оказывается зависящим от теплообмена между водами залива и атмосферой над ним. Тесная связь температурного режима приземной атмосферы с притоком атлантических вод во внутренние районы фьордов острова Западный Шпицберген показана в известной работе (Skogseth et al., 2020). Соотношения между ПТВ на МС, расположенных даже недалеко друг от друга, полученные в одну из климатических эпох, могут оказаться непригодными для использования в другие эпохи.

Из-за отсутствия данных наблюдений примем, в первом приближении, что средний перепад значений ПТВ в слое от GH (8 м н.у.м.) к ГМО (74 м н.у.м), примерно такой же, как от района АС (20 м н.у.м.) к ГМО, наблюдавшийся в 1970–1980-е гг. Это позволяет оценить возможные поправки для приведения значений ПТВ на GH к показаниям ГМО. При значениях ПТВ выше –10 °С эти поправки невелики и отрицательные (~ –0.5 °С), а при значениях ПТВ ниже –10…–15 °С – положительные и увеличиваются до 1.7 °С при понижении ПТВ до –20…–30 °С.

Поправками в пределах 0.5 °C (включая и летние), как нам кажется, можно пренебречь, особенно на фоне сильных (многоградусных) многолетних изменений ПТВ. В очевидной коррекции нуждаются только те периоды, когда среднемесячные значения ПТВ были ниже –20 °C. Предложенные поправки для приведения показаний GH к показаниям ГМО следует рассматривать как приблизительные. Получить точные значения в ближайшие десятилетия не представляется возможным, так как потребуется многолетний холодный период с полностью замерзающим заливом Грëн-фьорд, что едва ли возможно в условиях наблюдаемого устойчивого потепления климата.

Несмотря на приблизительный характер поправок, композитный ряд среднемесячных ПТВ на ГМО следует считать более надежными по сравнению с композитным рядом ПТВ на МС «Svalbard Airport». Во-первых, ряд оригинальных (инструментальных) значений ПТВ в ГМО «Баренцбург» намного длиннее: прямые измерения ПТВ на МС «Svalbard Airport» начинается только с 1975 г., а более ранние данные – расчетные. Расчет всегда сопровождается появлением ошибки. Во-вторых, собственно расчет ранних значений ПТВ для МС «Svalbard Airport» происходил как раз по данным ГМО «Баренцбург» и GH, т. е. в этих рядах содержится аналогичные неопределенности, о которой говорилось выше. Причем в данном случае они должны быть даже больше численно из-за значительной удаленности Баренцбурга и МС «Svalbard Airport» (~35 км).

Работа выполнена в рамках проекта 5.1.4. «Мониторинг состояния и загрязнения природной среды, включая криосферу, в Арктическом бассейне и районах научно-исследовательского стационара “Ледовая база Мыс Баранова”, Гидрометеорологической обсерватории Тикси и Российского научного центра на архипелаге Шпицберген» Плана НИТР/ОПР Росгидромета.

Список литературы

Demin V. I., Ivanov B. V., Karandasheva T. K. et al. Testing the homogeneity of climate series of surface air temperature in Barentsburg (Svalbard) // Czech Polar Report. 2024. Vol. 14. No. 2. URL: https://doi.org/10.5817/CPR2024-2-17

Skogseth R., Olivier L. L. A., Nilsen F., Falck E., Fraser N., Tverberg V., Ivanov B. et al. Variability and decadal trends in the Isfjorden (Svalbard) ocean climate and circulation – An indicator for climate change in the European Arctic // Progress in Oceanography. 2020. 187. 102394.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СООБЩЕСТВ ПОЛИХЕТ В ЗАЛИВЕ ИС-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Д. Р. Дикаева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
dinara.dikaeva@yandex.ru

Со стороны океана в заливы архипелага Шпицберген поступают теплые соленые атлантические воды, а со стороны суши в результате таяния ледников – холодные пресные воды и большое количество моренного материала. В результате климатических флуктуаций фьорды архипелага Шпицберген претерпевают серьезные изменения. В последние десятилетия наблюдается тенденция сокращения морского ледяного покрова и значительное отступление приливных ледников (Мавлюдов, 2012; Мавлюдов, Кудиков, 2018). Усиление ледниковой активности приводит к увеличению минеральной взвеси и высокой скорости седементации в приледниковых морских бассейнах Шпицбергена (Митяев М. В, Погодина И. А., Герасимова М. В., 2005; Тарасов Г. А., 2009; Мещеряков Н. И., 2017). Изменения условий среды особенно наглядно отражается на видовом составе и количественных характеристиках донных беспозвоночных, в том числе полихет – одной их многочисленных групп донных беспозвоночных.

В результате экспедиционных исследований ММБИ в ноябре 2021 г. были продолжены исследования по изучению полихет в районе Западного Шпицбергена, с целью выявления изменений в структуре сообществ полихет в разные периоды исследований (Дикаева Д. Р., Фролова Е. А., 2014; Дикаева Д. Р., Фролова Е. А., 2018; Дикаева Д. Р., 2023).

Материалом послужили 57 количественных проб с 19 станций, собранные с борта научно-исследовательского судна НИС «Дальние Зеленцы» в ходе комплексной экспедиции Мурманского биологического института в ноябре, декабре 2021 г. Отбор проб с глубины от 48 до 335 м производили дночерпателем ван-Вина (площадь захвата 0.1 м^2) в 3-кратной повторности. Собранный грунт промывали через капроновое сито с размером ячеи 0.75 мм, фиксировали 4 %-м формалином с последующим переводом беспозвоночных в 70 %-й спирт.

В районе исследования отмечено 94 таксона многощетинковых червей, из них 76 определены до вида. Количество видов на станции варьировало от 14 до 59 видов. Биомасса полихет в районе исследования варьировала от 4,5 до 142 г/м^2, плотность поселения изменялась от 130 до 5403 экз./м^2. Высокие значения биомассы и плотности поселения отмечены в заливе Грён-фьорд на илисто-песчаных, глинистых грунтах с камнями и галькой. В районе исследования на глубине от 137 до 335 м на мягких илисто-глинистых грунтах отмечен комплекс с доминированием *M. sarsi.* Комплекс с доминированием *Spiochaetopterus typicus* отмечен на станциях во внешней и внутренней части залива Ис-фьорд на илисто-песчаных, глинистых грунтах, на глубине от 191 до 263 м. Во внутренней части залива Ис-фьорд на глубине 230–246 м на илисто-песчаных, глинистых грунтах с камнями отмечено доминирование полихет семейства Lumbrineridae.

Анализ полученных результатов показал, что доминирующий вид *Maldane sarsi* также как в предыдущих исследованиях (Дикаева Д. Р., Фролова Е. А., 2014; Дикаева Д. Р., Фролова Е. А., 2018; Дикаева Д. Р., 2023) приурочен к глубоководным районам залива Ис-фьорд и Грён-фьорд, где на илисто-песчаных, глинистых грунтах с небольшим количеством камней созданы благоприятные условия для развития полихет, что приводит к высоким значениям биомассы и плотности поселения. Сравнивая полученные результаты с данными предыдущих исследований, отмечены некоторые изменения в составе доминирующих видов в заливе Грён-фьорд. В августе 2001, 2002, 2003, 2008 гг. в кутовой части залива отмечено доминирование по доли интенсивности метаболизма видов оппортунистов сем. Cirratulidae, доминирующих в районах с высокой концентрацией минеральной взвеси. В 2015, 2019 гг. при продвижении от внешней к кутовой части залива Грён-фьорд на глубине от 71 до 87 м отмечено доминирование вида *Maldane sarsi,* в 2021 г. в кутовой части залива на глубине 48 м доминирующим видом выступает *Leitoscoloplos acutus.* Данные изменения вероятно связаны с разной глубиной и сезонами отбора проб. В 2001, 2002, 2003, 2008 годах пробы были отобраны на небольшой глубине (37–67 м) в летний сезон (июль–август), в период интенсивного поступления осадочного материала в кутовую часть залива в результате речного и ледникового стока, что привело к доминированию мелких видов оппортунистов сем. Cirratulidae. В современные периоды исследования (2015, 2019 гг.) в кутовой части залива Грён-фьорд пробы были отобраны на больших глубинах (71–128 м), где доминирующим видом выступает *Maldane sarsi.* Настоящее исследование (2021 г.) проведено в зимний период на небольшой глубине (48 м), когда вынос осадочного вещества минимален из-за замерзания речной системы и снижения стока талых ледниковых вод, доминирующими видами в кутовой части залива выступает вид *Leitoscoloplos acutus*.

В районе залива Ис-фьорд отмечено постоянство донных сообществ полихет с доминированием на мягких илисто-глинистых грунтах детритофага *Maldane sarsi*. Нестабильные условия среды во внутренних «приледниковых» районах Шпицбергена обуславливают разнообразие донных сообществ полихет, отличающихся невысокими значениями биомассы, но высокой плотностью поселения, за счет мелких видов, с часто сменяющимися поколениями.

Список литературы

Дикаева Д. Р. Распределение сообществ полихет в районе Западного Шпицбергена // Известия РАН. Серия биологическая. 2023. № 5. С. 546–556.

Дикаева Д. Р., Фролова Е. А. Распределение сообществ полихет в районе Западного Шпицбергена в зимний период (декабрь 2015 г.) // Доклады Академии Наук. 2018. Т. 480, № 5. С. 1–5.

Дикаева Д. Р., Фролова Е. А. Современное распределение сообществ полихет во фьордах Западного Шпицбергена // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 119–127.

Мавлюдов Б. Р. Влияние изменения климата на ледники земли Норденшельда, Шпицберген // Комплексные исследования природы архипелага Шпицбергена: Матер. междунар. науч. конф. М.: ГЕОС, 2012. Вып. 11. С. 160–164.

Мавлюдов Б. Р., Кудиков А. В. Изменение ледника Альдегонда с начала XX века // Комплексные исследования природы архипелага Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. С. 72–73.

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

Митяев М. В., Погодина И. А., Герасимова М. В. Фациальная изменчивость современных отложений залива Грён-фьорд, Западный Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Пятой междунар. конф., Мурманск, октябрь 2005 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. Вып. 5. С. 190–202.

Тарасов Г. А. Современное водно-ледниковое осадкообразование в заливе Грён-фьорд (Шпицберген) // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Матер. VIII Всерос. школы по морской биологии и IX междунар. науч. конф. «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген», Мурманск, 12–14 ноября 2009 г. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 394–400.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НА ШИРОТАХ ШПИЦБЕРГЕНА

И. В. Дэспирак[1], А. А. Любчич[1], Н. Г. Клейменова[2], П. В. Сецко[1]

[1]Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
[2]Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия
despirak@gmail.com

Известно, что геомагнитные возмущения являются отражением вариаций космической погоды. Наиболее сильные геомагнитные возмущения наблюдаются в вечернее и ночное время и связаны с развитием суббурь. Под термином «суббуря» понимается комплекс глобальных взаимосвязанных явлений, наблюдаемых в магнитосфере, ионосфере и на земной поверхности, возникающих при взрывообразном высвобождении энергии, накопленной в хвосте магнитосферы за счет её обтекания возмущенным солнечного ветром. Одним из основных проявлений магнитосферной суббури являются отрицательные магнитные бухты в авроральных и приполярных широтах длительностью 1–3 часа. Фаза развития суббури инициируется поворотом межпланетного магнитного поля к югу, что приводит к увеличению поступления энергии солнечного ветра в магнитосферу вследствие магнитного пересоединения. Как было установлено, суббуря может начаться только в том случае, если поступление энергии в магнитосферу превышает соответствующий порог накопления энергии. Триггерами суббури могут быть импульсы давления солнечного ветра, поворот Bz-компоненты межпланетного магнитного поля к северу и т. д. За долгую историю исследований суббурь было установлено, что суббури могут возникать в различных условиях космической погоды, как в очень возмущенных условиях, во время развития очень сильной магнитной бури, так и в спокойных условиях.

Иногда суббуревые возмущения могут наблюдаться на высоких геомагнитных широтах, в том числе и на широтах архипелага Шпицберген (75.17° N, 113.15° E). В нашей работе анализируются геомагнитные возмущения на широтах Шпицбергена в зависимости от крупномасштабной структуры солнечного ветра, а именно от трех основных типов: потоков, связанных с выбросами корональной массы Солнца, называемых межпланетными выбросами корональной массы (*ICME – interplanetary coronal mass ejection*), рекуррентных высокоскоростных потоков (*HSS – high speed streams*) из корональных дыр и медленного солнечного ветра (*SSW – slow solar wind*).

Геомагнитные возмущения анализировались с использованием данных наземных магнитометров сети IMAGE (https://space.fmi.fi/image/) и сети SuperMAG (http://supermag.jhuapl.edu/).

Меридиональная цепь NUR–NAL сети IMAGE использовалась для контроля широтного развития суббурь. Эта меридиональная цепь расположена на геомагнитных широтах от 56.9° до 75.25° MLAT. Для определения типа солнечного ветра мы использовали каталог крупномасштабных явлений (ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/) и базу данных OMNI.

Показано, что суббуревые возмущения могут появиться на широтах Шпицбергена в двух разных случаях. Первый случай: суббуря начинается на широтах авроральной зоны, далее происходит распространение возмущений к полюсу, и в максимуме фазы экспансии магнитные возмущения, так же, как и полярные сияния, достигают очень высоких геомагнитных широт (> 75°), такого типа возмущения обычно называются «высокоширотными» суббурями и связаны с рекуррентными потоками солнечного ветра из корональных дыр. Второй случай: суббуря начинается на геомагнитных широтах выше 71°, далее происходит экспансия к полюсу, до очень высоких широт, причем на широтах ниже 70° какие-либо суббуревые возмущения отсутствуют. Такие случаи были названы «полярными» суббурями, которые наблюдаются около полярной границы аврорального овала и связаны с медленными потоками солнечного ветра.

ЛИТОРАЛЬНАЯ ФАУНА ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) В 2016–2025 гг.: СОСТАВ, КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА

О. Л. Зимина[1,2]

[1]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
o.l.zimina@gmail.com

Литоральная зона высокоширотных арктических архипелагов значительно беднее, чем в более южных регионах Арктики. Это связано с тем, что эта зона большую часть года подвержена влиянию негативных факторов среды, таких как низкие температуры и механическое воздействие льдов, а в летнее время – опреснение ледниковыми стоками. Хорошо изучена литоральная зона арктического побережья Евразии, Северной Америки, Гренландии, в том числе в вопросах влияния как природных, так и антропогенных факторов на состав и структуру сообществ. Изучению литорали Шпицбергена также посвящен ряд работ, в которых отражены качественный и количественный состав макро- и мейофауны (Ambrose et al., 1988; Weslavski et al., 1993; Weslavski et al., 1997; Szymelfenig et al., 1997; Kotwicki et al., 2005; Urban-Malinga et al., 2005). Большинство исследований относятся к периоду до первой декады 2000-х годов. В последние десятилетия отмечается значительное повышение среднегодовой температуры воздуха и морской воды в районе Шпицбергена, что не может не отражаться на состоянии среды и сообществ литоральной зоны (Weslavski et al., 2010; Mesheryakov et al, 2024). Сведения о составе и количественном распределении литоральной фауны Грён-фьорда очень скудны. В экспедициях Мурманского морского биологического института, проводимых с 1995 года, на литорали осуществлялись в основном качественные сборы (Фролова и др., 2005). Первые сведения о состоянии литоральной фауны Шпицбергена в зимне-весенний период получены в экспедиции Мурманского морского биологического института 2016 году (Зимина, Мещеряков, 2017).

Материал и методика. Литоральная зона залива Грён-фьорд была исследована в марте и июле 2018 г., а также в мае 2025 г. в ходе береговых экспедиций Мурманского морского биологического института. Материал в каждой экспедиции собран на пяти разрезах, повторяющих разрезы 2016 года, с целью выявления временных и сезонных изменений в литоральных сообществах. Методика сбора и обработки проб также соответствовала методике 2016 г. (Зимина, Мещеряков, 2017).

Результаты и обсуждение. За весь период исследований 2016–2025 гг. на исследованных разрезах отмечено 48 таксонов беспозвоночных, относящихся к 8 типам. Максимальное разнообразие и количественные показатели во все исследованные года и сезоны наблюдались на разрезах 4 и 7.

Средняя численность беспозвоночных на обследованных разрезах в весенний период 2016 г. изменялась от 40 до 9300 экз./м^2 (Зимина, Мещеряков, 2017), в весенний период 2018 г. от 670 до 27000 экз./м^2, в летний период 2018 г. от 100 до 164000 экз./м^2, в весенний период 2025 г. от 65 до 276000 экз./м^2. Средняя биомасса в весенний период 2016 г. изменялась от 0.044 до 19.036 г/м^2 (Зимина, Мещеряков, 2017), в весенний период 2018 г. – от 0.737 до 87.553 г/м^2, в летний период 2018 г. – от 0.145 до 90.263 г/м^2, в весенний период 2025 г. – от 0.016 до 203.381 г/м^2.

Средняя численность и биомасса беспозвоночных весной 2018 года на всех обследованных разрезах были значительно выше, чем в 2016 г. Условия среды также отличались: особенностью 2018 г. было наличие припайного льда толщиной 30–50 см на литорали вдоль всей береговой линии фьорда, а также ледовый покров от кутовой до средней части фьорда, установившийся в начале марта. Подо льдом в кутовой и средней части залива (разрезы 4, 7 и 8) формируются специфические температурные условия, что не позволяет грунту промерзать во время отлива и литоральные животные находятся в более благоприятной среде. Возможно поэтому олигохеты были отмечены в значительном количестве и в горизонтах, которые в 2016 году были безжизненны (разрезы 1 и 2).

Отличие структуры литорального населения летом 2018 года особенно заметно на разрезах 4 и 8, где существенно уменьшилось количество взрослых особей *Semibalanus balanoides*, что вероятно связано с механическим уничтожением последних припайным льдом, который присутствовал на литорали весной. При этом отмечено большое количество свежеосевшей молоди балянусов, что свидетельствует о большом потенциале популяции к восстановлению после неблагоприятных условий предыдущих сезонов.

Весной 2025 года на всех разрезах отмечены очень высокие численности беспозвоночных, сравнимые и превышающие значения, полученные в предыдущие годы, в том числе и в летний период 2018 г. Возможно, увеличение численности беспозвоночных связано с отсутствием припайного льда в зимне-весенний период 2025 г. и благоприятными температурными условиями. При этом существенных различий в качественном составе фауны не отмечено.

В целом наблюдается устойчивая тенденция увеличения численности и биомассы литоральных беспозвоночных на исследованных разрезах в период с 2016 по 2025 гг. Наибольшее увеличение количественных показателей характерно для нематод, олигохет, брюхоногих *Littorina saxatilis* и полихет *Fabricia stellaris*.

Список литературы

Зимина О. Л., Мещеряков Н. И. Количественная характеристика литоральной фауны залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) в зимне-весенний период 2016 г. // Доклады академии наук. 2017. Т. 474, № 2. С. 259–263.

Фролова Е. А., Гарбуль Е. А., Гудимов А. В., Фролов А. А. Донные биоценозы залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Сб. матер. Пятой Международной конференции. Апатиты, 2005. С. 480–499.

Ambrose W. G., Leinaas H. P. Intertidal Soft-Bottom Communities on the West Coast of Spitsbergen // Polar Biology. 1988. Vol. 8. P. 393–395.

Kotwicki L., Szymelfenig M., De Troch M., Urban-Malinga B., Weslawski J. M. Latitudinal biodiversity patterns of meiofauna from sandy littoral beaches // Biodiversity and Conservation. 2005. Vol. 14. P. 461–474.

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. Vol. 32, No. 5. P. 631–645.

Szymelfenig M., Kwagniewski S., Weslawski J. M. Intertidal zone of Svalbard. 2. Meiobenthos density and occurrence // Polar biology. 1997. Vol. 15. P. 137–141.

Urban-Malinga B., Wiktor J., Jablonska A., Moens T. Intertidal meiofauna of a high-latitude glacial Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) with emphasis on the structure of free-living nematode communities // Polar biology. 2005. Vol. 28. P. 940–950.

Weslawski J. M., Zajaczkowski M., Wiktor J., Szymelfenig M. Intertidal zone of Svalbard. 3. Littoral of a subarctic, oceanic island: Bjornoya // Polar biology. 1997. Vol. 18. P. 45–52.

Weslawski J. M., Wiktor J., Zajaczkowski M., Swerpel S. Intertidal zone of Svalbard. 1. Macroorganism distribution and biomass // Polar biology. 1993. Vol. 13. P. 73–79.

ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Н. С. Иванова, И. С. Усягина, Н. И. Мещеряков

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
ivanona_ns@mmbi.info

Залив Грён-фьорд, расположенный в юго-западной части Ис-фьорда (Западный Шпицберген), представляет собой уникальный объект для изучения процессов осадконакопления в условиях быстро меняющегося арктического климата. В последние десятилетия этот регион испытывает одни из наиболее интенсивных климатических изменений на планете – темпы потепления здесь в 4 раза превышают среднемировые показатели (Nordli et al., 2014). Это приводит к интенсивному таянию ледников и увеличению выноса терригенного материала флювиогляциальными потоками (Тарасов и др., 2000; Svendsen et al., 2002), что оказывает влияние на условия морского осадконакопления и режим седиментации в бассейнах архипелага (Meshcheriakov, 2025).

Ледниковый сток оказывает значительное влияние на осадконакопление в южной части залива, так как в нее разгружаются ледники Западный и Восточный Грён-фьорд, Янсон, Баалсруд и Альдегонда. Таким образом, донные отложения кутовой части залива могут служить индикатором динамики дегляциации западной периферии Земли Норденшельда и текущих изменений климатических параметров на арх. Шпицберген. В настоящей работе проведена реконструкция динамики осадконакопления в южной части залива за последние 100–150 лет с помощью методов радиоизотопного датирования по неравновесному ^{210}Pb.

Для исследования пространственной изменчивости осадконакопления были выбраны пять точек на разном расстоянии от источников поступления флювиогляциальных потоков в залив. Точка РК-1 (глубина 29 м) – ближайшая к устью реки Грён-фьорд (200 м), точка РК-2 (глубина 48 м) – расположена в 400 м от устья реки, точка КЗ-1 (глубина 58 м) – находится в 500 м от устья реки Бретъёрна, точки КЗ-3 (глубина 85 м) и КЗ-4 (глубина 73 м) расположенные от устьевых зон водотоков кутовой части залива на удалении 2 км и 3 км соответственно.

Колонки донных отложений были отобраны в ходе в экспедиции ММБИ РАН на архипелаг Шпицберген в августе 2023 г. Отбор проб проводился с борта лодки Zodiac Mark-3 с использованием гравитационной трубки ГОИН 2.0. Первичную обработку выполняли на биогеостанции ММБИ РАН (пос. Баренцбург). Колонки разрезали керамическим ножом на слои по 2–3 см. Полученные образцы донных отложений подвергали лиофильной сушке на оборудовании Alpha 1-4LDPlus Martin Christ в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш в пос. Баренцбург. Радиометрический и гранулометрический анализы проб проводили в лаборатории океанографии и радиоэкологии ММБИ РАН.

Гранулометрический анализ донных отложений залива Грён-фьорд выявил сложную пространственно-временную динамику седиментационных процессов. Исследованные колонки демонстрируют выраженную стратиграфическую дифференциацию, отражающую изменение условий осадконакопления под влиянием климатических и гидрологических факторов. Результаты радиоизотопного анализа пяти колонок позволили оценить хронологию седиментационных процессов в заливе Грён-фьорд с конца XIX по начало XXI вв. Радиометрический анализ выявил значительные различия в возрасте вскрытых осадочных толщ: от 12 лет в точке РК-1 (28 см) до 183 лет в точке КЗ-4 (35 см), что отражает пространственную неоднородность темпов осадконакопления в заливе. Приустьевые колонки РК-1 и РК-2 характеризуются значительно более высокими скоростями седиментации (2,4 см/год и 1,6 см/год соответственно) в то время, как средние темпы осадконакопления в самой удаленной точке КЗ-4 составляют всего 0,17 см/год. Такие существенные различия в скоростях седиментации подчеркивают ключевую роль флювиогляциального стока в формировании донных отложений залива.

Список литературы

Тарасов Г. А., Погодина И. А., Хасанкаев В. Б., Кукина Н. А., Митяев М. В. Процессы седиментации на гляциальных шельфах. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 473 с.

Meshcheriakov N. I. Influence of climate change on sedimentation processes of the Spitsbergen archipelago in the late holocen (on the example of the little ice age and modern warming). Stratigraphy and Geological Correlation, 2025. *принята к печати*

Nordli Ø., Przybylak R., Ogilvie A. E. J., Isaksen K. Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898–2012 // Polar Res. 2014. Vol. 33. P. 21349.

Svendsen H., Beszczynska A., Lafauconnier B., Tverberg V., Gerland S., Hagen J., Orbeak O., Bischof J. B., Papucci C., Zajaczkowski M., Azzolini R., Bruland O., Wiencke C., Whinther J. G., Hodson A., Mumford P. The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden: an Arctic fjord system in Svalbard // Polar Res. 2002. Vol. 21. No. 1. P. 133–166.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН И РЕГИОНА БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

Б. В. Иванов[1,2], В. И. Демин[3], Т. К. Карандашева[1], А. Ф. Ревина[1], И. А. Ильющенкова[1]

[1]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

В последние десятилетия на арх. Шпицберген и в Арктике в целом наблюдаются значительные климатические изменения, которые получили название «Арктическое усиление». Оно проявляется в том, что потепление климата здесь протекает в 2–3 раза быстрее, чем в умеренных широтах. В связи с этим исследования климата Арктики и отдельных ее регионов становятся крайне актуальными и востребованными в связи с разработкой перспективных программ развития арктических регионов. Для периода современной климатической нормы 1991–2020 гг. по данным более чем 30 метеорологических станций (МС), отражающих многообразие климатических условий исследуемого региона, дана количественная оценка изменений и изменчивости приземной температуры воздуха (ПТВ, °С) и проведено его районирование по показателям термического режима. В качестве показателей изменений термического режима приняты среднемесячные значения ПТВ, изменчивости – среднеквадратические отклонения (СКО) среднемесячных ПТВ от линейных трендов. Годовой ход ПТВ (один максимум и один минимум) отражает в основном радиационный фактор. Годовой ход СКО (в северной части региона один максимум и один минимум, в южной – два максимума и два минимума) отражает особенности атмосферной циркуляции и характера подстилающей поверхности. Естественные климатические сезоны, выявленные при совместном анализе ПТВ и СКО, уточняют общее представление о климате Западного сектора Арктики и архипелага Шпицберген и хорошо согласуются с результатами предыдущих исследований.

Для арх. Шпицберген, по данным ГМО «Баренцбург», проведена оценка временных тенденций рядов ПТВ для календарных месяцев и года в целом дл всего периода регулярных инструментальных наблюдений (1911–2025 гг.). Этот композитный ряд среднемесячных значений ПТВ следует считать более надежными по сравнению с композитным рядом среднемесячных значений ПТВ, полученных на МС «Svalbard Airport» (норвежский поселок Лонгйир). Доля инструментальных наблюдений в ряде для ГМО «Баренцбург» составляет более 80 %.

Рассчитаны параметры уравнений линейной регрессии, оценена статистическая значимость выявленных линейных трендов. Установлено, что для региона Баренцева и Карского морей, включая Шпицберген, линейные тренды среднегодовых значений ПТВ статистически значимы на уровне $p < 0.01$ и положительны для периода 1991–2020 гг. Рост скоростей потепления в исследуемом регионе происходит в направлении с юго-запада на северо-восток. Наибольшая скорость потепления (> 2 °C/10 лет) отмечается в северных районах Баренцева и Карского морей наименьшая (< 0.75 °C/10 лет) – в юго-западной незамерзающей части Баренцева моря. Линейные тренды ПТВ за год в целом определяются тенденциями, наблюдаемыми в октябре–феврале. В эти месяцы поле скоростей потепления имеет четко выраженный «рельеф» с повышением в направлении с юго-запада на северо-восток. В теплое время года (май–август) поле скоростей потепления однородно, значения скоростей не превышают 1 °C/10 лет. В периоды (март–апрель и сентябрь), наблюдается перестройка поля скоростей потепления от ярко выраженного «рельефа» поля скоростей потепления к однородному полю и обратно.

Для арх. Шпицберген, на основе ряда 1911–2025 гг., показано, что максимальное потеплении наблюдалось для зимнего сезона (ноябрь–апрель) и оставило 0.54 ^{o}C/10 лет. При этом основной вклад в зимнее потепление внесли февраль и март, когда скорость потепления достигла 0.71 и 0.73 ^{o}C/10 лет, соответственно. При этом общее потепление (среднее за год) для всего исследуемого периода составило 0.38 ^{o}C/10 лет или, порядка, 4 ^{o}C за весь период наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-27-00112 «Современные изменения арктического климата и экстремальные колебания погоды в западном секторе Северного морского пути».

Список литературы

Demin V. I., Ivanov B. V., Karandasheva T. K. et al. Testing the homogeneity of climate series of surface air temperature in Barentsburg (Svalbard) // Czech Polar Report. 2024. Vol. 14. No. 2. URL: https://doi.org/10.5817/CPR2024-2-17

ПОТОКИ CO_2 В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ШПИЦБЕРГЕНА

**А. И. Иващенко, А. В. Долгих, Э. П. Зазовская, Н. С. Мергелов,
Н. И. Осокин, В. А. Шишков, Ю. О. Карпова, Д. В. Карелин**

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
carbonflux@mail.ru

Ежегодно с 2014 г. в конце июля–начале августа сотрудниками института проводятся мониторинговые измерения потоков парниковых газов и сопутствующих метеорологических параметров.

В разные годы ввиду короткого полевого сезона делался акцент на определенных биотопах: криоконитовые скопления на ледниках, антропогенные экосистемы, естественные тундровые экосистемы. В 2025 году основной задачей было увеличение количества точек мониторинга потоковых измерений на территориях российской части архипелага Шпицберген. К постоянным 13-ти мониторинговым участкам прибавились 6 новых в поселениях Пирамида и Колсбей.

Измерения проводятся камерным методом модернизированным портативным газоанализатором закрытого типа на базе AZ-77535. Чистый экосистемный обмен NEE оценивается в прозрачных камерах, потоки валового дыхания R – в затемненных. Температура почвы и воздуха измеряется термометром Hanna Checktemp1, влажность почвы влагомером Moisture meter HH150. В этом году на каждом участке устанавливали по 9 оснований с водным затвором. Дополнительные метеорологические данные извлекались из открытых источников, например, сайт rp5 погода. Оказалось, данные по сумме осадков надо выбирать близко к срокам 8 и 20 часов, чтобы они согласовывались с официальными климатическими отчетами ВНИИГМИ-МЦД, которые публикуются только на следующий год.

В 2025 году среднесезонные значения скорости чистого экосистемного обмена NEE составили для антропогенных экосистем +239.7±25.6 (мгС/м^2/ч), что несколько ниже прошлогодних – +244.5, для естественных тундр соответственно +155.8±25.3, и в прошлом году существенно выше +209.8.

Перигляциальные участки, еще не полностью освоенные биотой, поглощали CO_2 почти в 4 раза меньше, здесь средний поток в прозрачных камерах был +65.5 мгС м$^{-2}$ в час в 2024 году, а в 2025 году еще меньше +39 мгС м$^{-2}$/ч.

При сравнении средней скорости выделения (R) углекислого газа биотопов на 23-летней морене, полученных в 2015 году (+32.4) и 2024 году (+119) с результатами 2025 года, оказалось, что скорость существенно снизилась и составила 74.5±18.5 мгС м$^{-2}$ в час.

Интересно отметить, что эмиссия углекислого газа на новых антропогенных участках оказалась неожиданно высокой, в заброшенных поселках Пирамида и Колсбей – 306 и 184 мгС м$^{-2}$ /ч соответственно. И это несмотря на прекращение хозяйственной деятельности в Колсбее с 1961 года (64 года назад) и сохранение в поселении только нескольких строений. Пирамида закрылась в 1998 году, в данное время в законсервированном поселке происходит постепенное восстановление хозяйственной и научной деятельности. Разрабатываются амбициозные планы по созданию научно-образовательного центра в Пирамиде, с сохранением искусственно созданных в советское время антропогенных природных ландшафтов.

Эмиссия в антропогенных точках Баренцбурга ставила 153 мгС м$^{-2}$ /ч в сезоне 2025 года, а в 2024 году – рекордные за 10-летний период наблюдений +259 мгС м$^{-2}$ /ч.

Эмиссия CO_2 в фоновых естественных экосистемах этом году была +152 мгС м$^{-2}$/ч, по сравнению с высокими значениями 2024 года +210 мгС м$^{-2}$/ч. В среднем антропогенные экосистемы активнее выделяют CO_2, чем фоновые +223.2 мгС м$^{-2}$/ч.

На леднике Альдегонда происходит активная абляция, скопления криоконитов рассеиваются по поверхности флювиальными потоками, найти подходящие участки для потоковых измерений стало сложнее, чем в прошлые сезоны, при этом оказалось, что дыхательная активность криоконитов на Альдегонде +13.8 мгС м$^{-2}$/ч, почти на порядок выше, чем в среднем на леднике Эсмарка – +1.9 мгС м$^{-2}$/ч. Это, возможно, связано с большой вариабельностью скоплений почвенного материала.

В заключение, можно подчеркнуть, что положительные величины углеродного нетто-баланса показывают, что экосистемы Шпицбергена являются источником парниковых газов для атмосферы в теплый период года.

Исследование выполнено по теме госзадания Института географии РАН FMWS-2025-0002 «Современная изменчивость природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген».

АУТИГЕННЫЕ КАРБОНАТЫ И СУЛЬФИДЫ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ, ЖЕЛОБ СТУРФЬОРД, РАЙОН МЕТАНОВЫХ СИПОВ) И ИХ РОЛЬ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ МЕТАНА, СЕРОВОДОРОДА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИКЕ

Н. В. Козина, Л. Е. Рейхард

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
kozina_nina@bk.ru, mollusc@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты литолого-минералогических и геохимических исследований карбонатных конкреционных коркоподобных образований (корок), обнаруженных в зоне выходов метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (холодных метановых сипов) в желобе Стурфьорд (Баренцево море).

Как известно, проявления метановых газово-флюидных высачиваний наблюдаются на шельфах и континентальных склонах внутренних и окраинных морей по всему миру, в том числе и в арктических морях (Деркачев А. Н. и др., 2015; Кравчишина М. Д. и др., 2017; Hong W.-L. et al., 2017). Зоны разгрузки метановых газово-флюидных высачиваний обычно сопровождаются специфической геохимической обстановкой придонных и поровых вод осадков, благоприятствующей процессам аутигенного минералообразования (Деркачев А. Н. и др., 2015). С большинством из известных проявлений метановых сипов связано формирование в толще осадков (реже – на поверхности морского дна) карбонатной минерализации, при этом основным источником углерода является микробное окисление метана. Во многих случаях карбонатная минерализация ассоциирует с газогидратами метана; значительно реже встречаются холодные газово-флюидные потоки, несущие наряду с метаном также другие химические компоненты (Деркачев А. Н. и др., 2015).

Материалом для данного исследования послужили донные осадки, отобранные в северо-западной части Баренцева моря в желобе Стурфьорд (район архипелага Шпицберген) в местах выходов метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (Клювиткин и др., 2021). Отбор донных осадков был произведен на станции 6841 в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2018 г. при помощи мультикорера. Длина колонки составила 26 см. Литологическое описание осадка проводилось по методике принятой в ИО РАН (Безруков, Лисицын, 1960). Цвет осадка определялся с помощью каталога «Munsell soil color charts» (2012 г.). Минералогические исследования выполнялись комплексом методов, включая метод оптической микроскопии с помощью стереомикроскопа Nikon SMZ25; методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сочетании с энерго-дисперсионной спектроскопией (ЭДС) на сканирующем электронном микроскопе Phenom ProX с интегрированным детектором ЭДС; методом рентгеновской дифракции (РД) на рентгеновском дифрактометре «MiniFlex 600». Геохимические исследования были выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

В результате комплексных исследований установлено, что донные осадки, отобранные мультикорером, представлены пелитом алевритовым с большим количеством погонофор и их трубок. С глубины 2 см отложения представлены восстановленным пелитом алевритовым темно-оливково-серого цвета (5Y/3/2) с примазками и микропрослоями гидротроилита. В этом слое обнаружены карбонатные корки различных оттенков серого цвета (от светло-серого до темно-серого), плотные, крепко сцементированные, размером от 0.5 до 4.5 см, с большим количеством каверн. Во всей толще донных отложений отмечен сильный запах сероводорода.

Минеральный состав донных осадков представлен главным образом кварцем (45–60 %) и полевыми шпатами (плагиоклазом – до 6–14 % и калиевым полевым шпатом – до 2–9 %). Глинистые минералы (гидрослюда, каолинит, хлорит, смешанослойные минералы) присутствуют в виде примеси. Кроме того, в осадках установлено высокое содержание аутигенных минералов групп карбонатов (магнезиального кальцита (Mg-кальцита) – 2–18 %, кальцита – 1–3 %, доломита – 3–6 %, сидерита – 1–3 %), сульфатов (гипса – 1–6 %), сульфидов (пирита – 1–2 %) и гидроокислов железа (гетита – 1–5 %). В составе единичных пиритовых фрамбоидов обнаружен ниобий (до 0.83 %). Биогенные включения присутствуют в виде многочисленных обломков спикул кремневых губок. В составе некоторых спикул обнаружены индий (2.93 %), прометий (1.22 %) и тербий (0.69 %).

Минеральный состав корок представлен преимущественно аутигенными минералами группы карбонатов: Mg-кальцитом (38–78 %), арагонитом (до 6 %), кальцитом (до 3 %), доломитом (1–3 %) и сидеритом (2–15 %). Кроме этого, в веществе корок установлен аутигенный фрамбоидальный пирит (до 6 %). По данным СЭМ+ЭДС магнезиальный кальцит образует различные формы выделения (скрытокристаллические массы, скаленоэдрические кристаллы, агрегаты с признаками расщепления и коррозии на гранях кристаллов). Арагонит формирует агрегаты столбчатых и игольчатых кристаллов в порах и кавернах. Пирит присутствует в виде фрамбоидов различной формы и кристаллитов. Важно отметить, что в составе пиритов, кроме железа и серы, установлены высокие концентрации ниобия (до 0.71 %), индия (до 1.27 %) и ртути (1.25–4.93 %). Кроме этого, методом СЭМ+ЭДС в карбонатной массе корок обнаружены вкрапления частиц микронного размера с высокими концентрациями различных металлов, таких как железо (до 77.9 %), цинк (до 16.33 %), медь (до 98.47 %), хром (до 51.78 %) и никель (до 95.23 %). Геохимические исследования показали, что все изученные карбонатные корки значительно обогащены по сравнению с вмещающими их донными осадками такими элементами, как Ca, Mg, Sr и U.

Дальнейшие исследования позволят установить механизмы и условия образования изученных карбонатных конкреций, а также уточнить роль карбонатного конкрециеобразования в биогеохимических циклах метана, сероводорода и некоторых металлов в Арктике.

Авторы выражают благодарность А. А. Клювиткину, М. Д. Кравчишиной, А. Н. Новигатскому, Е. А. Новичковой, А. Г. Матулю, Б. В. Баранову, Г. В. Малафееву, С. М. Исаченко и всем членам геологического отряда за помощь при отборе проб донных осадков, а также капитану Ю. Н. Горбачу и экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Экспедиционные исследования выполнены с использованием оборудования уникальной научной установки «Академик Мстислав Келдыш» в составе ЦКП «Научный флот ИО РАН» в рамках государственного задания ИО РАН № FMWE-2024-0020. Минералогические и геохимические исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-30001.

Список литературы

Безруков П. Л., Лисицын А. П. Классификация осадков современных морских водоемов // Геологические исследования в Дальневосточных морях. М.: АН СССР, 1960. С. 3–14 (Тр. ИО АН СССР. Т. XXXII).

Деркачев А. Н., Николаева Н. А., Баранов Б. В. и др. Проявление карбонатно-баритовой минерализации в районе метановых сипов в Охотском море на западном склоне Курильской котловины // Океанология. 2015. Т. 55. № 3. С. 432–443.

Клювиткин А. А., Новигатский А. Н., Политова Н. В. и др. Исследования Европейской Арктики в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // Океанология. 2021. Т. 61. № 1. С. 156–158.

Кравчишина М. Д., Леин А. Ю., Саввичев А. С. и др. Аутигенный Mg-кальцит на метановом полигоне в море Лаптевых // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 194–213.

Леин А. Ю., *Иванов М. В.* Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.

Hong W.-L., Torres M. E., Carroll J. L. et al. Seepage from an arctic shallow marine gas hydrate reservoir is insensitive to momentary ocean warming // Nat. Commun. 2017. 8: 15745. DOI: 10.1038/ncomms15745

ЭПИФИТИЗМ В СООБЩЕСТВАХ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ГРЁН-ФЬОРДА И МУРМАНСКОГО БЕРЕГА

С. В. Колбеева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

Грён-фьорд является частью разветвленной системы фьордов западного побережья о. Западный Шпицберген архипелага Шпицберген, расположенного на северной границе Баренцева, Норвежского и Гренландского морей. Большую часть года эта земля покрыта льдом, но длительность и плотность ледового покрова в этой части Арктики существенно ниже, чем на аналогичных широтах (78° N), благодаря влиянию атлантических вод ветви Нордкапского течения. Именно на Шпицбергене северная граница арктической и субарктической зон заходит далеко в высокие широты и данный регион представляет уникальное сочетание низкой освещенности, ледового покрова и низких температур, условий крайне специфических для растительности (Макаров, 2010). Именно морской фитобентос может являться наиболее чувствительным звеном экосистем к температурным колебаниям. Бентосные фитоценозы внутренней части Грён-фьорда можно рассматривать как наиболее подверженные влиянию атлантических водных масс на о. Западный Шпицберген (Моисеев, Громов, 2009; Павлов и др., 2010). Предметом данного исследования являлось развитие эпифитизма у макроводорослей. Для сравнения использовали данные с Мурманского берега, где условия типичные субарктические и велико влияние атлантических водных масс.

Была проведена бентосная съемка в Грён-фьорде о. Западный Шпицберген. Всего в период в июне 2013 г. выполнено 30 проб макрофитов, в июле 2014 г. – еще 30. В Кольском заливе материал был собран в ходе рейса в июне 2013 г. и ряде других экспедиций. В губе Зеленецкая материал получен в 2011–2012 гг. в июле–августе. При выполнении работ использовали классический метод вертикальных трансект, станции выполняли на глубинах 0, 5, 10 и 15 м. Отбор проб в сублиторали и подводную видеосъемку выполнял водолазный специалист. Площадь каждой пробы 1 м². Видовую идентификацию выполняли по морфологическим признакам с использованием световой микроскопии. Сходство сообществ оценивали по индексу Жаккара.

Литораль Грён-фьорда берега практически лишена растительности. Подвижность галечно-песчаных грунтов и ледяной припай ограничивают распределение водорослей. Макрофиты растут разреженно, в трещинах скал, на гальках, биомасса менее 0.1 кг/м². В верхней части залива отмечены талломы *Fucus distichus* L. с эпифитами, из которых наиболее массовый *Pylaiella littoralis* (L.) Kjellm. Обширные пространства сублиторали верхней части фьорда (граница проходит между мысами Брайда и Финнесет) лишены макрофитов из-за глинистых грунтов. В устье фьорда на восточном берегу примерно от нуля глубин начинается пояс ламинариевых. Отмечены однолетние талломы *Saccharina latissima* (L.) Lane, Mayes, Druehl et Saunder, *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux, одно- и двухлетние талломы *Alaria esculenta* (L.) Grev. На западном берегу на литорали и примерно до 1 м глубины выявлен пояс *F. distichus* с комплексом эктокарповых водорослей в нижнем ярусе и в качестве эпифитов, в основном *P. littoralis*. Водоросли – эпифиты произрастают на стволиках и ризоидах *S. latissima*, *Alaria esculenta*, на *Fucus vesiculosus* L. и *Desmarestia aculeata* (L.) Lamouroux. Наиболее обильны и разнообразны эпифиты ризоидов *S. latissima* (всего отмечено 16 видов, биомасса в среднем 10 г/м², колеблется от 0 до 46 г/м^2). Выявлен комплекс эпифитов *F. vesiculosus* из 13 видов, максимальная биомасса 10 г/м² на 5 м. Сублиторальные эпифиты *F. vesiculosus* выявлены на пяти станциях и везде отмечены *Acrosiphonia arcta* (Dillwyn) Gain.

На литорали Кольского залива и губы Зеленецкая, как и всего Мурманского берега, фукусовые водоросли образуют густые заросли. Эпифиты произрастают на всех крупных видах, особенно покрыты взрослые талломы *Fucus serratus*, *F. vesiculosus* и *F. distichus* нижнего горизонта литорали. Биомасса эпифитов составляла до 37 % от биомассы фукусов, до 2500 г/м^2. Число видов эпифитов в пробе варьировало, достигая 13. На ламинариевых водорослях так же многочисленны эпифиты ризоидов. Количество видов эпифитов ламинариевых в среднем 30 на разрез. Эпифитизм очень развит – 75 % видов обитают как на грунте, так и на водорослях.

Сходство видового состава ламинариевых сообществ Грён-фьорда и Зеленецкой губы Мурманского берега составило всего 0,272 между комплексами эпифитов и 0,283 между сообществами ламинарий в целом. Между фукусовыми сообществами общность оказалась еще ниже. Ряд видов показал привязанность к определенному субстрату

Ведущими факторами в распределении видов по глубине являются истирающее действие льдов и передвижение рыхлых грунтов под действием прибоя, а успешность роста на грунте или на другом макрофите – видовыми особенностями.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что флора обоих районов представляет собой обедненную атлантическую и очень сходна, разница сообществ ламинариевых и фукусовых обусловлена именно распределением видов в пространстве. Сообщества фукусовых Грён-фьорда отличаются исключительным своеобразием.

Список литературы

Моисеев Д. В., Громов М. С. Термохалинные условия в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2003 и 2008 гг. // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Матер. VIII Всерос. школы по морской биологии и IX Междунар. науч. конф. «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген» (Мурманск, ноябрь 2009 г.). М.: ГЕОС, 2009. С. 332–335.

Павлов А. К., Иванов Б. В., Журавский Д. М., Тверберг В., Гранског М., Фальк-Петерсен С. Многолетняя изменчивость океанографического режима в заливах Западного Шпицбергена // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. X Междунар. науч. конф. (Мурманск, октябрь 2010 г.). Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 485–488.

МОРСКИЕ ГРИБЫ В ПЛАНКТОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ АРКТИКИ

О. П. Коновалова[1,2], Д. А. Юрикова[1,3]

[1]ООО «Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова», г. Москва, Россия
[2]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
[3]Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
o.konovalova@marine-rc.ru

Хотя грибы играют важную роль во всех экосистемах, включая морские планктонные сообщества, закономерности их географического и вертикального (батиметрического) распределения, численности и разнообразия изучены недостаточно. Этот дефицит знаний особенно ярко проявляется в арктических регионах. Чтобы решить эту проблему, мы исследовали сообщества морских грибов в поверхностных и придонных слоях воды вдоль трансекты протяженностью 5600 км в Арктике.

Немногочисленные исследования морских грибов в арктических экосистемах показывают, что грибы могут играть значительную роль в круговороте органического вещества как в пелагических биотопах, так и в морском льду и донных отложениях.

В рамках экологического мониторинга акватории Северного морского пути мы провели исследования образцов, отобранных в Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях. Одна из станций была в эстуарной зоне Обской губы. На всех станциях исследовались пробы поверхностной и придонной воды. Был проведен метагеномный анализ последовательностей ITS1-ITS2, амплифицированных с помощью специфических грибных праймеров.

Всего было обнаружено 248 таксономических единиц, принадлежащих к царству Fungi и 6 отделам. Наибольшее число идентифицированных видов относится к отделу Basidiomycota (128), чуть менее – к Ascomycota (105). В географическом распределении наиболее богата видами эстуарная область, наименее – Чукотское море, несмотря на то, что там присутствуют виды из тихоокеанской области.

При сравнении видового состава поверхностных и придонных вод видно, что топовые таксоны у них одинаковые (включая опресненные эстуарные воды). Уникальные таксоны для придонных вод – 98, уникальные таксоны для поверхности – 57, общих 93. На первом месте и на поверхности и в дне неидентифицированная таксономическая единица, что несомненно требует дальнейшего изучения. Один из наиболее встречаемых видов – *Cladosporium cladosporioides*, ранее обнаруженный в исследованиях грибов, выделяемых на питательные среды (Bubnova, Konovalova, 2019). Ни одного из уникальных видов среди самых встречаемых нет. На эстуарной станции и в дне, и в поверхности большое количество хитридиомицета Betamyces, и максимальное количество Rozellomycotina. Грибы придонного слоя на шельфе арктических морей схожи между собой, а поверхностные испытывают влияние течений и отличаются. В результате мониторинговых исследований было проанализировано большое количество различных параметров экосистем, и обнаружены закономерности распределения сообществ морских грибов в арктических морях.

ЛИХЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАБСИ КНЦ РАН НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Л. А. Конорева[1], С. В. Чесноков[2]

[1]Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
[2]Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
ajdarzapov@yandex.ru

В настоящее время существует более 300 работ разных авторов, посвященных исследованию лишайников архипелага Шпицберген. Вероятно, это одна из наиболее изученных арктических флор. Одними из первых публикаций, посвященных лишайникам архипелага, были работы Th. M. Fries (1861, 1867). Из русских лихенологов большой интерес к флоре лишайников Шпицбергена проявляли А. А. Еленкин (1906) и В. П. Савич (Elenkin, Savicz, 1912). Их работы основаны на материалах, собранных Бялыницким-Бирулей, Бунге, Палибиным и другими исследователями Арктики в конце XIX-начале XX вв. В 1996 году вышла монография A. Elvebakk и H. Hertel, являвшаяся первым и наиболее крупным обобщением, включившим в себя более 200 публикаций, известных к тому времени (Elvebakk, Hertel, 1996). Авторы приводят чек-лист лишайников (всего 597 видов) с подробными аннотациями, замечаниями относительно редкости видов, упоминаний в литературе и т. д., а также перечень сомнительных и исключенных таксонов (62 вида). Современная обобщающая сводка, посвященная лишайникам архипелага, вышла в 2009 г. (Øvstedal et al., 2009), в ней приведены данные о 742 видах, включая 151 вид, впервые обнаруженный на исследуемой территории.

Первые исследования лишайников на архипелаге Шпицберген в рамках работ ПАБСИ были выполнены геоботаником Н. Е. Королевой в 1991 г. (Королева и др., 2008). Планомерное изучение лихенобиоты архипелага было начато в 2003 г. За годы исследований проведено изучение лишайников в 26 пунктах, включая труднодоступные локалитеты на о. Северо-Восточная Земля (Nordaustlandet), а также о. Принца Карла (Prins Karls Forland) и о. Баренца (Barentsøya).

Определение лишайников проведено по стандартной методике на базе лаборатории Флоры и растительных ресурсов ПАБСИ КНЦ РАН с учетом морфолого-анатомических и хемосистематических признаков. Кроме стандартного набора реактивов (K, C, KC, KI, HNO3), для идентификации видов из таких родов, как *Cladonia, Lecidella, Lepraria*, нами использована ультрафиолетовая лампа длинноволнового излучения (UV, длина волны 350 нм). Для получения данных по важным хемотаксономическим признакам, для изучения метаболитного состава и для идентификации видов использовался метод высокоэффективной тонкослойной хроматографии (High-Performance Thin Layer Chromatography, HPTLC) на пластинках (Culberson et al., 1979).

За период исследований нами опубликовано более 35 работ, посвященных лишайникам архипелага, в том числе иллюстрированный атлас на двух языках, русском и английском, предназначенный не только для ученых-исследователей, но и для туристов и любителей арктической природы, где представлены криптогамные организмы в окрестностях пос. Пирамида и туристические маршруты с ними (Belkina et al., 2015).

Одной из важных работ является обобщающая публикация, посвященная лишайникам самого северного и второго по величине острова в составе архипелага Шпицберген – Северо-Восточная Земля (Nordaustlandet). Чек-лист лишайников острова включает к настоящему времени 477 видов и 2 подвида лишайников, а также 22 вида и один подвид лихенофильных грибов, из которых *Calogaya bryochrysion, Diplotomma lutosum, Flavoplaca flavocitrina, Lecanora intumescens* и *Zwackhiomyces coepulonus* впервые указаны для архипелага Шпицберген, а ещё 40 видов – для Северо-Восточной Земли (Konoreva et al., 2024).

Всего за период работы подготовлены аннотированные списки для 8 локальных флор, для которых практически не было данных о лишайниках. Впервые для Шпицбергена приведено более 30 видов лишайников и более 10-лихенофильных грибов, в том числе выявлены виды, основной ареал которых находится сильно южнее, за пределами Арктики. Так, например, *Sarcosagium campestre* был выявлен в поселке Пирамида, на почве на месте бывшего скотного двора, а *Stictis radiata* – в окрестностях бывшего пос. Колсбей на остатках кустарничков (Konoreva L. A., Chesnokov, 2024). Таким образом, наличие подходящих субстратов и микроусловий в разных районах Шпицбергена позволяют ряду видов лишайников обитать в Арктике, выходя за пределы ранее известных для этих видов ареалов.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном богатстве лихенобиоты архипелага Шпицберген, часть территории которого, несмотря на значительную историю лихенологических исследований (более 200 лет), все еще остается мало- или вовсе неизученной. Между тем, географическое положение архипелага Шпицберген, а также влияние теплого течения Гольфстрим, оказывает существенное влияние на лихенобиоту, которая, по данным, полученным на сегодняшний день, примерно на 40 % богаче, чем лихенобиоты сопоставимых по площади и географическому положению территорий.

Благодарности. Авторы выражают признательность сотрудникам ПАБСИ КНЦ РАН и заведующей лабораторией флоры и растительных ресурсов д.б.н. Н. А. Константиновой, совместно с которыми были проведены полевые исследования. Работы выполнены в рамках темы ПАБСИ КНЦ РАН «Изучение видового разнообразия и структурно-функциональных особенностей растений арктических экосистем архипелага Шпицберген» (FMEZ-2025–0063).

Список литературы

Еленкин А. А. Лишайники, собранные на о-вахъ Шпицбергена А. А. Бялыницкимъ-Бирулей и А. Бунге въ 1899 г. // Труды Ботаническаго музея Императорской Академии Наукъ. Вып. III. 1906. С. 60–63.

Королева Н. Е., Константинова Н. А., Белкина О. А., Давыдов Д. А., Лихачев А. Ю., Савченко А. Н., Урбанавичене И. Н. Флора и растительность побережья залива Грён-фьорд (архипелаг Шпицберген). Апатиты: Изд. K&M, 2008. 132 с.

Belkina O. A., Konstantinova N. A., Koroleva N. E., Konoreva L. A., Davydov D. A., Savchenko A. N., Likhachev A. Yu. Bryophytes, lichens and Cyanoprokaryotes in surroundings of Pyramyden (Svalbard): a concese guide-book. St.-Petersburg: DITON, 2015. 201 p.

Culberson C. F., Ammann K. Standardmethode zur Dünnschichtchromatographie von Flechten-substanzen // Herzogia. 1979. 5: 1–24.

Elenkin A. A., Savicz V. P. Lisainiki sobrannie I.V. Palibinym v plavanie Ledokla «Ermak» v Severnom ledovitom Okean 1901 (Lichenes in Reginoibus arcticis Oceani Glacialis a I.V. Palibin anni 1901 collecti.) // Acta Horti Petropol. 1912. 32: 94–97.

Elvebakk A., Hertel H. Lichens / A. Elvebakk, P. Prestrud (Eds.). A catologue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Part 6. Oslo: Norsk Polarinsitutt Skrifter, 1996. 198: P. 271–359.

Fries Th. M. Lichenes Arctoi Eoropae Groenlandiaeque hactenus cogniti // Nova Acta Reg. Soc. Sci. 1861. Vol. 3(3). P. 103–398.

Fries Th. M. Lichenes Spitzbergenses // Svenska Vetensk. Akad. Handl. Vol. 7(2), 1867. S. 1–53.

Konoreva L. A., Chesnokov S. V. Is a newly reported presence of Stictis radiata in Svalbard a result of global climate change, or is it due to the availability of a suitable substrate? // Czech Polar Reports. 2024. 14(2): 297–304.

Konoreva L. A., Chesnokov S. V., Bolshakov S. Yu. Inventory of lichenised and lichenicolous fungi of Nordaustlandet, Svalbard // Polar Biology. 2024. 47: 639–649.

Øvstedal D. O., Tønsberg T., Elvebakk A. The lichen flora of Svalbard // Sommerfeltia. 2009. Vol. 33. 393 p.

О РАСПРОСТРАНЕНИИ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ РЕДКИХ И МАЛО ИЗВЕСТНЫХ ПЕЧЕНОЧНИКОВ

Н. А. Константинова, А. Н. Савченко

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
nadya50@list.ru

На потяжении 10 лет мы занимались изучением печеночников архипелага Шпицберген. За это время были описаны новые для науки таксоны, выявлены новые для архипелага виды, значительно уточнено распространение многих редких в Европе видов. Результаты наших работ и работ других исследователей обобщены в итоговой сводке (Söderström, Konstantinova et al., 2021). Составленный чек лист включет все опубликованные к 2021 году данные о распространении печеночников на архипелаге Шпицберген. Список насчитывает 105 видов, находки еще пяти видов приводятся как сомнительные, 51 вид, указывавшийся ранее для Шпицбергена исключен из состава флоры. Кроме того, в работе сообщается о местонахождениях 67 видов новых для разных выделяемых регионов архипелага, а два вида *Neoorthocaulis hyperboreus* и *Riccardia chamedryfolia*, приводятся как новые для архипелага (l.c.). Из указаной выше работы видно, что как видовой состав, так и, тем более, распространение печеночников на архипелаге изучены совершенно недостаточно. В прошедшие после публикации чек-листа печеночников Шпицбергена четыре года мы продолжили изучение собранных ранее коллекций как в плане идентификации еще неидентифицированных образцов, так и на основе ревизии идентифицированных и включенных в основные фонды образцов. В результате мы уточнили распространение и экологию на архипелаге ряда мало известных и редких видов, наиболее интересные из которых и рассмотрены ниже.

Lophozia fuscovirens Bakalin & Vilnet – Недавно описанный из Магаданской области вид впервые выявлен на Шпицберген на острове Принца Карла в сборах А. Н. Савченко (Konstantinova et al., 2019; Konstantinova, Savchenko, 2020). В ходе более поздней ревизии собранных образцов обнаружены еще несколько местонахождений этого очень мелкого и, очевидно, пропускаемого при сборах печеночника. Вероятно, вид не так и редок на архипелаге, но либо пропускается при сборах, либо относится к другим видам.

Lophozia silvicoloides N. Kitag. Этот мало изученный вид, был описан из Японии, но позже найден на востоке России, а затем и в других ее регионах. Нами вид приводился для Шпицбергена из окрестностей пос. Баренцбург из долины реки Богенбекки (Константинова, Савченко, 2008). Однако, в этом году было показано, что все наши прежние указания *Lophozia* savicziae Schljakov для Шпицбергена относятся к *Lophozia silvicoloides*, а *Lophozia* savicziae это аллополиплоид. *L. silvicoloides* и еще неописанного вида *Lophozia* sp. (Konstantinova, Vilnet, 2025), нахождение *Lophozia* savicziae на архипедаге нами не подтверждено. Таким образом *Lophozia silvicoloides* распространена на архипелаге значительно шире, чем это указывается в упомятух выше предыдущих работах, а *Lophozia* savicziae исключается из списка видов, встречающихся на архипелаге.

Marsupella condensata (Ångstr. ex C. Hartm.) Lindb. ex Kaal. Довольно редкий вид, в Европе отнесенный к угрожаемым (Hodgetts et al., 2019). Выявлен нами в сборах из Колесбухты, где местами довольно обилен. Согласно чек-листу печеночников Шпицбергена (Söderström et al., 2021) ранее на Шпицбергене был известен только с острова Медвежий (указание, не подтвержденное образцом) и с Земли Принца Оскара (Prins Oscars Land).

Tritomaria exsectiformis (Breidl.) Schiffn. ex Loeske subsp. *arctica* R. M. Schust. – Этот подвид впервые на Шпицбергене выявлен нами (Konstantinova, Savchenko, 2025) на западном берегу Ямербухты (Ymerbukta) на Земле принца Оскара II. *Tritomaria exssectiformis* приводилась ранее для Шпицбергена только для окрестностей NY-Ålesund (Arnell & Mårtensson, 1959). Причем, A. Frisvoll (Frisvoll & Elvebakk, 1996) высказывал предположение, что это указание относится к subsp. *arctica* R. M. Schust. Тем не менее, основывавясь на устном сообщении К. Дамсхольт, Söderström et al. (2021) отнесли это указание к subsp. *exsectiformis*. В образце, собранном нами растения очень мелкие, всего 4–6 мм длины и 0.5–0.7 мм ширины, с вогнутыми листьями с шириной примерно равной длине 0.6–0.75×0.65–0.75 мм, мелкими клетками листа (12)15–17(19)×17–20(22) μm, многочисленными красными до красно-кричнеавых угловато-полигональными и треугольными выводковыми почками (10)12–14 шириной 15–18(23) μm длиной, что соответствует описанию subsp. *arctica*.

Как видно из нескольких приведенных примеров, уточнение распространения видов происходит во-первых счет идентификации новых коллекций из ранее неизученных районов (например *Marsupella condensata*), во-вторых в ходе интегративных филогенетических исследований в которых пересматриваются объемы и границы видов (например *Lophozia silvicoloides*), и, наконец, при ревизиях отдельных родов и пересмотре выполненных ране определений (например *Lophozia fuscovirens*). В результате с определенностью можно утверждать, что несмотря на длительную историю изучения печеночников архелага Шпицберген, как видовой состав флоры, так и распространение многих и, в особенности, редких и мало известных видов изучено еще совершенно недостаточно.

Список литературы

Бакалин В. А. Монографическая обработка рода Lophozia. М.: Наука, 2005. 239 с.

Константинова Н. А., Савченко А. Н. Печеночники // Флора и растительность побережья залива Грён-фьорд (архипелаг Шпицберген) / Ред. Н. А. Константинова, Н. Е. Королева. Апатиты, 2008. С. 54–80.

Arnell S. W., Mårtensson O. A contribution to the knowledge of the bryophyte flora of W. Spitsbergen, and Kongsfjorden (King's Bay, 79° N) in particular // Arkiv för Botanik (n.ser.). 1959. 4(6): 105–164.

Frisvoll A. A., Elvebakk A. A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Part 2. Bryophytes // Norsk Polarinstitutt Skrifter. 1996. 198: 57–172.

Hodgetts N. et al. A miniature world in decline: European Red List of mosses, liverworts and hornworts. Brussels: International Union for the Conservation of Nature, 2019.

Konstantinova N. A., Savchenko A. N., Vilnet A. A. Lophozia fuscovirens. – In: Ellis et al. New national and regional bryophyte records, 61 // Journal of Bryology. 2019. Vol. 41(4): 364–384.

Konstantinova N. A., Savchenko A. N. Contribution to the hepatic flora of Svalbard III: Hepatics of Prins Karls Forland (Forlandet nasjonalpark) // Nova Hedwigia. 2020. Beiheft 150. P. 179–192.

Konstantinova N. A., Savchenko A. N. New liverwort records from Svalbard. 2. In E. V. Sofronova1 (Ed.), O. M. Afonina, S. V. Bakka, A. G. Bezgodov, I. V. Czernyadjeva, G. Ya. Doroshina, S. V. Dudov, M. V. Dulin, V. D. Dzizyurova, V. E. Fedosov, G. L. Freydin, E. V. Garin, E. G. Ginzburg, E. A. Glazkova, M. S. Goldstein, O. G. Grishutkin, E. A. Ignatova, V. I. Kapitonov, O. A. Kapitonova, V. O. Khairetdinova, N. A. Konstantinova, V. M. Kotkova, L. E. Kurbatova, E. V. Kushnevskaya, E. Yu. Kuzmina, E. A. Lavrskaya, Yu. S. Mamontov, D. S. Moseev, D. A. Philippov, O. Yu. Pisarenko, N. N. Popova, A. D. Potemkin, E. M. Ryzhova, A. N. Savchenko, A. A. Shestakova, D. S. Schuryakov, A. E. Selivanov, A. V. Shkurko, T. P. Shubina, E. V. Smirnova, O. G. Voronova, G. V. Zheleznova, K. A. Zhuzenova // Arctoa. 2025. 34: 73–92. DOI: 10.15298/arctoa.34.08

Konstantinova N. A., Vilnet A. A. Lophozia savicziae Schljakov Lophoziaceae, Marchantiophyta) – one more allopolyploid species of liverworts // Arctoa. 2025. 34: 44–51.

Söderström L., Konstantinova N. A., Hagborg A., Prestø T., Hassel K. & von Konrat M. Land of retreating glaciers – checklist of liverworts on Svalbard // Arctoa. 2021. 30(2): 354–397.

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ГРУПП ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ В СЛОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЯХ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА И АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Н. А. Коргин[1], Р. В. Мещеряков[1], А. В. Маслобоев[2]

[1]Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия
[2]Институт информатики и математического моделирования им. В. А. Путилова КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

Проект по созданию распределенной сети полигонов для отработки сценариев применения гетерогенных групп транспортных средств с электрическим приводом в сложных климатических и ландшафтных условиях был инициирован под эгидой центра интеллектуальных робототехнических систем ИПУ РАН в 2023 году при частичной поддержке РНФ по результатам серии полевых испытаний опытных платформ малогабаритного транспортного средства повышенной проходимости на электроприводе, предназначенного для передвижения по снежному покрову (Коргин, Мещеряков, 2025). Опытные образцы подобных транспортных средств разрабатываются отечественными промышленными партнерами ИПУ РАН в рамках разветвленной сети научной и академической коллаборации (Кравчук и др., 2023), а их апробация проходит в географических локациях со сложными климатическими и ландшафтными условиями – в высокогорных районах Кавказа и горных регионах Заполярья, где размещаются как уже существующие объекты научной инфраструктуры КБНЦ РАН, КНЦ РАН и САО РАН, так и планируемые к созданию, такие, как международная арктическая станция «Снежинка» на Полярном Урале (Васильев, 2022).

В докладе делается акцент на опыт полевых выездов для апробации сценариев применения гетерогенных групп транспортных средств с электрическим приводом в сложных климатических и ландшафтных условиях в рамках взаимодействия с КНЦ РАН – в районе массива Хибин, пос. Териберка, Ловозерские тундры, в том числе, для поддержки проведения полевых научных исследований, см, например (Slukovskii et al., 2024) и с ММБИ РАН – опытные выезды к пос. Дальние Зеленцы и апробацию алгоритмов автономного движения исследуемых транспортных средств на территории г. Мурманска, прилегающей к ММБИ РАН. Кроме того, описывается опыт работы по поддержке гляциологических исследований ИГ РАН на ледниках Полярного Урала и г. Эльбрус (Лаврентьев и др., 2024)

Обсуждается возможность организации программы демонстрационных сценариев применения гетерогенных групп транспортных средств с электрическим приводом в интересах организаций, входящих в консорциум «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген».

Список литературы

Васильев Ю. В. Арктический полигон водородных технологий "Снежинка" // Топливные элементы и энергоустановки на их основе: Девятая Всероссийская конференция с международным участием, Черноголовка, 20–23 июня 2022 года. Черноголовка: Изд-во Черноголовка, 2022. С. 12.

Коргин Н. А., Мещеряков Р. В. Концепция распределенной сети полигонов для отработки сценариев применения гетерогенных групп транспортных средств с электрическим приводом в сложных климатических и ландшафтных условиях: примеры реализации и перспективы развития // Управление большими системами. 2025. № 113. С. 315–345.

Кравчук С. Г. и др. Проектно-образовательный эксперимент в арктическом дизайне: формирование облика инновационного снегоходного транспорта // Техническая эстетика и дизайн исследования. 2023. Т. 5. № 1. С. 56–68.

Лаврентьев И. И. и др. Гляциологические исследования Института географии РАН на Эльбрусе в 2023 г // Лёд и Снег. 2024. Т. 63. №. 4. С. 553–557.

Slukovskii Z. et al. Pristine Tundra Lakes in the North of Murmansk Region (Arctic): Geochemistry of Sediments, Pollution Assessment and Heavy Metal Forms // International Journal of Environmental Research. 2024. Vol. 18. No. 4. P. 57.1–57.17

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ

С. К. Костовска

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
silvakos@igras.ru

Комплексные исследования – методологический подход, при котором используются методы и инструменты разных областей науки, позволяет создать целостное представление о процессах, протекающих в ландшафтах и их изменениях, анализировать явления, которые не могут быть полностью раскрыты в рамках одной научной дисциплины. Междисциплинарные подходы, используемые при комплексных исследованиях, дают возможность рассматривать одну и ту же систему с разных сторон, учитывать все взаимодействующие между собой компоненты среды и находить более эффективные решения возникающих проблем. Особенно это актуально при изучении ландшафтов (экосистем, геосистем), представляющих собой комплексные системы, состоящие из различных взаимодействующих между собой компонентов. Именно комплексные исследования играют ключевую роль в понимании динамики природных и природно-антропогенных геосистем, и их реакции на внешние воздействия.

Каждый из компонентов ландшафта играет важную роль в его формировании, динамике и функционировании. Изучение отдельных компонентов, их взаимосвязей и взаимозависимостей помогает предсказывать, как изменения в одном компоненте могут повлиять на другие и на весь ландшафт в целом. Взаимодействие между компонентами создает уникальные условия для жизни, определяет характер систем и влияет на устойчивость ландшафтов. При этом при преобразовании ландшафта немаловажным является сохранение его инварианта – совокупности устойчивых свойств геосистемы, остающихся неизменными под влиянием различных воздействий (Сочава В. Б., 1978). Таким образом, изучение как отдельных компонентов ландшафта, как и всего комплекса в целом, является ключевым для эффективного управления природными ресурсами и охраны окружающей среды.

Как известно, изменчивость и устойчивость являются одними из основных свойств ландшафтов, при этом изменчивость первична, а устойчивость вторична и возникает в результате изменений, происходящих в них. Изменчивость ландшафтов обусловлена как пространственными, так и временными изменениями в структуре и функциях природных и антропогенизированных систем. Устойчивость ландшафтов – это их способность сохранять структуру и функции в условиях внешних изменений. То есть устойчивые системы способны адаптироваться к изменениям окружающей среды, сохраняя при этом свои ключевые характеристики, легче восстанавливаться после стрессов, предоставлять экосистемные услуги (обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие, культурные). Понимание изменений, происходящих в ландшафтах, их реакции на внешние воздействия (как природного, так и антропогенного характера), является необходимым условием при планировании хозяйственной деятельности, разработке стратегий охраны природы, управлении территориями.

Многокомпонентный анализ изменчивости ландшафтов представляет собой методологический подход, позволяющий учитывать не только широкий спектр факторов (природных, антропогенных, социально-экологических), но и их взаимодействие (например, вклад климатических факторов в изменение влияния антропогенных факторов). что необходимо для более глубокого понимания процессов, приводящих к изменениям среды. При многокомпонентном анализе используются разнообразные подходы, такие как: сравнительный (сопоставление и выявление сходства и различий), исторический (анализ изменений во времени), картографический (анализ карт, аэро- и космоснимков), системный (изучение отдельных составляющих системы как ее структурных частей).

Важное значение для понимания изменчивости ландшафта имеет сбор данных на протяжении длительного времени, что позволяет выявлять тренды и закономерности, которые могут быть неочевидны при краткосрочных исследованиях. Например, активизация неблагоприятных природных процессов, с последующим негативным влиянием на инженерно-технические объекты является объектом мониторинга, при котором не только ведутся наблюдения за механическим и тепловым взаимодействием сооружений с гидрогеологической средой на многолетнемерзлых грунтах, но и осуществляется фиксация нарушений функционирования природных и инженерно-технических систем (Морфометрические …, 2017).

Комплексные исследования также предполагают использование математических и компьютерных моделей для прогнозирования как изменений всего ландшафта, так и его отдельных компонентов. Например, исследования, проводимые в арктической зоне, показывают, что к концу первого десятилетия XXI в. по сравнению с началом последней четверти XX в. изменение климата привело к уменьшению несущей способности многолетней мерзлоты в среднем на 17 %, а в отдельных регионах до 45 %, что негативно сказывается на состоянии железнодорожной, автомобильной и трубопроводной транспортных инфраструктур (Осокин, Сосновский, 2024).

Результаты комплексного изучения территорий, могут стать основой для новых исследований в области географии, экологии и других дисциплин, способствуя углубленному пониманию сложных процессов, происходящих в ландшафтах. Проведение фундаментальных и прикладных исследований, мониторинговых наблюдений, построение прогнозных моделей позволяют получать не только объективную картину пространственных и временных изменений, но и разрабатывать меры по минимизации рисков промышленного освоения, а также сохранению историко-культурных объектов, оценивать локализацию ландшафтных выделов, формирующихся в криогенных условиях с использованием картографо-геодезических методов (Костовска С. К. и др., 2016; Костовска и др., 2018).

Важность комплексных исследований не может быть переоценена. При решении сложных и взаимосвязанных проблем современности они становятся ключом к изучению изменчивости ландшафтов. В условиях изменений, происходящих в последние десятилетия все более активно, ответы на вопросы, которые ставятся перед учеными, зачастую не могут быть получены в рамках одной научной дисциплины и междисциплинарные подходы становятся все более актуальными.

Список литературы

Костовска С. К., Некрич А. С., Костовска Ст. К. Наземные картографо-геодезические исследования ландшафтов европейской части российской Арктики // Известия РАН. Сер. географ. 2018. № 5. С. 123–131.

Морфометрические исследования тундровых ландшафтов Арктической зоны РФ (Республика Коми: ж/д станции Хановей и Песец, остров Белый: полярная станция им. М. В. Попова) / А. С. Войтенко, П. Т. Орехов, С. К. Костовска, Д. О. Сергеев // Проблемы региональной экологии. 2017. № 2. С. 85–91.

Научные и образовательные программы комплексных исследований Российской Арктики / С. К. Костовска, А. С. Некрич, Д. Ю. Поликин и др. // Проблемы региональной экологии. 2016. № 1. С. 58–65.

Осокин Н. И., Сосновский А. В. Оценка термического сопротивления снежного покрова на Западном Шпицбергене // Лёд и Снег. 2024. № 3. С. 420–430.

Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1978. 319 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА В МОРЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ АРКТИКИ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ

С. Б. Крашенинникова, Р. И. Ли, А. А. Сысоев, И. В. Сысоева, М. И. Силаков, А. В. Темных

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Россия
svetlanabk@mail.ru

Актуальность исследований обусловлена важностью получения знаний о планктонных сообществах морей Европейской Арктики, являющихся экологическими маркерами района исследования в условиях изменяющегося климата.

Фитопланктон – является первичным звеном трофической цепи. Его пигмент – хлорофилл–*а* принимается, как показатель биопродуктивности вод. Опираясь на данные о биомассе, численности и видовом составе фитопланктона можно судить об экологической ситуации исследуемого района. Для изучения состояния морских экосистем арктических морей и оценки интегрального показателя живой биомассы микропланктона важно проводить люминесцентный анализ АТФ (аденозинтрифосфата). Это наиболее быстрый и эффективный метод оценки динамики биомассы и стадий сукцессии микропланктона. Для оценки интегрального показателя состояния сообществ микропланктона используются биохимические методы. Особый интерес представляют величины продукции фотосинтеза и общей гетеротрофной деструкции, являющихся основными элементами биотического баланса океана.

Роль биолюминесценции как средства межвидовых взаимодействий в функционировании экосистем огромна. Знание параметров биолюминесцентных сигналов светящегося зоопланктона (желетелого макропланктона) позволяет использовать их как для оценки физиологического состояния самих организмов (в том числе реакции на загрязнение), так и для экспресс-анализа распределения планктона в столбе воды при вертикальном зондировании биолюминесцентными приборами.

Цель работы – исследовать особенности распределения и сезонную динамику фитопланктона с учетом влияния факторов среды, а также изучить биолюминесцентную реакцию желетелого зоопланктона в морях Арктики (Карском и Баренцевом).

В основу работы легли данные экспедиций 89, 93, 96 рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш», в которых проводились исследования фито- и зоопланктона Баренцева и Карского морей, а также абиотических факторов среды, определяющих их изменения в верхнем слое воды зимой 2022 г., осенью 2023 г., летом 2024 г. соответственно. Для сравнения измеренных значений концентрации хлорофилла-*a* использовались спутниковые данные (http://www.globcolour.info) с разрешением 4 км. Оценивалась трофность вод по показателям концентраций хлорофилла–*a* и АТФ микропланктона. Проводился анализ физиологического состояния микропланктона и его размерных фракций, и биолюминесценции макропланктона (гребневиков, копепод, гипериид, эвфаузиид). Сбор макропланктона осуществляли вертикальным тотальным ловом сетью ИКС-80. Активные и неповрежденные организмы извлекались из проб и проводилась постепенная многочасовая акклиматизация к температурным условиям эксперимента в морском фильтрате приповерхностного слоя воды (ячея фильтра 0,45 мкм). Эксперименты с желетелым макропланктоном проводились в лаборатории при температуре воды от 14 °С до 16 °С. Температура забортной воды при сборе биологического материала находилась в диапазоне от –1,5 °С до 6,0 °С. В качестве стимуляции биолюминесценции выбраны механический (введение морской воды для создания турбулентного потока) и химический (введение 95% этанола) методы. По данным измерений и реанализа *GLORYS*12*v*1 исследовалось распределение гидрологических параметров в морях Арктики.

В результате проведенных исследований зимой 2022 г. установлены особенности распределения фитопланктона, концентрации хлорофилла–*a*, АТФ микропланктона и определены стадии зрелости сообщества фитопланктона в Карском и Баренцевом морях. Самые высокие значения биомассы фитопланктона 1496 мкг/л и численности $0{,}8\times10^{6}$ кл/л, были зарегистрированы в северной области полуострова Ямал, где в акваторию впадают реки Обь и Енисей. Максимальная концентрация хлорофилла–*a* (0,7 мкг/л), также была зарегистрирована в прибрежных водах северной части полуострова Ямал. Основываясь на среднемесячных спутниковых данных о содержании хлорофилла–*a*, можно заключить, что в прибрежных водах полуострова Ямал значение концентрации превышало 1,3 мкг/л (значения примерно в 2 раза выше, чем измеренные). Все воды в Карском море зимой были преимущественно мезотрофными, за исключением района Байдарацкой губы и прибрежной акватории п-ова Ямал, где они были эвтрофными. В прибрежных водах п-ова Ямал и Байдарацкой губы преобладали миксотрофы: диатомовые и динофлагелляты (смешанное сообщество). В прибрежных водах архипелага Новая Земля преобладали гетеротрофы: динофлагелляты (развитое сообщество). Выявлены особенности функционального и физиологического состояния микропланктона в морских экосистемах морей Европейской Арктики в условиях полярной ночи зимой 2022 г. Аналогичные исследования были проведены в условиях полярного дня летом 2024 г., а также осенью 2023 г. Микропланктон в Европейской Арктике показал высокую адаптивность к сезонным изменениям абиотических факторов среды.

Изучение биолюминесцентной реакции желетелых светящихся организмов было проведено впервые летом 2024 г. У гребневиков, представителей рода *Beroe*, энергетические показатели биолюминесцентного сигнала при химической стимуляции оказались намного выше, чем при механической, при равной длительности этих сигналов. Для представителей гребневиков рода *Pleurobrachia* амплитуда биолюминесцентного сигнала оказалась выше при механической стимуляции. Энергия сигнала наблюдалась намного слабее, чем у видов рода *Beroe*. У гидромедуз рода *Sarsia* при небольшой экспозиции в темноте уровень амплитуды при механической стимуляции оказался очень низким, при этом импульсы сливались в сплошную «гребенку». При длительной экспозиции в темноте амплитуда сигнала и энергия оказались больше при механической стимуляции. На химическую стимуляцию биолюминесцентный отклик часто находился на пороге чувствительности прибора или отсутствовал. Биолюминесцентный сигнал у сифонофор характерен долгим и постепенным затуханием. Основная энергия сигнала приходилась на первые две-три секунды биолюминесцентного отклика. Импульс с максимальной энергией – амплитудой всего сигнала узкий и не превышал по длительности 0,1 с. Общая длительность биолюминесцентного отклика оказалась на порядок выше у сифонофор, чем у всех вышеперечисленных организмов и достигал 60 секунд при химической стимуляции, в то время как у гребневиков и медуз – от 1 до 6 секунд. Амплитуда при механической стимуляции была на порядок выше, чем при механической. Последующий мониторинг биолюминесценции в данном районе позволит оценить степень влияния изменения климата и различных гидрологических процессов на светящиеся организмы.

Авторы выражают благодарность начальнику экспедиции к.г.-м.н. М. Д. Кравчишиной (ИО РАН) и всему научному составу и экипажу 89, 93, 96 рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» за всестороннюю поддержку научных исследований.

Работа выполнялась по теме гос. задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» № 124030100137-6.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ПЛАВНИКА НА ШПИЦБЕРГЕНЕ

В. В. Кузнецова, М. Ю. Александрин, Н. С. Семеняк,
Р. Р. Бичурин, М. Штоффель, К. Корона, Р. Чернов

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
kuznetsova@igras.ru

В условиях изменяющегося климата древесно-кольцевые хронологии (ДКХ) остаются одним из наиболее надёжных прокси-индикаторов палеоклиматических изменений (Briffa K. R. и др., 2002; Büntgen U., 2022). Бореальные леса служат важным источником данных о климате всего Северного полушария; этот архив хорошо представлен в научных базах данных и легко доступен для исследований.

Материал и методы. Арктический плавник (driftwood, DW) на Шпицбергене представлен в основном древесиной хвойных пород, попавшей в русла рек в результате естественных процессов – обрушения берегов, вызванного эрозией и экстремальными паводками или ледовыми штормами (Dyke A. S., 1997; Alix C., 2005; Hellmann L. и др., 2015). Дополнительным источником древесины служит хозяйственная деятельность человека: при сплаве часть стволов теряется и переносится реками в океан, откуда с течениями мигрирует до отдаленных арктических архипелагов – Шпицбергена, Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и др. (Linderholm H. W. и др., 2021; Hellmann L. и др., 2013). Исследования Hellmann и соавторами (2015, 2016, 2017) показали, что значительная доля древесины на арктическом побережье происходит от транспортировки леса с территории Сибири в середине XX века.

Результаты и обсуждение. Нами проанализировано 218 образцов плавника, для которого построено 3 древесно-кольцевых хронологии по ширине годичных колец (ШГК) и оптической плотности (dBI) сосны, ели и лиственницы (порода также определена в рамках исследования). Построенные хронологии и индивидуальные серии датированы относительно 364 ДКХ, опубликованных в международном банке древесно-кольцевых данных ITRDB. В качестве параметров для датирования выбрана ШГК и максимальная плотность древесины (MXD), аналог оптической плотности BI.

Наши данные подтверждают, что доминирование сосны в составе арктического плавника связано с высоким процентом молодого лесоматериала, потерянного при сплаве из бассейнов крупных рек (Енисея, Двины, Печоры) в Арктический океан (Hellmann L. и др., 2015). В отличие от выводов Hellmann и др. (2015), в нашем исследовании доля естественной древесины и древесины, утраченной при сплаве, была выше для лиственницы и ели, что может объясняться акцентом на образцах с сохранившимися ветвями, искривлёнными стволами и другими морфологическими признаками. Эти образцы выбраны нами для пополнения архивов древесно-кольцевых данных, используемых для палеоклиматических реконструкций.

Наши результаты показывают, что ширина годичных колец (TRW) является наиболее надёжным параметром для определения происхождения плавника, отобранного на Шпицбергене, а показатель оптической плотности древесины (dBI) может использоваться как дополнительный инструмент для проверки датировок.

Для плавающей хронологии по ели получена самая надежная дата 1985 г. и определено происхождение древесины – бассейн р. Северная Двина. Плавающая хронология по сосне сдатирована 1515 годом относительно шведской хронологии (SWED020), а по лиственнице получена дата 1817 г., происхождение древесины – бассейн р. Енисей.

Заключение. Плавник, отобранный на территории архипелага Шпицберген, обладает значительным потенциалом для палеоклиматических и дендроархеологических исследований. Применение древесно-кольцевого анализа позволяет не только установить происхождение древесины, но в перспективе реконструировать климатические колебания в Арктике, выявлять особенности хозяйственной деятельности, изменения стока арктических рек, определяющих распределение древесного материала в северных широтах.

Список литературы

Alix C. Deciphering the impact of change on the driftwood cycle: contribution to the study of human use of wood in the Arctic // Global and Planetary Change. 2005. 47.2–4: 83–98.

Briffa K. R. et al. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1, local and regional climate signals // The Holocene. 2002. 12.6: 737–757.

Büntgen Ulf. Scrutinizing tree‐ring parameters for Holocene climate reconstructions // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2022. 13.4: e778.

Dyke A. S. et al. Changes in driftwood delivery to the Canadian Arctic Archipelago: the hypothesis of postglacial oscillations of the transpolar drift // Arctic. 1997. 1–16.

Hellmann L. et al. Tracing the origin of Arctic driftwood // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2013. 118.1: 68–76.

Hellmann L. et al. Timber logging in Central Siberia is the main source for recent Arctic driftwood // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2015. 47.3: 449–460.

Hellmann L. et al. Regional coherency of boreal forest growth defines Arctic driftwood provenancing // Dendrochronologia. 2016. 39: 3–9.

Hellmann L. et al. Dendro-provenancing of Arctic driftwood // Quaternary Science Reviews. 2017. 162: 1–11.

Linderholm H. W. et al. The origin of driftwood on eastern and south-western Svalbard // Polar Science. 2021. 29: 100658.

ФОРМИРОВАНИЕ ОРНИТОКОМПЛЕКСОВ МОЛОДЫХ МОРЕН ШПИЦБЕРГЕНА

Е. Г. Лаппо, Р. А. Чернов

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
ellappo@mail.ru, chernov@igras.ru

Важнейшим фактором, влияющих на природу Шпицбергена, является потепление климата в Атлантическом секторе Арктики, которое привело к значительному сокращению ледников и морских льдов Шпицбергена. Сокращение площади ледников, таяние морского льда приводят к «атлантификации» и «бореализации» орнитофауны, сдвигам в фенологии жизненного цикла птиц, изменению видового состава и численности колоний морских птиц, успеха их гнездования (Descamps S. et al., 2017).

Современный этап дегляциации Западного Шпицбергена начался около 100 лет назад. За это время (с 1920-х гг.) крупные горно-долинные ледники окрестностей залива Грёнфьорда (Земля Норденшельда) отступили примерно на 2,1–2,8 км от берега, освободив значительные пространства, лежащие на низких гипсометрических уровнях, общей площадью около 14 км^2 (Чернов, Муравьев, 2018). В связи на берегах залива появились молодые обширные морены, с отчетливыми отличиями от окружающих тундр как по морфологическим признакам, так и по характеру растительного покрова (Тишков, 1985; Moreau et al., 2005; Turner-Meservy et al., 2022). На моренах сформировались многочисленные озера разного размера (52 озера) суммарной площадью 1,9 км^2 (Ромашова, Чернов, 2022).

Эти недавно освободившихся ото льда территории «новой суши» (Тишков и др., 2023) – молодые слабозадернованные морены с озерами, – оказались удобными местообитаниями для птиц. Также немаловажно, что эти места лежат в стороне от активной антропогенной трансформации ландшафтов, там гораздо меньше проявляется фактор беспокойства со стороны человека и они менее доступны для хищников.

Обследование берегов залива Грёнфьорд в августе 2022–2025 гг. выявлено 26 видов птиц, из них гнездяшихся – 27 видов (Лаппо, неопубликованный отчет). Из них 10 видов птиц с разным статусом были обнаружены на территориях приледниковых морен ледников. На молодых моренах встречаются или гнездятся краснозобые гагары, глупыши, гуменники, белощекие казарки, тундряные куропатки, морские песочники, бургомистры, полярные крачки, большие поморники и пуночки (Лаппо, Чернов, в печати).

Видовой состав, характер пребывания и численность птиц различаются на моренах разных ледников, что связано со временем отступания ледников, рельефом, заозеренностью и степенью задернованности этих «новых территорий». При сравнении орнитокомплексов морен ледников Восточный и Западный Грёнфьорд, Альдегонда и Веринг, оказалось, что наибольшее количество птиц отмечено на моренах ледника Восточный Грёнфьорд, площадь которых составляет около 2,5 км^2 и значительная часть которых лежит ниже отметки 25 м. Среди их моренных холмов образовалось более 30 озер разного размера (Ромашова, Чернов, 2022), также активно используемых птицами.

Проведенные исследования позволяет сделать следующие предварительные выводы:

1. Наиболее предпочитаемыми для птиц оказались сравнительно пологие хорошо задернованные участки морен с многочисленными озерами, которые освободились от ледников на раннем этапе дегляциации, более 50–60 лет назад.

2. Вселение птиц на новые приледниковые территории, как дополнительные или альтернативные местам, ставшим для них менее пригодными, происходит не повсеместно и сравнительно медленно: пока, за прошедшие менее 100 лет, эту «новую сушу» освоили лишь около трети видов птиц, встречающихся на окружающих территориях.

3. Присутствие птиц на приледниковых моренах приводит к усиленной нитрификации, ускоряющей естественный сукцессионный процесс зарастания приледниковых морен.

4. Мониторинг и дальнейшее изучение сходства и различия видового состава, численности и скорости заселения птицами «новой суши» – молодых морен разного типа требует дальнейшего изучения и важны для понимания процесса динамики экосистем и их компонентов в Арктике ввиду современных климатических и прочих изменений.

Финансирование. Полевые работы проводились в рамках комплексной Шпицбергенской экспедиции Института географии РАН при поддержке треста «Арктикуголь» (гранты FM WS-2024-0001 и FMWS-2025-0002). Анализ данных и работа с картографическим материалом выполнены при поддержке гранта РНФ № 22-17-00168-П

Список литературы

Лаппо Е. Г. Орнитофауна Шпицбергена (залив Ис-фьорд) в августе 2022–2025 гг.: Неопубликованный отчет. 30 с.

Лаппо Е. Г., Чернов Р. А. Птицы новых приледниковых территорий залива Грёнфьорд (Шпицберген)». В печати (журнал «Арктика и Антарктика», 11 с.).

Ромашова К. В., Чернов Р. А. О формировании новых приледниковых озёр в бассейне залива Грёнфьорд (Шпицберген) в 1938–2010 гг. // Лёд и Снег. 2022. 62(2): 193–202. URL: https://doi.org/10.31857/S2076673422020125

Тишков А. А. Первичные сукцессии экосистем арктических тундр западного побережья Шпицбергена // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. 3: 99–105.

Тишков А. А., Добрянский А. С., Кренке А. Н., Гнеденко А. Е. Изменение площади суши Российской Арктики для освоения биотой // Арктика: экология и экономика. 2023. 13(2): 188–200.

Чернов Р. А., Муравьев А. Я. Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // Лёд и Снег. 2018. 58(4): 462–472. URL: https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-4-462-472

Descamps S., Aars J., Fuglei E., Kovacs K. M., Lydersen C., Pavlova O., Pedersen Å. Ø., Ravolainen V., Strøm H. Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago – Svalbard, Norway // Global change biology. 2017. 23(2): 490–502. URL: https://doi.org/10.1111/gcb.13381

Moreau M., Laffly D., Joly D., Brossard T. Analysis of plant colonization on an arctic moraine since the end of the Little Ica Age using remotely sensed data and a Bayesian approach // Remote Sensing of Environment. 2005. 99: 244–253. URL: https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.017

Turner-Meservy C., Vilmundardóttir R. L., Gísladóttir G. Soil chemical properties in glacial moraines across a chronosequence influenced by avifauna and volcanic materials: Breiðamerkurjökull, Iceland // Catena. 2022. 209(2): 105836. URL: https://doi.org/10.1016/j.catena.2021

ОРНИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ММБИ РАН НА ШПИЦБЕРГЕНЕ: 2000–2025 гг.

Н. В. Лебедева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
lebedeva@mmbi.info

Шпицберген – архипелаг высокоширотной Арктики, который стал модельной площадкой Мурманского морского биологического института РАН не только для комплексных морских исследований, но также для изучения орнитофауны и ее роли в функционировании наземных и морских экосистем архипелага. Развитие научной активности ММБИ РАН в этом направлении в первой четверти 21 века было связано как с фундаментальными научными задачами, так и наличием логистических возможностей для исследователей. ММБИ РАН располагает собственным судном «Дальние Зеленцы» и наземной биогеостанцией, что позволяет проводить наблюдения и решать специальные научные задачи как в водах, омывающих архипелаг, так и наземных экосистемах в разные сезоны года. Взаимодействие с Российским научным центром на архипелаге Шпицберген (РНЦШ), Университетским центром на Шпицбергене (UNIS), научными учреждениями России, Норвегии и других стран, выполнявших исследования на архипелаге, позволило реализовывать задачи в смежных с орнитологией направлениях: таких как паразитология, экотоксикология, радиоэкология, почвенная зоология и биогеография. В разные годы по нескольким направлениям, связанных с изучением фауны и экологии птиц, работали непосредственно на архипелаге и с материалами, полученными из этого района, сотрудники ММБИ РАН С. В. Зырянов, С. Ф. Марасаев, Н. Ю. Иваненко, А. В. Ежов, Н. В. Лебедева, Ю. В. Краснов, В. В. Куклин и др.

Как известно, потепление климата в Арктике идет более быстрыми темпами, чем в других регионах Земли, что сказывается на составе орнитофауны архипелага. К 2025 году на Шпицбергене достоверно подтверждено гнездование для 45 из 241 зарегистрированных видов птиц, из них 30 гнездятся регулярно (http://www.svalbardbirds.com/), тогда как 25 лет назад для архипелага, включая о. Медвежий, было известно лишь 202 вида, в том числе 28 гнездящихся (Strøm, Bangjord 2004). Справедливо будет отметить, что одной из причин столь масштабного увеличения орнитофауны Шпицбергена в 21 веке стал повышенный интерес исследователей и непрофессиональных наблюдателей (туристов-бердвотчеров) к регистрации видов.

В целом, авифауна Шпицбергена изучена достаточно полно по сравнению с другими архипелагами Арктики (Lervenskiold, 1964; Головкин, 1991; Camphuysen, 1993; Strøm, 2009;

Гаврило, 2007 и др.). Эти исследования были дополнены публикациями сотрудников ММБИ по фауне и экологии птиц заливов Грён-фьорд (Матишов и др., 2004; Иваненко, 2007, 2009, 2012) и Ис-фьорд (Зырянов, Марасаев, 2002; Марасаев, 2003, 2004), окрестностей поселков Лонгиербин, Баренцбург и Пирамида (Иваненко, 2006, 2014; Лебедева, 2018, 2019, 2020б; Лебедева, Коблик, 2019). Отдельные публикации были посвящены группам и видам птиц, в частности по гусеобразным, обыкновенной гаге *Somateria mollissima* (Иваненко, 2007, 2014; Краснов и др., 2024); обыкновенному чистику *Cepphus grylle* (Лебедева, 2020а); пуночке *Plectrophenax nivalis,* единственному виду воробьиных птиц, гнездящемуся на Шпицбергене (Лебедева, 2016, 2018; Захаров, Лебедева, 2020).

Трофические связи обыкновенной гаги*,* обитающей на архипелаге, были изучены на основе копрологического анализа в сравнительном аспекте с пищевым рационом этого вида на Земле Франца Иосифа. Выявлены общие закономерности в питании гаг двух архипелагов: при снижении доступности видового разнообразия моллюсков птицы способны заменять их массовыми формами ракообразных. Была высказана гипотеза о том, что одним из существенных факторов, лимитирующих численность этого вида на арктических архипелагах, являются объемы и структура доступной для них кормовой базы (Краснов и др., 2024).

Отлов и мечение пуночек ранней весной позволили установить сроки прилета, состав стай, прибывающих первыми на архипелаг, и основные кормовые стации ранней весной. Выяснено значение морской литорали в качестве важнейшей кормовой стации вида при восстановлении массы тела после весеннего перелета с материка на Шпицберген (Лебедева, 2016). Обнаружена взаимосвязь сроков прилета пуночек с атмосферной циркуляцией и направлением ветров (Лебедева, 2018; Захаров, Лебедева, 2020).

Паразитологическое направление было сфокусировано на двух задачах: изучение фауны гельминтов и зараженности морских птиц, а также поиск взаимосвязей между гельминтозами птиц и токсическим воздействием различных экологических загрязнителей. Опубликованы предварительные сведения о гельминтофауне нескольких видов морских птиц Ис-фьорда (Galkin et al., 2000; Куклин и др., 2004а,б) и выяснено, что наибольшая зараженность гельминтами характерна для эврифагов и птиц, основу кормового рациона которых составляют литоральные и сублиторальные беспозвоночные (Куклин и др., 2004а,б). В рамках международного сотрудничества установлено, что уровни загрязняющих веществ (органических токсикантов и тяжелых металлов) в органах и тканях бургомистра (*Larus hyperboreus*) не вызывают снижения иммунного ответа, которое могло бы усилить интенсивность паразитарного заражения (Sagerup et al., 2009).

Экотоксикологическое направление в течение ряда лет было основано на сотрудничестве с норвежскими коллегами: исследовали хлорорганические и другие токсиканты в органах и тканях вида-биоиндикатора Арктики – бургомистра (Savinov et al., 2005; Sagerup et al., 2009).

Одно из направлений работ сформировалось на стыке орнитологии, почвенной зоологии и биогеографии. Была высказана гипотеза об ави-векторе почвенной биоты, как одном из факторов проникновения непаразитических видов беспозвоночных (панцирных клещей) с материка на архипелаги Арктики на мигрирующих птицах (Лебедева, Криволуцкий, 2003). Публикации по орибатидам в оперении, местообитаниях и гнездах птиц Шпицбергена по материалам, собранном в 2001 и 2004 годах (Лебедева, Криволуцкий, 2003; Лебедева и др., 2003; Лебедева, Лебедев, 2005; Лебедева и др., 2006), выявили неизвестные ранее виды орибатид для архипелага и вызвали всплеск интереса в изучении почвенных микроартропод, в результате чего видовой список этой группы за десятилетие был увеличен в два раза. В дальнейшем были затронуты некоторые аспекты экологии птиц, которые могли бы повлиять на состав почвенной фауны: изучены местообитания и гнезда птиц, в которых выявлены некоторые закономерности формирования сообществ почвенных беспозвоночных. Исследованы особенности распределения беспозвоночных в градиенте птичьего базара близ Баренцбурга (Лебедева и др., 2020), гнездах бургомистра (Лебедева и др., 2012а,б), местообитании короткохвостого поморника *Stercorarius parasiticus* на о. Северо-Восточная Земля (Лебедева, Таскаева, 2012), гнездах пуночки (Лебедева и др., 2014). Изучено потенциальное влияние птиц на почвенных раковинных амёб (Mazei et al., 2018). Была отклонена гипотеза о связи особенностей структуры и пространственного распределения этой группы животных с орнитогенными почвами.

Радиоэкологические исследования были сфокусированы на идее выноса радионуклидов из морской экосистемы в наземную преимущественно в колониальных местообитаниях (птичьи базары). Эта гипотеза была поддержана данными о распределении ^{137}Cs под колонией птиц в окрестностях пос. Баренцбург (Лебедева и др., 2021).

ВЫСОТА ГРАНИЦЫ ПИТАНИЯ НА ЛЕДНИКАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ШПИЦБЕРГЕНА

Б. Р. Мавлюдов

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
bulatrm@bk.ru

Показателями изменения ледников и их реакции на вариации климата являются изменение границ ледников, их поверхности и высоты границы питания. Граница питания разделяет области абляции и аккумуляции на ледниках. При повышении высоты границы питания во времени площадь области аккумуляции сокращается, а площадь области абляции – увеличивается. При этом ледники стремятся сокращатся в размерах. И наоборот, при понижении высоты границы питания во времени область аккумуляции растет, а область абляции сокращается. В этом случае ледники увеличиваются в объеме. Поскольку высота границы питания является интегральным показателем реакции ледников на изменения климата, то далее мы будем ориентироваться на неё.

Анализ динамики ледников Земли Норденшельда на Шпицбергене показал, что они довольно чутко реагируют на изменения климата. Было отмечено, что из-за потепления климата ледники в течение конца XX и начала XXI века имели отрицательный баланс массы и значительно деградировали. В 1980-х гг. граница питания на ледниках в окрестностях Грёнфиорда располагалась на высоте 300–350 м над уровнем моря, и ледники имели как область аккумуляции, так и область абляции. К 2005 году граница питания на ледниках поднялась до высот 1000–1100 м над уровнем моря, а ледники в окрестностях Грёнфиорда потеряли области аккумуляции, то есть начали деградировать. Наиболее интенсивно ледники отступали в течение последних десятилетий. Однако примерно с 2005 г. деградация ледников несколько замедлилась. При этом в нижних частях ледников интенсивность таяния льда практически не изменилась, а в верхних частях ледников таяние льда сократилось вдвое и более. Это явление сопровождалось повсеместным понижением высоты границы питания ледников, которая в это время вернулась примерно к уровню 1980-х гг. (Мавлюдов и др., 2012). Все это свидетельствовало о произошедшем каком-то изменении климата, причем похолодание отразилось только в верхней части гор. Вероятно, это явление было как-то связано с изменениями циркуляционных процессов в атмосфере. Об этом можно было судить по тому, что в этот период прогнозная климатическая модель NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), которая ранее очень адекватно предсказывала погоду, в 2006–2007 гг. полностью перестала работать.

Таким образом, данные метеостанции Баренцбург, расположенной на высоте 70 м над уровнем моря, показывают только повышение температуры и не показывают климатических изменений в горах на Шпицбергене, нужно было найти какие-либо параметры, которые дадут отсутствующую информацию. Наилучшим из них мог быть летний высотный температурный градиент, измеренный на ледниках, поскольку от температуры воздуха на разных абсолютных высотах зависит таяние снега и льда. К сожалению, протяженных во времени рядов таких данных в наличии не оказалось. В результате, мы использовали имеющиеся данные и проанализировали изменение высотного градиента средней летней температуры воздуха (VI–VIII месяцы – период наиболее интенсивного таяния снега и льда на ледниках) между метеостанциями Лонгиер аэропорт, расположенной на высоте 28 м над уровнем моря, и автоматической метеостанцией Gruvefjellet, которая находилась на высоте 464 м над уровнем моря (Weather-stations …). При этом обе метеостанции отражали состояния поверхностей, расположенных вне территорий ледников. Оказалось, что в 2002–2004 гг. высотный градиент средней летней температуры воздуха на этой территории колебался около 0,4–0,5 ºС/100 м при понижении температуры воздуха с высотой, но к 2007 г. высотный градиент вырос до 1,0 ºС/100 м, а потом опять уменьшился до 0,7–0,8 ºС/100 м, оставаясь примерно на одном уровне до 2019 г. Иными совами, в начале наших наблюдений высотный градиент средней летней температуры воздуха был несколько ниже глобального среднего высотного градиента (равен 0,6 ºС/100 м), что создавало определённые условия таяния снега и льда на ледниках, а потом существенно этот градиент увеличился вдвое. Это объясняет существенное понижение температуры воздуха с высотой и соответствующее сокращение таяния в верхней части гор (Мавлюдов и др., 2012). Мы можем использовать эти данные не только для мета расположения метеостанций, но и для анализа ситуации в районе Грёнфиорда, поскольку между данными по температуре воздуха по метеостанциям Баренцбург и Лонгиер аэропорт имеется хорошая связь (коэффициент достоверности около 0,8). При этом приведенные данные относятся к территориям в средней части острова, свободным от льда, которые хорошо прогреваются солнечной радиацией. Аналогичные результаты, вероятно, будут и для района Грёнфиорда, свободного ото льда. Но на ледниках высотный градиент средней летней температуры воздуха должен изменяться ещё сильнее, так как поверхность тающего снега и льда не прогревается солнечной радиацией и имеет постоянную нулевую температуру. Естественно, это не могло не сказаться на балансе массы льда и высоте границы питания ледников. В период с 2006 по 2010 гг. понижение высоты границы питания привело к формированию области аккумуляции на ледниках в окрестностях Грёнфиорда, которая полностью исчезла в 2002–2004 гг. После 2010 г. высота границы питания начала постепенно повышаться, что отразило тенденцию на некоторое потепление климата в верхней части гор. К 2022 году высота границы питания поднялась до высоты 500–550 м над уровнем моря. Однако в 2023–2024 гг. из-за экстремально теплых летних сезонов произошло резкое повышение высоты границы питания ледников до 700–800 м над уровнем моря, хотя её значение к 2024 г. ещё не достигло значений 2003–2005 гг. На данный момент мы видим два пика повышения высоты границы питания на ледниках, которые произошли в 2002–2004 гг. и после 2023 г., между которыми произошло существенное понижение высоты границы питания. Но является ли это проявлением некой цикличности в изменении высоты границы питания во времени могут показать только дальнейшие исследования.

Сравнение данных по температуре воздуха на метеостанции Баренцбург и характера изменения высоты границы питания ледников в окрестностях залива Грёнфиорд показывает, что они не соответствуют друг другу. Поэтому данные метеостанции прямо не могут быть прямо использованы для оценки интенсивности таяния ледников. Вероятно, наиболее надежно для оценки таяния на ледниках использование автоматических метеостанций, расположенных непосредственно в бассейнах исследуемых ледников.

Список литературы

Мавлюдов Б. Р., Саватюгин Л. М., Соловьянова И. Ю. Реакция ледников Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) на изменение климата // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. Вып. 1(91). С. 67–77.

Weather-stations of UNIS. URL: https://www.unis.no/facilities/weather-stations/ (Дата обращения: 10.08.2025).

ПОЛИТЕРМИЧЕСКИЕ ЛЕДНИКИ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Ю. Я. Мачерет, И. И. Лаврентьев, А. Ф. Глазовский

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

На Шпицбергене широко распространены политермические ледники, состоящие из холодного и теплого льда, что подтверждается данными наземного и воздушного радиозондирования (Мачерет, Журавлев, 1985; Dowdeswell et al., 1984). Их дистанционным индикатором служит внутренний отражающий горизонт (IRH), соответствующий границе между сухим холодным льдом и теплым водосодержащем льдом (CTS) и глубине изотермы 0 °С (Мачерет и др., 1985; Мачерет и др., 1992).

На севере Шпицбергена общая средняя толщина политермических ледников составляет 238–586 м, из них верхний слой холодного льда имеет среднюю толщину – 12–360 м, а нижний теплый слой – 15–230 м (Bamber, 1989). В западной части Шпицбергена, на Земле Норденшельда, по данным наземного радиозондирования 2010–2013 гг. в 10 измеренных политермических ледниках площадью от 2,1 до 47,3 км^2 средняя общая толщина льда составляет 30–107 м, а средняя толщина и объем холодного и теплого льда – соответственно 29–66 м, 15–96 м, 0,065–1,352 км^3 и 0,0000–1,352 км^3, общий объем теплого льда – 4,672 км^3 (Мачерет и др., 2019). При среднем содержании воды теплом льду около 2%, эти ледники зимой несут в себе от $18 \cdot 10^3$ до $74660 \cdot 10^3$ м^3 жидкой воды. Однако и более низкое содержание воды, 0,1–1,6 %, измеренное в весенний период в ледниках Фритьоф и Ханс (Macheret, Glazovsky, 2000), может быть достаточным источником для образования приледниковых наледей и внутри- и подледникового стока. Такие наледи и зимний подледниковый сток нередко являются следствием наличия теплого льда, содержащего воду.

Изменения климата влияют на гидротермическую структуру ледников, особенно в Арктике, где потепление происходит особенно быстро. В зависимости от соотношения интенсивности поверхностной абляции ледников и темпов сокращения их теплого ледяного ядра, они (или их отдельные участки или области) могут трансформироваться в полностью (преимущественно) холодные ледники, или же наоборот, в теплые ледники. Такие текущие современные изменения толщины холодного и теплого льда зафиксированы на ряде ледников (Мачерет и др., 2019). Данные повторных радиолокационных измерений позволяют вести мониторинг за изменениями толщины холодного и теплого льда.

Так, заметные изменения толщины холодного и теплого льда установлены по данным повторных радиолокационных измерений на ледниках Восточный Грёнфьорд, Фритьоф (Мачерет и др., 2019) и Альдегонда (Бортстк и др., 2019) на западе Шпицбергена. За периоды с 1979 по 2012 и с 1999 по 2019 гг. средняя толщина этих ледников уменьшилась соответственно на 13, 39 и 11 м, средняя толщина холодного льда – на 28, 87 и 8,8 м, средняя толщина теплого льда – на 14, 84 и 12,7 м. На леднике Средний Ловен на северо-востоке Шпицбергена за период с 1990 по 2006 гг. произошло отступание вверх теплого ледяного ядра примерно на 1150 м со скоростью, превышающей скорость отступания языка, что по данным моделирования может привести к превращению ледника примерно через 25 и 100 лет в преимущественно холодный и полностью холодный ледник (Willis et al., 2007). На леднике Ханс на юге Шпицбергена, в период с 2003 по 2009 гг. толщина холодного льда оставалась относительно стабильной, в пределах 91–87 м, а в период между 2009 и 2014 гг. было отмечено заметное (на 47 м), ее уменьшение вплоть до исчезновения слоя холодного льда. По данным измерений (Jania et al., 2005), в течение двух недель, с 23 июля по 7 августа 2003 г., глубина CTS изменилась только на 0,1 м, но за 8 месяцев, с осени 2003 г. до апреля 2004 г. ее глубина изменилась на 4,8 м. За период с 1999 по 2021 гг. гидротермическая структура ледника в верхней части области абляции весной 2007 г. была двухслойной с соотношением толщин холодного и теплого льда 32/68) и за 14 лет сменилась почти однородной, вплоть до появления теплого льда на поверхности ледника (Kachniarz et al., 2025).

Подобную эволюцию гидротермической структуры политермических ледников предсказывают и данные моделирования (Blatter-Greve, 2015): потепление климата может привести к частичному и даже полному отеплению или выхолаживанию сравнительно тонких политермических ледников и, следовательно, к изменению условий на их ложе, проявлений динамической неустойчивости (подвижек и пульсаций ледников), их гидрологического режима. Дальнейший мониторинг за изменением толщины холодного и теплого льда в политермических ледниках и их пространственно-временных изменений могут обеспечить данные повторных радиолокационных измерений, выполненных на исследованных ранее ледниках в разных районах полярного и горного оледенения.

Список литературы

Лаврентьев И. И., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Мацковский В. В., Муравьев А. Я. Запасы льда в ледниках на Земле Норденшельда (Шпицберген) и их изменения за последние десятилетия // Лёд и Снег. 2019. Т. 59, № 1. С. 23–38. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-1-23-3178

Мачерет Ю. Я., Божинский А. Н., Глазовский А. Ф., Игнатьева И. Ю., Красс М. С., Константинова Т. Н., Ларина Т. Б., Москалевский М. Ю. Строение и гидротермическое состояние и режим субполярных ледников // Режим и эволюция полярных ледниковых покровов. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. С. 48–115.

Мачерет Ю. Я., Глазовский А. Ф., Лаврентьев И. И., Марчук И. О. Распределение холодного и тёплого льда в ледниках на Земле Норденшельда (Шпицберген) по данным наземного радиозондирования // Лёд и Снег. 2019. Т. 59. № 2. С. 149–166.

Мачерет Ю. Я., Журавлев А. Б. Толщина, объем и строение ледников // Гляциология Шпицбергена / Ред. В. М. Котляков. М.: Наука, 1985. С. 7–35.

Мачерет Ю. Я., Загороднов В. С., Василенко Е. В., Громыко А. Н., Журавлев А. Б. Исследование природы внутренних радиолокационных отражений на субполярном леднике МГИ. Вып. 54. 1985. С. 20–130.

Bamber J. L. Ice/bed interface and englacial properties of Svalbard ice masses from airborne radio-echo sounding // Journal of Glaciology. 1989. Vol. 35. No. 119. P. 30–37.

Blatter H., Greve R. Comparison and verification of enthalpy schemes for polythermal glaciers and ice sheets with a one-dimensional model // Polar Science. 2015. Vol. 9. P. 197–207. URL: https://doi.org/10.1016/j.polar.2015.04.001

Dowdeswell J.A., Drewry D.J., Liestøl O., Orheim O. Airborne radio echo sounding of sub-polar glaciers in Spitsbergen. Norsk Polarinstitutte Skrifter 182, 1984, 42 p.

Jania J., Macheret Yu. Ya., Navarro F. J., Glazovsky A. F., Vasilenko E. V., Lapazaran J., Glovacki P., Migala K., Balut A., Piwowar B. A. Temporal changes in radiophysical properties of a polythermal glacier in Spitsbergen // Annals of Glaciology. 2005. Vol. 42, No. 1. P. 125–134.

Kachniarz K., Grabiec M., Wróbel K. et al. Glacier internal structure revealed by automatic image processing-powered classification of radar images // Applied Geomatics. 2025. URL: https://doi.org/10.1007/s12518-025-00635-5

Macheret Yu. Ya., Glazovsky A. F. Estimation of absolute water content in Spitsbergen glaciers from radar sounding data // Polar Research. 2000. Vol. 19. No. 2. P. 205–216.

Willis I. C., Rippin D. M., Kohler J. Thermalregime changes of the polythermal Loveenbreen, Svalbard. The dynamics and mass budget of Arctic glaciers // Extended Abstracts. Work-shop and GLACIODYN (IPY) meeting. 15–18 January 2007, Pontresina, Switzerland. 2007. P. 130–133.

ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ММБИ РАН НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН: РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА (1994–2025 гг.)

Н. И. Мещеряков, Г. А. Тарасов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

Исследование объёмов и характеристик осадочного материала, поступающего во фьорды и на шельф архипелага Шпицберген, привлекает внимание учёных с середины XX века. Основной целью являлось изучение механизмов мобилизации, транспорта и аккумуляции терригенного материала в условиях изменяющейся седиментационной обстановки. Пионерская работа Ю. А. Лаврушина (1960-е гг.) позволила создать первую модель ледниково-морской седиментации в регионе для четвертичного периода. К 1983 году норвежские исследователи (Elverhøi et al., 1983) с помощью гидроакустических методов впервые количественно оценили скорости осадконакопления в Конгс-фьорде и Ван-Мейен-фьорде. К концу XX–началу XXI века дальнейшие исследования норвежских коллег (Svendsen, Mangerud,1997) установили прямую связь между климатическими колебаниями и процессами осадконакопления, что развило более ранние идеи Н. М. Страхова (1960) и Г. Г. Матишова (1984) о влиянии климата на глобальный океанический седиментогенез. Таким образом, решение одних задач порождало новые вопросы, углубляя понимание системы седиментации на арх. Шпицберген.

Параллельно сотрудники ММБИ РАН разработали детальную модель эволюции Западно-Арктического шельфа Евразии в поздне- и послеледниковье (неоплейстоцен-голоцен), уделив особое внимание Шпицбергену (Тарасов и др., 2000). В их работах подчёркивалась роль климата в формировании донных отложений, объяснялись механизмы поступления терригенного материала и описывались колебания скорости седиментации. В начале XXI века эти выводы были дополнены польскими исследователями (Zajączkowski et al., 2004; Zaborska, 2008; Szczuciński et al., 2009), которые отметили изменения современных механизмов седиментации.

Таким образом, к началу XXI века сложилась научная база, позволившая обобщить данные о четвертичной седиментации на Шпицбергене. Однако процессы, происходящие в условиях современного потепления в Арктике, требовали более детального изучения. Для решения этих задач ММБИ РАН с 1994 года, наряду с биологическими исследованиями, развивает седиментологическое направление. Седиментологиечские исследования посвящены в первую очередь анализу динамики осадконакопления во фьордах и приледниковых озёрах (Кокин, Тарасов, 2008), реконструкции динамики ледников в голоцене (Tarasov et al., 2002), датировке напорного вала ледника Грён-фьорд (Тарасов, Кокин, 2008), изучению потоков осадочного вещества (Тарасов, 2004), эстуарной и ледовой седиментации (Мещеряков, Тарасов, 2016; Тарасов, 2010). Эти исследования легли в основу дальнейших работ ММБИ РАН, направленных на изучение механизмов и пространственно-временных закономерностей осадконакопления после Малого ледникового периода (МЛП, 1300–1850 гг. н. э.): седиментационных процессов в эстуарных зонах фьордов и бухт Шпицбергена (Meshcheryakov et al., 2021; Meshcheriakov et al., 2024), в озёрах западной периферии Земли Норденшельда (Meshcheriakov et al., 2021; Meshcheriakov et al., 2025), в рукавах залива Ис-фьорд (Намятов и др., 2025; Мещеряков и др., 2025; Иванова, Усягина, 2025), в проливе Стур-фьорд (Meshcheriakov et al., 2023), а также геохронологии загрязнения донных отложений (Namyatov et al., 2025). Обобщение этих данных позволило описать реакцию седиментационных процессов на климатические изменения последнего столетия, связанные с окончанием Малого ледникового периода и наступлением Климатического оптимума современности (КОС), что привело существенной трансформации режима осадконакопления после 80-х годов прошлого века (Meshcheriakov, 2025).

Таким образом, проведённые исследования позволили выявить закономерности осадконакопления в бассейнах архипелага Шпицберген в последние столетия – от Малого ледникового периода до Климатического оптимума современности. Работы ММБИ РАН не только подтвердили существующие представления о взаимосвязи климата и седиментации на Шпицбергене, но и существенно дополнили их качественными и количественными характеристиками, уточнив механизмы позднеголоценовой седиментации в период климатических колебаний субатлантика. Был описано явление отклика седиментации на климатические изменение в различных бассейнах архипелага, который прослеживается с момента окончания МЛП и имеет современную тенденцию развития.

Список литературы

Иванова Н. С., Усягина И. С., Мещеряков Н. И. Предварительные результаты определения современных темпов осадконакопления в кутовой части залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2024. Вып. 11. С. 158–165. DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-158-165

Кокин О. В., Тарасов Г. А. Подводный рельеф и донные отложения приледникового озера Ледовое (Запад-ный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 173–177.

Лаврушин Ю. А. Ледниково-морские отложения Шпицбергена и некоторые закономерности их образования // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 1968. № 35. С. 124–138.

Матишов Г. Г. Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.

Мещеряков Н. И., Тарасов Г. А. Осадкообразование и литологическое строение приповерхностной осадочной толщи в приустьевой отмели р. Грёндален (залив Грён-фьорд) // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1/1. С. 101–109.

Намятов А. А., Усягина И. С., Иванова Н. С., Мещеряков Н. И., Токарев И. В., Блошкина Е. В., Рыжов И. В., Коршунова Н. Н. Донные осадки как архив данных о климатической изменчивости морской среды (на примере залива Билле-фьорд, архипелага Шпицберген, 1880–2024) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России: Материалы ежегодной конференции по результатам экспедиционных исследований. Вып. 11. Санкт-Петербург, 2024. С. 243–253. DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-243-253

Тарасов Г. А. Новые данные изучения ледового транспорта осадочного вещества в заливе Грён-фьорд // Комплексные исследования Шпицбергена. Вып.10. М.: ГЕОС, 2010. С. 480– 485.

Тарасов Г. А. Новые данные о потоках осадочного вещества в заливах Грёнфьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования Шпицбергена. Вып. 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 151–158.

Тарасов Г. А., Кокин О. В. Новые данные о возрасте напорного вала ледника Грёнфьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 85–92.

Тарасов Г. А., Погодина И. А., Хасанкаев В. Б., Кукина Н. А., Митяев М. В. Процессы седиментации на гляциальных шельфах. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 473 с.

Elverhøi A., Lønne Ø., Seland R. Glaciomarine sedimentation in a modern fjord environment, Spitsbergen // Polar Research. 1983. Vol. 1. P. 127–149.

Meshcheriakov N. I. Influence of Climate Change on Sedimentation Processes of the Spitsbergen Archipelago in the Late Holocene (by the Example of the Little Ice Age and Modern Warming) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2025. Vol. 33. No. 6. P. 766–780.

Meshcheryakov N. I., Usyagina I. S., Sharin V. V., Dauvalter V. A., Dukhno G. N. Chronology of sedimentation in Colesbukta, Spitsbergen (Svalbard Archipelago): the results of the 2018 expedition // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. P. 042081.

Meshcheriakov N. I., Usyagina I. S., Ilyin G. V. The chronology of modern sedimentation in the Storefjorden Strait (Svalbard Archipelago) // Geochem. Int. 2023. Vol. 61. No. 5. P. 529–538.

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 // Stratigr. Geol. Correl. 2024. Vol. 32. No. 5. P. 631–645.

Meshcheriakov N. I., Kokin O. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E. The proglacial Lake Bretjørna (Ledovoe), West Spitsbergen: history of formation and recent sedimentation // Water Resources. 2025. Vol. 51. P. S149–S161.

Namyatov A. A., Usyagina I. S., Meshcheriakov N. I. et al. A reconstruction of radioactive and chemical pollution of the Grønfjorden (bay), West Spitsbergen Island (Svalbard archipelago) // Environ Sci. Pollut. Res. 2025. Vol. 32. P. 12408–12440. URL: https://doi.org/10.1007/s11356-025-36303-9

Meshcheriakov N. I., Usyagina I. S., Ilyin G. V. The chronology of modern sedimentation in the Storefjorden Strait (Svalbard Archipelago) // Geochem. Int. 2023. Vol. 61. P. 529–538.

Meshcheriakov N. I., Ilyin G. V., Zhuvikina E. G., Tarasov G. V. Modern sedimentation processes in glacial lakes on the Spitsbergen archipelago (on the example of Lake Bretjørna) // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 937. 042096. URL: https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042096

Svendsen J. I., Mangerud J. Holocene glacial and climatic variations on Spitsbergen, Svalbard // The Holocene. 1997. Vol. 7. No. 1. P. 45–57. DOI: 10.1177/095968369700700105

Szczuciński W., Zajączkowski M., Scholten J. Sediment accumulation rates in subpolar–Impact of post-Little Ice Age glaciers retreat, Billefjorden, Svalbard // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2009. Vol. 85. No. 3. P. 345–356.

Tarasov G. A., Pogodina I. A., Matishov G. G. Late Quaternary history of Western Spitsbergen // Doklady Earth Sciences. 2002. Vol. 387. P. 1113–1115.

Zaborska A., Carroll J., Papucci C., Toricelli L., Carroll M., Walkusz-Miotk J., Pempkowiak J. Recent sediment accumulation rates for the western margin of the Barents Sea // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2008. Vol. 55. No. 20–21. P. 2352–2360.

Zajączkowski M., Szczuciński W., Bojanowski R. Recent changes in sediment accumulation rates in Adventfjorden, Svalbard // Oceanologia. 2004. Vol. 46. No. 2. P. 217–231.

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНО С УНИВЕРСИТЕТОМ UNIS (UNIVERSITY CENTER IN SVALBARD)

Е. Г. Морозов[1], А. В. Марченко[2], С. В. Писарев[1]

[1]Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
[2]Свальбардский международный университет (University Center in Svalbard, UNIS), г. Лонгйир, Норвегия

Совместные работы с Университетом UNIS проводятся с 2008 г. К сожалению, полевые работы закончились в 2018 г. Работы проводились в фиордах Ван-Майен и Темпел, а также в Баренцевом море около острова Хопен. Изучался внутренний прилив в Баренцевом море и в фиордах подо льдом. Показано, что несмотря на повсеместно принимаемое условие, что лед – это твердая крышка, ледяной покров колеблется под воздействием внутренних волн. Исследована волна цунами, генерированная подвижкой ледника в фиорде. Проведены измерения переохлажденной воды около ледника. Пресная вода вытекает из-под ледника и попадает в более холодную морскую воду. Исследовано течение в незамерзающем канале в фиорде Ван-Майен. Проведены измерения приливного течения в мелком русле (1 м) подо льдом, которое лежит на мелководье. Оценены параметры сейшевых колебаний в лагуне, соединенной с фиордом каналом.

ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ МОРСКИХ ВОД, ОМЫВАЮЩИХ АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН ЗА ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ

А. А. Намятов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
Alexey.namyatov.a@gmail.com

Данное исследование анализирует изменения температуры поверхностных вод (0–20 м), омывающих архипелаг Шпицберген, в период с 1920 по 2022 годы. Полученные данные сравниваются с трендами глобальной температуры поверхности Мирового океана (GST) и Северного полушария (NH), а также с данными метеостанций архипелага. Температура поверхности океана в Северном полушарии с 1965 г. и по настоящее время росла быстрее (выросла на +1.02 °C), чем в среднем по Мировому океану (на +0.82 °C). Цели исследования:

1. Оценить изменения температуры вод вокруг Шпицбергена.
2. Сравнить эти тенденции с глобальными и региональными трендами.

Данные и методы. Использованы данные:

- Глобальной температуры поверхности Мирового океана GST (Climatic Research …, 2024);
- Наблюдений *in situ* (NCEI WOD 1920–2024 гг.) за температурой вокруг Шпицбергена (NCEI, 2023);
- Трех метеостанций Баренцбург, Лонгйир, Ню-Олесунн, Ис-фьорд (Demin et al., 2020; Monthly mean …).

Значения температуры воды *in situ* в слое 0–20 м (июнь–сентябрь) интерполировались в узлы сетки 0.1° по широте и 0.5° по долготе (всего около 2020 точек) и осреднялись за 5 лет. Рассчитывались средние взвешенные значения (Намятов, 2024) для всей акватории (Allw) и ее частей (Ww, Nw, Ew) (рис. 1). Связь между температурой воздуха и воды оценена с помощью коэффициента чувствительности α (Малахова и Елисеев, 2024).

Результаты.

1. **Тренды потепления:** для температуры воздуха и воды (кроме района Nw) выявлен значительный положительный линейный тренд (T1) за период 1908–2024 гг. (рис. 2). Температура воздуха для всего рассматриваемого района повысилась на 1.99 °C, воды – на 1.06 °C. На западной акватории Ww наблюдается процесс, когда температура воздуха росла медленнее, чем температура воды 1.97 и 2.95 °C соответственно.

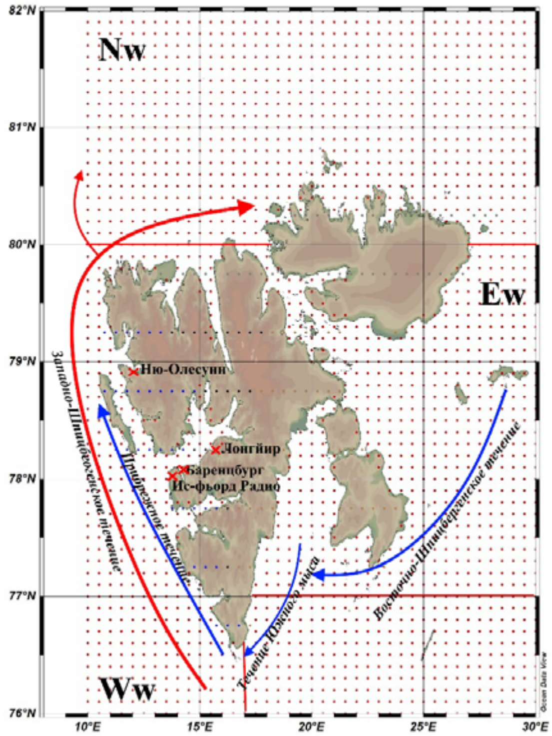

Рис. 1. Архипелаг Шпицберген и омывающие воды. Красные стрелки – поток Атлантических вод. Синие стрелки – холодные течения (По: Современное состояние …, 2020). Красные точки – точки интерполяции. Красные кресты – метеостанции. Красные линии – границы расчётных акваторий (Ww, Nw, Ew)

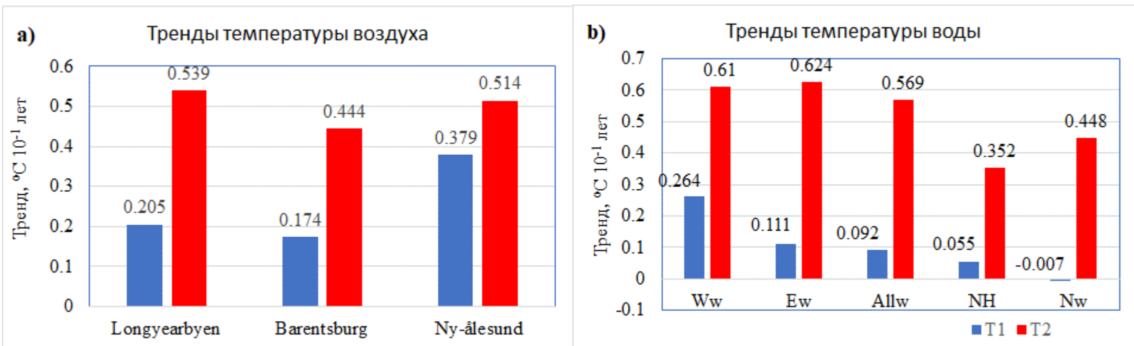

Рис. 2. Линейные тренды T1 и T2 на метеостанциях архипелага Шпицберген (а) и на акваториях, омывающих архипелаг (б)

2. **Коэффициент чувствительности:** для всей акватории и всего периода (1908–2024) коэффициент α составил **1.88** (1 °C потепления воды соответствовало 1.88 °C потепления воздуха). Однако для периода 1976–2024 гг. значение α снизилось до **1.05**.

3. **Изменение режима теплопередачи:** Высокий коэффициент α в начале XX века, вероятно, был вызван более высокой ледовитостью, которая затрудняла передачу тепла от атмосферы к океану. Сокращение площади ледового покрова в последние десятилетия привело систему к состоянию, близкому к равновесию, где теплопередача стала более эффективной, что объясняет снижение α до значений, близких к 1.

Проведенный анализ подтверждает интенсивное потепление в регионе Шпицбергена. Скорость роста температуры воды поверхностного слоя в 2 раза быстрее, чем в Северном полушарии Мирового океана. Изменение коэффициента чувствительности указывает на фундаментальный сдвиг в системе океан–атмосфера, возможно вызванный сокращением площади морского льда.

Список литературы

Малахова В. В., Елисеев А. В. Чувствительность температуры придонного слоя морей арктического шельфа к температуре воздуха в XX–XXIII вв. по данным CMIP6 // Вестник Моск. гос. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. Т. 79. № 2. С. 108–120.

Намятов А. А. Климатические изменения температуры, солености и состава вод Баренцева моря за последние 100 лет // Экосистемы и климат арктических морей: Матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию векового разреза "Кольский меридиан". Мурманск, 2024. С. 160–169.

Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген / Под общей ред. Л. М. Саватюгина. СПб.: ААНИИ, 2020. 304 с

Climatic Research Unit, University of East Anglia and Met Office and Met Office. Accessed 03 July 2024. URL: https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature

Demin V. I., Ivanov B. V., Revina A. D. Restoring a range of surface air temperature at the Russian station in Barentsburg, Svalbard // The Russian Arctic. 2020. 20(9). P. 30–40. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-120093 [In Russian]

Monthly mean air temperature data for [Station Name] were obtained from the Norwegian Meteorological Institute (MET Norway) Climate Portal. Accessed 30 March 2025. URL: https://seklima.met.no/ (data licensed under NLOD 2.0).

NCEI (2023) World Ocean Database. Accessed 30 March 2023. URL: https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database

МОРСКИЕ ХОЛОДНЫЕ ВТОРЖЕНИЯ НАД МОРЯМИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: КЛИМАТОЛОГИЯ, СВЯЗЬ С КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ПРОЦЕССАМИ, ОБЛАЧНО-РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ

А. И. Нарижная[1], А. В. Чернокульский[1,2], М. Г. Акперов[1], И. А. Репина[1]

[1] Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
[2]Институт географии РАН, г. Москва, Россия
alex.narizhnaya@ifaran.ru

В связи с глобальным потеплением во многих регионах земного шара происходят значительные изменения в распределении радиационных потоков и потоков тепла и влаги между океаном и атмосферой. В частности, такие изменения особенно заметны в Арктическом регионе. Баренцево море, являющееся одним из ключевых регионов взаимодействия Арктики со средними широтами, служит очагом для морских холодных вторжений (marine cold-air outbreaks, MCAOs). Эти явления характеризуются быстрой адвекцией холодного воздуха и оказывают существенное влияние на метеорологические и ледовые условия (Kolstad E. W. et al., 2009), включая крайне неблагоприятные погодные условия (резкое понижение температуры, порывы ветра, сильные снегопады), в том числе и в районе архипелага Шпицберген (Kirbus B. et al., 2023). Наблюдаемые в последние десятилетия изменения климата в Арктике влияют на интенсивность и частоту повторяемости морских холодных вторжений (Narizhnaya A. et al., 2020). Изменение характеристик вторжений может быть связано в том числе с изменением циркуляционных режимов (Нарижная А. И. и др., 2022). При этом некоторые исследования показали, что тенденции экстремальных MCAO не обязательно следуют за локальными тенденциями средней температуры. Несмотря на имеющиеся исследования холодных вторжений, это явление изучено достаточно слабо – в особенности трансформация облачно-радиационных характеристик во время MCAO (McCoy I. L. et al., 2017, Narizhnaya et al., 2024). Для развивающихся регионов российского севера изменение интенсивности или поведения основных гидрометеорологических характеристик, связанных с MCAO, может привести к значительным трудностям.

В рамках данной работы на основании различных данных, включая данные реанализов, спутниковых и наземных наблюдений, исследованы различные аспекты, связанные с морскими холодными вторжениями над западным бассейном Российской Арктики (события MCAOs были определены на основе M-индекса, рассчитанного по данным реанализа ERA-Interim). Проанализирована пространственно-временная структура характеристик холодных вторжений за период с 1979 по 2018 г. Для оценки макро- и микрофизических параметров облаков, их радиационных свойств, а также зависимости от концентрации морского льда и характеристик исходной воздушной массы были использованы спутниковые данные CERES и MODIS за период 2001–2018 гг. В частности, рассмотрены радиационные эффекты облаков. Также, по данным спутникового зондирования изучена трансформация облачно-радиационных характеристик при развитии наиболее интенсивных холодных вторжений в Баренцевом море. Проанализирована связь характеристик холодных вторжений с циркуляцией атмосферы (ветровой режим, циклоническая активность), ведущими модами климатической изменчивости, свойствами подстилающей поверхности (температуры поверхности океана и концентрации ледового покрова), свойствами начальной воздушной массы.

Было выявлено статистически значимое сокращение повторяемости холодных вторжений в Гренландском, Норвежском и Баренцевом море зимой и поздней осенью (на 5 %) и усиление весной (на 5–6 %). При этом максимум в годовом ходе отмечен в январе, когда повторяемость всех вторжений достигает 49,6 %, т. е. каждый второй день в регионе наблюдается холодное вторжение. Получено, что по мере трансформации воздушной массы внутри холодного вторжения вдоль по потоку (от кромки льда) балл общей облачности увеличивается в среднем на 5–13 % (в величинах аномалий), количество облаков нижнего яруса при этом возрастает на 20–25 %; аномалии водозапаса облаков нижнего яруса изменяются от 30–50 $г \cdot м^{-2}$ около кромки льда до 130–150 $г \cdot м^{-2}$ у побережья. На основе регрессионного анализа показано, что рост температуры поверхности Баренцева моря на 1 градус приводит к росту длинноволнового облачно-радиационного эффекта во время MCAOs на 6,1 $Вт \cdot м^{-2}$, нижней облачности на 6,9 % и увеличению влагосодержания в облаках на 9,4 $г \cdot м^{-2}$. В свою очередь, удаление кромки льда на 100 км приводит к увеличению количества облачности нижнего яруса на 3,8 % и повышению содержания водяного пара в нижней облачности на 5,7 $г \cdot м^{-2}$.

Показано, что выявленные изменения характеристик MCAO связаны в том числе с изменением циклонической активности в регионе, а именно – с ослаблением циклонов в зимний период и интенсификацией в весенний. При этом, большинство циклонов, в тылу которых формируются сильные вторжения, зарождаются непосредственно над Баренцевым морем или западнее, над районами Северной Атлантики. Получено, что в положительные фазы Североатлантического колебания и Атлантического мультидесятилетнего колебания следует ожидать ослабления холодных вторжений и уменьшения их интенсивности, а в отрицательную – наоборот (коэффициенты корреляции составляют –0,17 и –0,25, соответственно). Выявлен отрицательный отклик характеристик MCAO на изменение полушарной температуры (коэффициент корреляции в среднем –0,4), т. е. можно ожидать уменьшение интенсивности холодных вторжений при общем увеличении температуры воздуха (отрицательная корреляция также получена для связи холодных вторжений с притоком теплой воды из Атлантики).

Список литературы

Нарижная А. И., Чернокульский А. В., Акперов М. Г. Связь характеристик холодных вторжений в Российской Арктике с циклонической активностью и ведущими модами климатической изменчивости // ENVIROMIS-2022. 2022. С. 429–432.

Kirbus B. et al. Analysis of an Arctic cold air outbreak during autumn and related air mass transformations forced by surface changes and advection in higher altitudes // Elem. Sci. Anth. 2023. Vol. 11. No. 1. P. 00079.

Kolstad E. W., Bracegirdle T. J., Seierstad I. A. Marine cold-air outbreaks in the North Atlantic: Temporal distribution and associations with large-scale atmospheric circulation // Climate dynamics. 2009. Vol. 33. No. 2. P. 187–197.

McCoy I. L., Wood R., Fletcher J. K. Identifying meteorological controls on open and closed mesoscale cellular convection associated with marine cold air outbreaks // J. Geophys. Res. Atmos. 2017. Vol. 122. P. 11678–11702.

Narizhnaya A., Chernokulsky A. Cloud characteristics during intense cold air outbreaks over the Barents sea based on satellite data // Atmosphere. 2024. Vol. 15. No. 3. P. 317.

Narizhnaya A. I. et al. Marine cold air outbreaks in the Russian Arctic: climatology, interannual variability, dependence on sea-ice concentration // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. Vol. 606. No. 1. P. 012039.

ДВУСТВОРЧАТЫЕ МОЛЛЮСКИ ФЬОРДОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

А. Э. Носкович

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
alyona.nosckovitch@yandex.ru

Архипелаг Шпицберген расположен в шельфовой зоне на стыке взаимодействия атлантических и арктических вод. Гидрологический режим его заливов и фьордов формируется под воздействием тёплых вод Западно-Шпицбергенского течения, особенностей донного рельефа и влиянием выводных ледников (Матишов, 1984; Митяев, Герасимова, 2003; Митяев и др., 2005; Тарасов, 2009). Ис-фьорд, один из крупнейших фьордов западного побережья острова Западный Шпицберген, в южной части залива у выхода в Гренландское море включает в свою акваторию Грён-фьорд, который имеет свободный и достаточно активный водо- и ледообмен с открытой частью Ис-фьорда (Иванов, Журавский, 2010). Особенности гидрологического режима фьордов Шпицбергена определяет интерес к исследованию закономерностей распределения здесь донных организмов.

Двустворчатые моллюски – одна, из наиболее широко распространенных, богатых по количеству видов, численности и биомассе групп морских животных, нередко играющих ведущую роль во многих донных биоценозах, что делает их удобными объектами для исследований (Федяков, 1986). Целью данной работы являлся анализ видового состава, количественного распределения и биогеографической структуры двустворчатых моллюсков во фьордах архипелага Шпицберген.

Материалом послужили пробы зообентоса, отобранные в ходе экспедиции на судне НИС «Дальние Зеленцы» в ноябре–декабре 2021 года в районе архипелага Шпицберген: в заливах Ис-фьорд и Грён-фьорд. Отбор бентосных проб производился дночерпателем ван-Вина с площадью захвата 0.1 м^2 в 3-кратной повторности. Всего отобрано 54 дночерпательных проб на 18 станциях: 5 станций – в Грён-фьорде и 13 станций – в Ис-фьорде. Глубина отбора проб в целом варьировала от 48 до 290 м. Грунт промывался через капроновое сито с ячеей 0.75 мм. После промывки пробы были зафиксированы 4 %-м раствором формалина, далее сортированные пробы переводили в 75 %-й раствор этилового спирта. У отобранных двустворчатых моллюсков была проведена таксономическая идентификация до вида. Для каждого вида определяли численность (экз/м^2) и биомассу (г/м^2).

В ходе исследований было идентифицировано 24 вида двустворчатых моллюсков, относящихся к 11 отрядам. Основу таксономического разнообразия составили представители отрядов Cardiida, Carditida и Nuculanida. Максимальное число видов зафиксировано на станции 10 в кутовой части залива Грён-фьорд. В целом, биогеографическая структура двустворчатых моллюсков представлена пятью группами, с абсолютным доминированием бореально-арктических видов.

Среди обнаруженных в Грён-фьорде видов лидирующее место по частоте встречаемости (100 %) занимает бореально-арктический вид *Nuculana pernula*, который был отмечен на всех станциях. Второе место занимают такие бореально-арктические моллюски как – *Ciliatocardium ciliatum, Ennucula tenuis* и *Serripes groenlandicus* (80 %). В Ис-фьорде, характеризующемся большими глубинами и, как следствие, более бедным видовым составом, доминировал бореальный вид *Yoldiella lenticula* (80 %).

Двустворчатые моллюски *Lyonsia arenosa, Macoma moesta* и *Thracia myopsis* были зарегистрированы единично в заливе Грён-фьорд, а такие моллюски как *Astarte crenata, Dacrydium vitreum, Hiatella arctica* – в заливе Ис-фьорд.

Количественные показатели двустворчатых моллюсков различались между акваториями. Средняя численность в Грён-фьорде (24.1±10.8 экз/м²) превышала таковую в Ис-фьорде (15.6±3.6 экз/м²) при диапазонах 3.3–63.9 экз/м² и 4.2–51.7 экз/м² соответственно.

Контраст в значениях биомассы был еще более выраженным. В Грён-фьорде биомасса варьировала от 12.1 до 56.9 г/м² (среднее 33.9±7.8 г/м²), тогда как в Ис-фьорде её распределение характеризовалось крайней неоднородностью – от 0.3 до 85.7 г/м². Хотя на большинстве станций этого залива биомасса не превышала 5.0 г/м², регистрация единственного экземпляра *Ciliatocardium ciliatum* с биомассой 85.7 г/м² на станции 21 привела к завышению среднего арифметического значения до 10.5±6.3 г/м². Варьирование биомассы от 0.3 до 11.8 г/м² (среднее 4.2±1.04 г/м²) более объективно отражает условия на большей части акватории Ис-фьорда.

Абсолютные максимумы численности и биомассы были зафиксированы на станции 10 в кутовой части Грён-фьорда. Выявленные различия в распределении малакофауны между заливами, по-видимому, обусловлены комплексом факторов. Повышенное видовое разнообразие и количественные показатели в Грён-фьорде связаны с меньшими глубинами и влиянием ледниковой седиментации. Интенсивное таяние ледников в его кутовой части обеспечивает поступление в воду минеральной взвеси и моренного материала, что формирует специфические условия обитания для ряда видов фильтрующих сестонофагов и собирающих детритофагов, таких *как Parathyasira equalis*. В Ис-фьорде более однородные глубоководные условия определяют доминирование видов, адаптированных к стабильным грунтам и низким температурам.

Список литературы

Иванов Б. В. Журавский Д. М. Ледовые условия в заливе Грён-фьорд (Шпицберген) в течение 1974–2008 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2(85). С. 29–34.

Матишов Г. Г. Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.

Митяев М. В., Герасимова М. В. Фациальная изменчивость современных донных отложений в заливе Хорнсунн (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 99–108.

Митяев М. В., Погодина И. А., Герасимова М. В. Фациальная изменчивость современных отложений залива Грён-фьорд, Западный Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 190–202.

Тарасов Г. А. Современное водно-ледниковое осадкообразование в заливе Грён-фьорд (Шпицберген) // Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 394–400.

Федяков В. В. Закономерности распределения моллюсков Белого моря. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1986. 126 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНСТИТУТА ГЕОГРАФИИ АН СССР (РАН) НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН (1965–2025 гг.)

Н. И. Осокин, Ю. Я. Мачерет, Б. Р. Мавлюдов, Р. А. Чернов, А. В. Сосновский, Э. П. Зазовская, Д. В. Карелин, А. В. Долгих, В. А. Шишков, В. В. Кузнецова, Е. Г. Лаппо

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
osokin@igras.ru

История полевых работ Института географии РАН (ИГ РАН) на Шпицбергене начинается в 1965 г., когда при поддержке академика А. Г. Авсюка стартовала первая советская гляциологическая экспедиция; были заложены опорные маршруты в районе Баренцбурга–

Грёнфьорда, развёрнуты измерения на ледниках (Троицкий, 1975). С 1965 по 2008 гг. **Евгений Максимович Зингер** бессменно руководил экспедицией (~44 года), обеспечивая организацию, логистику и в 1990-е годы само ее существование (Наука на Шпицбергене, 2009; Зингер, 2018). Уже в 1970-е годы экспедиция сформировала ряды наблюдений по строению, режиму и колебаниям ключевых ледников; синтез представлен в монографиях «Оледенение Шпицбергена (Свальбарда)» и «Гляциология Шпицбергена», которые зафиксировали переход от разведочного этапа к системным физико-географическим исследованиям (Троицкий, 1975; Котляков, 1985).

С конца 1960-х годов в ИГ РАН активно развиваются геофизические методы (авиа и наземная радиолокация, гравиметрия, термические измерения), позволившие детализировать внутриледниковые структуры и уточнить баланс массы ряда «опорных» ледников (Котляков, Мачерет, 2016). В XXI веке закрепилась междисциплинарность: дистанционное зондирование и геоинформационный анализ дополнились исследованиями снежного покрова, мерзлоты и почв на приледниковых территориях (Шмакин и др., 2013; Осокин, Сосновский, 2016; Осокин, Сосновский, 2021; Тишков и др., 2015, Зазовская и др., 2022).

Ключевые количественные результаты последних десятилетий по гляциологии включают:

1) Распределение холодного и тёплого льда в ледниках на Земле Норденшельда по данным наземного радиозондирования (Мачерет и др., 2019);

2) устойчиво отрицательный баланс массы ледника Восточный Грёнфиорд (Austre Grønfjordbreen) в 2006–2020 гг. (Elagina и др., 2021);

3) ускоренное формирование и рост приледниковых озёр как индикатор дегляциации – обновлена динамика крупных озёр за 1991–2022 гг. и обозначены их морено- и ледоплотинная природа (Чернов, Ромашова, 2023);

4) детализацию истории отступания ледника Альдегонда с начала XX века, включая темпы и последовательность формирования краевых валов (Мавлюдов, Кудиков, 2018).

Важным компонентом стало изучение связей «атмосфера ↔ снег ↔ многолетняя мерзлота». Показано, что толщина и длительность залегания снега во многом определяют глубину сезонного промерзания и протаивания (Шмакин и др., 2013; Осокин, 2024), а моховой покров регулирует теплообмен в активном слое, причём его теплоизоляционные свойства зависят от погодных условий (Осокин, Сосновский, 2021; Тишков и др., 2015).

На приледниковых моренах и супрагляциальных системах криоконит выступает агентом раннего почвообразования и биогеохимических потоков (Зазовская и др., 2022; Мергёлов и др., 2023), а метагенетические и культуральные исследования микробных сообществ показывают, что доминирующую долю биомассы в криоконитах могут составлять грибы при активном участии сообществ в циклах C и N (Никитин и др., 2024). Параллельно мониторинг углеродного обмена в тундре и в районе Баренцбурга фиксирует влияние землепользования на эмиссию парниковых газов (Карелин и др., 2019).

Итог шестидесятилетия – длинные ряды по балансу массы «домашних» ледников, картография дегляциации и перестройки ландшафтов, а также тщательно измеренные связи «снег → мерзлота» «криокониты → почвы → углерод». Начаты дендрохронологические исследования, исследования динамики орнитофауны архипелага и влияния хозяйственной деятельности на трансформацию ландшафтов. Работы ИГ РАН сегодня объединяют классическую гляциологию и геофизику с биогеохимическими и микробиологическими подходами, позволяя не только описывать прошлое и настоящее ледников, но и строить верифицируемые сценарии будущей эволюции криосферы и ландшафтов в условиях потепления климата и деятельности человека.

Список литературы

Зазовская Э. П., Мергёлов Н. С., Шишков В. А., Долгих А. В. др. Cryoconites as Factors of Soil Development during Rapid Retreat of the Aldegondabreen Glacier (Western Svalbard) // Почвоведение / Eurasian Soil Science. 2022. Т. 55, № 3. С. 299–312. DOI: 10.1134/S1064229322030152

Зингер Е. М. Шпицберген глазами гляциолога (Электронный ресурс). 2018. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/shpitsbergen-glazami-glyatsiologa (дата обращения: 22.09.2025).

Карелин Д. В., Зазовская Э. П., Шишков В. А., Долгих А. В., Сирин А. А., Суворов Г. Г., Азовский А. И., Осокин Н. И. Мониторинг потоков CO_2 на Шпицбергене: землепользование изменяет газообмен арктической тундры // Изв. РАН. Сер. Географ. 2019. № 5. С. 56–66.

Котляков В. М. (отв. ред.). Гляциология Шпицбергена. М.: Наука, 1985. 200 с.

Котляков В. М., Мачерет Ю. Я. 50 лет геофизических исследований ледников в Институте географии АН СССР/РАН (1966–2016) // Лёд и Снег. 2016. Т. 56, № 4. С. 561–574. DOI: 10.15356/2076-6734-2016-4-561-574

Мавлюдов Б. Р., Кудиков А. В. Изменение ледника Альдегонда с начала XX века // Вестник Кольского науч. центра РАН. 2018. № 3(10). С. 152–162.

Мачерет Ю. Я., Глазовский А. Ф., Лаврентьев И. И., Марчук И. О. Распределение холодного и тёплого льда в ледниках на Земле Норденшельда (Шпицберген) по данным наземного радиозондирования // Лёд и Снег. 2019. Т. 59(2). С. 149–166. URL: https://doi.org/10.15356/20766734-2019-2-430

Мергёлов Н. С., Горячкин С. В., Зазовская Э. П., Карелин Д. В., Никитин Д. А., Кутузов С. С. Supraglacial soils and soil‑like bodies: diversity, genesis, functioning // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1522–1561.

Наука на Шпицбергене: История российских исследований. СПб.: Геолог. ин-т РАН, 2009. 240 с. (Электрон. изд.).

Никитин Д. А., Лысак Л. В., Зазовская Э. П., Мергёлов Н. С., Горячкин С. В. Микробиом наледниковых систем ледников Альдегонда и Бертель (Западный Шпицберген) // Почвоведение. 2024. № 4. С. 570–594. DOI: 10.31857/S0032180X24040048

Осокин Н. И., Сосновский А. В. Динамика характеристик снежного покрова, влияющих на устойчивость многолетнемёрзлых грунтов Шпицбергена // Лёд и Снег. 2016. Т. 56, № 2. С. 189–198. DOI: 10.15356/2076-6734-2016-2-189-198

Осокин Н. И., Сосновский А. В. Оценка термического сопротивления снежного покрова на Западном Шпицбергене // Лед и Снег. 2024. Т. 63(3). С. 420–430.

Тишков А. А., Осокин Н. И., Сосновский А. В. Влияние синузий мохообразных на деятельный слой арктических почв // Изв. РАН. Сер. географ. 2015. № 3. С. 39–46.

Троицкий Л. С., Зингер Е. М., Корякин В. С., Маркин В. А., Михалёв В. И. Оледенение Шпицбергена (Свальбарда). М.: Наука, 1975. 276 с.

Чернов Р. А., Ромашова К. В. Крупные приледниковые озёра архипелага Шпицберген: состояние в 2008–2012 гг. и динамика в 1991–2022 гг. // Лёд и Снег. 2023. Т. 63(4). С. 525–539. DOI: 10.31857/S207667342304004X

Шмакин А. Б., Осокин Н. И., Сосновский А. В., Зазовская Э. П., Борзенкова А. В. Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене // Лёд и Снег. 2013. Т. 53(4). С. 52–59. DOI: 10.15356/2076-6734-2013-4-52-59

Elagina N., Kutuzov S., Rets E., Smirnov A., Chernov R., Lavrentiev I., Mavlyudov B. Mass Balance of Austre Grønfjordbreen, Svalbard, 2006–2020, Estimated by Glaciological, Geodetic and Modeling Approaches // Geosciences. 2021. Vol. 11. No. 2. Article 78. DOI: 10.3390/geosciences11020078

ОСОБЕННОСТИ ИНФАУННЫХ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ СТУР-ФЬОРДА (ВОСТОЧНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ ШПИЦБЕРГЕНА)

Л. В. Павлова, А. Г. Дворецкий, А. А. Фролов, О. Л. Зимина, Д. Р. Дикаева, О. Ю. Евсеева, Е. А. Гарбуль, Н. Н. Пантелеева, З. Ю. Румянцева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
sea1234@mail.ru

Восточное побережье архипелага Шпицберген относительно слабо изучено вследствие своей малодоступности, поэтому существует значительный пробел в наших представлениях о разнообразии и распространении донной фауны в этом регионе, в том числе в крупном холодноводном и покрывающемся сезонным ледовым покровом проливе Стур-фьорд. Общая тенденция потепления на Шпицбергене усилила таяние ледников и на берегах Стур-фьорда, однако влияние потепления на бентосную фауну в этом районе остаётся неизученным из-за отсутствия долгосрочных и последовательных временных рядов данных. Цель данного исследования заключалась в описании современного состояния бентоса, выявлении закономерностей пространственного изменения характеристик донных сообществ Стур-фьорда и установлении зависимости структуры и функций бентоса от экологических переменных. В 2017 и 2019 годах на двух ориентированных от вершины к устью пролива разрезах на глубине 83–218 м дночерпателем ванн-Вина было собрано 30 проб зообентоса. Исследованиями были охвачены отделенная порогом внутренняя часть Стур-фьорда и внешняя открытая часть.

Изолированный порогом внутренний Стур-фьорд с водами арктического происхождения и зимними водными массами (рассолом) отличается относительно выраженным постоянством гидрологического режима в придонном слое. Этим пролив отличается от западных фьордов, где теплые атлантические воды иногда проникают в самые внутренние бассейны. За порогом во внешней части условия среды более стрессовые для фауны, так как здесь возможно относительно быстрое изменение гидрологических параметров воды вследствие колебания границ полярного фронта, затока атлантических вод или перелива рассола. Из-за обилия ледников и интенсивного летнего стока седиментологическая нагрузка в проливе относительно высокая практически по всей внутренней части и особенно вблизи берега. При анализе характеристик окружающей среды в районе исследования MDS-анализ выявил три местообитания: 1) со стабильными гидрологическими условиями и повышенной седиментологической нагрузкой, 2) стабильными условиями и пониженной седиментацией, 3) с водами полярного фронта и слабой седиментацией.

В пробах было идентифицировано не менее 314 видов беспозвоночных, относящихся к 14 типам. Биоразнообразие Шеннона (3.00±0.08) и альфа-разнообразие (100±6 видов/0.3 м^2) не демонстрировали градиента вдоль оси; альфа-разнообразие было примерно на 40 % выше, чем в западных фьордах Шпицбергена, где оно в среднем составляет 60 видов/0.3 м^2 (Любина и др., 2011). Высокое по сравнению с западным побережьем разнообразие фауны пролива, где полихеты и ракообразные доминируют по числу видов, поддерживается высокими концентрациями органического углерода наземного, симпагического и пелагического происхождения. Общую численность инфауны в Стур-фьорде определяли полихеты, ракообразные и двустворчатые моллюски, биомассу – полихеты, двустворчатые моллюски и иглокожие. Большинство самых массовых видов толерантны к температуре воды и хорошо приспособлены к переживанию периода дефицита пищи в период полярной ночи, когда прекращается и поступление органического вещества с береговым стоком. Функциональная структура бентоса закономерно меняется по мере снижения уровня седиментации и увеличения стабильности грунта в сторону снижения численности подвижных свободноживущих животных и увеличения – неподвижных или малоподвижных обитателей трубок. Вдоль оси пролива только численность и биомасса донной фауны демонстрировали градиенты – увеличивающийся в направлении открытой части численности (3920–8980 экз/м^2, среднее 6090 экз/м^2) и убывающий – биомассы (265–104 г/м^2, среднее 190 г/м^2). Эта тенденция противоположна тому изменению обилия вдоль оси, что наблюдается во фьордах западного побережья Шпицбергена (Любина и др., 2011; Wlodarska-Kowalczuk, Pearson, 2004; Renaud et al., 2007). Анализ избыточности RDA показал, что закономерности изменения численности макрофауны Стур-фьорда, количественное развитие некоторых видов и функциональных групп в значительной степени связаны с объемами берегового стока и продолжительностью периода открытой воды, от которых во многом зависят условия питания животных. Биологические факторы, такие как хищничество, по-видимому, не играют существенной роли в структурировании бентоса Стур-фьорда из-за малой численности типичных бентофагов в этом арктическом водоеме. Но среди массовых видов беспозвоночных с различной устойчивостью, например, к повышенной мутности вод, вполне возможны конкурентные взаимоотношения.

Разделение донных сообществ в Стур-фьорде происходит по водным массам, силе бенто-пелагических связей и седиментологической нагрузке, что характерно и для других районов Шпицбергена (Wlodarska-Kowalczuk et al., 1998, 2005). Сами структурные характеристики сообществ пролива дают косвенную, но интегрированную во времени информацию о количестве и качестве органического материала, поступающего на морское дно, и различиях в условиях седиментации и скорости захоронения органического материала в донных отложениях. В стабильных гидрологических условиях в сочетании сезонными всплесками поступления повышенного количества минеральной взвеси и органического вещества преимущественно наземного происхождения развито сообщество менее чувствительных к заилению двустворчатых моллюсков *Yoldia hyperborea* (3700±73 экз/м^2 и 227±35 г/м^2), при более слабом поступлении взвеси – полихет *Maldane sarsi* (6212±707 экз/м^2 и 226±30 г/м^2) и *Maldane sarsi* + *Nemertini* g. sp. (5568±91 экз/м^2 и 165±17 г/м^2). Изменчивые условия со слабой седиментацией и повышенным вкладом в общее органическое вещество пелагического планктона способствуют развитию в открытой части пролива сообщества полихет *Spiochaetopterus typicus* с высокой численностью животных и относительно невысокой биомассой (7824±936 экз/м^2 и 139±18 г/м^2). Видовой состав доминирующих видов и структура сообщества *Y. hyperborea* наиболее сильно отличаются от остальных сообществ. Развитие поселений этого мелководного и устойчивого к седиментации вида на глубине свыше 80 м, по-видимому, спровоцировано интенсивным таянием ледников в последние 20 лет. Полученные результаты показывают, что фауну Стур-фьорда можно использовать для моделирования экологических изменений, сопровождающихся усилением или уменьшением таяния ледников и изменением длительности безледного периода.

Список литературы

Любина О. С., Зимина О. Л., Фролова Е. А., Любин П. А., Фролов А. А., Дикаева Д. Р., Ахметчина О. С., Гарбуль Е. А. Особенности распределения бентосных сообществ во фьордах Западного Шпицбергена // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1(87). С. 28–40.

Renaud P. E., Wlodarska-Kowalczuk M., Trannum H., Holte B., Weslawski J. M., Cochrane S. et al. Multidecadal stability of benthic community structure in a high-Arctic fjord (van Mijenfjord, Spitsbergen) // Polar Biology. 2007. Vol. 30. P. 295–305.

Wlodarska-Kowalczuk M., Weslawski J. M., Kotwicki L. Spitsbergen glacial bays macrobenthos – a comparative study // Polar Biology. 1998. Vol. 20. P. 66–73.

Wlodarska-Kovalczuk M., Pearson T. Soft-bottom faunal associations and factors affecting species Distributions in an Arctic glacial fjord (Kongsfjord, Spitsbergen) // Polar Biology. 2004. Vol. 27. P. 155–167.

Wlodarska-Kowalczuk M., Pearson T. H., Kendall M. A. Benthic response to chronic natural physical disturbance by glacial sedimentation in an Arctic fjord // Marine Ecology Progress Series. 2005. Vol. 303. P. 31–41.

SARSIA OCCULTA EDWARDS, 1978 ИЗ ГРЁН-ФЬОРДА (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) – НОВЫЙ ДЛЯ ФАУНЫ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА ВИД ГИДРОИДНЫХ (CNIDARIA, HYDROZOA). ПРОБЛЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ

Н. Н. Пантелеева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
panteleeva@mmbi.info

В процессе комплексных исследований природы Шпицбергена, регулярно проводимых ММБИ РАН уже более четверти века, были обнаружены колонии нового для фауны региона и арктических вод вида гидроидов – *Sarsia occulta* Edwards, 1978 (Cnidaria, Hydrozoa, Corynidae).

До настоящего времени в водах архипелага Шпицберген были отмечены только три вида гидроидных (гидрополипов и/или гидромедуз) семейства Corynidae: *Sarsia princeps* (Haeckel, 1879), *Sarsia tubulosa* (M. Sars, 1835) и *Sarsia lovenii* (M. Sars, 1846) (Palerud et al., 2004; Пантелеева Н. Н. и др., 2007; Ronowicz M., 2007; Пантелеева Н. Н., 2011; Пантелеева Н. Н., Зимина О. Л., 2014 и др.). Примечательно, что семейство коринид объединяет виды с различным типом жизненных циклов. Репродуктивная стадия (полового размножения) у одних видов представлена в форме свободноплавающих медуз (*S. princeps*, *S. tubulosa*), а у других видов медузоидная стадия редуцирована до прикрепленных (не отделяющихся от материнской колонии) медузоидов (*S. lovenii*). У таких медузоидов закономерно отсутствуют характерные для свободноплавающих медуз органы: щупальца (для добычи пищи и защиты) и глазки (для ориентации в толще воды). Колонии коринид разных видов внешне почти неразличимы и обладают высокой морфологической пластичностью, поэтому идентификация их видовой принадлежности вне репродуктивной стадии сильно затруднена.

В ходе работы на биогеостанции ММБИ РАН в Баренцбурге (Западный Шпицберген) в июле 2007 и 2015 гг. у западного берега залива Грён-фьорд наблюдались половозрелые колонии гидроидов семейства Corynidae, морфологические параметры которых не соответствовали ни одному из известных видов, отмеченных в водах архипелага Шпицберген и акватории российских морей (Наумов Д. В., 1960; Анцулевич А. Е., 2015). Эти колонии обладали медузоидами, как у *S. lovenii*, обитающего в районе исследований в литоральных ваннах мыса Хееродден (Пантелеева Н. Н. и др., 2007): имели длинный манубриум (ротовой хоботок), окруженный зрелой гонадой и выходящий за пределы колокола медузоида, но отличались от них наличием глазков и длинных щупалец (что характерно для свободноплавающих медуз). Загадочные фертильные колонии наблюдались в приливной зоне (у уреза воды) от места стока ледника Альдегонда до реки Конгресс в 2007 г. (8, 9, 10 и 19 июля) и у реки Васстак 19.07.2015 г., при температуре воды в диапазоне 6,2–8,8 ºС и 8,9 ºС соответственно. Располагались они на небольших камнях и среди водорослей, иногда обильно (покрывая до 50 процентов площади донной поверхности).

Колонии стелющиеся со столональными слабо ветвящимися побегами, высотой до 9,80 мм. Полипы (гидранты) в вытянутом состоянии высотой до 2,30 мм, пальчатой формы с округлым гипостомом и булавовидными щупальцами (от 13 до 22, в среднем 14–16) длиной до 0,80 мм, расположенными в верхней половине тела полипа. Медузоиды развиваются под нижними щупальцами (1, редко 2 шт. на полип), имеют короткую ножку, 4 узких радиальных канала розового цвета, 4 небольшие красные щупальцевые бульбы с темно-бурыми глазками и 4 длинными (до 2,56 мм в вытянутом виде) щупальцами. Манубриум, окруженный зрелой гонадой почти на всем протяжении, длинный и может выходить за пределы субумбреллярной (внутренней) полости медузоида на длину в 3 раза превышающую высоту колокола. Зрелые медузоиды (размером до 1,86×1,76 мм) раскрываются и периодически интенсивно пульсируют, оставаясь прикрепленными к полипу, но иногда отрываются. Отделившаяся медуза имеет колокол размером 1,95×1,77 мм, диаметр бульб 0,27 мм, манубриум со зрелой (женской) гонадой размером 2,10×0,68 мм. В планктонных пробах медузы *S. occulta* не отмечались.

Благодаря литературным источникам установлено, что обнаруженные в Грён-фьорде колонии коринид полностью соответствуют описанию вида *Sarsia occulta* Edwards, 1978 из прибрежья Шотландии. Этот вид описан сравнительно недавно и получил свое название от латинского *occultus* – «таинственный», в связи с тем, что долгое время оставался незамеченным из-за своего сходства с другими видами (Edwards C., 1978, p. 297).

В результате тщательной ревизии коринид (Schuchert P., 2001, 2012) выявлены места обитания колоний, переопределенных как *S. occulta*: Шотландия (Edwards C., 1978), южная Норвегия, Новая Англия (атлантическое прибрежье США) (Agassiz L., 1862; Berrill N. J., 1953). Так, в заливе Мэн при более низкой температуре (5,5–8,0 ºС) фертильные колонии производят медузоиды со щупальцами, которые созревают, оставаясь прикрепленными (Berrill N. J., 1953). А в более теплых водах Шотландии *S. occulta* продуцирует половозрелых свободноплавающих медуз поздней зимой – весной (при t воды = 7–11 ºС) (Edwards C., 1978). В неблагоприятный для вида период колонии деградируют, «переходя в столоны», т. е. переживают его в виде неидентифицируемой гидроризы.

Эта информация согласуется с полученными температурными данными в заливе Грён-фьорд, который можно считать северной границей ареала *Sarsia occulta* Edwards, 1978.

Однако основанием для сомнений в самостоятельности вида *S. occulta* послужили сенсационные результаты недавно проведенных исследований вида *S. lovenii* в Белом море с помощью молекулярно-генетического анализа (Prudkovsky A. A. et al., 2019). Выяснилось, что в Белом море вид *S. lovenii* представлен двумя гаплогруппами, одна из которых продуцирует только характерные для вида прикрепленные медузоиды (и привычно идентифицируется, как *S. lovenii*), а другая производит неполовозрелых свободноплавающих медуз (обычно идентифицируемых как *S. tubulosa*). Причем, как выяснилось, генетически они отличаются от медуз настоящей *S. tubulosa.* Колонии, полученные в результате экспериментального скрещивания разных гаплогрупп (медузообразующей с медузоидообразующей) *S. lovenii*, демонстрируют гибридный фенотип, морфологически соответствующий виду *S. occulta.* Однако в природных условиях Белого моря колонии *S. occulta* не встречались (Prudkovsky A. A. et al., 2019).

Предположение А. А. Прудковского о гибридной природе вида *S. occulta* подтверждается неожиданным обнаружением медузообразующих колоний коринид (предварительно идентифицированных по морфологическим признакам как *S. tubulosa*) в заливе Грён-фьорд в 2014 году в тех же местах, где в 2007 и 2015 гг. были найдены многочисленные колонии *S. occulta*. Вполне возможно, что в районе Баренцбурга, как и в Белом море, *S. lovenii* тоже представлен двумя гаплогруппами: медузоидообразующей (в скальных литоральных ваннах мыса Хееродден) и медузообразующей (у уреза воды вдоль западного берега Грён-фьорда), которые могут периодически скрещиваться, образуя колонии с гибридным фенотипом (идентифицируемым как вид *S. occulta*). Проверить эту гипотезу (и решить вопрос о валидности вида *S. occulta*) можно только с помощью молекулярно-генетического анализа. Для этого необходимо продолжение проведения исследований гидроидов семейства Corynidae в районе Шпицбергенской биогеостанции ММБИ РАН, являющемся уникальным полигоном для изучения условий и механизмов видообразования (в частности, на примере гидроидов), т. е. вопроса, имеющего основополагающее значение в биологии.

Список литературы

Анцулевич А. Е. Hydrozoa (гидроиды и гидромедузы) морей России. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2015. 860 с.

Наумов Д. В. Гидроиды и гидромедузы морских, солоноватоводных и пресноводных бассейнов СССР // Определители по фауне СССР, издаваемые ЗИН АН СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 626 с.

Пантелеева Н. Н. К биоразнообразию экосистем: новые виды беспозвоночных в фауне залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата: Матер. Междунар. науч. конф. (6–10 июня 2011 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. С. 308–311.

Пантелеева Н. Н., Любина О. С., Нехаев И. О., Фролов А. А., Артюх О. Л., Ахметчина О. Ю. О разнообразии фауны беспозвоночных Грён-фьорда (Западный Шпицберген) и влиянии методов сбора материала на результат // Биоразнообразие сообществ морских и пресноводных экосистем России: Матер. VI Всерос. школы по морской биологии (1–2 ноября 2007 г., Мурманск). Мурманск, 2007. С. 140–141.

Пантелеева Н. Н., Зимина О. Л. Новые данные о медузах (Cnidaria) в районе архипелага Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 6–7 ноября 2014 г.). Вып. 12. М.: ГЕОС, 2014. С. 237–243.

Agassiz L. Contribution to the Natural History of the United States of America. Second monograph. Part IV // Hydroidea. 1862. Vol. IV. P. 183–371.

Berrill N. J. Growth and form in gymnoblastic Hydroids. VII. Growth and reproduction in Syncoryne and Coryne // Journal of morphology. 1953. Vol. 92. No. 1. P. 273–302.

Edwards C. The hydroids and medusae *Sarsia occulta* sp. nov., *Sarsia tubulosa* and *Sarsia loveni* // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 1978. Vol. 58. No. 2. P. 291–311.

Palerud R., Gulliksen B., Brattegard T., Sneli J.-A., Valder W. The marine macro-organisms in Svalbard waters // A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard / Ed. by P. Prestrud, H. Strom, H. V. Goldman. Norweg. Polar Inst. Scrif. 201. 2004. P. 5–56.

Prudkovsky A. A., Ekimova I. A., Neretina T. V. A case of nascent speciation: unique polymorphism of gonophores within hydrozoan *Sarsia lovenii* // Scientific Reports. 2019. 9: 15567. DOI: doi.org/10.1038/s41598-019-52026-7

Ronowicz M. Benthic hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from Svalbard waters – biodiversity and distribution // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 2007. Vol. 87. No. 5. P. 1089–1094.

Schuchert P. Survey of the family Corynidae (Cnidaria, Hydrozoa) // Revue suisse de Zoologie. 2001. Vol. 108. No. 4. P. 739–878.

Schuchert P. North-West European Athecate Hydroids and their Medusae // Synopses of the British Fauna (New Series) / Ed. by J. H. Crothers and P. J. Hayward. 2012. No. 59. 364 p.

ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ ФЬОРДОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

И. А. Репина, А. А. Шестаков, М. И. Варенцов, А. Е. Мамонтов

Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
repina@ifaran.ru

Возникновение стоковых (катабатических) ветров в полярных районах связано с сильным охлаждением воздуха на склонах ледниковых плато и движением его под действием силы тяжести вниз по склону. Эти ветра оказывают значительное влияние как на климат данных регионов, так и на энергетический баланс в прибрежной зоне. В свою очередь, сила ветров зависит от рельефа местности и синоптической ситуации в регионе. Исследование турбулентной структуры катабатических (стоковых) ветров проводилось в весенний период на Шпицбергене на границе ледника и фьорда, что дает возможность оценивать структуру ветрового потока, выходящего на поверхность фьорда. Целью работы является определение и уточнение граничных условий для климатических моделей в районах с неоднородным рельефом, а также получение информации для интерпретации спутниковых данных. Из профильных измерений удалось обнаружить связь между высотой максимума ветра и устойчивостью приземного слоя атмосферы. При повышении уровня ветрового максимума устойчивость потока увеличивается, что приводит к расхождению между рассчитанными по теории подобия Монина-Обухова и измеренными значениями турбулентных потоков. Ошибки уменьшаются при использовании температурного параметра шероховатости и замене параметра устойчивости градиентным числом Ричардсона.

Данные профильных метеорологических измерений в летний период позволили диагностировать ряд эффектов, характеризующих влияние неоднородного ландшафта на температурную и ветровую стратификацию нижней тропосферы. Измерения в Баренцбурге показали присутствие инверсии профиля скорости ветра с максимумом вблизи поверхности и уменьшением скорости с высотой.

Измерения на ледниках выявили эффект стокового ледникового ветра, выраженный в усилении приземной скорости ветра и резким изменением направления ветра выше определенной высоты. Также измерения показали, что скорость и вертикальная структура формирующегося над ними катабатического потока сильно изменчива как во времени, так и в пространстве и зависит от морфометрических особенностей ледников.

При измерениях структуры склонового ветра прослежен суточный ход ветра. Установлено наличие вихревых структур масштаба от десятков секунд до нескольких минут в ветровом потоке. Интенсивность образования структур увеличивается с увеличением скорости ветра. Прослежена суточная динамика локального ветрового потока, возникающего на крутом ледниковом склоне.

Проведенные в 2022 году измерения показали существенную роль рельефа в формировании ветровых и температурных условий в прибрежных районах Шпицбергена и значительный вклад ледников в формирование теплового баланса в летний период.

МОРФОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАМБАЛЫ-ЕРША (*HIPPOGLOSSOIDES PLATESSOIDES LIMANDOIDES* (BLOCH, 1787)) ПРИ ПРОМЫСЛЕ В БАРЕНЦЕВОМ И НОРВЕЖСКОМ МОРЯХ

Р. А. Ромашин[1], Е. А. Данилова[2]

[1]ООО «Вирма», Северо-Западный рыбопромышленный консорциум, г. Петрозаводск, Карелия, Россия
[2]Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал Астраханского государственного технического университета), пос. Рыбное, Дмитровский г.о., Московская область, Россия
romashinroma1985@mail.ru, Aljonad@bk.ru

Баренцево и Норвежское моря – одни из наиболее продуктивных морей Северной Атлантики, в которых ведется интенсивный промысел пелагических и донных рыб, из которых наиболее важным и ценным объектом является треска. В условиях превышения мощностей добывающих флотов над ресурсным потенциалом Баренцева моря особое значение имеет освоение промыслом всех потенциальных объектов, в том числе малоиспользуемых и нетрадиционных видов, как камбала-ерш. Она встречается практически в каждом тралении и является постоянным приловом при промысле трески, пикши, синекорого палтуса, морского окуня, но биология её слабо изучена (Долгова, 2004).

Камбала-ерш – морская донная рыба, населяет внешнюю часть шельфа и верхнюю ступень континентального склона, отмечена на глубинах от 40 до 700 м. У атлантической палтусовидной камбалы (*Hippoglossoides platessoides*) различают два подвида: западноатлантический, или американский (*H. platessoides platessoides*) и европейский (*H. platessoides limandoides*), обитающие в Северной Атлантике. Европейская камбала-ерш, соответственно, встречается от Британских островов на юге до Северного побережья Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа на севере. Самки европейского подвида в Баренцевом море имеют длину до 54 см, самцы – до 40 см. Камбала-ерш добывается в качестве прилова. Отечественный вылов в Северо-Восточной Атлантике составлял до 6–7 тыс. тонн (Промысловые рыбы России, 2006).

Работа посвящена изучению камбалы-ерша (*Hippoglossoides platessoides limandoides* (Bloch, 1787)) в Баренцевом и Норвежском морях при лове донным тралом на промысловом судне СРМТ «Севрыба-1» рыбопромысловой компании ООО «ВИРМА» в 2018–2019 гг. при промысле в зоне действия международных договоров в Северной Атлантике, островной зоне архипелага Шпицберген.

Материалы были собраны для выполнения выпускной квалификационной работы по направлению 35.03.08 (Водные биоресурсы и аквакультура) во время работы Р. А. Ромашина в должности вахтенного помощника капитана на СРМТ «Севрыба-1».

Средний рыболовный морозильный траулер «Севрыба-1» принадлежит компании «Вирма», которая входит в Северо-Западный рыбопромышленный консорциум (СЗРК) – крупное российское некоммерческое партнерство, объединяющее компании, ведущие добычу, переработку и реализацию донных видов рыб и крабов.

Объектом исследований была камбала-ерш (*Hippoglossoides platessoides limandoides* (Bloch, 1787)), пойманная в качестве прилова на промысле трески в районе Баренцева и Норвежского морей.

Сбор и первичная обработка ихтиологических материалов проведены по методическим указаниям Котляр (2007, 2013). Выполнены полный биологический и морфометрический анализы с обработкой данных в программе Excel statistica. Возраст определяли по чешуе с помощью микрофота. Проанализированы биологические и морфометрические показатели камбалы-ерша, приводятся результаты сравнительного анализа самцов и самок. С использованием данных промыслового журнала были рассчитаны промысловые показатели: площадь единичного облова, промысловое усилие на 1 час траления (по практическим рекомендациям С. В. Шибаева, 2015 г.).

Результаты

1. По данным биологического анализа в исследованной выборке камбалы-ерша присутствовали особи в возрасте от 9 до 12 лет, преобладали 10- и 11-летние особи. Масса целой рыбы

варьировала от 640 г до 910 г со средним значением 725,9±13,06 г. Длина зоологическая (ab) изменялась от 36,1 см до 51 см со средним значением 43,0±0,85 см, длина рыбы без С (ad) колебалась от 31,9 см до 45,1 см со средним значением 38,3±0,75см. Степень наполнения ЖКТ составляла от 0 до 3 баллов, среднее значение 0,9 ±0,3. Упитанность по Фультону варьировала от 0,5 до 1,4 со средним значением 1,0±0,05. Соотношение полов в выборке составило 3:1 (73 %♀:27 %♂) .

2. Линейный темп роста, рассчитанный по методу Эйнара Леа, показал, что рост самок превышает рост самцов.

3. Результаты сравнительного морфометрического анализа самцов и самок камбалы-ерша показали выраженный половой диморфизм (t_{st} = 3 и более) по массе и длине тела, длине рыла, количеству лучей в анальном плавнике, длине головы и другим индексам тела по всем возрастным группам.

4. По показателям улова на промысловое усилие следует, что наибольшие промысловые концентрации камбалы-ерша были в островной зоне архипелага Шпицберген весной в мае, в отличие от таковых данных у берегов Норвегии в зимнее время (в январе), что связано с особенностями гидрологического режима и течениями в этом районе и весенними нерестовыми скоплениями.

5. Доля камбалы-ерша за 1 траление составляла от 0,1 до 9,3 % в видовом составе улова.

Список литературы

Долгова Н. В. Биология и промысловое использование камбалы-ерша (*Hippoglossoides platessoides limandoides*) Баренцева моря: Автореф. дис. … канд. биол. наук (03.00.10). Мурманск, 2004. 11 с.

Котляр О. А. Сборник лабораторных работ. Практикум. Рыбное: ДФ ФГОУ ВПО «АГТУ», 2007. 107 с.

Котляр О. А. Методы рыбохозяйственных исследований (Ихтиология). Учеб. пособие. 2-е перераб. и доп. М.: Эконинформ, 2013. 222 с.

Промысловые рыбы России. В 2-х т. / Под ред. О. Ф. Гриценко, А. Н. Котляра и Б. Н. Котенева. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. 1280 с. (Т. 2. С. 930–933).

Шибаев С. В. Практикум по промысловой ихтиологии. Калининград: ООО «Аксиос», 2015. 320 с.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОСТРОВА КИЛЬДИН

И. В. Рыжик, М. П. Клиндух

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
klindukh.maria@yandex.ru

Остров Кильдин имеет давнюю и интересную историю. Он всегда привлекал внимание исследователей: с одной стороны на восточной его части находится реликтовое озеро Могильное, с другой стороны остров рассматривается как одно из перспективных для промысла ламинариевых водорослей мест, запасы которых составляют около 28 тысяч тонн. Ранее на территории острова базировался завод по производству йода, сырьём для которого служили собранные из естественных зарослей и штормовых выбросов водоросли (Шабалина О. В., 2014). Одно из необходимых условий рационального природопользования для этого района заключалось в комплексной переработке водорослей-макрофитов, так как в приловах отмечалось присутствие большого количества сопутствующих видов, которые в пищевой промышленности на данный момент не используются (Промысловые и перспективные …, 1998). При этом практически не оценивались распределение и запасы промысловых водорослей в приливно-отливной зоне побережья острова Кильдин. В течение экспедиции в июле 2025 г была проведена оценка растительности береговой зоны острова Кильдин: видовой состав, распределение водорослей-макрофитов в приливно-отливной зоне острова.

Комплекс высших растений приливно-отливной зоны развит слабо. Основные виды высших растений, которые были встречены на супралиторали – *Atriplex nudicaulis* (Лебеда голостебельная), *Honckenya peploides* (Гонкения продолговатолистная), *Mertensia maritima* (Мертензия морская). Они спускаются ниже всех к урезу воды. Выше располагается комплекс растительности, который представлен такими многолетними галофитами, как, например, *Ligusticum scoticum* (Лигустикум шотландский), на Восточном Кильдине стоит отметить в качестве доминирующего вида – *Rhodiola rosea* (Родиолу розовую).

Для литорали острова Кильдин характерен довольно плотный покров водорослей (60–80 % проективного покрытия). Однако, в ряде мест литоральной зоны водоросли отсутствуют, например, в средней часть бухты Могильная, на мысу с маячным знаком на южной оконечности острова. В распределении водорослей прослеживается поясность, ассоциации плавно переходят одна в другую. На южном и частично на юго-западном участке побережья острова верхний горизонт литорали не выражен, а все заросли начинаются от среднего горизонта, где доминантами являются *Fucus serratus*, *Fucus distichus и Palmaria palmata*. Среди доминирующих водорослей можно отметить *F. distichus, F. serratus*, доля *F. vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* ниже, чем, например, на Восточном побережье Кольского полуострова в районе губ Ярнышная, Зеленецкая, Териберская. На среднем горизонте литорали достаточно обширные заросли образует *Palmaria palmata*. Среди сопутствующих видов можно отметить бурые водоросли: *Chorda filum, Chordaria flagelliformis, Dictyosiphon foeniculaceus, Elachista fucicola, Petalonia fascia, Pylaiella littoralis, Scytosiphon lomentaria* – зеленые водоросли: *Acrosiphonia arcta, Ulva* spp., *Ulothrix flacca, Urospora penicilliformes, Blidingia minima*, *Prasiola* spp. – красные водоросли: *Polysiphonia* sp., *Rhodomela lycopodioides, Porphyra umbilcalis* и другие виды рода *Porphyra*. Литоральная зона западной (район мыса Бык) и восточной части (район камней Сундуков) острова характеризуется наличием большого количества постоянных литоральных ванн, которые в верхнем горизонте литорали заняты в основном представителями зеленых водорослей, а в средней части литорали – в ваннах увеличивается доля глубоководных видов, например, *Saccharina latissima, Alaria esculenta, Laminaria digitata*.

Выбросы формируют прерывистые полосы, сплошного пояса нет, представлены в основном сублиторальными видами. Можно выделить две полосы – ближе к урезу воды в выбросах преобладают сублиторальные виды водорослей, выше по берегу – литоральные фукусовые водоросли. Количество выбросов в восточной части острова больше, чем на западе. Ширина полосы выбросов в отдельных местах может достигать нескольких метров. Однако промысловых запасов штормовых выбросов за период исследования отмечено не было. В зависимости от участка побережья видовой состав выбросов меняется, но в основном он представлен *A. nodosum, F. distichus, F. serratus, F. vesiculosus, S. latissima, A. esculenta, L. digitata, Saccorhiza dermatodea, P. palmata, Porphyra* spp., *Desmarestia viridis, Phycodrys rubens, Devaleraea ramentacea, Polysiphonia* sp., *Ptilota plumosa, Euthora cristata, Delesseria sanguinea.*

Таким образом, показано, что для прибрежной зоны острова Кильдин характерны типичные для Восточного Мурмана видовой состав и распределение водорослей-макрофитов. Проективное покрытие меняется в пределах от 60–80 %, однако встречаются участки без растительности. Подобные особенности обусловлены типом грунта и интенсивностью волнового движения воды.

Мы выражаем благодарность Северному флоту, Мурманскому отделению РГО, а также лично руководителю экспедиции Ирине Артуровне Мхитарян за организацию и помощь в проведении исследований.

Список литературы

Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей / Отв. ред. акад. РАН, проф. Г. Г. Матишов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 628 с.

Шабалина О. В. Из истории йодного производства в Кольском Заполярье // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2014. № 6(25). С. 43–54.

ВЕНДСКИЕ ВУЛКАНИТЫ ЗЕМЛИ ОСКАРА II (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН)

А. Н. Сироткин

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов
Мирового океана им. академика И. С. Грамберга, г. Санкт-Петербург, Россия
pechenga-67@yandex.ru

На Земле Оскара II (западное побережье Шпицбергена) изучены выходы вулканогенной толщи в районе ледового поля Тролльхеймен. Ранее толща была датирована как RF_{2-3} (Красильщиков, Ковалёва, 1976; Harland et al., 1979). Позже В. Б. Харланд (Harland et al., 1993) высказал идею об её вендском возрасте. В 2003 году этот вулканогенный комплекс был выделен как свита Тролльхеймен (Bergh et al., 2003) мезопротерозойского возраста. Свита Тролльхеймен сложена разнообразными метавулканитами с порфировой структурой. Это метабазальты, метаандезиты, метатуфы и метатуфобрекчии; мощности отдельных слоёв меняются от 1–2 м до десятков метров. Среди метавулканитов встречаются прослои метапесчаников и метаалевролитов. Мощность свиты более 1000 м.

Из реликтовых минералов в метавулканитах встречаются *Kfs и Cpx*, представленный *Aug (Ti-Aug)*. Последний встречается как в виде порфировых вкрапленников (реликты первично-магматической структуры), так и в основной массе. Метаморфогенный парагенезис представлен *Act+Chl+Ms+Ep+Ab+Carb+Opq*, что отвечает метаморфизму в условиях фации зелёных сланцев. Наличие таких первично-магматических минералов, как *Ti-Aug* и *Kfs*, указывает на повышенную щёлочность этих вулканических пород.

На диаграмме TAS точки пород попадают в поля субщелочных и щелочных основных пород; реже – основных пород нормальной щёлочности; две пробы – в поля андезибазальтов и андезитов. На диаграмме Q-Hy-Di-Ol-Ne точки пород делятся на три группы: а) щелочные с нормативным нефелином (и лейцитом); б) оливин-пироксеновые (нормальные базальты); в) с нормативным кварцем. На диаграмме K_2O – Na_2O видна дифференциация этих пород по типу щёлочности: а) калиевые и б) калиево-натриевые и натриевые. Породы характеризуются как умеренно-высококалиевые, низкоглинозёмистые, низко-среднемагнезиальные (Mg# – 0,29–0,53), высокотитанистые.

Спектры распределения РЗЭ указывает на значительную степень фракционирования материала и на минимальную контаминацию материнской магмы коровым материалом. Можно предположить, что эволюция магматического расплава шла в условиях взаимодействия с материалом коры повышенной щёлочности. Низкое содержание совместимых элементов (Cr, Ni, Co) может указывать на анатектический характер плавления мантии в магматическом источнике и на его относительную глубину.

На дискриминационных диаграммах точки этих базальтоидов попадают в поля либо внутриплитных базальтов, либо базальтов и андезитов океанических островов. На этом основании их можно характеризовать как внутриплитные магматиты и указать, в целом, на континентальный рифтогенез как на главную обстановку их формирования.

Для определения абсолютного возраста изучены цирконы из трёх проб. По результатам U-Pb датирования: проба 4969-4 (13 зёрен) – конкордантный возраст 563,2±3,6 Ма; проба 4969-6 (10 зёрен) – конкордантный возраст 574,1±4,3 Ма; проба 4973-1 (10 зёрен) – конкордантный возраст 558,3±4,3 Ма. Таким образом, материалы по изучению осадочно-вулканогенной толщи, описанной во внутренних районах южной части Земли Оскара II, позволяют уверенно выделить на этой площади факт вендской вулканической активизации – 574–558 млн лет.

Ранее предполагалось, что в вендское время на территории Шпицбергена существовала особая обстановка, связанная с общим подъёмом территории архипелага и указывающая на крупную тектоническую активизацию (Бархатов, 1970; Красильщиков, 1973). В. Б. Хараланд (Harland et al., 1993) предположил, что вендские толщи в районе Земли Оскара II формировались в рифтогенной структуре в условиях чередования эпох оледенения с эпохами вулканизма.

Позже, в северной части Земли Веделя Ярлсберга (ЗВЯ) в сходной структурно-фациальной зоне выделена вулканогенная серия Чемберлендален вендского возраста (Сироткин, Евдокимов, 2022). Геолого-петрологические характеристики метавулканитов этой серии во многом сопоставимы с характеристиками метавулканитов свиты Тролльхеймен. Новые датировки по цирконам из пород свиты Тролльхеймен позволяют нам выделить в этом районе архипелага новый вендский стратон, породы которого по возрасту и другим характеристикам (субщелочной и щелочной состав вендских метабазитов, формирование их в условиях внутриплитной обстановки) хорошо коррелируются с породами серии Чемберлендален.

Надо отметить, что вендское время на Шпицбергене давно рассматривается как период тектоно-магматической активизации (Бархатов, 1970; Красильщиков, 1973; Кузнецов, 2009; Harland et al., 1993; Сироткин, Евдокимов, 2022 и др.). Вендские вулканиты известны теперь в двух районах – северная часть ЗВЯ (Сироткин, Евдокимов, 2022) и южная часть Земли Оскара II. Большое сходство в геологической позиции, петрологических характеристиках и возрастных данных указывает на единый механизм формирования двух комплексов, с одной стороны, а, с другой стороны, на обоснованный прогноз по выявлению новых вендских вулканогенных комплексов в других районах архипелага.

Спорным вопросом оставались условия, в которых эта активизация реализовывалась. Наши предшественники предполагали, что это условия континентального рифтогенеза (Harland et al., 1993), либо континентальной коллизии (Koehl et al., 2022), либо отражённая активизация в тыловой части плиты за коллизионным фронтом (Кузнецов, 2009 и др.). Работа по вулканитам серии Чемберлендален представила свидетельства, что этот процесс был близок по природе континентальному рифтогенезу (Сироткин, Евдокимов, 2022). Материалы по метавулканитам свиты Тролльхеймен доказывают, что вендский вулканизм на архипелаге связан с внутриплитными процессами.

Список литературы

Бархатов Б. П. Основные этапы тектонического развития архипелага Шпицберген // Вестник ЛГУ. 1970. № 6. Вып. 1. С. 157–159.

Красильщиков А. А. Стратиграфия и палеотектоника докембрия – раннего палеозоя Шпицбергена // Труды НИИГА. Л.: Недра, 1973. Т. 172. 120 с.

Красильщиков А. А., Ковалева Г. А. Докембрийские литолого-стратиграфические комплексы западного побережья Шпицбергена / Под ред. В. Н. Соколова // Труды НИИГА. Л., 1976. С. 63–70.

Кузнецов Н. Б. Основание Свальбарда: северо-восточное продолжение Скандинавских каледонид или северо-западное продолжение Протоуралид-Тиманид? // Бюл. Моск. общ-ва испытателей природы. Отдел геол. 2009. Т. 84, Вып. 3. С. 23–51.

Сироткин А. Н., Евдокимов А. Н. Вендский возраст магматических пород района долины Чемберлена (северная часть Земли Веделя Ярлсберга, архипелаг Шпицберген) // Записки Горного института. 2022. Т. 000. С. 1–16. DOI: 10.31897/PMI.2022.20

Bergh S., Ohta J., Andresen A. et al. Geological map of Svalbard 1:100 000, sheet B8G, St. Jonsfjorden. Norsk Polarinstitutt Temakart 34. 2003.

Harland W. B., Horsfield W., Manby G. et al. An outline pre-Carboniferous stratigraphy of central Western Spitsbergen // Norsk Polarinstitutt Skrifter. 1979. 167. P. 119–144.

Harland W. B., Hambrey M., Waddams P. Vendian geology of Svalbard // Norsk Polarinstitutt Skrifter. 1993. 193. 150 p.

Koehl J.-B. P., Magee C., Anell I. M. Impact of Timanian thrust systems on the late Neoproterozoic // Phanerozoic tectonic evolution of the Barents Sea and Svalbard. Solid Earth. 2022. Vol. 13. P. 85–115. URL: https://doi.org/10.5194/se-13-85-2022

ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ И ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЯ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ АКВАТОРИИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР

К. М. Смирнова, А. Г. Матуль, Е. А. Новичкова, Н. В. Козина, С. В. Сломнюк, М. Д. Кравчишина

Институт океанологии им П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
skm98@mail.ru

Фораминиферы представляют собой ключевую составляющую морских планктонных и бентосных сообществ, встречающихся во всех акваториях Мирового океана. Их геологическая история охватывает огромный временной промежуток – от позднего докембрия до наших дней, что делает их незаменимым инструментом в стратиграфии. Благодаря своей высокой эволюционной изменчивости и широкому распространению, они служат надежным биостратиграфическим маркером при расчленении осадочных отложений палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов.

Благодаря высокой численности, отличной сохранности и широкому распространению в морских осадках, раковины бентосных фораминифер служат отличным материалом для проведения изотопных исследований (кислородных и углеродных). Это позволяет реконструировать палеогеографические условия среды их обитания, включая температурные показатели, соленость воды, концентрацию растворенного кислорода и уровень биологической продуктивности бассейна.

Особое значение в исследованиях имеют бентосные фораминиферы, представляющие собой наиболее многочисленную группу. Их изучение дает возможность воссоздать динамику климатических колебаний, включая периоды потепления и похолодания, а также определить температурные характеристики и соленость придонных вод и их взаимосвязь с прилегающими акваториями. Полученные в ходе исследований данные способствуют лучшему пониманию механизмов формирования современного климата и позволяют строить прогнозы его будущих изменений.

Территория Баренцева моря является местом активных геологических и биологических исследований. Основной задачей магистерской работы является выявление климатических изменений на современном этапе геологической истории в районе Шпицбергена на основе анализа распределения бентосных фораминифер.

Весь материал происходит из четвертичных отложений различных районов акватории Шпицбергена (Баренцево море) из трех колонок: 7063 (N 76°59.808’ E 13°6.620’, глубина моря 320 м, мощность 5.16 м), отобранная в юго-западной части Баренцева моря у архипелага Шпицберген во время 84-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2021 году, 6850 (N 79°41.489’ E 33°22.144’, глубина моря 373 м, мощность 3.72 м), отобранная в северной части Баренцева моря между южными оконечностями желобов Квитойя и Франц-Виктория во время 80-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2020 году. Изучено 207 образцов с интервалом пробоотбора в 5 см.

Материал представляет собой керн из ударной грунтовой трубки большого диаметра (ТБД), нарезанный по сантиметру. В отличие от других инструментов пробоотбора, ТБД дают возможность изучить более глубокие слои осадочной толщи.

В изученных пробах встречены 43 вида БФ, относящихся к 31 роду, часть которых была определена в открытой номенклатуре. Большая часть БФ, встреченных в изученных колонках, обладают известковой раковиной, и только 4 вида – агглютинированной.

На основе анализа комплексов БФ проведена реконструкция палеосреды Арктики в данном районе исследований в четвертичном периоде. В колонке АМК-7063 выявлены ключевые климатические события голоцена: похолодание 8.2 тыс. лет назад, Голоценовый климатический оптимум и переход к субатлантическому похолоданию. Обнаружен аномальный пик численности БФ (50 тыс. экз./г) в интервале 30–31 см, связанный с активизацией атлантических вод. Четко прослежена граница плейстоцен/голоцен (инт. 171–172 см) и зафиксированы локальные потепления в период последнего ледникового максимума (МИС-2). В колонке АМК-6850 подтверждены климатические рубежи 8.2 и 4.2 тыс. лет назад, маркируемые сменой арктических и атлантических видов. Результаты исследований демонстрируют высокую чувствительность БФ к изменениям палеоокеанграфических условий и подтверждают возможность их использования для детальных палеореконструкций без абсолютного датирования

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 24–17–00044 (руководитель А. Г. Матуль).

Список литературы

Polyak L., Mikhaiiov V. Post-glacial environments of the southeastern Barents Sea: foraminiferal evidence // Late Quaternary Paleoceanography of the North Atlantic Margins, Geological Society Special Publication. 1996. No. 111. P. 323–337.

Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B. E., Lubinski D. A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced Arctic marine environment // Journal of Foraminiferal Research. 2002. Vol. 32. No. 3. P. 252–273.

Rasmussen T. L., Thomsen E. Stable isotope signals from brines in the Barents Sea: implications for brine formation during the last glaciation // Geology. 2009. No. 37. P. 903–906.

Rasmussen T. L., Thomsen E. Brine formation in relation to climate changes and ice retreat during the last 15,000 years in Storfjorden, Svalbard // Paleoceanography. 2014. No. 29. P. 911–929.

Rasmussen T. L., Thomsen E., S´lubowska M. A., Jessen S. Paleoceanographic evolution of the SW Svalbard margin (76° N) since 20,000 ^{14}C yr BP // Quaternary Research. 2007. No. 67. P. 100–114.

СОВРЕМЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОРСКИХ ВОД ВОКРУГ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ДЛЯ РОССИЙСКОГО РЫБОЛОВСТВА

К. М. Соколов, Е. В. Гусев

Полярный филиал им. Н.М. Книповича Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Мурманск, Россия
sokolkm@pinro.vniro.ru, goose@pinro.vniro.ru

С рыбохозяйственной точки зрения, под морскими водами вокруг арх. Шпицберген понимается пространство частей Баренцева, Норвежского, Гренландского морей и Северного Ледовитого океана, расположенное к северу от границы Исключительной экономической зоны Норвегии, к западу от линии разграничения морских пространств между Россией и Норвегией и западной границы района регулирования НЕАФК (Открытой части Баренцева моря), к северо-востоку от границы района регулирования НЕАФК Открытая часть Норвежского моря, и к югу и юго-востоку от северной границы так называемой «рыбоохранной зоны» Норвегии. Это пространство в настоящей работе терминологически определено как район архипелага Шпицберген (РШ) и включает в себя как воды шельфа, так и глубоководные районы к западу и северу от шельфовых окраин.

В единой баренцевоморской экосистеме РШ является уникальной акваторией, чьи особенности сформированы донным рельефом и системой постоянных течений. С юга к островам архипелага теплые воды Атлантики приносятся Шпицбергенским течением, и его ветвями Западно-Шпицбергенским и Южно-Шпицбергенским течениями. На юго-востоке района – Северной ветвью Нордкапского течения. Воды к северу и к северо-востоку от архипелага находятся под влиянием холодных вод Северного Ледовитого океана, переносимых с севера течениями Баренца, Персея и Медвежинским течением. Смешение атлантических и полярных вод обуславливает высокую биопродуктивность этих вод, на верхних трофических уровнях экосистемы выражающуюся в наличии плотных скоплений ценных промысловых пелагических и донных рыб. Экосистемная общность запасов далеко мигрирующих промысловых рыб определяет высокую рыбохозяйственную важность РШ.

Отечественное освоение морских биоресурсов Шпицбергена началось в конце XV века, переживая ряд подъемов и спадов. Начиная с 1930-х годов, рыбохозяйственное значение вод этого района начало быстро расти. Непосредственно перед Великой отечественной войной у юго-западных берегов Шпицбергена НИС «Николай Книпович» были найдены крупные скопления посленерестовой крупной атлантической сельди, даны рекомендации по ее промыслу. В 1946 году советские исследования и промысел сельди были возобновлены. В начале 1950 гг. здесь были обнаружены и стали облавливаться флотом мощные скопления окуня-клювача. С этого же десятилетия началось интенсивное освоение в этом районе запасов трески. С 1956 года и до первого десятилетия XXI века здесь добывалось около 23% её годового отечественного вылова. На конец 1960-х гг. приходится начало активной добычи гренландского палтуса на свале континентального шельфа в РШ. С 1970 года по итогам исследований ПИНРО в РШ начат пелагический промысел мойвы, с 1980-х гг. ведется российский промысел северной креветки.

Основными объектами современного российского промысла в РШ являются треска, морские окуни, черный палтус, северная креветка. В отдельные годы здесь в значительных количествах вылавливается атлантическая сельдь, мойва и путассу. Добыча донных видов водных биоресурсов (ВБР) осуществляется донными тралами и ярусами, пелагических рыб – разноглубинными тралами. На российский промысел ВБР влияют ряд экологических и социально-экономических факторов – состояние запасов, гидрологические условия, особенности регулирования рыболовства в РШ, к которым в последние годы добавилась недружественная политика Норвегии. Целью работы являлось определение современных тенденций российского промысла в РШ, которые могут послужить основой будущих управленческих решений.

В структуре общего российского промысла в Баренцевом море и сопредельных водах в 2010–2024 гг. вылов ВБР в РШ в среднем составлял около 30 % вылова ежегодно. В 2010–2024 годах максимум российского вылова в РАШ достигал 294 тыс. т и был получен в 2012 г. Минимум вылова пришелся на 2024 г. (70 тыс. т).

В целом, с 2010 по 2024 гг. происходило постепенное снижение доли российского вылова в РАШ, и почти синхронное увеличение доли ИЭЗ России в вылове. От максимума в 43 % вылова в 2012 г., доля отечественного баренцевоморского вылова в РШ к 2023–2024 гг. снизилась до минимума в 14–15 %. Соответственно, промысловая нагрузка (количество судо-суток), прикладываемая флотом в ИЭЗ России в 2010–2024 гг., увеличивалась при постепенном уменьшении этого показателя в НЭЗ и в РШ. Минимум промысловых усилий в РШ был приложен в 2024 г., составив 2,9 тыс. судо-суток.

Наиболее ярко такие тенденции проявились для донного тралового промысла, вылов при котором в структуре общего российского вылова в Баренцевом море составляет около 80 %. Так, максимум и минимум российского вылова донных рыб также пришлись соответственно на 2011–2012 и 2024 гг. (216–212 тыс. т и 64 тыс. т соответственно). В среднем в этот период в РШ российские суда вылавливали около 180 тыс. т водных биоресурсов, из которых на долю донных рыб и беспозвоночных приходилось около 160 тыс. т.

Промысел пелагических рыб в РШ осуществлялся лишь до 2015 г. со средним ежегодным выловом около 35 тыс. т преимущественно атлантической сельди. Начиная с 2016 г. российский пелагический промысел в РШ не велся.

В структуре отечественно донного ярусного промысла при среднем ежегодном общем вылове этими орудиями лова в почти 30 тыс. т, доля РШ составила в среднем 7 тыс. т. Максимум вылова донных рыб ярусами здесь был получен в 2016 г. и составил 13,5 тыс. т.

Таким образом воды РШ для отечественного рыбодобывающего флота в последние два года (2023–2024 гг.) осваиваются недостаточно. Причины такого положения дел – относительная отдаленность этого района от портов, закрытие для промысла широких акваторий норвежской стороной, некоторые особенности регулирования промысла в этой части моря. К сожалению, текущая ситуация усугубляется недружественной политикой Норвегии, ограничивающей возможности портового обслуживания российских судов. Все это увеличивает издержки на промысел, вынуждая отечественных рыбаков перемещаться в ИЭЗ России. Такое сокращение площади доступного для российского флота промысла снижает его эффективность, а также увеличивает антропогенную нагрузку на часть баренцевоморской экосистемы, расположенную в ИЭЗ России.

Исправлению положения дел могла бы способствовать организация непосредственно на архипелаге Шпицберген портопункта, способного обслуживать промысловые суда, оснащенного промышленными складами для хранения рыбной продукции.

ПАЛЕОМОРСКИЕ УСЛОВИЯ ВО ВРЕМЯ РАННЕГОЛОЦЕНОВОЙ ТРАНСГРЕССИИ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Д. А. Соловьева[1], А. С. Окунев[2], Н. В. Куприянова[2], С. Р. Веркулич[1]

[1]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И. С. Грамберга, г. Санкт-Петербург, Россия

Отступание оледенения последнего ледникового максимума (около 24 000 лет назад) стало причиной эвстатического подъема уровня мирового океана (Fairbanks R. A., 1989). Последующий гляциоизостатический подъем освободившихся территорий привел к постепенному снижению относительного уровня моря. Эти колебания нашли свое отражение в облике побережий архипелага Шпицберген, в комплексах поднятых пляжей, береговых валов, террасовых уровней и морских отложениях на различных гипсометрических отметках (Forman S. L., 1987; Forman S. L., 1990; Farnsworth W.R., 2020). По данным о высоте морских террас и результатам радиоуглеродного датирования раковин моллюсков, плавника и костных останков морских млекопитающих были построены кривые послеледникового изменения относительного уровня моря для различных районов архипелага Шпицберген (Feyling-Hanssen R. W., 1955; Forman S. L., 2004 и др.). Большинство радиоуглеродных датировок объединено в базу данных SVALHOLA (Farnsworth W. R., 2020). При этом, получаемые данные дискретны, реконструкции мелкомасштабных изменений уровня моря на основе геоморфологического метода невозможны.

По данным об условиях обитания и возрасте раковин теплолюбивых моллюсков (таких как *Zirfaea crispate* и *Mytilus edulis*), обнаруженных в морских отложениях архипелага Шпицберген, было выявлено, что 11000 калиброванных лет назад (кал. л. н.) климат на архипелаге Шпицберген был сравним с современным. Далее последовал термический максимум голоцена для рассматриваемых территорий – 10200–9200 кал. л. н., когда августовские температуры были примерно на 6 °C выше современных. Более низкие температуры были реконструированы для периода 9000–8200 кал. л. н., за которым последовало потепление 8200–6000 кал. л. н., сопоставимое со значениями около +4 °C к современным показателям (Mangerud J., 2017).

Для получения новых данных об изменениях природной среды в раннем голоцене в 2015–2024 гг. в рамках Российской Арктической Экспедиции на архипелаге Шпицберген сотрудниками Арктического и Антарктического научно-исследовательского института совместно с коллегами Шпицбергенской партии АО ПМГРЭ и отделом геологического картирования ВНИИОкеангеологии были проведены исследования рельефа и четвертичных отложений в районе Дундербухты (Земля Веделя Ялрсберга), центральной части Земли Норденшельда, юго-западной части Земли Оскара II и Земле Принца Карла. В ходе работы были подробно описаны формы рельефа морского генезиса, изучены морские и континентальные отложения в естественных обнажениях, отобраны образцы на различные типы анализов. Аналитические исследования морских отложений включали в себя радиоуглеродное датирование, микрофаунистический и малакофаунистический анализы. В ходе работ получено 57 радиоуглеродных дат, соответствующих позднему неоплейстоцену и раннему голоцену. Фораминиферовый анализ был выполнен для 8 разрезов поздненеоплейстоценовых и раннеголоценовых осадков. Комплексы морских диатомей были обнаружены и изучены в одном разрезе на побережье Дундербухты (Полещук К. В., 2019).

По результатам исследования было выявлено, что все изученные морские отложения преимущественно формировались в относительно мелководных условиях.

Микрофаунистический анализ, выполненный по ряду разрезов на южном побережье Сент-Джонс-фьорда, выявил богатые комплексы, насыщенные фораминиферовыми ассоциациями, которые отражают поэтапный характер развития раннеголоценовой трансгрессии. Первый – «трансгрессивный» этап около 10700 кал. л. н., связанный с максимальным уровнем моря меняется относительно стабильным, за которым следует пульсационно-регрессивная фаза около 10500 кал. л. н., отраженная в колебаниях береговой линии, что может свидетельствовать о проявлении новейших тектонических движений. При этом выделенные комплексы формировались в мелководных условиях.

В результате обобщения полученных данных были получены локальные реконструкции послеледниковых изменений природной среды. Так дегляциация среднего течения долины Холлендердален происходила ~14000 кал. л. н., что также значительно опережает реконструкции отступания ледникового покрова в опубликованных источниках (Landvik, 1987). С ~14000 до ~11500 кал. л. н в результате морской трансгрессии нижнее-среднее течение долины Холлендердален представляло собой приледниковый залив с выходящим в него ледником, испытывающим приливно-отливные воздействия (tide-water glacier). ~11500–8000 кал. л. н. в среднее течение долины Холлендер представляло собой мелководное приледниковое озеро с поступлением морских вод, где накапливались циклиты – переслаивание песков и алевритов с редким растительным детритом и обломками древесного материала. Приустьевая часть долины представляла собой морской мелководный залив, где господствовали теплолюбивые моллюски и фораминиферы.

Таким образом, в ходе исследования были получены новые данные об изменении палеоморских условий в районах исследования, результаты микрофаунистического анализа позволили существенно дополнить имеющиеся реконструкции, выявить кратковременные этапы отступания уровня моря, не нашедшие отображения в рельефе. В результате обобщения полученных данных были составлены локальные реконструкции изменений природной среды после отступания оледенения последнего ледникового максимума.

Список литературы

Полещук К. В., Пушина З. В., Веркулич С. Р. Голоценовые диатомовые комплексы из отложений Дундербухты, Западный Шпицберген // Вопросы современной альгологии. 2019. № 2(20). С. 242–245.

Fairbanks R. A. 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation // Nature. 1989. No. 342. P. 637–642.

Farnsworth W. R., Allaart L., Ingólfsson Ó., Alexanderson H., Forwick M., Noormets R., Retelle M., Schomacker A. Holocene glacial history of Svalbard: Status, perspectives and challenges // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 208.

Feyling-Hanssen R. W. Late-Pleistocene of Billefjorden, West Spitsbergen // Norsk Polarinst. Skriafter. 1955. No. 107. P. 186.

Forman S. L., Mann D., Miller G. H. Late Weichselian and Holocene relative sea-level history of Braggerhalvoya, Spitsbergen, Svalbard Archipelago // Quaternary Research. 1987. Vol. 27(1). P. 41–50.

Forman S. L. Post-glacial relative sea-level history of northwestern Spitsbergen, Svalbard // Geological Society of America Bulletin. 1990. P. 1580–1590.

Forman S. L., Lubinski D. J., Ingólfsson Ó., Zeeberg J. J., Snyder J. A., Siegert M. J., Matishov G. G. A review of postglacial emergence on Svalbard, Franz Josef Land and Novaya Zemlya, northern Eurasia // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23. P. 1391–1424.

Landvik J. Y., Mangerud J., Salvigsen O. The Late Weichselian and Holocene shoreline displacement on the west-central coast of Svalbard // Polar Research. 1987. No. 5. P. 29–44.

Mangerud J., Svendsen J. I. The Holocene Thermal Maximum around Svalbard, Arctic North Atlantic; molluscs show early and exceptional warmth // The Holocene. 2017. P. 1–19.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИЙСКОГО ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН ЗА ПЕРВУЮ ЧЕТВЕРТЬ XX ВЕКА

А. В. Терехов, У. В. Прохорова, А. Л. Борисик, В. Э. Демидов, О. Р. Сидорова, С. Р. Веркулич, А. Л. Новиков, Ю. В. Угрюмов, И. М. Ашик

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
avterekhov@aari.ru

Отечественные исследования ледников Шпицбергена являются развитием советских гляциологических работ на архипелаге, прерванных в середине 1980-х гг. Эти работы, носящие мониторинговый характер, были возобновлены в начале 2000-х гг., и с тех пор был накоплен значительный объем данных, позволивший сделать новые выводы о современном состоянии и динамике оледенения. Исследования в основном сфокусированы на ледниках в районе Баренцбурга, чему способствуют логистические возможности: именно здесь расположен Российский научный центр на архипелаге Шпицберген. Мониторинг ледников проводится по трем основным направлениям: измерения баланса массы (гляциологическим методом – ежегодно, и геодезическим – раз в пять лет), микроклиматические и теплобалансовые наблюдения (ежегодно) и наблюдения за внутренней структурой и состоянием ледников (повторные георадарные съемки и термометрические измерения).

Баланс массы. Гляциологическим методом были получены ряды баланса массы нескольких ледников в районе Баренцбурга. Эти ряды стали наиболее продолжительными в этой части архипелага, а кроме того имеют оценку случайных погрешностей и доказанное отсутствие систематического сдвига (Terekhov et al., 2023). Благодаря архивным материалам – наземной и аэрофотосъемке, топографическим картам — ряды баланса некоторых ледников были продлены в прошлое, до 1911 г., составив тем самым более чем вековой ряд. Показано, что баланс массы недавних лет беспрецедентно отрицателен: в последние пять лет ледники теряли в среднем 2 м водного эквивалента (в. э.) в год. Измерения на основе высокоточных спутниковых методов и беспилотных аэрофотосъемок показали, что такая рекордная потеря массы характерна для всех ледников в этой области (см. напр.: Terekhov et al., 2022) – и это отражает общую по архипелагу тенденцию.

Один из наиболее важных выводов – исследуемые ледники не просто отражают микроклимат в окрестностях Баренцбурга, но являются индикатором более масштабных климатических флуктуаций глобального масштаба. Ряды баланса массы имеют высокие корреляции с аномалиями приземной температуры воздуха в Северном полушарии, а рекордно тёплым годам соответствуют сезоны с экстремальным таянием ледников.

Микроклиматические и теплобалансовые наблюдения. В районе Баренцбурга была организована система теплобалансовых и микроклиматических наблюдений на ледниках. Две постоянно функционирующие автоматические метеостанции установлены в верхней и нижней частях ледника Альдегонда, а в летний сезон также работает теплобалансовая мачта; ежегодно проводятся маршрутные съемки альбедо. В отдельные годы проводятся экспериментальные исследования радиационных свойств снежного покрова, облачности, параметров шероховатости ледниковой поверхности и т. п.

При помощи разработанной теплобалансовой модели была детально исследована внутрисезонная изменчивость таяния и влияющих на него метеорологических процессов. Используемые методики были верифицированы натурными наблюдениями: так, в 2021 г. совместно с ИФА РАН проведена оценка погрешности аэродинамического метода расчета турбулентного теплообмена на основе метода турбулентных пульсаций, подтвердившая надежность первого: расхождения в оценках составили всего около 2 Вт/м^2 (Прохорова и др., 2024). Показано, что на масштабах сезона наибольший вклад в абляцию ледников вносит коротковолновая радиация: этот показатель варьируется от 60 до 90 %. Изучены механизмы, приводящие к рекордным значениям таяния на масштабах нескольких суток и недель: показано, что существенное увеличение таяния связано с усилением турбулентного теплообмена вследствие прохождения глубоких циклонов (Prokhorova et al., 2023). В 2022 году был оценен вклад волн тепла в абляцию: во время одной из таких волн тепла турбулентный теплообмен был на 55 Вт/м² выше климатической нормы, что эквивалентно дополнительному таянию ледников в 0,27 м в. э. (Prokhorova et al., 2025).

Внутренняя структура ледников. С 2018 года наземные радиолокационные исследования выполнены на 21 леднике, расположенном на Земле Норденшельда и Земле Диксона. Помимо стандартных профильных измерений, на некоторых ледниках выполнены также исследования по методу общей глубинной точки для определения скоростного строения ледников и содержания воды в них. На леднике Альдегонда, с целью сопоставления с радиолокационными данными и для уточнения термического состояния ледника, выполнено бурение двух глубоких скважин. Полученные в них температуры хорошо согласуются с данными радиолокации, подтверждая двухслойную гидротермическую структуру и глубину кровли тёплого ядра ледника.

Установлено, что распространенные на архипелаге ледники политермического типа, помимо сокращения объемов, реагируют на изменения климата также и изменениями своей внутренней структуры: сокращением или увеличением количества тёплого льда, находящегося в придонной части ледников и влияющего на зимний сток, реологические свойства льда и скорость движения (Борисик и др., 2021). Повторные радиолокационные съёмки с интервалом в 10 и более лет, выполненные на политермических ледниках архипелага, показали, что в зависимости от высотного положения и баланса массы ледника, это может приводить как к постепенному выхолаживанию, так и к отеплению ледника.

Сотрудничество. Успех российских научных исследований на Шпицбергене в области гляциологии во многом определяется тем, что здесь работают специалисты различных направлений, выполняя широкий спектр задач. В наших работах мы неоднократно показывали, что это имеет ключевое значение. В гляциологических исследованиях используются и данные гидрологических наблюдений, включая снегомерные съёмки и измерения речного стока, и результаты дистанционного зондирования, и метеорологические измерения. Архипелаг Шпицберген представляет собой уникальный научный полигон, где возможно проведение столь детального исследования ледников.

Список литературы

Борисик А. Л., Новиков А. Л., Глазовский А. Ф., Лаврентьев И. И., Веркулич С. Р. Строение и динамика ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) по данным повторных георадиолокационных исследований 1999, 2018 и 2019 годов // Лёд и Снег. 2021. Т. 61. № 1. С. 26–37.

Prokhorova U., Terekhov A., Ivanov B., Demidov V. Heat balance of a low-elevated Svalbard glacier during the ablation season: A case study of Aldegondabreen // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2023. Vol. 55. No. 1. 2190057. DOI: 10.1080/15230430.2023.2190057

Prokhorova U. V., Terekhov A. V., Demidov V. E., Romashova K. V., Barskov K. V., Chechin D. G., Vasilevich I. I., Tretiakov M.,V., Ivanov B. V., Repina I. A. et al. Impact of Extreme Weather Events on the Surface Energy Balance of the Low-Elevation Svalbard Glacier Aldegondabreen // Water. 2025. 17: 274.

Прохорова У. В., Барсков К. В., Терехов А. В., Чечин Д. Г., Репина И. А., Иванов Б. В., Варенцов М. И., Артамонов А. Ю. Роль турбулентного теплообмена в структуре теплового баланса ледников центральной части о. Западный Шпицберген, на примере ледника Альдегонда // Лёд и Снег. 2024. Т. 64. № 4. С. 481–496.

Terekhov A., Prokhorova U., Verkulich S., Demidov V., Sidorova O., Anisimov M., Romashova K. Two decades of mass-balance observations on Aldegondabreen, Spitsbergen: interannual variability and sensitivity to climate change // Annals of Glaciology. 2023. Vol. 64(92). P. 225–235. DOI: 10.1017/aog.2023.40

Terekhov A., Verkulich S., Borisik A., Demidov V., Prokhorova U., Romashova K., Anisimov M., Sidorova O., Tarasov G. Mass balance, ice volume and flow velocity of the Vestre Grønfjordbreen (Svalbard) from 2013/14 to 2019/20 // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2022. Vol 54(1). P. 584–602. DOI: 10.1080/15230430.2022.2150122

ГЛОБАЛЬНАЯ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ IGRICE КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ ШПИЦБЕРГЕНА

П. А. Торопов, А. А. Шестакова

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
tormet@inbox.ru

Одним из наиболее перспективных направлений современной гляциологии является развитие так называемых глобальных гляциологических моделей (ГГМ), которые сочетают в себе относительную полноту описания основных процессов, определяющих динамику оледенения с вычислительную экономичностью (Постникова и др., 2021; Zekollari et al., 2022). Этот подход стал популярен в связи с необходимостью оценки изменения пресноводных ресурсов и числа опасных гляциологических явлений по всем горно-ледниковым районам мира в условиях меняющегося климата, а также вклада деградации горного оледенения в рост уровня Мирового океана (Huss, Hock, 2018).

Первая версия ГГМ IGRICE разработана сотрудниками ИГ РАН и ИФА РАН в 2022–2025 гг. (Торопов и др., 2023). Помимо инструмента для решения перечисленных выше задач, эта модель в перспективе будет использоваться, как параметризация горного оледенения в отечественной Модели Земной Системы ИВМ РАН – МГУ. С помощью ГГМ IGRICE можно изучать физические механизмы динамики как отдельно взятых ледников, так и целых горно-ледниковых районов. Динамика ледника в модели описывается известной моделью Орлеманса (Oerlemans, 2008), при этом масс-балансовый блок представлен достаточно полно, и включает модули расчета орографических осадков (Торопов и др., 2022), характеристик снежного покрова (Сушинцев и др., 2025), компонент теплового баланса в зависимости от морфометрии склонов и закрытости горизонта (Ледники и климат Эльбруса, 2020). Детальное описание процессов формирования баланса массы ледников в различных высотных зонах позволяет ГГМ IGRICE быть перспективным инструментом исследования механизмов гляциологических аномалий в различных районах Земли. Впервые этот алгоритм был применен к кавказскому леднику Джанкуат (Торопов и др., 2023), который является самым изученным на территории России (Popovnin et al., 2024).

Модель также апробировалась на ледниках Шпицбергена – Альдегонде и Восточном Гренфьорде, которые были выбраны в качестве тестовых в силу хорошей обеспеченности данными измерений благодаря коллективам ААНИИ Росгидромета (Прохорова и др., 2023) и ИГ РАН (Elagina et al., 2021). В качестве форсинга использовались данные реанализа ERA5, точность которых в горных районах неоднократно оценивалась в ряде работ (см. напр.: Торопов и др., 2022, 2023). Были рассчитаны основные климатические и гляциологические характеристики за период 1990–2021 гг. Модель удачно воспроизвела динамику баланса массы, площади и длины обоих ледников. Коэффициент корреляции между наблюдаемыми и модельными компонентами баланса массы составил 0.7–0.9. Площадь ледников за рассматриваемые 12 лет сократилась по результатам моделирования на 20 %.

Причиной столь катастрофической деградации двух рассматриваемых ледников стало увеличение вклада жидких осадков и сильных оттепелей в таяние снега зимой и весной. За счет этого отмечается выраженный отрицательный тренд водно-эквивалентной высоты снежного покрова, и смещение даты полного схода снежного покрова примерно на месяц. На рубеже XX–XI веков средняя дата схода снежного покрова на ледниках залива Грёнфьорд приходилась на первую декаду августа, при этом в первых числах сентября на ледниках снежный покров уж восстанавливался. В итоге бесснежный период длился на ледниках не более месяца, а в верхних морфологических зонах в отдельные годы он вообще отсутствовал. Поэтому баланс массы ледников Альдегонда и Восточный Грёнфьорд был или слабо отрицательным, или близким нулю. В последние 20 лет бесснежный период обычно продолжается 2 месяца (с середины июля до середины сентября). Таким образом, несмотря на сохранение устойчивой отрицательной средней годовой температуры воздуха (–1.5…–2.5 °С) в последние 20 лет, линяя равновесия поднялась до 600 метров над уровнем моря, то есть проходит выше самых высоких точек ледников Альдегонда и Восточный Гренфьорд. В итоге, даже при отсутствии ярко выраженных положительных аномалий температуры и радиационного баланса в летний сезон, ледники теряют массу очень быстро: в диапазоне –1500…–3000 мм в. э. как по результатам выполненного моделирования, так и по данным измерений (Elagina et al., 2021). Можно обоснованно предположить, что этот механизм типичен для всех ледников Западной Арктики.

Список литературы

Ледники и климат Эльбруса / Под ред. В. Н. Михаленко. М.; СПб.: Нестор-История, 2020. 372 с.

Постникова Т. Н., Рыбак О. О. Глобальные гляциологические модели: новый этап в развитии методов прогнозирования эволюции ледников. Ч. 1. Общий подход и архитектура моделей // Лёд и Снег. 2021. Т. 62. № 2. С. 620−636.

Прохорова У. В., Терехов А. В., Демидов В. Э., Веркулич С. Р., Иванов Б. В. Внутрисезонная изменчивость абляции ледника Альдегонда (Шпицберген) // Лёд и Снег. 2023. Т. 63. № 2. С. 214–224. URL: https://doi.org/10.31857/S2076673423020138

Сушинцев И. М., Дроздов Е. Д., Торопов П. А., Михаленко В. Н., Воробьев М. А., Хайрединова А. Г. Оценка качества воспроизведения снежного покрова на ледниках на примере высокогорных районов Камчатки и Кавказа // Лёд и Снег. 2025. Т. 65. № 1. С. 114–124.

Торопов П. А., Шестакова А. А., Ярынич Ю. И., Кутузов С. С. Моделирование орографической составляющей осадков на примере Эльбруса // Лед и Снег. 2022. Т. 62. № 4. С. 485–503.

Торопов П. А., Дебольский А. В., Полюхов А. А., Шестакова А. А., Поповнин В. В., Дроздов Е. Д. Минимальная модель Орлеманса как возможный инструмент описания горного оледенения в Моделях Земной Системы // Водные ресурсы. 2023. Т. 50. № 5. С. 524–537.

Huss M., Hock R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss // Nat. Clim. Change. 2018. Vol. 8(2). P. 135–140.

Elagina N., Kutuzov S., Rets E., Smirnov A., Chernov R., Lavrentiev I., Mavlyudov B. Mass Balance of Austre Grønfjordbreen, Svalbard, 2006–2020, Estimated by Glaciological, Geodetic and Modeling Aproaches // Geosciences. 2021. Vol. 11. P. 78. URL: https://doi.org/10.3390/geosciences11020078

Oerlemans J. Minimal Glacier Models. Utrecht: Igitur, 2008. 91 p.

Popovnin V., Gubanov A., Lisak, V., Toropov P. Recent Mass Balance Anomalies on the Djankuat Glacier, Northern Caucasus // Atmosphere. 2024. Vol. 15(1). P. 107. URL: https://doi.org/10.3390/atmos15010107

Zekollari H., Huss M., Farinotti D., Lhermitte S. Ice-Dynamical Glacier Evolution Modeling–A Review // Rev. Geophys. 2022. Vol. 60. № 2. P. e2021RG000754.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУРМАНСКОГО МОРСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН В 2015–2025 гг.

И. С. Усягина, Г. В. Ильин, Н. В. Лебедева, Н. И. Мещеряков, А. А. Намятов, Н. С. Иванова

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
usjagina@mmbi.info

Архипелаг Шпицберген расположен на пути переноса воздушных и морских масс из промышленно развитых регионов Европы, Северной Америки и Азии. В наземных и морских экосистемах архипелага наблюдается относительно низкий (по сравнению с промышленными центрами) уровень локального загрязнения, что делает Шпицберген идеальным местом для изучения глобальных процессов переноса долгоживущих радионуклидов, в частности ^{137}Cs и ^{90}Sr (периоды их полураспада около 30 лет). Выделяют два главных процесса загрязнения техногенными изотопами – атмосферный, преобладающий на суше и во внутренних водоемах, после выпадений радионуклидов в результате испытаний ядерного оружия (ЯО) на Новой Земле (1954–1963 гг.) и инцидентах на Чернобыльской АЭС (1986 г.) и «Фукусима-1» (2011 г.), и водный, обусловленный переносом с Западно-Шпицбергенским течением сбросов радиохимического предприятия «Селлафильд», максимум которых пришелся на 1974–1978 гг., который отразился только на прибрежье архипелага. Объектами радиоэкологических исследований были ледовые керны, почва, пресная и морская вода, донные отложения и атмосферные осадки. Пробы отбирали в морских (НИС «Дальние Зеленцы») и в береговых («Биогеостанция ММБИ РАН») экспедициях с 2015 по 2025 гг.

В период 27.11–05.12.2015 г. были оценены уровни содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях (0–2 см), в поверхностном, глубинном, придонном слоях воды залива Ис-фьорд и его ответвлений Билле-фьорд, Грён-фьорд, составляющих единую систему фьордов центральной части о. Западный Шпицберген. Накопление радионуклидов происходило в период испытаний ЯО, современные климатические изменения усиливают роль ледников в загрязнении арктических морей. Экстремумы радиоактивного загрязнения донных отложений в морском прибрежье арх. Шпицберген локализуются преимущественно на участках разгрузки ледниковых стоков (Матишов и др., 2018).

В 2017–2018 годах была предпринята попытка оценить влияние стока ледника Грёнфьорд на накопление ^{137}Cs донными отложениями озера Бретъёрна. Котловина озера сформировался приблизительно 100–700 лет назад. Датирование колонок донных отложений по ^{210}Pb в приледниковой (l = 80 см), центральной (l = 70 см) и прилегающей к заливу Грён-фьорд (l = 40 см) точках показало, что исследуемая толща озера сформировалась в ядерную эпоху (70–80 лет назад) (Мещеряков и др., 2023). Исследование трех ледовых кернов мощностью 173–275 см, отобранных в зоне питания ледника на площадке 25 м^2, показало присутствие ^{137}Cs только в верхних 30 см (~ 0.1 Бк/м^3). В снеге объёмная активность ^{137}Cs была меньше чувствительности измеряемой аппаратуры, в поверхностных водах ручья Бретьёрна и озера в среднем составляла 0.1±0.05 Бк/м^3 за исключением точки на границе озера с заливом Грён-фьорд (2.5±0.3 Бк/м^3).

Анализ профилей ^{137}Cs в колонках озерных отложений показал, что наибольшие значения наблюдаются в нижних слоях осадка из центральной и устьевой частей озера, датируемых 1960-ми гг., обусловленные испытаниями ЯО. В слоях отложений, датируемых с 1980-х по 2018 гг., в том числе в приледниковой части озера, уровни ^{137}Cs низкие. Повышение среднегодовой температуры воздуха с 1980-х гг. по настоящее время привело к отступанию ледника, увеличению флювиогляциальных потоков, обедненных цезием, и, как следствие, разбавлению его концентрации в поступающем на дно осадочном материале. Таким образом, можно заключить, что интенсивное таяние ледника Грёнфьорд не привело к повышенному накоплению ^{137}Cs в *озёрных отложениях.*

В июне 2018 г. исследованы особенности распределения природных ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th и техногеннных радионуклидов ^{90}Sr, ^{137}Cs *в почве* на побережье залива Колесбухта (арктическая тундра) и в окрестностях российского пос. Баренцбург (колония птиц). Для антропогенного ^{137}Cs удельная активность в почве близка или ниже ранее установленной для аналогичных биотопов на Шпицбергене. Удельная активность искусственных радионуклидов ^{90}Sr, ^{137}Cs была существенно выше в почве типичной арктической тундры, природного ^{226}Ra была выше под птичьим базаром. Аккумуляция искусственных радионуклидов может быть объяснена меньшим вымыванием из почвы и депонированием на месте при незначительном уклоне рельефа (Лебедева и др., 2021).

В период 24.06–03.07.2019 г. исследовано содержание ^{137}Cs в осадочной толще пролива Стур-фьорд, расположенного на юго-востоке архипелага Шпицберген и отделяющего острова Эдж и Баренца от острова Западный Шпицберген. В профиле из северной части пролива, где осадконакопление зависит от ледового припая местного генезиса, значения ^{137}Cs были выше, чем из центральной и южной. Наибольшие уровни ^{137}Cs наблюдались в слоях, датируемых 1976–1988 гг., что согласуется с максимальным поступлением сбросов завода «Селлафильд» в Баренцево море с атлантическим течением. Рассчитанное время переноса ^{137}Cs от Ирландского моря до пролива Стур-фьорд составляет приблизительно 8–9 лет. Низкая удельная активность ^{137}Cs в южной части пролива, вероятно, обусловлена размывом отложений придонным течением (Мещеряков и др., 2023).

В 2022 году на трех колонках донных отложений, датированных по избыточному ^{210}Pb (~ 100–150 лет), была проведена реконструкция содержания ^{137}Cs и 11 тяжёлых металлов в воде залива Грён-фьорд (Namyatov et al., 2025). Исследование проводилось в сотрудничестве с ААНИИ. Для восстановления удельной активности ^{137}Cs в водной среде была использована зависимость коэффициента распределения (Kds) от содержания пелитовых фракций. Расчеты показали, что максимальный уровень ^{137}Cs в морской воде был с 1985 по 1995 гг. В большинстве проанализированных образцов обогащения тяжелыми было незначительным. Во всех трех точках отбора проб было обнаружено умеренное или высокое содержание мышьяка, в центральной части залива – повышенное содержание ртути.

Целью исследований 2023–2025 гг. был сравнительный анализ накопления ^{137}Cs в морских и озерных донных отложениях с разной степенью влияния ледников для оценки возможного вторичного загрязнения среды в результате их интенсивного таяния и выхода накопленной из глобальных выпадений активности. Рассчитаны запасы (Бк/м^2) и годовые потоки (Бк/м^2·год) ^{137}Cs в заливах с ледниково-морским режимом осадконакоплением Грён-фьорд и Билле-фьорд, а также в озерах Конгресс (озерная седиментация) и Бретьёрна (лимно-гяциальная седиментация). Показано, с начала ЯИ по настоящее время наибольшая активность ^{137}Cs обнаружена в озере Конгресс, что в 5 раз выше, чем в прогляциальном оз. Бретьёрна и примерно в 2 раза выше, чем в морских заливах, расположенных в зоне влияния стока ледников Земли Норденшельда.

Список литературы

Матишов Г. Г., Ильин Г. В., Усягина И. С., Валуйская Д. А., Дерябин А. А. Результаты морских радиоэкологических исследований фьордов Западного Шпицбергена // Доклады академии наук. 2018. Т. 480. № 3. С. 353–358.

Мещеряков Н. И., Кокин О. В., Усягина И. С., Касаткина Н. Е. Приледниковое озеро Бретъёрна (Западный Шпицберген): история формирования и современное осадконакопление // Лёд и Снег. 2023. Т. 63. № 3. С. 426–440.

Мещеряков Н. И., Усягина И. С., Ильин Г. В. Хронология современного осадконакопления в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) // Геохимия. 2023. Т. 68. № 5. С. 521–532.

Лебедева Н. В., Усягина И. С., Валуйская Д. А. Радионуклиды в почве типичной арктической тундры и под колонией птиц в районе российского поселка Баренцбург (архипелаг Шпицберген) // Атомная энергия. 2021. Т. 131. № 4. С. 219–223.

Namyatov A. A., Usyagina I. S., Meshcheriakov N. I. et al. A reconstruction of radioactive and chemical pollution of the Grønfjorden (bay), West Spitsbergen Island (Svalbard archipelago) // Environ. Sci. Pollut. Res. 2025. Vol. 32. P. 12408–12440.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЛЕДНИКА БЛОМСТРАНД, О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

А. В. Федоров, В. Э. Асминг, С. В. Баранов

Кольский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
AFedorov@krsc.ru

В конце 2019 г. автоматизированной системой сейсмологического мониторинга Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН была зафиксирована активизация слабой сейсмичности ($ML \leq 0.5$), локализованная в северо-западной части о. Западный Шпицберген в зоне абляции ледника Бломстранд. Большинство событий было зарегистрировано ближайшей сейсмической станцией KBS, расположенной в пос. Ню-Олесунн, на удалении порядка 14 км от области активизации.

Данная сейсмическая последовательность была изучена детально. Было обнаружено, что сейсмический процесс начался с крайне слабых сейсмических событий в ноябре 2019 г. и резко завершился 31.12.2019 г. Анализ данных за январь 2020 г. показал отсутствие сейсмических событий из исследуемой области.

При высокой интенсивности сейсмического процесса наблюдалась периодичность возникновения событий и высокое подобие их волновых форм. Доминирующий интервал времени между последовательными событиями (dt) составляет 340–360 сек. Визуальный анализ сейсмических записей выявил большое количество слабых событий, пропущенных автоматизированной системой детектирования на фоне высокого уровня шумов. Для получения максимально полного каталога рассматриваемой активизации была выполнена повторная обработка исходных записей станции KBS с применением кросскорреляционного детектора (Israelsson, 1990; Gibbons, Ringdal, 2006) для периода времени 01.11.2019 г.–31.01.2020 г.

В результате выполнения процедуры кросскорреляционного детектирования на записях станции KBS по 16 образцам за период с 01.11.2019 г. по 31.01.2020 г. было обнаружено 9232 сейсмических события. Анализ распределения количества событий по времени подтвердил предварительный вывод о старте активизации 08.11.2019 г. и ее резкое окончание 31.12.2019 г. Интенсивность процесса достигала 600 событий в сутки.

Был проведен анализ временных распределений величины dt и максимальных амплитуд событий. Расчеты показали, что значения dt претерпевали вариации согласовано с изменениями амплитуд событий в течение сейсмической активизации. Другими словами, рост времени подготовки сейсмического события в среднем приводил к возникновению более сильных подвижек и, наоборот, в периоды более частого возникновения сейсмических событий их амплитуды снижались.

Особенности анализируемой сейсмической последовательности и ее приуроченность к зоне абляции ледника Бломстранд, а также квазипериодический характер последовательности позволил предположить, что физический процесс, генерирующий сейсмические события, может быть описан как феномен прерывистого скольжения (stick-slip motion) ледника по ложу (Sobolev et al., 1993). В результате изменения условий на разделе лед–подстилающая поверхность ледник испытывает краткосрочные неустойчивые подвижки под действием силы тяжести. Для ледников Шпицбергена в литературе ранее подобные сейсмические процессы не описывались. Однако квазипериодические проявления сейсмической активности ледников описаны для Антарктиды (Pirli et al., 2018; Wiens et al., 2008; Zoet et al., 2012) и региона Альп (Helmstetter et al., 2015).

Для проверки гипотезы о связи наблюденной активизации с движением ледника Бломстранд по ложу мы использовали набор космических снимков исследовательского спутника Sentinel-2 (sentinel-hub.com) в радиочастотном диапазоне. Анализ космических снимков подтвердил гипотезу о связи наблюдаемой сейсмической активизации с процессами подвижки ледника. При этом в фазе активного сейсмического процесса линия терминуса ледника не претерпевала значительных изменений. По-видимому, процесс подвижки ледника в зоне абляции компенсировался за счет наличия поперечных трещин. К концу периода проявления сейсмической активизации на космических снимках заметны масштабные выбросы ледового материала в залив. Дальнейший процесс стока ледника в залив, продолжавшийся около 4 мес., активной сейсмической эмиссией не сопровождался, что может свидетельствовать о снижении трения в зоне контакта ледника и подстилающих пород.

На примере ледника Бломстранд выявлено, что прерывистое (stick-slip) скольжение может предшествовать масштабной подвижке. По мнению авторов, эта работа описывает первые сейсмологические наблюдение stick-slip движения ледника на арх. Шпицберген, подтвержденные прямыми наблюдениями изменения его терминальной части. Изложенные результаты могут в будущем послужить инструментом для развития геофизических методов краткосрочного прогноза активизации ледников.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН (№ 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (Dyagilev, Sdelnikova, 2022).

Список литературы

Dyagilev R. A., Sdelnikova I. A. Large-Scale Research Facilities "Seismic Infrasound Array for Monitoring Arctic Cryolitozone and Continuous Seismic Monitoring of the Russian Federation, Neighbouring Territories and the World" // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. Vol. 13(2), 591. P. 1–8.

Gibbons S. J., Ringdal F. The detection of low magnitude seismic events using array-based waveform correlation // Geophysical Journal International. 2006. Vol. 165. No. 1. P. 149–166. URL: https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02865.x

Helmstetter A., Nicolas B., Comon P., Gay M. Basal icequakes recorded beneath an Alpine glacier (Glacier d'Argentière, Mont Blanc, France): Evidence for stick-slip motion? // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. 2015. Vol. 120. No. 3. P. 379–401.

Israelsson H. Correlation of waveforms from closely spaced regional events // Bulletin of the Seismological Society of America. 1990. Vol. 80. No. 6B. P. 2177–2193. URL: https://doi.org/10.1785/BSSA08006B2177

Pirli M., Hainzl S., Schweitzer J., Köhler A., Dahm T. Localised thickening and grounding of an Antarctic ice shelf from tidal triggering and sizing of cryoseismicity // Earth and Planetary Science Letters. 2018. Vol. 503. P. 78–87. URL: https:// doi.org/10.1016/j.epsl.2018.09.024

Sobolev G., Spetzler H., Koltsov A. et al. An experimental study of triggered stick-slip // Pure and applied geophysics. 1993. Vol. 140. P. 79–94. URL: https://doi.org/10.1007/BF00876872

Wiens D. A., Anandakrishnan S., Winberry J. P., King M. A. Simultaneous teleseismic and geodetic observations of the stick-slip motion of an Antarctic ice stream // Nature. 2008. Vol. 453. No. 7196. P. 770–774.

Zoet L., Anandakrishnan S., Alley R., Nyblade A., Wiens D. Motion of an Antarctic glacier by repeated tidally modulated earthquakes // Nature Geoscience. 2012. Vol. 5. No. 9. P. 623–626.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ ПОМОРСКОЙ МАТЕРИАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ

Н. В. Чалая, А. С. Федоров, А. Б. Колесников

Институт археологии РАН, г. Москва, Россия
natalia.chalaya@gmail.com

Цифровизация объектов культурного наследия становится ключевым инструментом в современной археологии, позволяя проводить неинвазивное исследование артефактов, фиксировать их текущее состояние и обеспечивать доступ к информации для широкой аудитории. Одним из приоритетных направлений является построение трехмерных моделей археологических объектов с использованием метода фотограмметрии, который позволяет получать высокоточные объемные модели с сохранением оригинальной текстуры и цветопередачи.

Археологическая коллекция музея «Помор», находящегося в российском поселке Баренцбург на архипелаге Шпицберген, уникальна и представляет особый интерес для цифровизации. Основу собрания составляют находки Шпицбергенской археологической экспедиции Института археологии РАН, проводившей раскопки на архипелаге с 1979 по 2003 гг. Коллекция включает в себя разнообразные предметы материальной и духовной культуры поморов, селившихся на Шпицбергене в XVII–XIX вв. Согласно норвежскому Закону об охране окружающей среды, все найденные археологические находки должны храниться на Шпицбергене и не могут быть вывезены на материк, что делает невозможным работу с коллекцией за пределами архипелага. Вследствие этого оцифровка музейной коллекции является одним из приоритетных направлений работ ИА РАН на Шпицбергене.

Работы по созданию цифровых моделей коллекции музея «Помор» проводились впервые. Фотограмметрический метод был выбран среди других технологий оцифровки вследствие своих преимуществ: высокой точности, относительно низкой стоимости оборудования, мобильности и возможности работы с объектами любых размеров и форм. Из коллекции были отобраны наиболее репрезентативные предметы, иллюстрирующие быт поморов на архипелаге, после чего выбранные предметы были отфотографированы с различных ракурсов. Далее процесс работ включал в себя обработку полученных снимков в специализированных ПО, создание полигональных моделей, текстурирование и финальную постобработку.

В ходе работ оцифровано 15 предметов различной сложности преимущественно малого размера, относящихся как к орудиям промысла и предметам быта (рыболовный крюк, футляр наконечника копья, посуда и др.), так и к духовной культуре и досугу поморов (крест, киот, азбука, календарь и др.). Полученные модели демонстрируют высокую точность воспроизведения оригинальных археологических предметов и могут быть использованы для размещения на онлайн-ресурсах.

Созданные модели предметов поморской материальной культуры планируются к публикации в качестве экспонатов виртуальной онлайн-выставки, а также будут использованы для продолжения научных исследований коллекции. В дальнейшем планируется расширение базы цифровых моделей экспозиции музея «Помор».

Список литературы

Державин В. Л., Колесников А. Б. Археологическая коллекция музея «Помор» на Шпицбергене. Исследования в Арктике Института археологии Российской академии наук. М.: ИА РАН, 2020.160 с.

Коханчук Е. Д., Лозинская А. А. Методика создания 3D-моделей культурного наследия с помощью технологий фотограмметрии. М., 2020. 124 с

КОМПЛЕКС «АКСОЛОТЛЬ»: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

А. В. Чечекин[1], К. А. Агафонов[1], Д. С. Башкатов[1], С. Е. Марусов[1], В. А. Чечекин[2]

[1]Конструкторское бюро “Синергия”, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, г. Санкт-Петербург, Россия
achechekin@synergy.ru

Введение. Арктический регион, в частности архипелаг Шпицберген, является ключевой территорией для изучения последствий глобальных климатических изменений и геодинамических процессов. Активное таяние вечной мерзлоты, деградация ледников и сейсмическая активность требуют внедрения непрерывных и робастных систем мониторинга. Традиционные методы (сейсмодатчики, спутниковый мониторинг) зачастую обладают ограниченным пространственно-временным разрешением, высокой стоимостью развертывания и уязвимы к суровым арктическим условиям. В данной работе представлен инновационный волоконно-оптический интерферометрический комплекс «Аксолотль», предназначенный для решения задач дистанционного и распределенного мониторинга геофизических процессов и состояния донной инфраструктуры в условиях Арктики.

Принцип действия и методика. В основе работы комплекса лежит явление интерференции света в кольцевом интерферометре Саньяка (Малыкин Г. Б., 2000). Лазерный импульс разделяется на два встречных импульса, распространяющихся по оптоволоконному кабелю, проложенному по дну или интегрированному в конструкции донной инфраструктуры. Любое внешнее воздействие (сейсмические колебания, деформации грунта, акустические эмиссии от подводных объектов) вызывает изменение фазового сдвига между импульсами, что регистрируется по изменению интерференционной картины. Анализ рефлектограммы позволяет не только детектировать событие, но и локализовать его вдоль всего кабеля с точностью до 15–50 м.

Комплекс включает:

1. **Линейную часть:** Морской оптоволоконный кабель с чувствительными элементами (петлями Саньяка), устойчивый к низким температурам и механическим нагрузкам.

2. **Станционную часть:** Приборный контейнер (или буй), содержащий рефлектометр, блок обработки сигналов на базе DSP-модуля, систему питания на базе аккумуляторов с подзарядкой от солнечных панелей и ветрогенератора, модуль дальней радиосвязи для передачи данных.

3. **Программное обеспечение:** Алгоритмы на базе вейвлет-анализа и машинного обучения для фильтрации шумов, обнаружения событий и их классификации.

Перспективы применения в районе Шпицбергена. Комплекс «Аксолотль» предлагается для решения следующих научных и прикладных задач в регионе:

1. **Мониторинг сейсмичности и криосейсмических явлений:** Регистрация микроземлетрясений, связанных с тектонической активностью и таянием ледников. Изучение «ледяных землетрясений», вызванных подвижками ледниковых масс.

2. **Исследование динамики донных отложений:** Контроль оползневых процессов, эрозии склонов фьордов, детектирование выбросов газовых гидратов.

3. **Контроль состояния критической инфраструктуры:** Мониторинг деформаций подводных кабелей связи, трубопроводов, причальных сооружений поселков Баренцбург и Пирамида.

4. **Экологический мониторинг:** Косвенная детекция антропогенных воздействий (например, работа техники в акватории) через анализ вибрационного фона.

Преимущества для арктических исследований. По сравнению с традиционными методами, комплекс «Аксолотль» предлагает ряд ключевых преимуществ для работы в высоких широтах:

- **Энергоэффективность и автономность:** Пассивный чувствительный элемент не требует питания на протяжении десятков километров. Станционная часть способна работать автономно за счет гибридной системы питания.
- **Устойчивость к экстремальным условиям:** Оптическое волокно устойчиво к низким температурам (до –60 °C), коррозии и электромагнитным помехам.
- **Высокая пространственная плотность данных:** Один волоконно-оптический кабель длиной 50 км эквивалентен сети из тысяч точечных датчиков.
- **Скрытность и долговечность:** Отсутствие активных элементов на дне делает систему незаметной и надежной.

Ожидаемые результаты и заключение. Внедрение комплекса «Аксолотль» в программу мониторинга на Шпицбергене позволит получить принципиально новые данные о динамике геологических и гляциологических процессов в высоком временном и пространственном разрешении. Это внесет значительный вклад в понимание устойчивости арктических экосистем в условиях меняющегося климата. Проведение пилотных работ по развертыванию системы в акватории одного из фьордов Шпицбергена видится логичным следующим шагом.

Список литературы

Малыкин Г. Б. Эффект Саньяка. Корректные и некорректные объяснения // Успехи физических наук. 2000. Т. 170. № 12. С. 1325–1349.

СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ: СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО УФ ИЗЛУЧЕНИЯ В БАРЕНЦБУРГЕ (РАЭ-Ш)

С. Н. Шаповалов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
shapovalov@aari.ru

Спектральные наблюдения приходящего к земной поверхности солнечного излучения UVB (297–315 nm) и UVA (315–400 nm) представляют актуальное значение в изучении механизма связи параметров нижней атмосферы с солнечной активностью. Временной диапазон мощности излучения UVB–UVA формируется глобальными солнечными механизмами. К ним относятся: солнечные осцилляции, вращение солнечной атмосферы (~ 27 сут.), 11-летний и ~22-летний циклы солнечной активности. Программа геофизических наблюдений в пос. Баренцбург (РАЭ-Ш) включает спектральные измерения интенсивности UVB–UVA в 25 цикле солнечной активности. Измерения проводятся по зенитной методике с помощью оптоволоконного спектрометра AvaSpec-3648. За период наблюдений с 2019 г. по н. в. получены следующие результаты:

– в анализе связи временных рядов UVB и UVA с композитным индексом CA Mg ll (280 nm), коррелирующим с участком солнечного спектра 150–400 nm и другими факторами солнечной активности, выявлены максимальные значения квадрата спектра когерентности с периодами ~ 3 сут., 7 сут. и 27 сут.;

– в анализе корреляции мощности излучения на линиях λ280 nm, λ315 nm и λ400 nm (границы диапазонов) с индексом F10.7 cm (радиоизлучение 2800 MHz) выявлено уменьшение зависимости UVB–UVA в сторону длинноволнового участка спектра с корреляцией *r~0.9* (λ280 nm), *r~0.5* (λ315 nm) и *r~0.02* (λ400 nm);

– в периодограммах интенсивности UVB–UVA установлено доминирование амплитуды «пятиминутных» флуктуаций, что тождественно амплитуде гармоник солнечных осцилляций *p-mods* (2–4 mHz).

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии глобальных солнечных механизмов на временные характеристики UVB–UVA (от минут до десятилетий), формирующие, в свою очередь, «солнечные» колебания в параметрах приземной атмосферы.

ВЛИЯНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ОРОГРАФИЧЕСКИХ ЦИРКУЛЯЦИЙ НА ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЛЕДНИКОВ ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (ШПИЦБЕРГЕН)

А. А. Шестакова, А. И. Нарижная, А. Е. Мамонтов, А. Ю. Артамонов, Д. Г. Чечин, И. А. Репина

Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
shestakova.aa.92@gmail.com

В данной работе проводится исследование влияния таких мезомасштабных циркуляций как фёны и ледниковые ветры на теплообмен атмосферы с поверхностью ледников в заливе Грён-фьорд (Альдегонда, Западный и Восточный Грёнфьорд). Фёны относятся к подветренным бурям, и проявляются в виде сильного и порывистого ветра на фоне положительной аномалии температуры и значительного дефицита влажности. По данным метеостанции Ню-Олесунн, подветренные бури на Шпибергене наблюдаются 71 день в году, а температура воздуха во время фёнов повышается в среднем на 6 °C, в отдельных случаях до 14 °C (Shestakova et al., 2020).

Известно, что фёны могут приводить к дополнительному таянию снега и льда, и оказывать значимое влияние на баланс массы ледников, как это было показано для фёнов на Антарктическом полуострове (Elvidge et al., 2020). В (Shestakova et al., 2022) было показано, что фён в мае 2017 г. привел к досрочному сходу снежного покрова на Западном Шпицбергене. Увеличение абляции снега и льда во время фёна происходит из-за интенсификации возгонки/испарения и турбулентного теплообмена, а также за счет увеличения коротковолновой радиации в так называемом “фёновом окне” (прояснение на подветренной стороне гор, которое наблюдается в большинстве случаев).

Ледниковый ветер относится к типу катабатических, он наблюдается преимущественно в теплое время года при наличии контраста температуры между ледником и окружающей местностью. Его скорость, как правило, невелика, однако он отличается постоянством. Недоучет эффекта ледникового ветра при оценках теплового баланса ледника также может приводить к занижению турбулентного теплообмена.

Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН проводил измерения турбулентного потока тепла методом “eddy covariance” (прямой метод) в сезон абляции на ледниках Альдегонда (в 2022 и 2024 гг.) и Западный Грёнфьорд (в 2025 г.). Эти измерения позволили изучить особенности турбулентного режима приземного слоя над этими ледниками и оценить турбулентный теплообмен при различных режимах погоды, в том числе на фоне ледникового ветра и фёна. В частности, в августе 2025 г. во время эпизода сильного фёна было отмечено максимальное за весь период наблюдений значение потока явного тепла на леднике, которое достигло 440 Вт/м^2. Согласно расчетам с помощью аэродинамических формул, усиление ветра при фёне также привело к увеличению потока скрытого тепла, и в результате суммарный вклад турбулентного теплообмена примерно в несколько раз превышал вклад радиационного баланса. Расчетная интенсивность таяния при таких значениях потока составляла 9 мм/ч.

Кроме того, для изучения влияния мезомасштабных циркуляций привлекались результаты численного моделирования атмосферы с высоким разрешением (400 м). Эти данные позволили изучить трехмерную картину циркуляций в заливе Грён-фьорд и провести сравнительный анализ влияния фёнов и ледникового ветра на компоненты теплового и водного баланса на трех разных ледниках.

Список литературы

Elvidge A. D., Munneke P. K., King J. C., Renfrew I. A., Gilbert E. Atmospheric drivers of melt on Larsen C Ice Shelf: Surface energy budget regimes and the impact of foehn // J. Geophys. Res.-Atmos. 2020. Vol. 125. No. 17. e2020JD032463. URL: https://doi.org/10.1029/2020JD032463

Shestakova A. A., Chechin D. G., Lüpkes C., Hartmann J., Maturilli M. The foehn effect during easterly flow over Svalbard // Atmos. Chem. Phys. 2022. Vol. 22(2). P. 1529–1548. URL: https://doi.org/10.5194/acp-22-1-2022

Shestakova A. A., Toropov P. A., Matveeva T. A. Climatology of extreme downslope windstorms in the Russian Arctic // Weather and Climate Extremes. 2020. Vol. 28(8). 100256. URL: https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100256

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВИДОВОГО БОГАТСТВА АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ ШПИЦБЕРГЕНА

А. Г. Ширяев[1,2], Ю. Р. Химич[3]

, [1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
[2] Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, г. Кировск, Мурманская область, Россия
[3]Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
anton.g.shiryaev@gmail.com

На Шпицберген древесину для постройки зданий и шахт завозят не менее двух столетий. Благодаря поступлению крупномерных строительных бревен, дров, досок и т. п. на архипелаг проникают ксилотрофные организмы, чуждые естественным условиям Шпицбергена. Наиболее активные дереворазрушители в Высокой Арктике – высшие грибы, или базидиальные макромицеты. Они включают все три основные трофические группы грибов, являясь сапротрофами (разлагают отмершие древесные и травянистые растениях, а также формируют почву); патогенами (древесных и травянистых растений) и симбионтами (образуют микоризу и базидиолишайники). Базидиомицеты включают такую традиционную, искусственную группировку как афиллофороидные грибы (АГ), ранее представляющие в большинстве своем порядок Aphyllophorales.

Изучение АГ проводится по четырем направлениям:

1. Выявление видового богатства. Европейские специалисты с середины XX века собирали образцы АГ. В итоге, к концу XX века на архипелаге было выявлено 13 видов АГ (Gulden, Torkelsen, 1996). Стоит отметить, что в XXI веке иностранные коллеги снизили исследовательскую активность на архипелаге. Отечественные микологи впервые провели полевые

работы в 2008 г. в окрестностях и в пределах пос. Баренцбург и Пирамида, в результате чего было выявлено 24 вида клавариоидных грибов, из которых 22 оказались новыми для архипелага (Shiryaev, Mukhin, 2010). Повторные работы нами проведены в 2025 г. По предварительным данным, общий список видов АГ увеличился до 60, т. е. более чем в четыре раза. Это самый крупный список для высоко-арктических островных микобиот.

2. Биогеография видового богатства микобиоты. Высокая Арктика – беднейшая территория среди широтно-зональных микобиот. Однако в силу того что архипелаг расположен в зоне влияния теплого течения Гольфстрим, то здесь отмечается самый мягкий климат во всем долготном евразийском ряду, от Шпицбергена в направлении сибирских островов. С ростом суровости климата в восточном направлении уменьшается видовое богатство микобиот и численность видов, остаются наиболее адаптированные широко распространенные таксоны (Ширяев, 2015; Shiryaev, 2017).

Данные по биогеографии и экологии АГ Шпицбергена и других высокоширотных островов Северного полушария впервые в мире обобщены в работах (Ширяев, 2015; Ширяев, Змитрович, Ежов, 2018). Установлено, что на температурном пределе распространения жизни развиваются лишь симбиотические (базидиолишайники) и склероциальные виды. Показано сходство и различие структуры микобиоты с Антарктическим полуостровом. В связи с происходящим быстрым потеплением климата в Арктике все больше видов проникают на север, что приводит к изменению структуры биоразнообразия, и как следствие, происходит изменение высокоширотных биотических циклов включающих разложение органики, повышается вероятность выживания новых «таежных» растений. Таким образом, Шпицберген рассматриваем как «точку отсчета»: это важнейший полигон для изучения самой бедной микобиоты в широтно-зональном градиенте, но с другой стороны, это самая богатая микобиота в долготно-секторальном градиенте Евразии.

3. Грибы антропогенных субстратов. На архипелаге сохранились деревянные постройки XIX–XX вв., на которых выявлен ряд чужеродных видов грибов (Gulden, Torkelsen, 1996; Kosonen, Huhtinen, 2007; Mattsson et al., 2010; Shiryaev, Mukhin, 2010). Ранее строились коровники, птичники, крупные круглогодично-отапливаемые теплицы. Стройматериалы, почву и растения для теплиц, солому и комбикорма для животных, опилки хвойных и лиственных древесных пород завозили из европейской части страны. С чужеродным субстратом на север проникали чужеродные грибы, отсутствующие в естественных условиях архипелага, такие как: 1) ряд опасных «домовых и шпальных грибов», например, *Serpula lacrimans, Coniophora puteana, Neolentinus lepideus* и др., 2) на опилках и ветках – *Antrodia sinuosa*, *Artomyces pixydata*, *Fibroporia vaillantii*, *Hydnomerulius pinastri* и др.; 3) на растениях в оранжереях – *Lyomyces erastii*, *Thanatephorus cornigera, Trametes ochracea*, а также миксомицет *Hemitrichia serpula* и др. На антропогенных территориях выявлено самое большое число видов грибов (более 80 % от общего числа видов), и это, в подавляющем большинстве – чужеродные заносные таксоны. На втором месте по числу чужеродных видов находится топляк. Минимальное число чужеродов (4 вида) дереворазрушающих грибов свойственно естественным субстратам. Вероятно, чужеродные виды пока не распространяются в природу. Следовательно, изучение возможности выживания и натурализации заносных видов в естественных условиях архипелага – важнейшая актуальная задача.

4. Грибы на топляке. Антропогенно-обусловленное быстрое потепление климата способствует ускорению темпов таяния ледников Шпицбергена и соседней Гренландии, в результате чего происходит опреснение океанической воды (Намятов и др., 2024). Благодаря этому вероятность выживания покоящихся стадий грибов, находящихся внутри дрейфующего топляка, увеличивается, что способствует росту числа видов грибов выявляемых на топляке вдоль океанического побережий архипелага. Это повышает вероятность проникновения на остров грибов вызывающих бурую гниль, которые являются основными разрушителями деревянной исторической инфраструктуры поселков. В XX веке базидиальные макромицеты на топляке не были выявлены (Gulden, Torkelsen, 1996). По итогам исследования в 2001 г. авторы констатируют, что «ни одного вида дереворазрушающих грибов на топляке не найдено» (Kosonen, Huhtinen, 2007). Данный результат отличается от полученного нами через четверть века, в 2025 г., когда на топляке отобрано не менее 250 образцов базидиальных макромицетов, объединяющих 21 вид (13 видов АГ, 5 гетеробазидиальных, 2 агарикоидных и 1 гастероидный). Таким образом, грибы – индикаторы климатических изменений в Арктике.

Ряд перечисленных проблем обсужден в рамках проведенного нами всероссийского рабочего совещания «Геолого-минералогические и биологические вопросы изучения Шпицбергена» (Земля Альберта I, Митра, Тромсдален, 9–19 июля 2025 г.). Несомненно, экологические и биогеографические исследования микобиоты Шпицбергена необходимо продолжать с целью изучения реакции различных компонентов биогеоценозов в связи происходящими изменениями климата, а также глобальной геополитической обстановкой.

Исследование выполнено в рамках госзадания № 1024092400005-9.

Список литературы

Намятов А. А., Усягина И. С., Иванова Н. С. и др. Донные осадки как архив данных о климатической изменчивости морской среды (на примере залива Билле-фьорд, архипелаг Шпицберген, 1880–2024 гг.) // Рельеф и четвертичные отложения Арктики. 2024. Вып. 11. С. 243–253.

Ширяев А. Г. Афиллофороидные грибы // Растения и грибы полярных пустынь Северного полушария / Ред. Н. В. Матвеева. СПб.: МАРАФОН, 2015. С. 229–241.

Ширяев А. Г., Змитрович И. В., Ежов О. Н. Таксономическая и экологическая структура биоты базидиальных макромицетов полярных пустынь Северного полушария // Сибирский экологический журнал. 2018. Вып. 5. С. 526–544.

Gulden G., Torkelsen A.-E. Fungi I.Basidiomycota: Agaricales, Gasteromycetales, Aphyllophorales, Exobasidiales, Dacrymycetales and Tremellales // A catalogue of Svalbard plant, fungi, algae and cyanobacteria. Norsk Polarinstitutt Skrifter / A. Elvebakk, P. Prestrud (Eds.). 1996. Vol. 198. P. 173−206.

Kosonen T., Huhtinen S. Wood-rotting basidiomycetes of Svalbard (Norway) // Karstenia. 2008. Vol. 48(1). P. 21−28.

Shiryaev A. G. Longitudinal changes of clavarioid funga (Basidiomycota) diversity in the tundra zone of Eurasia // Mycology. 2017. Vol. 8(3). P. 135–146.

Shiryaev A. G., Mukhin V. A. Clavarioid-type fungi from Svalbard: their spatial distribution in the European High Arctic // North American Fungi. 2010. Vol. 5(5). P. 67–84.

РОЛЬ РУССКИХ И НОРВЕЖСКИХ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ В ОСВОЕНИИ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ

В. С. Захаренко

Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия
voznes.val@gmail.com

В настоящее время возрастает интерес к Арктике, идет возобновление и дальнейшее активное освоение Северного морского пути, возрастает его экономическое и научное значение. Арктика важна для охраны наших северных рубежей. При этом, остается актуальной задачей воспитание молодежи в героических традициях своих предков.

Мы хотим остановиться на некоторых событиях, которые отражают формирование нашего культурного кода. Культурный код – это культурное бессознательное, это то, что скрыто от понимания, но проявляется в поступках, это то, что определяет народную психологию, помогает понимать её поведенческие реакции.

Освоению Арктики способствовали не только научные экспедиции, но и наши поморы, пускавшиеся в Ледовитое море на далекий Грумант (как называли Шпицберген поморы) с ничтожными средствами, не вооруженные, ни знанием, ни техникой, и все же, побеждавшие стихию благодаря своему мужеству, выносливости и находчивости. О таких поморах, оказавшихся сначала затертыми во льдах, а затем выживающими на острове в крайне суровых условиях в течение 6 лет и трех месяцев рассказал Ле Руа – профессор истории и член Санкт-Петербургской Академии наук на основании сообщений, сделанных двумя героями рассказа – кормщиком Алексеем Химковым и его сыном матросом Иваном Химковым, специально для этого вызванными из Архангельска в Петербург. Оригинальное сочинение Ле Руа было написано на немецком языке и издано в 1760 г. в Риге и Митаве под названием «Приключения четырех российских матросов к острову Шпицбергену бурей принесенных» (Ле Руа, 1933, 2011). Это сочинение вызвало бурный интерес общественности, и было переведено на множество языков. Здесь мы видим и опыт выживания, лечения цинги, важность активного движения и охоты, заботу о больном и умирающим друге, русскую смекалку и стойкость духа. «Долговременные путешествия, а особливо морем чинимые, часто бывали причиною многих приключений, кои нередко выходили из пределов вероятности».

На то, что и в ранние времена совершались путешествия на судах вдоль береговых линий Кольского полуострова и Скандинавии, говорил и норвежский путешественник – исследователь Тур Хейердал. Причем, эти плавания были как в западном, так и в восточном направлениях и могли совершаться не только вдоль береговой линии, но и вдоль ледовых полей. Этими маршрутам передвигались как викинги, так и русские поморы (Тур Хейердал, 1982).

Помимо зверобойных промыслов были попытки осуществить идею Ломоносова пройти Северным морским путем. Началось все в 1763 году, когда Ломоносов написал «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию». В нем он высказал предположение, что между Шпицбергеном и Новой Землей летом, когда океан очищается ото льдов, можно пройти до Берингова пролива или даже до Восточной Индии.

В 1765 и 1766 годах такие экспедиции были организованы. Их целью был Северный полюс, а руководителем экспедиции назначили тогда еще не адмирала, но подающего надежды моряка Василия Чичагова.

И хоть экспедиция не выполнила поставленных задач в связи с суровыми ледовыми условиями, она внесла заметный вклад в развитие арктического мореплавания. Команда достигла рекордной широты к северу от Шпицбергена. Кроме того, это была первая полярная экспедиция, основанная на научном расчете. Ее участниками были выполнены геофизические, океанографические и метеорологические наблюдения по специальной программе Ломоносова, были проведены наблюдения над течениями и дрейфом льда в Гренландском море, взяты пробы грунта, во многих местах измерены глубины, описан животный и растительный мир Шпицбергена. «С морской точки зрения обе экспедиции Чичагова были проведены безукоризненно. Три парусных корабля среди льдов, в штормах и туманах все время держались вместе. Что же касается маршрута, предложенного Чичагову, то теперь мы знаем, что задача, поставленная ему Ломоносовым, невыполнима» (Проект Ломоносова …, 2018).

Из приведенных выше примеров мы видим, что освоение Арктики – это непрерывная цепь сложных экспедиций, преодоления трудностей и будничного героизма и стойкости исследователей. Русское географическое общество на всех этапах способствовало этим исследованиям. В настоящее время, место географического образования в России, оставляет желать лучшего. При этом, оно несопоставимо с программами большинства государств, входящих в Болонскую систему. В отличие от небольших территорий европейских стран, территория России всегда располагала развитию в России географических исследований.

Сегодня, мы видим свою задачу в вовлечении молодежи к изучению героического прошлого как простых поморов, отправлявшихся на промысел, так и полярных исследователей, независимо от того, какую страну они представляли. Тем более, что генетические исследования, проведенные в последнее время, свидетельствуют не столько о расах, сколько о географии перемещений народов, их взаимодействии и взаимном влиянии культур.

Список литературы

Ле Руа. Приключения четырех русских матросов на Шпицбергене / Под ред. В. Ю. Визе. Изд. Всес. Аркт. ин-та, 1933.

Обручев С. В. Плавания русских на Шпицбергене в XV в. // Чтения памяти В. А. Обручева. Изд-во геогр. об-ва, 1961.

Проект Ломоносова и экспедиция Чичагова / Сост. А. Соколов. М.: Паулсен, 2018. 149 с.

Тур Хейердал. Древний человек и океан. М: Мысль, 1982. 349 с.

ОЗЕРО НА КРАЮ ЗЕМЛИ: ВОЗРАСТ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ

З. И. Слуковский, А. С. Торопов, В. А. Даувальтер

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Росия
slukovsky87@gmail.com

В рамках экспедиции на полуостров Рыбачий было исследовано безымянное озеро, названное Крайним, расположенное в северо-западной части полуострова, в 2 км от губы Вайда. Изученный водоем имеет котловину продолговатой формы, близкой к овальной. Площадь озера Крайнего составляет 0.05 км^2. Максимальная глубина – 3.2 м. Непосредственно в районе наибольшей глубины были отобраны колонки донных отложений, представленных органо-минеральными осадками. Место отбора проб имеет следующие координаты: 69.928885, 32.099095.

Всего было получено 3 колонки донных отложений, одна из которых была использована для оценки концентраций радионуклидов ^{137}Cs и ^{210}Pb в верхних слоях отложений водоема и вычисления средней скорости седиментации в озере. Определение удельной активности радионуклидов осуществлялось на кафедре Радиохимия МГУ имени М. В. Ломоносова (Москва) при помощи гамма-спектрометра ORTEC GEM-C5060P4-B с применением полупроводникового детектора из сверхчистого германия (HPGe) с бериллиевым окном и относительной эффективностью 20 % (аналитик – Н. Кузьменкова).

Также в работе были использованы данные по геохимии отложений озера Крайнего. Эти работы проводились в Аналитическом центре Института геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск). Содержания окислов главных элементов (Si, Al, Fe, Na, Ca, K, Mn, Ti, P и S) измерялись после предварительно просушки и истирания до состояния порошка при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL ADVANT'X. Содержание редких и рассеянных элементов, включая тяжелые металлы, определялись масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS.

В результате геохимические исследования показали, что несмотря на тундровый ландшафт, отложения озера Крайнего содержат от 36 до 48 % органического вещества, определенного по значению потерь при прокаливании. При этом концентрация кремнезема варьирует от 36 до 43 %. Выше 1 % в отложениях озера также содержится Al и Fe. Среди редких элементов в отложениях озера Крайнего вышекларковые концентрации имеют Li, Cu, Zn, Mo, Cd, Sb, РЗЭ, Pb, Bi, Th и U. Анализ вертикального распределения показал, что в случае с Cu, Cd, Pb, Sb это связано с антропогенным влиянием на озеро, в остальных случаях – с геохимической спецификой горных пород водосборной площади.

Вертикальное распределение валовых концентраций редких элементов антропогенного генезиса оказалось схожим с вертикальным распределением концентраций ^{137}Cs (до 448 Бк/кг) и ^{210}Pb (6146 Бк/кг) в верхних слоях изученных осадков. Наибольшие значения удельной активности указанных изотопов отмечены в слоях от 0 до 10 см. Согласно модели постоянного потока, было установлено, что возраст изученных отложений озера Крайнего составляет примерно 214 лет, а средняя скорость седиментации оценивается в 1.54 мм в год. Полученное значение скорости седиментации несколько выше значений (до 1 мм в год), которые наиболее характерны для озер фоновых районов северной части Мурманской области. Вероятно, на это оказывает влияние характер выветривания в районе исследования и большое поступление органического вещества. Дальнейшие исследования позволят уточнить ключевые факторы, влияющие на полученные в данной работе геохимические особенности отложений озера Крайнего.

Работа производилась при поддержке и в рамках реализации проекта РНФ24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ВЛАДИМИРСКАЯ 17, МУРМАНСК, 183038, РОССИЯ
Тел: (8152) 25 39 63; т/ф: (8152) 25 39 94
E-mail: mmbi@mmbi.info; https://www.mmbi.info