

**УТВЕРЖДЕНО**  
протоколом Наблюдательного совета  
по координации деятельности  
Российского научного центра на  
архипелаге Шпицберген  
от 17 декабря 2024 г. № 19

**ОТЧЕТ**  
**о выполнении**  
**Межведомственной программы**  
**научных исследований и наблюдений на архипелаге**  
**Шпицберген в 2024 году**

Москва 2024

## Содержание

Введение.....	4
Организации Росгидромета .....	6
Организации Роснедр .....	6
Организации Минобрнауки России .....	6
Мероприятия Росгидромета .....	8
ФГБУ «ААНИИ».....	8
Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы .....	8
Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген .....	22
Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген.....	27
Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена.....	32
Мероприятие 5. Палеогеографические исследования.....	39
Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты.....	43
Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей .....	49
Мероприятие 8. Геофизические исследования .....	50
ФГБУ «Мурманское УГМС» .....	57
Мероприятие 9. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» .....	57
ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ» .....	60
Мероприятие 10. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген .....	60
Мероприятия Роснедр.....	66
ФГБУ «ВНИИОкеангеология» .....	66
Мероприятие 11. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген.....	66
Мероприятие 12. Региональные геолого-геоморфологические исследования Шпицбергенского шельфа .....	69
Мероприятия организаций Минобрнауки России .....	75
Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН) .....	75
Мероприятие 13. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.....	75
Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН) ...	82
Мероприятие 14. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген .....	82
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН) .....	89
Мероприятие 15. Изучение криптогамной биоты, особенностей адаптации растений и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген.....	89
Кольский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН .....	101
(КоФ ФИЦ ЕГС РАН) .....	101
Мероприятие 16. Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге	

Шпицберген.....	101
Полярный геофизический институт (ПГИ) .....	107
Мероприятие 17. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.....	107
Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН).....	118
Мероприятие 18. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген .....	118
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН).....	125
Мероприятие 19. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена .....	125
Институт физико-химических и биологических проблем Российской академии наук (ИФХиБПП РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН) .....	130
Мероприятие 20. Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли: ископаемые почвы девона и современный почвенно-мерзлотный комплекс архипелага Шпицберген.....	130
Мероприятие 21. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене .....	138
Заключение .....	139
Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2024 г. ....	144

## Введение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2024 г. (далее – Межведомственная программа) была утверждена Наблюдательным советом РНЦШ 14 марта 2024 г. Её целью является проведение на базе инфраструктуры Российского научного центра на архипелаге Шпицберген междисциплинарных научных наблюдений и исследований для реализации «Стратегии российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2030 года в области фундаментальных и прикладных научных исследований» в соответствии с «Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», утвержденных указом №164 Президентом Российской Федерации от 5 марта 2020 г., «Концепцией создания и развития Российского научного центра на архипелаге Шпицберген», одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2014 г. № 1676-р, и распоряжением Правительства Российской Федерации от 4 апреля 2016 г. № 577-р о создании постоянно действующей Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген.

Программа содержала следующие задачи:

1. Исследование гидрометеорологического режима, текущих и прошлых климатических изменений на архипелаге Шпицберген, включая изучение криосферы, рельефа, почв и грунтов, вод суши.
2. Выполнение комплексных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».
3. Мониторинг океанологических и ледовых условий в прибрежных водах архипелага, изучение динамики и структуры водных масс и влияния Западно-Шпицбергенского течения на океанологические условия в регионе.
4. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.
5. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага, оценка вклада различных элементов водного баланса.
6. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген, оценка пространственной и структурной изменчивости характеристик ледников.
7. Исследование теплового баланса снежно-ледниковых покровов, взаимосвязи альbedo с характером и состоянием подстилающей поверхности.
8. Разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах.
9. Изучение тепловых потоков в сезонно-талом слое многолетней мерзлоты на разных высотных уровнях для оценки состояния многолетней мерзлоты.
10. Мониторинг температурного состояния многолетней мерзлоты, глубины распространения сезонно-талого слоя и оценка энерго- и массообмена подстилающей поверхности с атмосферой.
11. Морфолого-генетические и биогеохимические исследования серогумусовых почв юго-запада Шпицбергена.
12. Оценка величины и изменчивости потоков углерода в системе «почва-атмосфера» с разной антропогенной нагрузкой и супрагляциальных почвах.
13. Исследование биоразнообразия фототрофной биоты, классификация экологического разнообразия, выявление новых видов, филогении арктических таксонов, климатогенных и антропогенных преобразований фототрофной биоты.



14. Изучение особенностей адаптации высших сосудистых растений на уровне фотосинтетического аппарата и метаболической активности, влияния антропогенного фактора на функциональную активность некоторых видов Шпицбергена.

15. Исследование состава и динамики численности фауны птиц и их пространственного размещения в естественных ландшафтах и на территории поселков, вклада изменения климата и антропогенного фактора.

16. Фоновый и локальный мониторинг загрязнения различных районов архипелага Шпицберген, в частности законсервированных и действующих поселков.

17. Изучение четвертичных отложений архипелага, создание палеогеографических реконструкций и выявление основных параметров и механизмов изменения климата и ландшафтов архипелага Шпицберген с эемского межледниковья до голоцена.

18. Исследование геологического разреза девона на Земле Диксона на предмет обнаружения палеопочв.

19. Изучение строения почвенно-мерзлотных комплексов как важнейшего элемента функционирования полярных биомов на основных типах морских берегов Западного Шпицбергена.

20. Изучение структуры микробиологического сообщества слоя оттаивания и кровли мерзлоты.

21. Изучение геоморфологического строения и основных рельефообразующих процессов на архипелаге Шпицберген, геологических особенностей и проявлений полезных ископаемых в отдельных районах архипелага Шпицберген.

22. Геолого-геофизическое изучение Шпицбергенского шельфа, исследование комплексов мезозойских и кайнозойских отложений и структурно-морфологических особенностей четвертичных образований, характеристик современных донных отложений.

23. Изучение и оценка геодинамической опасности на локальном и региональном уровне путем проведения непрерывной регистрации сейсмических и инфразвуковых сигналов, генерируемых деструктивными процессами в криосфере и литосфере архипелага и прилегающих акваторий.

24. Развитие методологических основ дистанционного геофизического контроля наиболее опасных типов деструктивных процессов в криосфере (отколы айсбергов, подвижки ледников, обрушения и оползни, взрывные выбросы метана при нарушении стабильности газогидратных резервуаров).

25. Выявление в инфразвуковом волновом поле в условиях высокоширотной Арктики импульсных сигналов, генерируемых взрывами и вхождением в атмосферу болидов

26. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.

27. Исследования развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды в области дневного полярного каспа, естественных резонансных структур в диапазоне 0,1-10 Гц, характеристик космических лучей, распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

28. Исследование состояния ионосферы и параметров распространения радиоволн коротковолнового диапазона над акваторией Баренцева моря, определение характеристик спорадического слоя ионосферы.

29. Изучение воздействия вариаций солнечного излучения UVB–UVA на показатели приземной атмосферы п. Баренцбург.

30. Анализ изменений в геомагнитном поле, оперативная диагностика магнитной возмущенности.

31. Исследование, каталогизация и сохранение памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

32. Популяризация российских научных исследований и разработок на архипелаге Шпицберген.

Эти задачи вошли в 21 Мероприятие Межведомственной программы, распределенных между 12 исполнителями – участниками Консорциума РНЦШ.

### **Организации Росгидромета**

ФГБУ «ААНИИ» – Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы. Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген. Мероприятие 3. Мониторинг океанологических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген. Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой и балансом массы ледников Западного Шпицбергена. Мероприятие 5. Палеогеографические исследования. Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты. Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей. Мероприятие 8. Геофизические исследования.

ФГБУ «Мурманское УГМС – Мероприятие 9. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

ФГБУ «НПО «Тайфун» – Мероприятие 10. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

### **Организации Роснедр**

ФГБУ «ВНИИОкеангеология» – Мероприятие 11. Региональные геолого-геофизические исследования с целью изучения геологического строения и минерально-сырьевого потенциала территории архипелага Шпицберген. Мероприятие 12. Региональные геолого-геофизические исследования Шпицбергенского шельфа для изучения строения осадочного чехла.

### **Организации Минобрнауки России**

ИГ РАН – Мероприятие 13. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.

ММБИ РАН – Мероприятие 14. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.

ПАБСИ КНЦ РАН – Мероприятие 15. Изучение криптогамной биоты, особенностей адаптации растений и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген.

КоФ ФИЦ ЕГС РАН – Мероприятие 16. Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген.

ПГИ – Мероприятие 17. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.

ИА РАН – Мероприятие 18. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

ИФА им. А.М. Обухова РАН – Мероприятие 19. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена.

ИФХиБПП РАН – Мероприятие 20. Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли: ископаемые почвы девона и современный почвенно-мерзлотный комплекс архипелага Шпицберген.

Мероприятие 21. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене.

При выполнении Межведомственной программы организации РНЦШ сталкивались с логистическими проблемами, связанными с санкциями ЕС, введенными против Российской Федерации, которые по-прежнему ограничивали возможности по организации работ на Шпицбергене, усложняли получение виз для проезда и увеличивали расходы на проезд на территорию архипелага. Несмотря на это все запланированные полевые исследования были проведены благодаря взаимной логистической поддержке и информационному обеспечению партнерами РНЦШ.

Краткий отчет по каждому из мероприятий приводится в данном отчете. Полные отчеты о выполнении каждого из мероприятий Программы хранятся в фондах организаций-исполнителей.

## Мероприятия Росгидромета

### ФГБУ «АНИИ»

#### Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы

Исследования параметров приземной атмосферы включают четыре раздела:

– Изучение оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля и оценка вклада антропогенных составляющих в уровни загрязнения арктической атмосферы за счет дальнего трансграничного переноса воздушных масс по содержанию аэрозоля;

– Мониторинг содержания газовых примесей в приземной атмосфере п. Баренцбург автоматическими станциями;

– Исследования теплового баланса снежно-ледникового покрова с целью корректного описания процессов абляции и процессов энерго-массообмена атмосферы с подстилающей поверхностью и физических процессов в радиационно-активном деятельном слое ледников и снежного покрова тундры и исследование режима осадков, формирования снежного покрова и коррекция методик наблюдения;

– Совершенствование описания процессов взаимодействия пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью для решения фундаментальной задачи эволюции криосферы Арктики в условиях глобального изменения климата.

*Изучение оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля*

Изучение характеристик атмосферного аэрозоля на архипелаге Шпицберген ведется ААНИИ совместно с Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА СО РАН) в рамках темы 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» НИТР учреждений Росгидромета на 2020-2024 гг. и государственного задания ИОА СО РАН. Основные цели исследований – оценка радиационно-климатического влияния аэрозоля в высокоширотном регионе и разработка средних эмпирических микрофизических моделей аэрозоля в регионе работы станции, оценка вклад региональных источников аэрозоля (местных и морских) и переносов аэрозоля на Шпицберген со стороны Евразии.

Измерения характеристик атмосферного аэрозоля выполнялись на территории ГМО «Баренцбург» сотрудниками зимовочного состава РАЭ-Ш ААНИИ. Для измерений аэрозольной оптической толщины в диапазоне спектра 0,34-1,55 мкм ( $AOT, \tau_{\lambda}^a$ ) и общего влагосодержания атмосферы (ОВС,  $W$ ) использовался солнечный фотометр SPM (Сакерин и др. 2010). Влагосодержание атмосферы рассчитывалось по данным измерений прямой солнечной радиации в полосе поглощения водяного пара 0,94 мкм и соседнем окне прозрачности атмосферы 0,87 мкм. Методики определения АОТ и влагосодержания описаны в Сакерин и др. 2010; Кабанов и др., 2001; Кабанов и др., 1997; Кабанов и Сакерин, 1995; Кабанов и др., 2009.

В измерениях приземных характеристик аэрозоля – счетной концентрации частиц аэрозоля  $N_A$ , распределения объема частиц по размерам  $dV/dr$ , массовой концентрации аэрозоля  $M_A$ , массовая концентрация поглощающего вещества в эквиваленте черного углерода  $eBC$ , использовался комплект приборов в составе аэталометра (сажемера) МДА-02 (ИОА СО РАН), оптического счетчика частиц AZ-10 (ИОА СО РАН) и трехволнового интегрирующего нефелометра TSI-3563 (ААНИИ).

Измерения солнечным фотометром выполнялись в период 02.04.24 – 25.09.24, за который выполнено 189 замеров. После фильтрации замеров, искаженных облачностью, сформированы массивы среднечасовых (45) и среднедневных (20) значений АОТ и ОВС. Небольшое количество измерительных дней связано с необходимостью включать фотометр в ручном режиме.

В 2024 г. наблюдалась достаточно высокая прозрачность толщи атмосферы (рис. 1.1). Наиболее сильный всплеск замутнения атмосферы был зарегистрирован 23.07.24. Основная динамика АОТ в этот день происходила в коротковолновой части спектра, то есть была обусловлена изменением содержания в атмосфере мелкодисперсного аэрозоля. Анализ обратных траекторий воздушных масс (HYSPLIT, <https://www.ready.noaa.gov>) показал, что вынос воздуха в период измерений происходил из северной части Скандинавского полуострова, Кольского полуострова и северо-западной территории России (рис. 1.2).

Сопоставление среднемесячных значений АОТ в 2024 г. с аналогичными величинами за 2011-2021 г.г. (Кабанов и др., 2023) показало, что: в апреле-мае  $\bar{\tau}^{a_{0.5}}=0,054$  меньше многолетних значений в полтора раза, в июне  $\bar{\tau}^{a_{0.5}}$  сопоставимо с многолетним уровнем (выше на 7%), в июле-августе (0,077) уровень ниже на 24%, а в сентябре (0,052) ниже на 38%. В среднем замутнение атмосферы (по среднемесячным величинам  $\tau^{a_{0.5}}$ ) в отчетный период почти на 30% ниже среднего многолетнего уровня (рис. 1.3а).

Отмечается, что в летние месяцы (июнь-август)  $\bar{\tau}^{a_{0.5}}$  достаточно близки к многолетнему уровню при исключении ситуаций влияния дымов лесных пожаров (превышение составляет 10%). Тестирование данных 2024 г. с помощью методики определения присутствия в атмосфере дымового аэрозоля (Кабанов et al., 2022) показало отсутствие влияния дымов лесных пожаров на результаты измерений АОТ. Из средних спектральных зависимостей для характерных периодов сезонной изменчивости по многолетним данным (при исключении дымовых ситуаций) видно, что основные спектральные различия в характерные периоды года (рис. 1.3б) возрастают с уменьшением длины волны, то есть, обусловлены мелкодисперсным аэрозолем.

Основная изменчивость ОВС атмосферы в 2024 г. была обусловлена годовым ходом этой величины (минимальные значения в холодный период года и максимальные – летом). Средние за месяц значения ОВС в отчетном году достаточно хорошо согласуются с многолетними данными (рис. 1.4). Основное отличие, превышение многолетних значений на

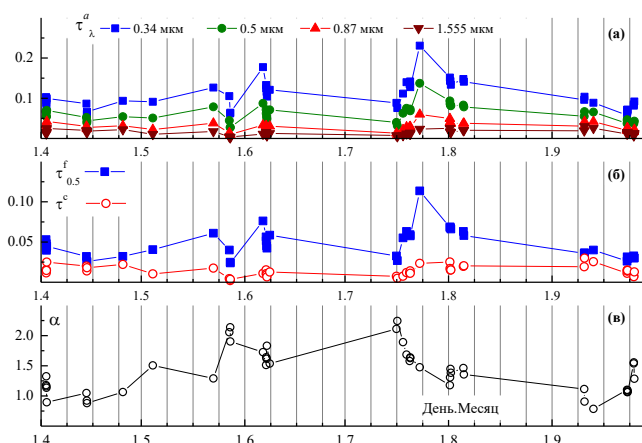


Рисунок 1.1 – Вариации АОТ (0,34; 0,50 и 2,14 мкм) (а),  $\tau^{f_{0.5}}$ ,  $\tau^c$  (б) и показателя Ангстрема  $\alpha$  (в) в районе Баренцбурга в 2024 г.

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 0800 UTC 23 Jul 24  
GDAS Meteorological Data

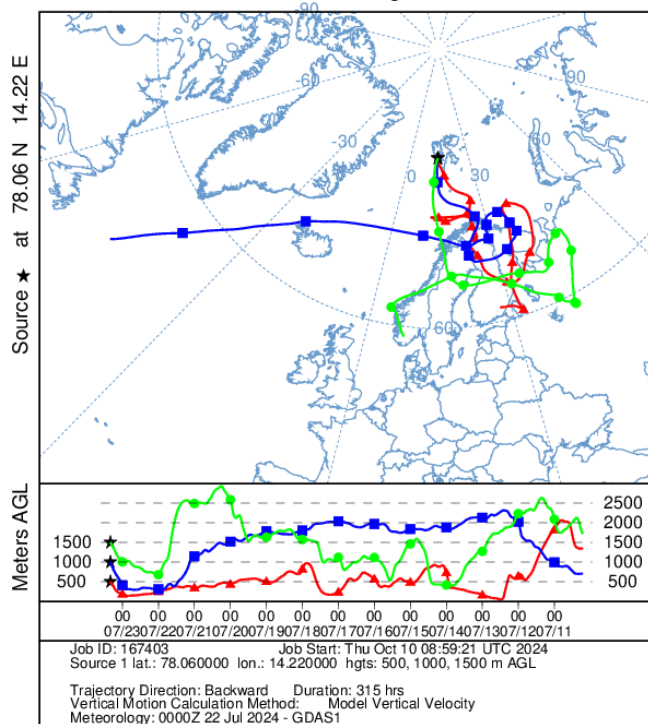


Рисунок 1.2 – Обратные траектории воздушных масс для 23 июля 2024 г.

0,52 г/см<sup>2</sup> (34%) в августе, обусловлено, по-видимому, тем, что измерения проводились лишь в первой декаде месяца (1-го и 5-го числа). В остальные месяцы различие с многолетними

значениями не превышает 0,1 г/см<sup>2</sup> (7%), а в среднем составляет 0,01 г/см<sup>2</sup> (1,6%).

Измерения микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое атмосферы с сентября 2023 г. перемещены из поселка в отдельный домик, расположенный в 4 км к северу на геофизическом полигоне (терраса над мысом Хеер), где пробы воздуха забираются на высоте 2,5 м от поверхности Земли. Общее количество измерительных дней для счетчика частиц составило 360, нефелометра – 322, аэталометра – 251 дней. При обработке исходных данных внимание уделялось выбраковке ложных замеров и фильтрации результатов измерений. При этом было отмечено, что с 21.10.2023 г. нефелометр стал выдавать некорректные данные, причину чего выявить не удалось.

Средние значения массовой  $M_A=5,33\pm 3,29$  мкг\*м<sup>-3</sup> (рис. 1.5) и счетной  $N_A=10,7\pm 11,8$  см<sup>-3</sup> концентраций аэрозоля (рис. 1.6) за полный период измерений примерно в 1,5 раза превышают средние показания предыдущего сезона. Из рис. 1.6 видно, что годовой ход концентраций традиционно содержит весенний максимум, пришедшийся в текущем году на апрель. Но наибольшие всплески массовой и счетной концентраций отмечались в 2024 г. в летний период – в июне и августе (превышение аналогичных показателей 2023 г. в 1,5÷2 раза для  $M_A$  и в 2 раза для  $N_A$ ). Для массовой концентрации отмечен еще один сопоставимый максимум – в октябре 2023 г. (превышение данных октября 2022 г. почти в 3,5 раза).

Максимумы среднесуточных значений  $N_A$  отмечались 03.11.23, 26.04.24, с 1 по 4 июня 2024, и многочисленные всплески в течение августа. Значения  $M_A$  имели выраженные максимумы 20.10.23, 22.04.24, 20.06.24, 07.07.24, и также многочисленные всплески в августе. Минимальные значения и счетной и массовой концентраций отмечались в зимний период (декабрь-февраль).

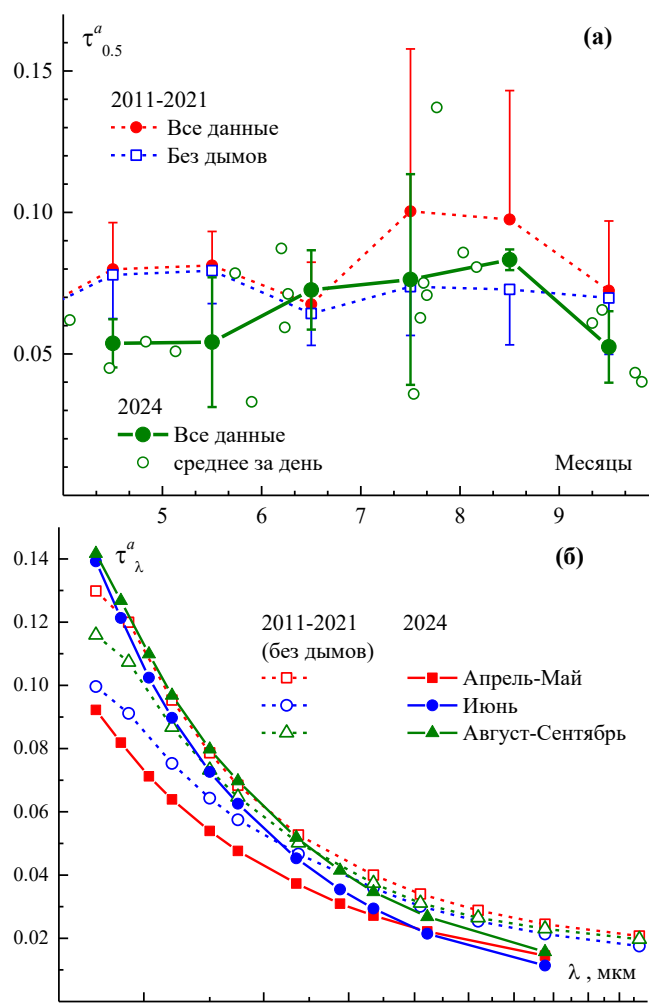


Рисунок 1.3 – Сопоставление результатов 2024 г. со средними значениями за предыдущие годы (2011-2021 гг.): сезонный ход  $\tau_{0.5}^a$  (а), спектральные зависимости АОТ в разные периоды (б)

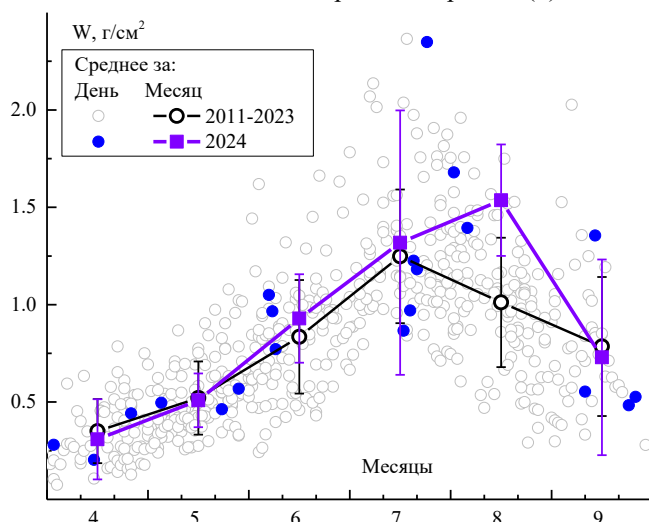


Рисунок 1.4 – Сопоставление результатов измерения ОВС атмосферы в 2024 г. с данными 2011-2023 гг.

Позднее будет проводиться более углубленный анализ данных, в том числе совместно с метеопараметрами. Кроме того, будет проведена дополнительная чистка данных с удалением аномальных значений по критерию  $3\sigma$ .

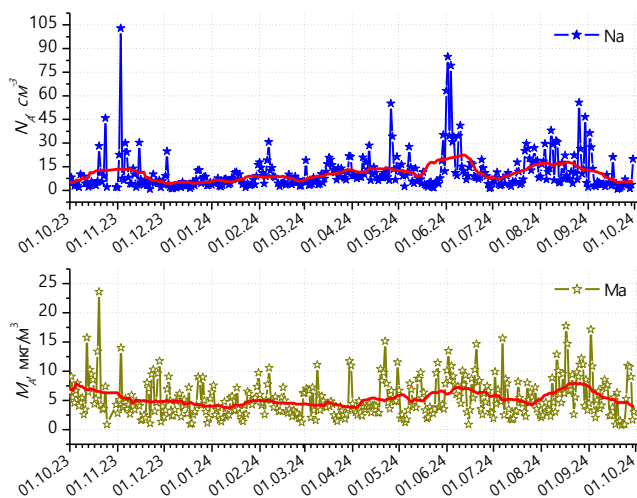


Рисунок 1.5 – Временной ход счетной и массовой концентраций аэрозоля в 2023-2024 гг. (б) в Баренцбурге

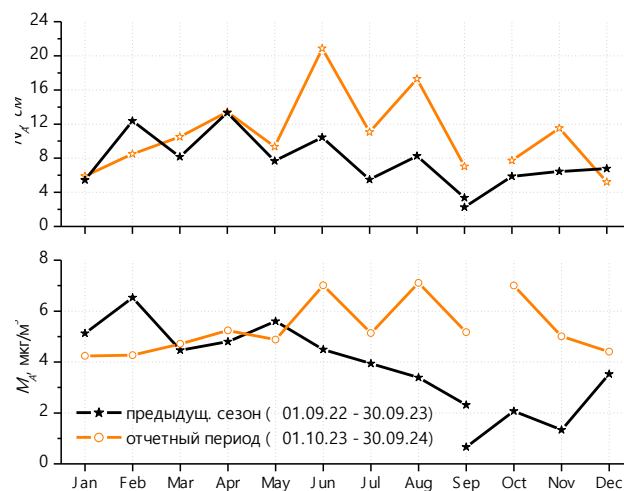


Рисунок 1.6 – Годовой ход счетной и массовой концентраций аэрозоля в Баренцбурге в 2023-2024 гг. в сравнении с сезоном 2022-2023 гг.

Среднее значение массовой концентрации поглощающего вещества за полный период измерений составило  $32,1 \pm 111 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$ , что в полтора раза ниже прошлогодних значений. Как видно из рис. 1.7а, в октябре-ноябре 2023 г. наблюдались повышенные значения концентраций поглощающего вещества, что согласуется с высокими значениями массовых концентраций аэрозоля в этот период, а также соответствует динамике изменения в аналогичный период 2022 г. В течение 2024 г. динамика изменения концентраций *eBC* тоже соответствует характеру изменчивости массовой концентрации аэрозоля, с минимумом в начале года, постепенным ростом к весне, и с максимумом в августе. Однако в сравнении с 2023 г. значения концентраций *eBC* в 2024 г. сильно занижены (рис. 1.7б). При анализе и чистке данных было также выявлено множество отрицательных, либо «нулевых» значений, которые были выбракованы. Диагностика прибора в октябре 2024 г. показала, что причиной частой выдачи отрицательных значений может быть нестабильная работа светодиодов. В связи с этим рекомендуется отправка аэталометра МДА-02 в ИОА СО РАН для полной диагностики и ремонта.

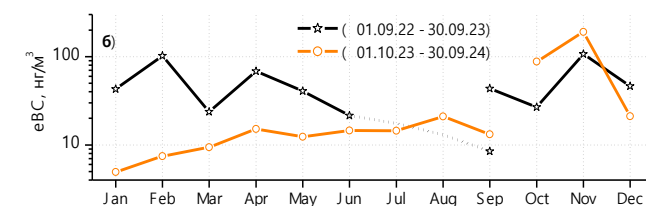
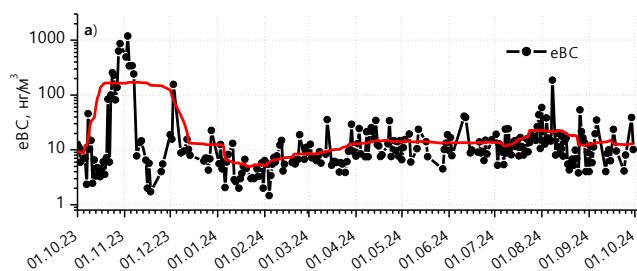


Рисунок 1.7 – Временной (а) и годовой (б) ход массовых концентраций поглощающего вещества в Баренцбурге в 2023-2024 гг.

### Мониторинг состояния приземного воздуха автоматическими станциями

В 2016 г. в п. Баренцбург установлены две станции контроля качества атмосферного воздуха, непосредственно в самом поселке («Поселок») и на плато г. Улаф («Гора»). В 2022 г. станция «Гора» была закрыта в связи с выходом из строя большинства приборов и сложностью её обслуживания в осенне-зимний период. Оборудование станции «Поселок» включает инструменты для анализа содержания оксидов азота, диоксида серы, сероводорода, озона, углекислого газа, угарного газа, газообразной ртути и пыли в приземном воздухе, одновременно регистрируя метеорологические параметры (табл.1.1). Получаемые



результаты измерений накапливаются на компьютере с установленной системой обработки данных «Агат» в химико-аналитической лаборатории и в конце каждого месяца выкладываются на сервер института.

Таблица 1.1. Комплектация станции контроля качества атмосферного воздуха «Поселок», установленной в п. Баренцбург, и количество замеров, произведенных оборудованием за январь-октябрь 2024 г.

Измеряемый показатель	Оборудование	Производитель оборудования	Количество измерений, ед.
NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, NH <sub>3</sub>	Хемилюминесцентный анализатор оксидов азота АС32М + внешний доп. модуль NH <sub>3</sub> → NO	Environnement S.A. (Франция)	--
SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	Флуоресцентный анализатор диоксида серы AF22	Environnement S.A. (Франция)	24720
CO <sub>2</sub> , CO	Анализатор содержания оксида и диоксида углерода CO <sub>2</sub> с корреляцией по газовому фильтру CO12M	Environnement S.A. (Франция)	24720 (данные не достоверны)
O <sub>3</sub>	УФ фотометрический анализатор озона O342M	Environnement S.A. (Франция)	24720
Взвешенное вещество <10мкм	Бета-измеритель взвешенных частиц MP101M	Environnement S.A. (Франция)	--
Hg <sup>0</sup>	Воздушный ртутный монитор РА-915 АМ	Люмэкс (Россия)	24720 (данные не достоверны с 06.2024)
Температура, давление, влажность, скорость, направление ветра, осадки	Преобразователь метеоданных WXT520	Vaisala (Финляндия)	24720

Обслуживание станций осуществляет ведущий инженер ЗС РАЭ-Ш. Техническое обслуживание станций включает в себя комплекс процедур, выполняемый в соответствии с руководствами по эксплуатации конкретных газоанализаторов. Однако, несмотря на регулярное пользовательское обслуживание, в связи с износом оборудования, накоплением мелких поломок и программных ошибок, и невозможностью профессионального технического обслуживания и ремонта из-за введения санкционных ограничений, газоанализаторы на станции «Поселок» находятся в неудовлетворительном состоянии. На октябрь 2024 г. удовлетворительно функционировали анализаторы серосодержащих газов, и озона. При этом на газоанализаторе AF22 после произведения калибровок точка нуля быстро сбивается, работоспособность мотора в приборе находится под сомнением в связи с повышенным шумом, исходящим от него. Оборудование для смешивания газов и калибровки анализаторов требует проверки. Снятое со станций оборудование подготовлено для транспортировки в РФ после получения разрешения на вывоз из Норвегии от МИД Норвегии.

В связи с выходом из строя части оборудования и недостоверностью проводимых измерений, анализ данных в 2024 г. представляется проблематичным. Концентрации озона подчинены сезонному колебаниям – с повышенными концентрациями летом (рис. 1.8а), что характерно для арктических регионов и сравнимо с годовым ходом в предыдущие годы измерений. В целом содержание озона понижено по сравнению с умеренными широтами, однако вызывает вопрос повышение содержания в зимний период во время полярной ночи, когда образование озона в приземном воздухе минимально. Такое повышение может объясняться адвективным привнесением озона из умеренных широт, однако полноценный анализ содержания озона в приземном слое атмосферы необходимо проводить совместно с его прекурсором диоксидом азота (NO<sub>2</sub>) и синоптическими характеристиками.

Колебания содержания диоксида серы (рис. 1.8б) практически не подчиняются сезонности. На содержание диоксида серы влияет недостаточная фильтрация газов и твердых частиц на выходе ТЭЦ Баренцбурга. Этот эффект может усиливаться в зимний период во время установления инверсий, препятствующих рассеиванию шлейфа загрязнения при более интенсивном сжигании топлива на ТЭЦ, что подтверждается повышенными концентрациями в самые холодные месяцы – февраль-апрель 2024 г. В то же время летнее увеличение



концентрации в июле-августе не однозначно, и возможно, связано с техническими особенностями работы ТЭЦ.

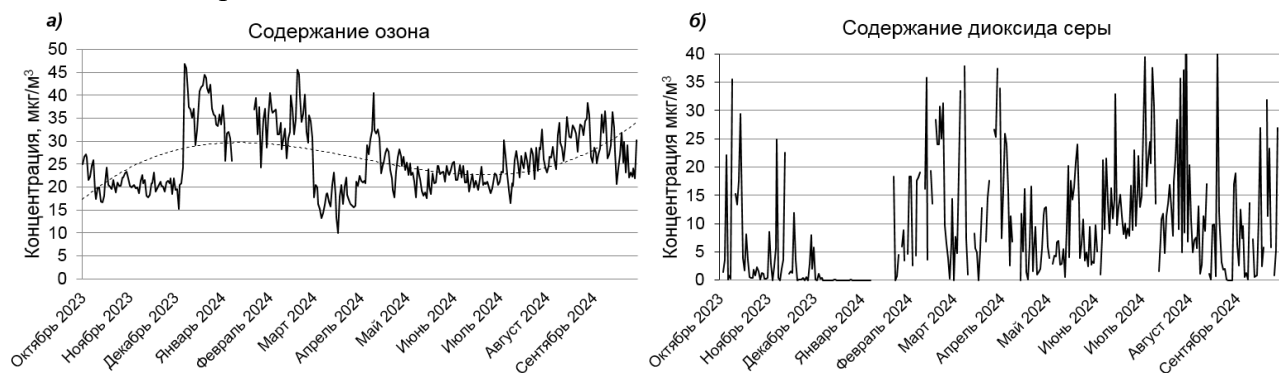


Рисунок 1.8 – Среднесуточное содержание озона (а) и диоксида серы (б) в течение года (с октября 2023 г. по сентябрь 2024 г.) в приземном воздухе п. Баренцбург

Среднее значение концентрации сероводорода в течение года приблизительно  $1,6 \text{ мкг/м}^3$ , максимальные значения концентрации доходят до  $8 - 9 \text{ мкг/м}^3$ . При этом содержания сероводорода и диоксида серы не коррелируют, что указывает на дополнительные источники поступления  $\text{H}_2\text{S}$  в атмосферу, возможно в результате естественных процессов: из сточных вод п. Баренцбург, при жизнедеятельности микроорганизмов на литорали в береговой полосе, разгрузке насыщенных сероводородом подземных вод из-под мерзлотных водоносных горизонтов, интенсифицирующиеся в летний период. В целом в 2024 г., при сравнении с данными предыдущих измерений содержание диоксида сера и сероводорода выросло.

Содержание газообразной ртути в приземном воздухе поселка составляет не более  $0,001 \text{ мкг/м}^3$ . Значительных повышений концентрации или выраженного сезонного хода, присущего районам с мерзлыми грунтами, в 2024 г. не наблюдалось. В июне 2024 была произведена диагностика ртутных мониторов 064 и 065 по удаленному доступу сервисными сотрудниками компании ООО «Люмэкс-маркетинг». Ртутный монитор 064 «Поселок» возобновил свою работу после обновления ПО, исправления параметров памяти материнской платы. Впоследствии выявлено, что прибор откалиброван некорректно, спектральная лампа требует замены, поэтому данные, получаемые с него, вероятно недостоверны. В мониторе 065 «Гора» также обнаружены серьезные неисправности. Оба ртутных монитора нуждаются в профессиональном сервисном обслуживании.

Таким образом несмотря на то, что сбор данных газоанализаторами «Поселок» продолжается, требуется техническое обслуживание, ремонт и метрологическое обеспечение газоанализаторов. Кроме того, рекомендуется перенести оборудование станции мониторинга качества атмосферного воздуха за пределы поселка в район геофизического полигона для исключения влияния локальных источников загрязнения, однако это потребует новых технических решений для корректного подключения анализаторов.

#### *Экспериментальные исследования теплового баланса и особенностей микроклимата снежно-ледниковых покровов*

Исследование выполняется в рамках темы 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» НИТР учреждений Росгидромета на 2020-2024 гг. Основной целью проекта является исследование микроклиматических и тепловых балансовых особенностей системы «поверхность ледника – атмосфера» в весенний и летний периоды, а именно:

– Изучение особенностей теплового баланса поверхности ледника Альдегонда в период абляции его поверхности;

– Исследование отражательных характеристик поверхности ледника Альдегонда и Западный Грэнфьорд в зависимости от особенностей рельефа и загрязнённости;

– Анализ микроклиматических особенностей ледника Альдегонда.

В ходе сезонных полевых работ решались следующие задачи:

– Непрерывная регистрация составляющих радиационного баланса поверхности ледника Альдегонда;

– Получение данных о микроклимате ледника Альдегонда стационарными автоматическими метеостанциями (АМС) Нобо;

– Маршрутные, подспутниковые измерения приходящей и отраженной солнечной радиации над различными типами поверхности ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд;

– Отбор проб снега на леднике Альдегонда для последующего анализа химического состава загрязнений (весенний этап);

– Методические работы по оценке скорости испарения с поверхности снежного покрова (весенний этап);

– Экспериментальные методические работы по автоматическому определению балла облачности при помощи фоторегистратора (летний этап).

Для оценки компонентов радиационного баланса на леднике Альдегонда на период проведения работ устанавливалась теплораспределительная мачта (ТБМ), которая регистрировала-приходящий и отраженный потоки коротковолновой и длинноволновой радиации с дискретностью 1 час. Для дальнейшего перехода от измерений в точке к пространственно-распределенным значениям величин коротковолнового баланса, проводились маршрутные съемки альбедо с частотой порядка одного раза в неделю, что обусловлено необходимостью отслеживать временную изменчивость поверхности ледников в период абляции. Даты проведения маршрутных съемок альбедо близки к датам получения снимков со спутников Landsat-8 и Sentinel-2, что позволило их верифицировать.

Для расчета величины потоков явного и скрытого тепла использовались данные двух АМС, расположенных в верхней и нижней частях ледника, чтобы получить вертикальные градиенты температуры и относительной влажности воздуха для экстраполяции величин турбулентных потоков и длинноволнового баланса (Прохорова и др., 2021; Prokhorova и др., 2023). Поток тепла вглубь ледника оценивался по двухслойной модели (Klok, Oerlemans, 2002), основанной на распределении температур внутри ледника, получаемых с термокос, установленных в рамках программы геофизических наблюдений.

Методические работы, посвященные оценке балла облачности, проводились впервые, и основным инструментом получения данных являлась экшн-камера GoPRO 3HERO моделей black и white. Съемки проводились в летний период на леднике Альдегонда по маршруту проведения съемок альбедо. Камера закреплялась в положении строго наверх и охватывала участок неба  $120^{\circ}$ . Дискретность получения снимка – 1 минута. Продолжительность каждого эксперимента 2-2,5 часа.

Наблюдение испарения с поверхности снежного покрова проводилось вблизи метеорологической площадки ГМО «Баренцбург». В ходе работы был использован испаритель из органического стекла (теплопроводность материала близка к теплопроводности снега), в который помещался объем снега с характерной для окружающей поверхности плотностью и структурой. Испаритель с помещенной в него пробой снега предварительно взвешивался, а затем помещался в снежную лунку так, чтобы его верхняя граница была вровень с уровнем поверхности окружающего снежного покрова. Повторные взвешивания осуществлялись в каждый 12-ти часовой интервал в сроки 8:00 и 20:00 UTC +3. Во время интенсивных осадков измерения не проводились.

Теплобалансовые наблюдений на леднике Альдегонда и Западный Грэнфьорд. В период проведения весенних и летних сезонных полевых работ составляющие коротковолнового баланса показывали довольно типичный сезонный ход: максимумы значений приходящей коротковолновой радиации (КВР) приходились на конец весеннего ( $670 \text{ Вт/м}^2$ ) и на начало летнего ( $725 \text{ Вт/м}^2$ ) сезонов – период полярного дня и дни с безоблачным состоянием неба; минимумы соответствовали началу весеннего и концу летнего сезонов наблюдений, обусловленных астрономическим фактором, и днями с пасмурным состоянием неба (рис. 1.10).

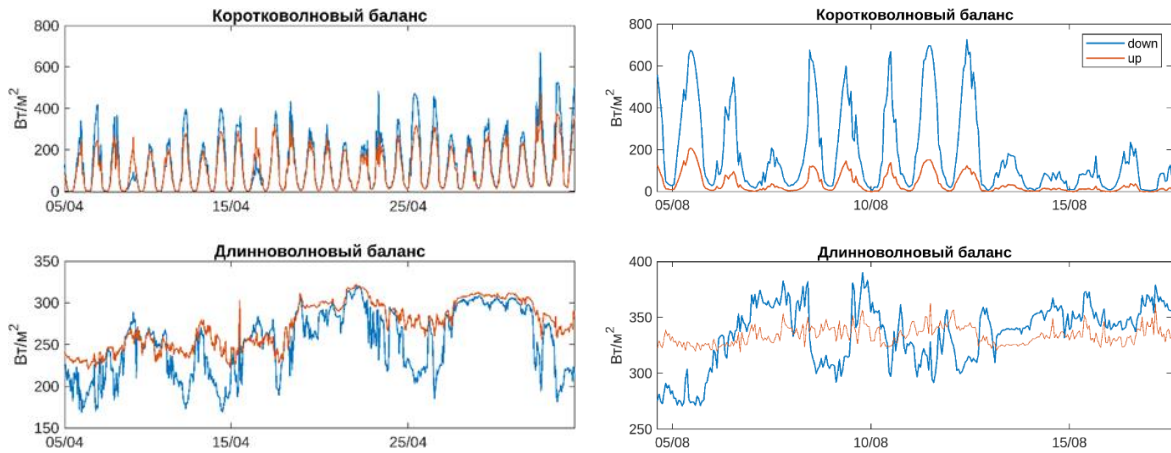


Рисунок 1.10 – Временная изменчивость компонентов радиационного баланса в весенний (слева) и летний (справа) периоды наблюдений на леднике Альдегонда в 2024 году: восходящие потоки – красная линия, нисходящие – синяя линия

Временной ход в потоке отраженной коротковолновой радиации был обусловлен исключительно типом подстилающей поверхности и её состоянием. В весенний период максимумы приходились на дни после снегопадов при отражении порядка 90%, а минимумы – в период с положительными температурами и осадками в виде дождя при отражении порядка 60%. В летний сезон диапазон изменений в отражательной способности составил от 14 до 30% в зависимости от наличия и схода коры таяния в точке установки ТБМ.

Основным драйвером временной изменчивости длинноволнового баланса являлись облачность, температура поверхности, температура и влажность воздуха (рис. 1.10). Поток восходящей длинноволновой радиации имел сезонный ход, возрастая в течение весеннего сезона и оставался практически неизменным в летний сезон (при постоянстве температуры тающей поверхности ледника равной  $0^\circ\text{C}$ ). Поток нисходящей длинноволновой радиации (НДВР) не имел выраженной сезонности и достигал максимумов в пасмурные дни с облачностью более 8 баллов. Это подтверждается и соотношением минимумов

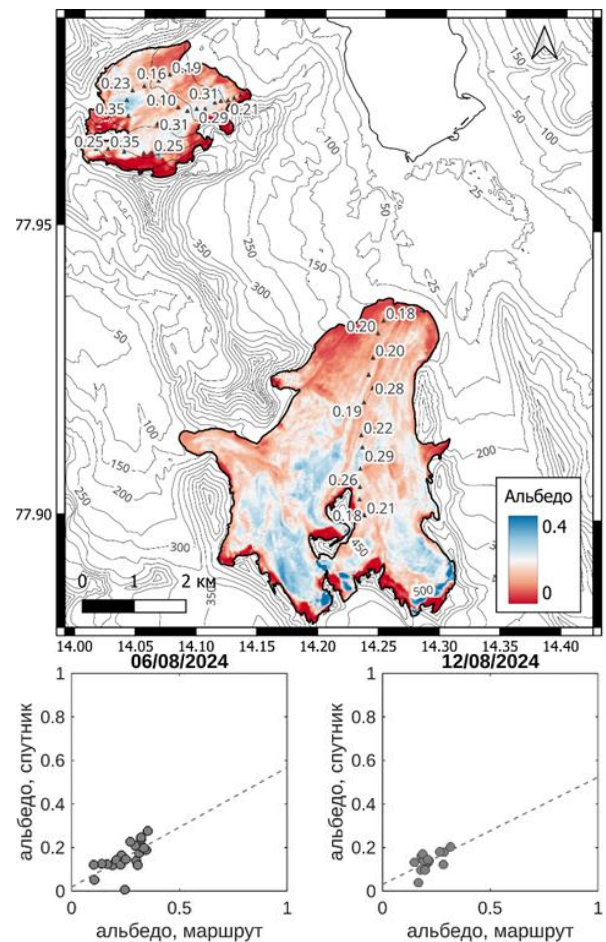


Рисунок 1.11 – Сравнение значений альбедо, полученных по натурным данным маршрутных съемок и рассчитанным по спутниковым изображениям Sentinel-2

и максимумов НДВИ с потоком проходящей КВР. Минимальные значения НДВР соответствовали максимумам КВР, что в свою

очередь соответствовало безоблачному состоянию неба. Максимальные значения НДВР соотносились с минимумами в потоке КВР и соответствовали пасмурному состоянию неба с облачностью более 8 баллов. В среднем за летний сезон значение длинноволнового баланса близко к нулю.

Маршрутные съемки альbedo позволили оценить временную изменчивость отражательной способности ледника в период максимальной абляции льда, всего за летний период было проведено 3 съемки: 1 – ледник Западный Грэнфьорд и 2 – ледник Альдегонда. Съемки проводились по одним и тем же маршрутам, что дало возможность оценить временную изменчивость этого параметра, а также осуществить привязку спутникового изображения для внесения поправки на реальные условия. Основные расхождения обусловлены затенением ледника южным склоном. Однако в целом, значения альbedo, оцененные по спутниковому снимку и по маршрутной съемке, демонстрируют высокую степень согласованности (коэффициент линейной корреляции равен 0,71) (рис. 1.11).

В 2024 году таяние поверхности ледников было высоким наравне с 2020 г. и 2022 г. На основе установленных ранее зависимостей (Прохорова и др., 2023), можно предположить значительную роль турбулентных потоков в структуре баланса. Для проверки гипотезы проанализирована корреляционная зависимость скорости абляции поверхности ледника Альдегонда от КВР и температуры воздуха, которая опосредует собой и турбулентные потоки, и длинноволновый баланс (табл. 1.2). Распределение скоростей таяния в целом повторяли стандартный ход величины КВР, с максимумом в июле и снижении в августе-сентябре. Таким образом, значительная величина таяния могла быть обусловлена большим по сравнению с предыдущими годами количеством ясных дней.

Таблица 1.2 – Коэффициенты корреляции между данными гляциологического мониторинга (1), приземной температурой воздуха (2) и проходящим потоком солнечной радиации (3)

№ рейки	1 - 2	1 - 3
14 (центр)	0,11	0,99

Для оценки облачности по снимкам была разработана программа для электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) на языке программирования Python. В качестве результата программа создает файл в формате csv с названием снимка, временем и значением балла облачности для каждого снимка (рис. 1.12). После некоторых доработок ПЭВМ планируется

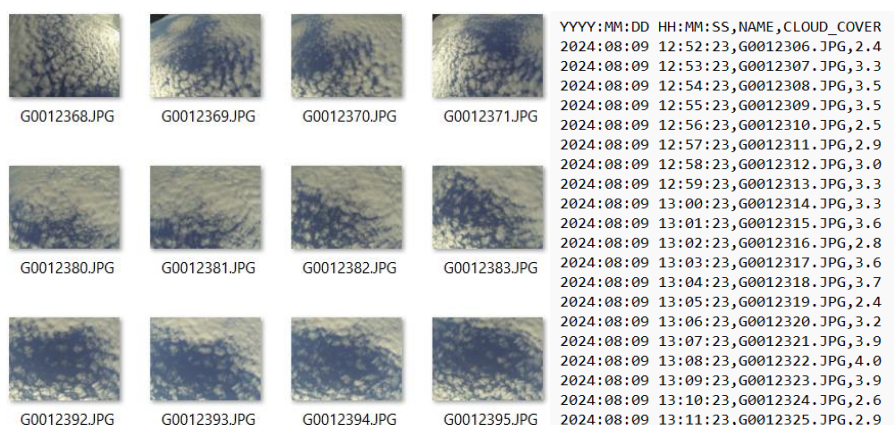


Рисунок 1.12 – Снимки состояния облачного покрова над ледником Альдегонда 09.08.2024 (слева) и пример итогового файла после обработки снимков (справа)

к регистрации РИД.

**Микроклиматические наблюдения на леднике Альдегонда.** Среднесуточные значения основных метеорологических параметров 2024 г. относительно их типичных значений, усредненных за 2015-2024 гг., (по нижней АМС) приведены на рисунке 1.13. В температуре воздуха в летний период, начиная с июля, наблюдается несколько эпизодов



положительных аномалий, которые в наибольшей степени определялись потоком КВР и антициклоническим состоянием погоды, подтверждаемым пиками в атмосферном давлении. В сочетании с данными о поверхностной абляции (табл. 1.2) это может свидетельствовать о преобладании радиационного типа таяния.

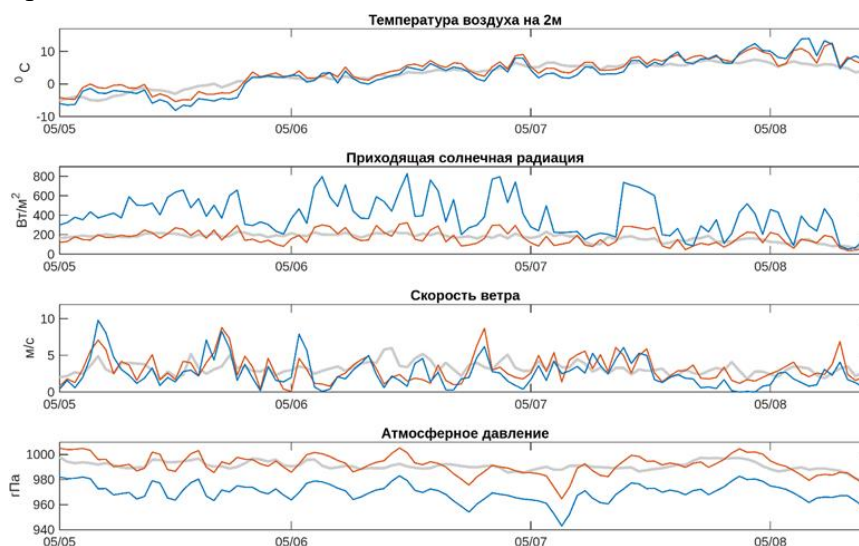


Рисунок 1.13 – Среднесуточные данные АМС, расположенных на ригелях в нижней (красная кривая) и верхней (синяя кривая) части ледника: температура воздуха на уровне 2 м, влажность воздуха, приходящий поток солнечной радиации, скорость ветра, давление на уровне моря на фоне их среднего многолетнего значения за период 2015-2024 г. (серая кривая)

Данные АМС после критического контроля будут переданы в Госфонд ААНИИ, метаданные – отражены в проекте RiS (Research in Svalbard) №1083 «Organization and conducting of microclimatic and heat balance observations on the Aldegondabreen glacier 2015-2024». Экспедиционные исследования выполнены под руководством м.н.с. Прохоровой У.В. и н.с. Безгрешнова А.М.

По данным текущих исследований опубликованы две работы:

Прохорова У.В., Барсков К.В., Терехов А.В., Чечин Д.Г., Репина И.А., Иванов Б.В., Варенцов М.И. Роль турбулентного теплообмена в структуре теплового баланса ледников центральной части о. Западный Шпицберген, на примере ледника Альдегонда //Лёд и снег. В печати.

Терехов А.В., Прохорова У.В., Демидов В.Э. Влияние пространственной изменчивости солнечной радиации на баланс массы ледников залива Грэнфьорд (архипелаг Шпицберген) // Лёд и Снег, 2024. 64(1). С. 41-53. DOI: 10.31857/S2076673424010039

*Совершенствование описания процессов взаимодействия пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью*

Исследование процессов энерго- и массообмена в приземном слое атмосферы было проведено с использованием анализа величины и изменчивости компонентов теплового баланса поверхности в период с января 2019 г. по октябрь 2024 г. на основе ежеминутных данных метеорологических наблюдений и наблюдений компонентов радиационного баланса градиентным комплексом Campbell Scientific, расположенным к северу от п. Баренцбург (арх. Шпицберген). После проверки качества данных и устранения выбросов, было

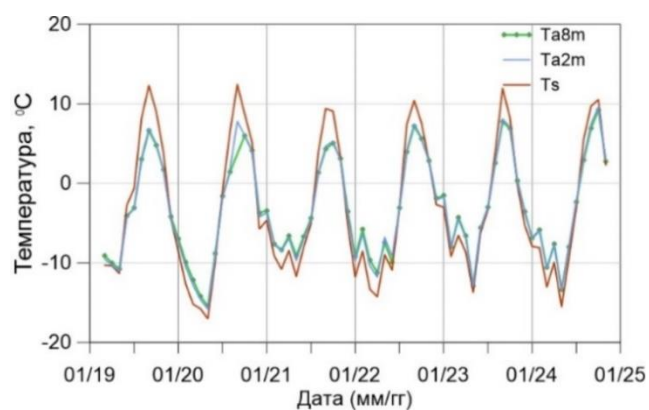


Рисунок 1.14 – Временной ход среднемесячных значений температуры воздуха на высоте 8 м и 2 м, а также температуры поверхности

проведено осреднение до часовых значений и рассчитаны характеристики турбулентного обмена в приземном слое с применением уравнений теории подобия Монина-Обухова с учётом стратификации атмосферы.

Максимальная температура воздуха за период наблюдений зарегистрирована летом 2024 г. по данным среднемесячных значений температуры воздуха на высоте 8 м и 2 м. Интересно отметить, что максимум температуры подстилающей поверхности при этом не наблюдался (рис. 1.14). Одной из причин этого может быть относительно холодная зима 2023-2024 гг. Последующий анализ данных о глубине и динамике протаивания почвы на различных горизонтах сможет дать дополнительную информацию о тепловом состоянии верхнего слоя грунта.

Радиационные потоки летом 2024 не способствовали усиленному прогреву поверхности, т.к. значения коротковолновой суммарной солнечной радиации и нисходящего потока длинноволновой радиации не превышали средних значений за период наблюдений (рис. 1.15). И даже более раннее завершение процесса снеготаяния в 2024 г. (на две недели раньше, чем в 2023 г.) также не привело к росту температуры поверхности. Об этом можно судить по представленным на рис. 1.16.

За период наблюдений 2019-2024 гг. летом отмечалось уменьшение турбулентного потока явного тепла ( $H_s$ ). Поскольку поток тепла прямо пропорционален градиенту температуры, были проведены расчёты средних за лето (июнь-август) разностей температуры поверхности и воздуха на высотах 2 м и 8 м. Анализ этих рядов (рис. 1.17), позволяет выявить тенденцию к уменьшению температурного градиента летом в приземном слое атмосферы за исследуемый период. В дальнейшем планируется провести исследование динамических факторов и параметров устойчивости атмосферы по данным о профилях скорости ветра.

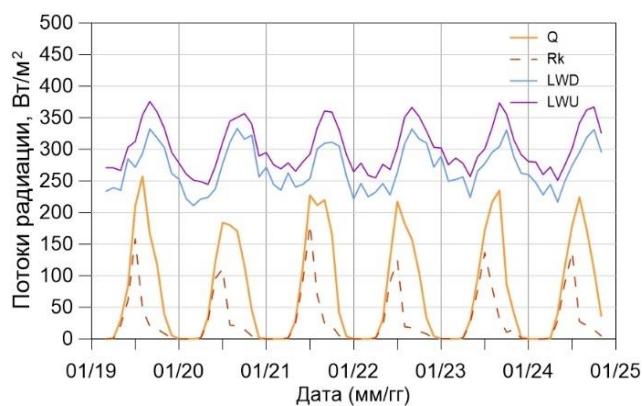


Рисунок 1.15 – Межгодовая изменчивость среднемесячных значений приходящей  $Q$  и отраженной  $R_k$  коротковолновой радиации; приходящей  $LWD$  и уходящей  $LWU$  длинноволновой радиации

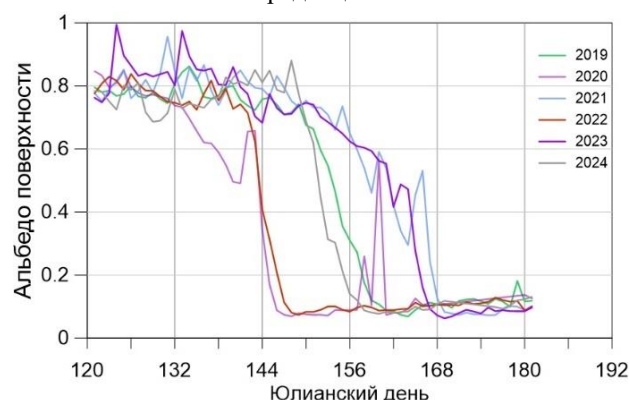


Рисунок 1.16 – Временной ход суточных значений альbedo поверхности (с 1 мая по 30 июня)

снижению значений альbedo поверхности,

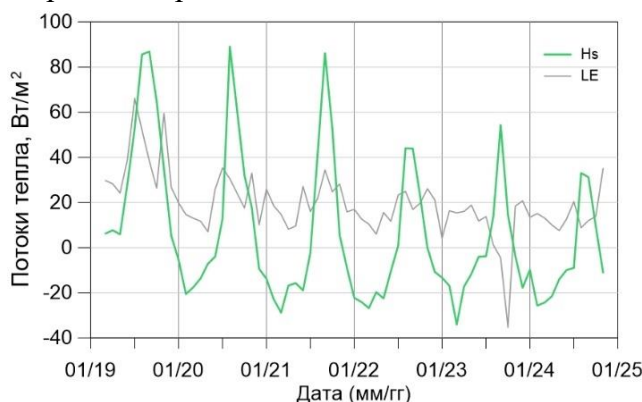
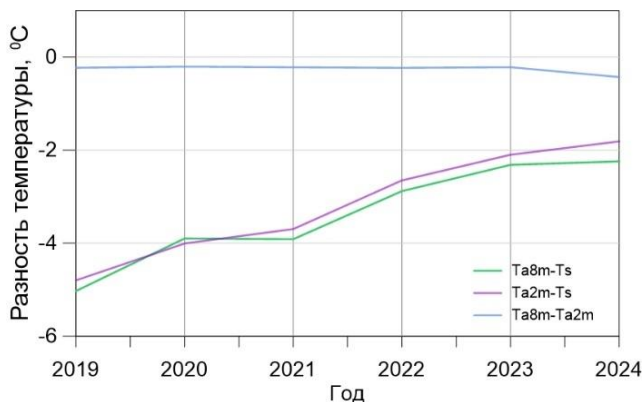


Рисунок 1.17 – Межгодовая изменчивость среднемесячных значений турбулентных потоков явного и скрытого тепла (слева) и значения разностей температуры воздуха и поверхности, осредненные за летние периоды (июнь-август) (справа)



Вторая часть исследований была сосредоточена на оценке динамики промерзания сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты зимой 2023/2024 гг., основываясь на характеристиках атмосферы, снежного покрова и грунта с помощью термодинамической модели, использующей автомодельную постановку задачи Стефана. На основании результатов моделирования и прямых измерений термометрической косой в долине Грёндален получены условия образования несливающейся мерзлоты в районе наблюдений.

Арктические архипелаги относятся к районам, наиболее подверженным влиянию глобального потепления (Котляков и др., 2020). К одному из его негативных последствий относится деградация многолетнемерзлых грунтов (ММГ), вызванная неполным промерзанием сезонно-талого слоя (СТС), воздействующая на экосистемы и объекты инфраструктуры островов (Осокин, Сосновский, 2016). С учётом важности сохранности ММГ изучение их термической устойчивости является целью ряда масштабных геофизических программ, в число которых с 2023 г. входит российский «Технический проект организации сети мониторинга ММГ на базе наблюдательной сети Росгидромета в высокоширотной Арктике» (Веркулич и др., 2021).

Для оценки зимней эволюции СТС использовалась простая термодинамическая модель грубодисперсного грунта на основе решения системы уравнений теплопроводности в автомодельной постановке (Хабибуллин, Солдаткин, 2012).

Считается, что промерзание происходит при температуре фазового перехода вода-лёд (такую же температуру имеет талый слой) на двух фронтах,  $h_1$  (верхнем) и  $h_2$  (нижнем) при наличии слоя снега толщиной  $h_s$  (рис. 1.18) в зависимости от времени  $t$ :

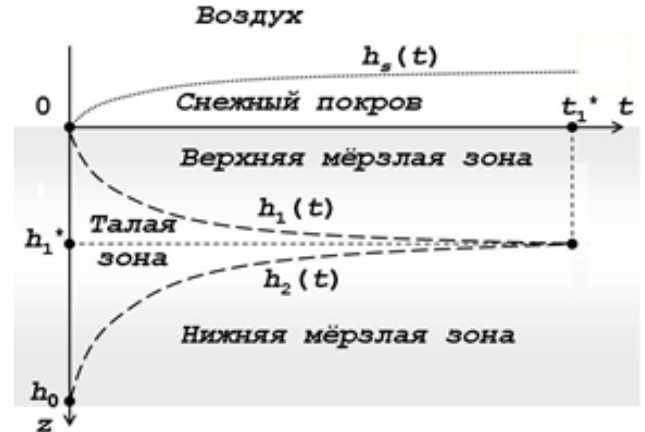


Рисунок 1.18 – Схема промерзания СТС

$$h_s(t) = -\gamma\sqrt{t}, \quad h_1(t) = -\beta_1\sqrt{t}, \quad h_2(t) = -\beta_2\sqrt{t}, \quad (1)$$

где  $\gamma$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – постоянные, характеризующие динамику движения границ разделов, вычисляемые из данных наблюдений и решения трансцендентных уравнений:

$$\frac{2k_m(T_f - T_a)}{\sqrt{a_m}[\operatorname{erfc}(\beta_1/\sqrt{4a_m}) + (k_m\sqrt{a_s}/k_s\sqrt{a_m})\operatorname{erf}(\gamma/\sqrt{4a_s})]} \exp\left(-\frac{\beta_1^2}{4a_m}\right) = \rho_i L W \sqrt{\pi} \beta_1, \quad (2)$$

$$\frac{2k_m(T_f - T_{inf})}{\sqrt{a_m}\operatorname{erfc}(\beta_2/\sqrt{4a_m})} \exp\left(-\frac{\beta_2^2}{4a_m}\right) = \rho_i L W \sqrt{\pi} \beta_2. \quad (3)$$

Здесь  $T_a$ ,  $T_{inf}$  и  $T_f$  – средняя за зимний период температура воздуха, толщи мерзлоты и замерзания воды, соответственно;  $a_m$ ,  $k_m$ ,  $C_m$  – коэффициенты температуропроводности, теплопроводности и объёмной теплоёмкости мёрзлого грунта;  $a_s$ ,  $k_s$ ,  $C_s$  – то же самое для снега;  $\rho_i$  – плотность льда;  $L$  – удельная теплота фазовых превращений;  $W$  – влажность грунта;  $\gamma = h_s^{max}/\sqrt{\tau_s}$ ;  $h_s^{max}$  – максимальная глубина (толщина) снега;  $\tau_w$  – продолжительность снегонакопления;  $\operatorname{erf}(x)$  – интеграл вероятностей,  $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$ . Время полного промерзания СТС  $t^*$  и его глубины  $h_1^*$  даётся абсциссой и ординатой точек пересечения кривых  $h_1(t)$  и  $h_2(t)$

$$\sqrt{t^*}(-\beta_1 + \beta_2) = h_2^{max}, \quad (4)$$

$$h_1^*(t) = -\beta_1\sqrt{t^*}. \quad (5)$$

Объектом исследований был выбран участок террасы правого борта долины реки Грэн (Грэндален) в 5 км к юго-востоку от п. Баренцбург, где весной 2022 г. была установлена 25 м термокоса КЦТ-01 (ООО «МГУ-геофизика») (КИО 2022). Преимуществами места являются однородная геология, плоский рельеф, отсутствие снега из-за постоянных ветров, редкая растительность (Игловикий и др., 2016), удалённость от ледников и объектов хозяйственной деятельности, а также возможность одновременного использования данных нескольких метеостанций.

Расчёты по модели (1)-(5) выполнялись на примере зимы 2023/24 г. Предварительно были проанализированы термометрические данные, судя по которым полное промерзание СТС произошло в течение первых 11 сут. зимы (рис. 1.19) и выбраны значения входных параметров задачи. Из-за неизученности почво-грунтов Грэндален (суглинки с 40-50% заполнением гальки и гравия (КИО, 2022) их теплофизические свойства считались близкими к свойствам аналогичных

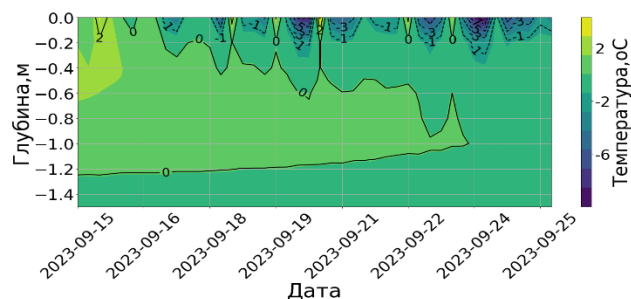


Рисунок 1.19 – Временной ход температуры в поверхностном слое грунта по данным измерений во второй половине сентября 2023 г.

гравийно-галечных грунтов полярных пустынь Западного Шпицбергена (Putkonen 1998); характеристики снега вычислялись по зависимостям от плотности (Котляков и др., 2020). Продолжительность снегонакопления равнялась продолжительности зимы  $\tau_w$ . Значения  $T_{inf}$  и  $\rho_s$  задавалась по (Котляков и др., 2020),  $h_0$  – глубиной нулевой изотермы 16 сентября. Выбор адекватных значений  $k_m$  и  $a_m$ , из-за разброса экспериментальных данных в 2-3 раза проводился путём сравнения результатов предварительных тестовых расчётов, как между собой, так и с данными термометрии. В качестве базовых величин были приняты значения  $\tau_s=225$  сут. (16 сентября 2023 – 27 апреля 2024 г.),  $\rho_s=300$  кг/м<sup>3</sup>,  $T_a=-7,7^\circ\text{C}$ ,  $T_{inf}=-4,5^\circ\text{C}$ ,  $h_0=1,3$  м,  $h_s^{max}=0,01$  м,  $k_m=4$  Вт/(м<sup>2</sup>С);  $C_m=2,1\cdot 10^6$ ,  $k_s=0,24$  Вт/(м<sup>2</sup>С);  $C_s=6,27\times 10^5$  W=0,125,  $\rho_i=920$  кг/м<sup>3</sup>,  $L=336\times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup> (Котляков и др., 2020; Осокин, Сосновский, 2016; Хабибуллин, Солдаткин, 2012), в целом достаточно близкие к своим климатическим значениям. Исключение составили величины  $h_s^{max}$ , в период 1984-2015 гг. составившие 175 см при нижних аномальных значениях 131-153 см и 197-218 см – верхних (Осокин, Сосновский, 2016), а также глубин СТС, которые при средней величине до 1,5 м могут достигать 2 и даже 6 м (Котляков и др., 2020; Хабибуллин, Солдаткин, 2012). Исследование решений (1)-(5) осуществлялось путём поочерёдных вариаций каждого из параметров задачи  $T_a$ ,  $T_{inf}$ ,  $h_s^{max}$ ,  $h_0$ ,  $W$  и  $k_m$  при неизменности остальных.

Базовый вариант входных параметров даёт  $\beta_1=0,000882565$ ,  $\beta_2=0,000490337$ ,  $\gamma=0,0066519$  и  $h^*=0,84$  м,  $t^*=10,3775$  сут. Динамика фронтов для различных температур на границах приведена на рис. 1.20 и 1.21. Для обоих фронтов характерен быстрый рост  $h_1$  и  $h_2$  в первые сутки процесса и монотонное снижение в дальнейшем. Имеющие физический смысл вариации температур границ оставляют мерзлоту устойчивой (рис. 1.20а); с ростом величин  $h_s^{max}$  и  $h_0$  время промерзания закономерно увеличивается почти на порядок (рис. 1.20б).

Однако  $t^*$  также не достигает значения  $\tau_s$ , необходимого для возникновения неустойчивости; несливающаяся мерзлота не появляется даже при запредельных для Грэндален толщинах  $h_s^{max}$  и  $h_0$  в 2 м, равно, как и изменения свойств грунта. Несмотря на существенную зависимость  $t^*$  от величины  $W$ , неудивительную при её одновременном воздействии на обе мёрзлые зоны (рис. 1.21а) и значения  $k_m$ , (рис. 1.21б), рост которого соответствующий переходу глинистый-суглинистый-супесчаный-песчаный грунт, оказался не таким существенным, каким ожидался из интуитивных представлений о процессе.



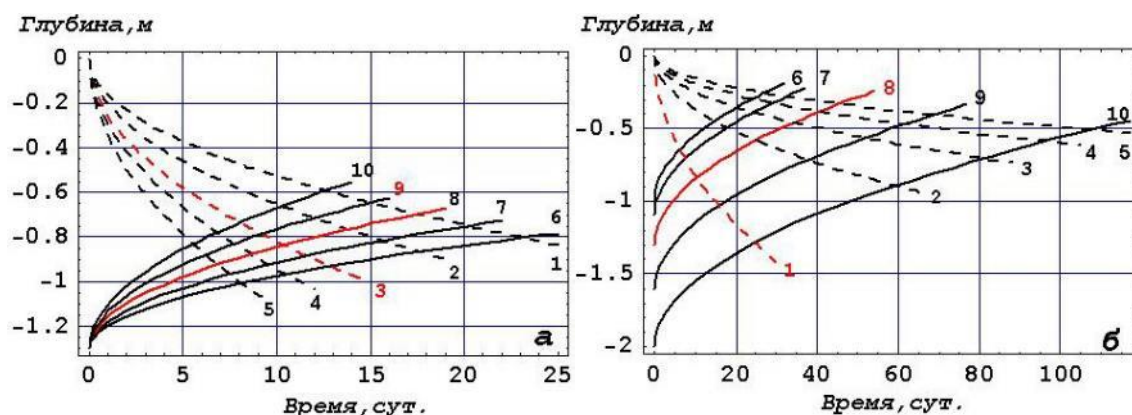


Рисунок 1.20 – Динамика верхнего (пунктир) и нижнего (сплошная) фронтов промерзания по данным расчётов при  $T_a = -5,5$  (1),  $-6,5$  (2),  $-7,7$  (3),  $-8,5$  (4),  $-9,5^\circ\text{C}$  (5) и  $T_{inf} = -3,5$  (6),  $-4$  (7),  $-4,5$  (8),  $-5$  (9),  $-5,5^\circ\text{C}$  (10) (а), при  $h_s^{max} = 0,01$ , (1),  $0,5$  (2),  $1$  (3),  $1,5$  (4),  $2$  м (5) и  $h_0 = 1$  (6),  $1,1$  (7),  $1,3$  (8),  $1,6$  (9),  $2$  м (10) (б)

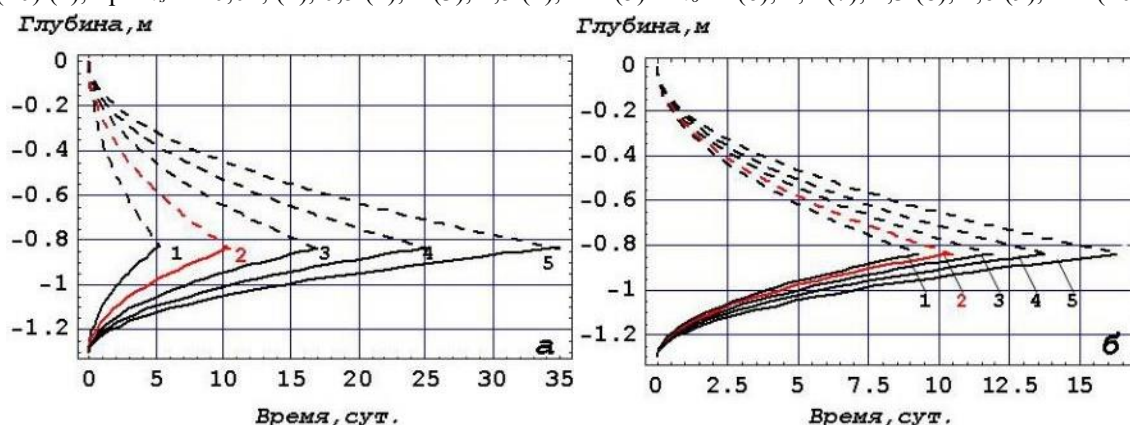


Рисунок 1.21 – Динамика верхнего (пунктир) и нижнего (сплошная) фронтов промерзания по данным расчётов при  $W = 0,1$  (1),  $0,125$  (2),  $0,15$  (3),  $0,175$  (4),  $0,2$  (5) (а) и  $T_a = -7,7^\circ\text{C}$ ,  $T_{inf} = -4,5^\circ\text{C}$ ,  $h_s^{max} = 1,25$ ,  $h_2^0 = 1,5$  м и  $k_m = 2,5$  (1);  $3$  (2);  $3,5$  (3);  $4$  (4);  $4,5$  Вт/(м $^\circ\text{C}$ ) (5) (б)  $W = 0,25$  (г). Красные кривые соответствуют базовым значениям входных параметров

Численные эксперименты показали, что при отсутствии снежного и растительного покровов многолетняя мерзлота в районе исследований термически устойчива даже при входных параметрах, превышающих не только измеренные в 2023/24 г., но и среднемноголетние величины. Вместе с тем, при увеличении значений  $h_s^{max}$ ,  $h_0$  и  $W$ , оказывающих наибольшее влияние на термическое состояние ММГ, неполное промерзание СТС возникает при базовых величинах  $T_a$  и  $T_{inf}$ , т.е. в современных климатических условиях. Условие потери устойчивости мерзлоты даётся уравнением (4) при  $t^* = \tau_w$  из которого следует, что может быть достигнута, в принципе, вариациями любых входных параметров задачи (2)-(3). Согласно расчётам, выполняется, например, при значениях  $h_s^{max} = 1,15$  м,  $h_0 = 1,5$  м и  $W = 0,25$ , соответствующих их средним многолетним значениям в районах интенсивного снегонакопления Западного Шпицбергена близким к полученным в (Осокин, Сосновский, 2016). Таким образом, термическое состояние многолетней мерзлоты определяется совокупным и разнонаправленным влиянием взаимосвязанных параметров задачи. Поэтому делать выводы о преобладающем влиянии одного из них затруднительно. Необходимы дальнейшие наблюдения и модельные расчёты для оценки воздействия различных параметров снежного покрова, талого и мёрзлого грунта с учётом аномальных значений температуры и их комплекса на термический режим многолетней мерзлоты.

Литература:

Веркулич С.Р., Демидов Н.Э., Анисимов М.А. Разработка проекта организации мониторинга многолетнемерзлых грунтов высокоширотной Арктики на базе наблюдательной сети Росгидромета // Российские полярные исследования, 2021. №1(43). С. 23-27.

Игловский С.А., Крячюнас В.В. Особенности современного состояния морских террас (многолетнемерзлые породы, рельеф, почвы) восточного побережья залива Грен-фьорд (Шпицберген, Норвегия). Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: мат-лы 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. ISBN 978-5-4358-0137-8. с.167-171.

Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосферы и океана. 2009, Т. 22, №1. с. 61-67.

Кабанов Д. М., Масловский А. С., Радионов В. Ф., Сакерин С. М., Сидорова О. Р., Чернов Д. Г. Сезонная и межгодовая изменчивости характеристик аэрозоля по данным многолетних (2011–2021 гг.) измерений в Российском научном центре на архипелаге Шпицберген. // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36. № 06. С. 433–442. DOI: 10.15372/AOO20230602.

Kabanov D.M., Maslovsky A.S., Radionov V.F., Sakerin S.M., Sidorova O.R., Chernov D.G. Estimate of contribution from different variability scales to variation in aerosol characteristics on Spitsbergen Archipelago // Proc. SPIE 12341, 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 1234129 (7 December 2022); doi: 10.1117/12.2644068

Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Результаты исследований общего влагосодержания атмосферы методом оптической гигрометрии. Ч.1. Анализ методики и результатов калибровки. - Оптика атмосферы и океана. 1995. т.8. №6, с.852-860.

Кабанов Д.М., Сакерин С.М. О методике определения аэрозольной оптической толщи атмосферы в ближнем ИК-диапазоне спектра // Оптика атмосферы и океана. 1997, т. 10, №8, с.866-874.

Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А. Солнечный фотометр для научного мониторинга (аппаратура, методики, алгоритмы) // Оптика атмосферы и океана. 2001. т. 14, № 12, с. 1162-1169.

КИО – Краткий информационный отчет экспедиции «Шпицберген». Весенний этап (11.04-23.05.2022). Фонды ААНИИ, СПб 2022. 38 с.

Klok E. J. L., Oerlemans J. Model study of the spatial distribution of the energy and mass balance of Morteratschgletscher, Switzerland //Journal of Glaciology, 2002. Т. 48, №. 163. С. 505-518.

Котляков В.М., Осокин Н.И., Сосновский А.В. Динамика сезонно-талого слоя на Шпицбергене и Антарктическом полуострове в XXI в. по результатам моделирования // Лёд и Снег, 2020. · Т. 60, № 2. С. 201–212. DOI: 10.31857/S2076673420020034

Осокин Н.И., Сосновский А.В. Динамика параметров снежного покрова, влияющих на устойчивость многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген // Лёд и Снег, 2016. · Т. 56, № 2. DOI:10.15356/2076-6734-2016-2-189-198

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. 212–224. DOI: 10.31857/S2076673423020138

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В., Веркулич С.Р. Расчет составляющих теплового баланса ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) в период абляции по данным наблюдений 2019 года // Криосфера Земли, 2021. Т. 25, №. 3. С. 50-60.

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. Т. 55, №. 1. С. 2190057. DOI: 10.1080/15230430.2023.2190057

Putkonen J. Soil thermal properties and heat transfer processes near Ny-Ålesund, northwestern Spitsbergen, Svalbard // Polar Research, 1998. 17(2). P.165-179.

Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А. Солнечный фотометр SP-9 для аэрозольного мониторинга // Приборы и техника эксперимента, 2010, №5, с. 165-166.

Хабибуллин И. Л., Солдаткин М. В. Динамика промерзания сезонного-талого слоя криолитозоны с учетом наличия снежного покрова // Вестник Башкирского университета, 2012. Т. 17, No2. С. 843-846

Мероприятие 1 выполнено полностью.

## **Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген**

Гидрологические исследования водных объектов о. Западный Шпицберген продолжили наблюдения ААНИИ, начатые в 2001 г. Полевые экспедиционные работы выполнялись группой в составе Василевича И.И., Петросяна И.С., Романова М.Л., Шаркова Г.А. с 12.04.2024 по 30.09.2024. Химический анализ проб снежного покрова и воды выполнялся сотрудником химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш Т.Н. Еремейко.

Целью исследований является комплексное изучение гидрологического цикла и состояния водных объектов, котреое включает проведение наблюдений за гидрохимическими

характеристиками и элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген.

Район работ – водосборный бассейн залива Гренфьорд. Объекты исследований – водосборы рек Грен, Грэнфьорд, Бретьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс и Васстак, располагающиеся на этих водосборах ледники Восточный и Западный Гренфьорд, Баалсруд, Альдегонда, а также ледниковые тела (л.т.) бывшие частью Западного Шпицбергена и озера Конгресс, Стемме, Бретьерна (рис. 2.1).

Полевые исследования осуществлялись в три этапа:

- на весеннем этапе основными задачами являлись получение данных о распределении снегозапасов на водосборах исследуемых рек и химическом составе снега, исследование характера структуры и текстуры залегания снежно-ледяного покрова, наблюдение за испарением с поверхности снежного покрова;
- на переходном этапе (весенне-летнем) проводились наблюдения за интенсивностью снеготаяния и мониторинг состояния пресноводных объектов в период схода основной массы снегонакоплений;
- во время летнего этапа гидрологических полевых исследований выполнялись регулярные наблюдения за характеристиками гидролого-гидрохимического режима исследуемых рек, специализированные лимнологические наблюдения и вспомогательные геодезические работы.

### Особенности снегонакопления на водосборах рек и ледниках залива Грэнфьорд

Снегомерные работы и обработка полевых материалов производились в соответствии с общепринятыми методиками (Руководство 1958, Кузьмин 1963, Наставления 1985) в период максимального снегонакопления. На водосборах рек с равнинным рельефом точки измерения высоты снежного покрова, плотности и описания стратификации располагались в виде прямых профилей, либо прямых с перегибом с тупым углом. На ледниках Восточный Гренфьорд, Западный Гренфьорд и Альдегонда точки расположены в виде регулярных сеток. На леднике Восточный Гренфьорд дополнительно проводилась снегомерная съемка с использованием георадара Pulse Ekko pro с антенной 500 МГц. Снегомерные работы на морене ледника Альдегонда и на водосборе реки Брюде выполнялись по «старым» и «новым» точкам с целью оптимизации методик.

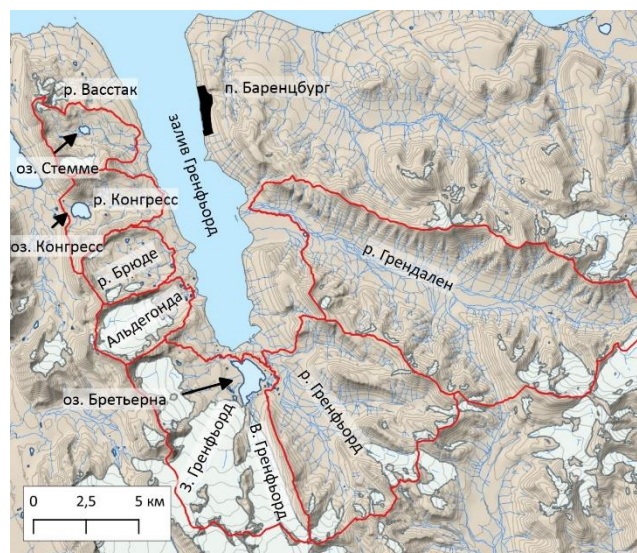


Рисунок 2.1 – Район исследований в 2024 г. Красной линией выделены водосборы исследуемых рек

Таблица 2.1. Результаты снегомерных съемок в долинах рек, на ледниках и их моренах в 2024 г.

Объект	Высота снега, см			Средняя плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Запас воды, мм в.э.*
	мин	макс	ср		
Грэн	2	96	37	0,39	147+83
Грэнфьорд	21	250	58	0,40	232+34
л. Баалсруд	57	201	118	0,42	502
л. В. Грэнфьорд	45	239	137	0,45	615
л. З. Грэнфьорд	19	245	143	0,43	613
л.т. З. Грэнфьорд	105	175	141	0,47	662
морена З.Грэнфьорд	19	153	72	0,43	312+62
л. Альдегонда	54	250	142	0,40	569
морена Альдегонда нов.	13	230	71	0,44	314+80
морена Альдегонда ст.	29	188	72		319+80
р. Брюде нов.	13	192	79	0,42	330+16
р. Брюде ст.	29	178	76		320+16
р. Конгресс	15	176	64	0,41	262+16
р. Васстак	25	233	87	0,39	338+21
л. Вёринг	89	141	123	0,44	537

\* снег+лед+мокрый снег+талая вода

По итогам весенних гидрологических работ рассчитан запас воды в снежном покрове на водосборах рек залива Грэнфьорд (табл. 2.1), который напрямую зависит от количества осадков и оттепелей в зимний период. По данным метеостанции «Баренцбург» сумма осадков за зимний период была ниже средней за последние 20 лет на 80 мм.

Влагозапас исследуемых объектов в 2024 году оказался ниже среднемноголетнего на 45 мм в. э., а средняя высота снежного покрова ниже на 20 см (рис. 2.2).

Статистически значимых трендов изменения высоты и влагозапаса снежного покрова как за последние 5 лет наблюдений, так и за весь период с 2001 года не обнаружено.

Химический анализ ионного состава снежного покрова не выявил каких-либо отклонений от средних показателей с 2016 г. Основу минерализации снежного покрова по исследуемым объектам составляют гидрокарбонаты, а также ионы хлора и натрия, отражающие влияние морского аэрозоля (рис. 2.3).

В 2024 году продолжены наблюдения за испарением с поверхности снежного покрова и процессами снеготаяния. Наблюдение за испарением с поверхности снежного проводилось в период с 15.04 по 27.05 согласно РД 52.08.730-2010. Среднесуточное испарение за период наблюдений составило 0,81 мм, что практически в 2 раза больше, чем в прошлом году.

Наблюдение за снеготаянием проводилось в период с 07.05 по 10.06 с перерывом 15.07–27.05 в связи с заморозками. Основной сход массы снежного покрова регистрировался с 27.05 по 04.06. В соответствии с метеорологическими условиями 2024 года (низкие температуры начала лета) таяние снега имело равномерный характер и может быть экспоненциально описано при моделировании.

#### *Особенности речного режима на водосборе залива Грэнфьорд*

В летний период наблюдения за речным стоком осуществлялись с момента вскрытия рек и завершились с наступлением ледостава. Уровненные наблюдения начаты с момента освобождения русел от льда. Проведение исследований и обработка полученных полевых материалов соответствовали Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам (1972). Применялся сокращенный способ измерения расходов воды методом скорость–площадь. В таблице 2.2 представлены максимальные и минимальные измеренные расходы воды в 2024 году.

Отбор и химический и физический анализ образцов воды велись согласно Р 52.24.353-2012, ГОСТ 17.1.5.04-81 и ГОСТ Р 59024-2020. На всех постах наблюдений выполнена нивелировка сезонных уровнемерных свай с привязкой к рабочим реперам. Дополнительно в 2024 г. были установлены вспомогательные репера у створов рек Альдегонда и Брюде. Измерения расходов воды и взвешенных наносов рек Грэн, Грэнфьорд, Бретьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс и Васстак производились вблизи намеченных в предыдущие годы гидрометрических створов.

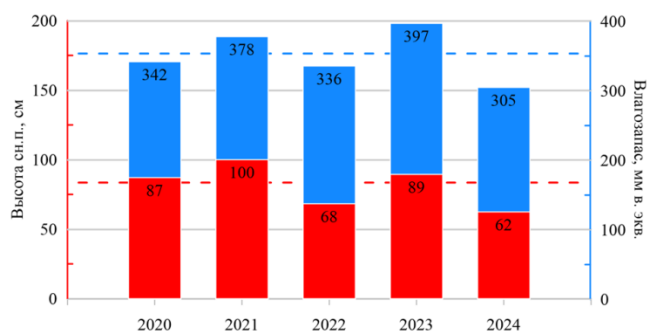


Рисунок 2.2 – Высота и влагозапас снежного покрова водосбора залива Грэнфьорд за период с 2020 по 2024 гг. Пунктир – среднемноголетние величины высоты (красным) и влагозапаса (синим) снежного покрова

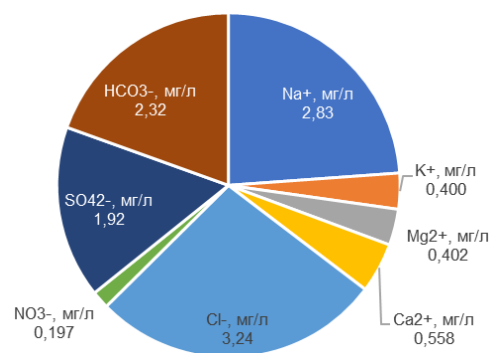


Рисунок 2.3 – Среднее содержание основных ионов в образцах снега



Таблица 2.2 – Расходы воды (макс. и мин.) и характеристики русла рек залива Гренфьорд в 2024 г.

Дата	pH	Электропроводность, мкСм/см	Расход воды (м <sup>3</sup> /с)	Площадь водн. сечения (м <sup>2</sup> )	Скорость течения (м/с)		Шир. реки (м)	Глубина (м)		Мутность, г/м <sup>3</sup>	Расход взвеш. наносов, кг/с
					Ср.	Макс.		Ср.	Макс.		
Грэн											
08.07	7,49	746	11,6	18,2	0,632	0,837	89,2	0,20	0,43	1191,4	13,77
20.09	7,07	1406	2,60	6,02	0,433	0,822	46,7	0,13	0,30	131,56	0,34
Грэнфьорд											
05.06	–	–	11,5	9,97	1,149	1,7	39,5	0,25	0,50	–	–
13.09	6,9	1348	1,30	3,10	0,418	0,585	15,7	0,20	0,33	30,45	0,04
Бретьерна											
30.08	7,71	132,1	20,9	18,3	1,141	1,357	30,2	0,61	0,88	17,44	0,36
25.09	7,36	221	1,67	3,36	0,493	0,994	28,5	0,11	0,34	0	0
Альдегонда											
13.07	7,86	89,2	3,78	3,25	1,164	1,852	8,2	0,39	0,51	73	0,28
25.09	7,28	579	0,23	1,72	0,135	0,325	7,1	0,24	0,32	0	0
Брюде											
17.06	7,69	77,6	2,43	2,90	0,845	1,304	7,5	0,38	0,60	229,11	0,56
13.09	7,15	348	0,19	0,55	0,351	0,601	6,0	0,09	0,17	0	0
Конгресс											
10.06	7,27	281	2,34	2,80	0,655	1,23	10,6	0,26	0,35	296	0,69
17.07	7,53	947	0,49	0,90	0,538	0,865	10,4	0,09	0,20	12,55	0,01
Вастак											
10.06	7,53	110,9	4,64	5,38	0,758	1,408	22,2	0,24	0,40	226	1,05
18.09	7,31	497	0,04	1,19	0,036	0,762	8,5	0,14	0,30	0	0

Максимальные расходы рек связаны с активным июньским снеготаянием, за исключением р. Бретьерна, в которой максимальный расход был измерен в августе. Обусловлено это меньшей по сравнению с остальными реками длиной реки и регулировкой стока озером (см. табл. 2.2). Также для всех рек характерны паводки, вызванные осадками в августе и сентябре (рис. 2.4). Минимальные расходы, вызванные понижением среднесуточной температуры, наблюдались совместно с заберегами и шугой в руслах во время последних измерений. Типичный гидрограф стока рек на примере реки Вастак в сезоне 2024 г. представлен на рисунке 2.4.

Анализ полученных рядов гидрологических величин за летне-осенний период 2024 г. показывает схожие условия формирования стока со стоком в предыдущие четыре года. Сроки вскрытия близки к норме последних 5-10 лет. Средний слой стока рек Альдегонда, Бретьерна и Конгресс, наблюдения на которых проводились в каждый из сезонов 2020-2024 гг., максимален в 2024 г. ввиду аномально теплого августа и, как следствие, увеличения ледникового стока рек (рис. 2.5).

Химический состав речных вод зависит от водности водотоков и увеличиваются во время прохождения паводков. По всем рекам содержание гидрокарбонатов изменяется в пределах от 26,17 до 68,24 мг/л. К середине июля – концу августа происходит оттайка верхних слоев почвогрунтов и увеличение

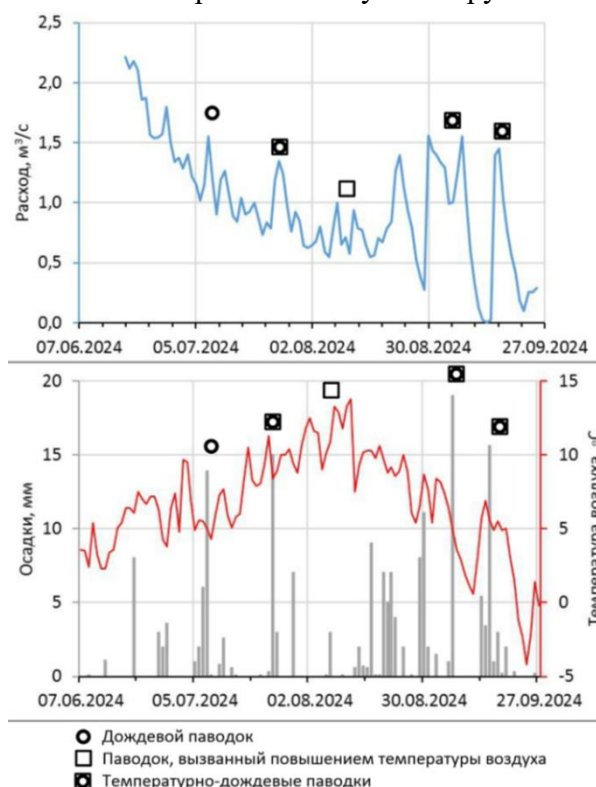


Рисунок 2.4 – Гидрограф р. Вастак в 2024 г.

концентрации сульфатов в среднем до 111,5 мг/л. В конце сезона стока отмечается повышенный вклад кальция в общую минерализацию (рис.2.6).

В 2024 г. впервые были организованы наблюдения за испарением с поверхности почвы на специально обустроенной площадке с установленными испарителями ГГИ-500-50 и термометрами на глубине до 50 см (Методические рекомендации, 1991). Среднесуточное испарение с поверхности почвы по данным первых экспериментальных наблюдений составило 1,6 мм.

Зондирование и отбор образцов в озерах, выполненные дважды в течение полевого сезона, показали, что минерализация исследуемых озер стабильно уменьшается в летний период по причине распреснения вод талым снегом и жидкими осадками. Водородный показатель слабо изменчив. Основной вклад в химический состав вод озер вносят сульфаты гидрокарбонаты и кальций, в водах оз. Конгресс концентрация сульфатов достигает 430 мг/л весной и 350 мг/л летом, что связано с существенной долей подземных вод в питании озера.

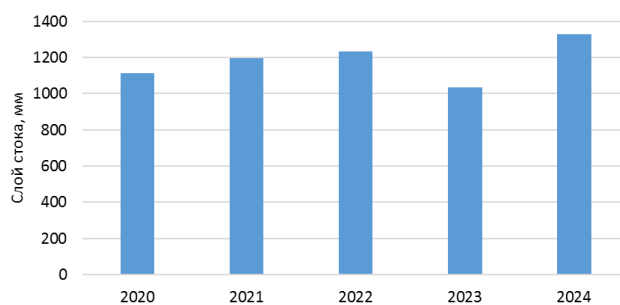


Рисунок 2.5 – Средний слой стока рек Альдегонда, Бретьерна и Конгресс за последние пять лет

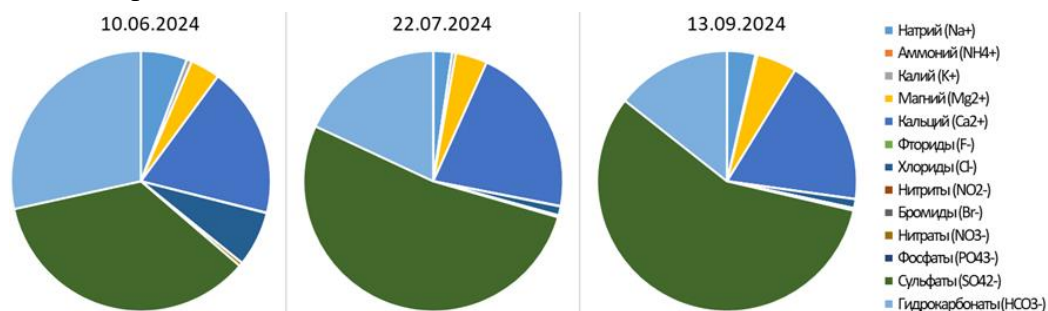


Рисунок 2.6 – Средние концентрации основных ионов рек в различные сроки сезона 2024 г., мг/л

По результатам исследований на архипелаге Шпицберген подготовлена статья:

Василевич И.И., Калюжный И.Л., Масловский А.С. Испарение со снежного покрова на арх. Шпицберген. Проблемы Арктики и Антарктики, на рецензировании.

Литература:

ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 6 с.

ГОСТ Р 59024-2020 "Вода. Общие требования к отбору проб – М.: Стандартиформ, 2022. 36 с.

Кузьмин П.П. Метод контрольной (нормальной) снегосъемки// Труды ЗакНИГМИ, вып.13, 1963.

Методические рекомендации по производству наблюдений за испарением с почвы и снежного покрова. Изд. 3. Гидрометеиздат. 1991.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть II. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. 266 с.

Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. // Л., Гидрометиздат, 1985 г., 301 с.

Р 52.24.353-2012. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. – Ростов-на-Дону, 2012. 36 с.

РД 52.08.730-2010 Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова.

Руководство по снегомерным работам в горах - изд.: Гидрометеиздат, 1958.

Мероприятие 2 выполнено полностью.

### Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген

Основной целью исследований является получение новых данных о распределении океанографических характеристик в акваториях заливов о. Западный Шпицберген, флуктуациях Западно-Шпицбергенской ветви Норвежского течения, как индикатора изменчивости поступления тепла в Северный Ледовитый океан на основе исследования вариации затока атлантических вод в заливы архипелага, совершенствование существующих представлений о механизмах формирования и развития мезомасштабных океанологических процессов в прибрежных водах архипелага Шпицберген.

Весной 2024 г. термохалинное профилирование заливов Гренфьорд, Диксонфьорд и Биллефьорд выполнялось со льда (рис. 3.1-3.3). Впервые за историю океанологических исследований РАЭ-Ш на архипелаге Шпицберген были проведены термохалинные измерения в южной части Аусфьорда. Наблюдения в зал. Ифьорд не проводились в связи со сложной ледовой обстановкой на протяжении всего марта и апреля.

Выполненная в летний период интеркалибровка 4 CTD-зондов: SBE-19plusV2 SeaCat, CTD-зонд RBRconcerto C.T.D|fast 200 m, CTD-зонд RBRconcerto C.T.D|fast 500 m, и Sea&Sun

CTD 48M показала, что все зонды нуждаются в проверке датчиков. При этом расхождения значений температуры и солености находились в пределах точности измерений, необходимой для выполнения гидрохимических наблюдений. В связи с этим было принято решение полную океанографическую съемку не выполнять, а ограничиться измерением температуры и солености только в точках отбора образцов.

Полевые и аналитические работы в 2024 г. выполняли м.н.с. Блошкина Е.В., м.н.с. Рыжов И.В. (океанография), н.с.



Рисунок 3.1 – Районы проведения океанографических работ в 2024 г.: Гренфьорд (1), Диксонфьорд (2), Аусфьорд(3), Биллефьорд(4)

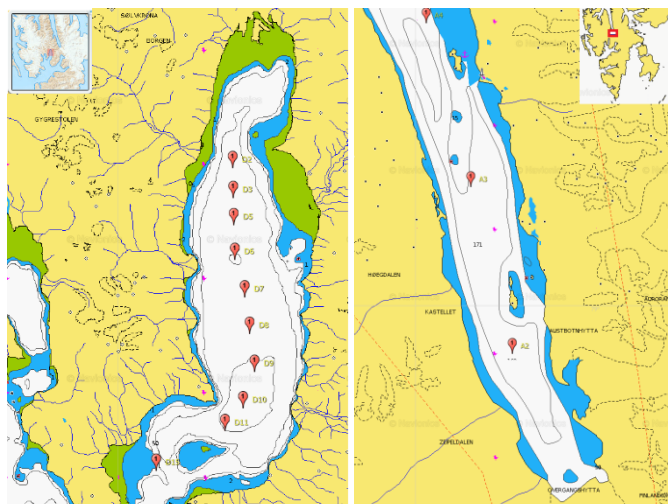


Рисунок 3.2 – Положение океанографических станций в заливах Диксонфьорд (а) и Аусфьорд (б) в марте 2024 г.

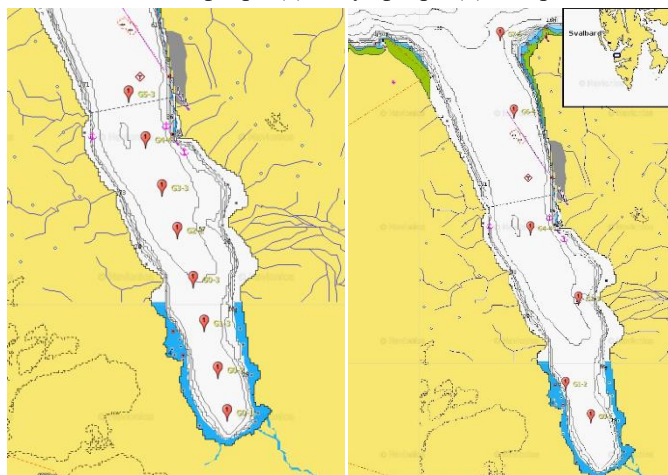


Рисунок 3.3 – Положение океанографических станций в заливе Гренфьорд в марте (а) и сентябре (б) 2024 г.



Алексеева Н.К., зам. начальника РАЭ-Ш Никулина А.Л. (морская химия), инж. Швед Я.В. (биология) при поддержке сотрудников сезонной экспедиции и зимовочного состава РАЭ-Ш. В весенний период химический анализ образцов выполнила вед. инж. РАЭ-Ш Еремейко Т.Н.

### *Динамика водных масс в заливах Грэнфьорд, Диксонфьорд и Биллефьорд*

Согласно классификации Сведсена, во фьордах Западного Шпицбергена по соотношению солености и температуры выделяются следующие водные массы: атлантическая водная масса (АВ  $t > 3$  °C,  $s > 34,9$  ‰), под которой понимаются воды Западно-Шпицбергенского течения, характеризующаяся высокими значениями температуры и солености; трансформированная атлантическая водная масса (ТАВ  $t > 1$  °C,  $34,7 < s < 34,9$  ‰), образующаяся в результате смешения атлантических и арктических вод; поверхностная водная масса (ПВ  $t > 1$  °C,  $s < 34$  ‰), образующаяся поздней весной и летом под влиянием радиационного прогрева, увеличения объёма материкового стока, таяния морского льда; промежуточная водная масса (ПрВ  $t > 1$  °C,  $34 < s < 34,7$  ‰), формирующаяся в результате смешения поверхностных и атлантических водных масс; локальная водная масса (ЛВ  $t < 1$  °C,  $s < 34,7$  ‰), формирующаяся в осенне-зимний период в результате охлаждения поверхностных и промежуточных водных масс; зимняя охлаждённая водная масса (ЗВ  $t < -0,5$  °C,  $s > 34,3$  ‰), формирующаяся в результате процессов осенне-зимней конвекции и ледообразования.

Весенняя съёмка в заливах Диксонфьорд и Биллефьорд показала те же характерные особенности распределения термохалинных характеристик и водных масс, что и в предыдущие годы (апрель 2012–2014 гг., март 2015 г., март 2020 г., апрель 2022 г., март 2023 г.): гомогенное распределение температуры и солености по вертикали и наличие только одной водной массы – ЗВ. Таким образом, очевидно, процесс атлантификации фьордов, наблюдаемый в Исфьорде и Гренфьорде с 2006 г., пока не оказывает существенного влияния на гидрологический режим этих фьордов. Это в первую очередь, связано с их достаточной удаленностью от района поступления вод атлантического происхождения (горло Исфьорда). В Биллефьорде также на входе существуют два топографических барьера (внешний (70 м) и внутренний (40 м), которые создают дополнительные препятствия для свободного водообмена с Исфьордом.

Аналогично Диксонфьорду и Биллефьорду южной части залива Аусфьорд весной зарегистрировано гомогенное распределение температуры и солености по вертикали и наличие только одной водной массы – ЗВ. Значения температуры составили  $-1,68 \dots -1,8$  °C, солености  $34,6 \text{--} 34,8$  ‰. Так как съёмка в акватории этого фьорда была выполнена впервые, а в литературных источниках отсутствуют данные об измерениях в этой части фьорда в зимний период, сложно сделать вывод насколько типичным является такое распределение термохалинных характеристик для этого времени года.

Съёмка в зал. Грэнфьорд в марте 2024 г. показала присутствие двух водных масс (рис. 3.4): ЛВ от поверхности до 45–55 м, ТАВ от 45–55 м до дна. Присутствие вод атлантического происхождения в Грэнфьорде в это время года фиксировалось и в другие годы: в апреле 2014 г., в марте 2016 и 2017 гг., в апреле 2023 г.

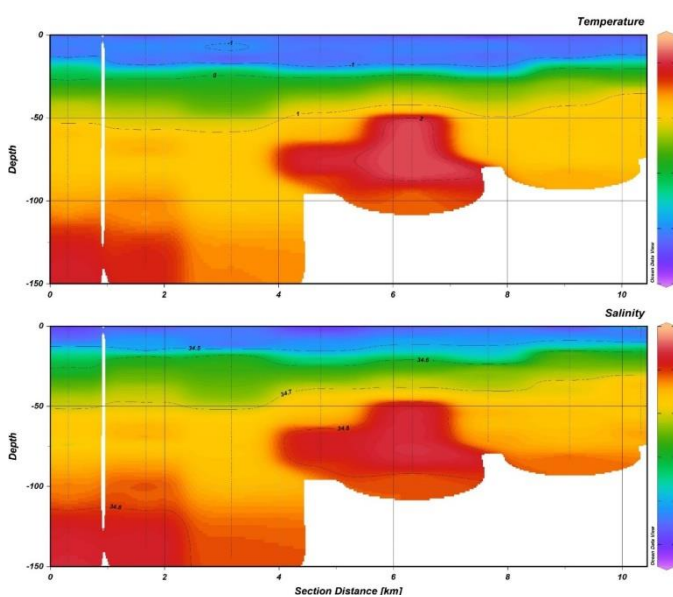


Рисунок 3.4 – Распределение температуры (сверху) и солености (снизу) с севера на юг в зал. Гренфьорд в марте 2024 г.



В сентябре 2024 г. в Гренфьорде было зафиксировано 4 водные массы: ПВ, ПрВ, ТАВ, АВ. Толщина поверхностного слоя достигала 20-30 м, верхняя граница ТАВ располагалась на глубине 50-70 м. АВ наблюдались глубже 100 м. В целом распределение водных масс по глубине в сентябре 2024 г. схоже с результатами, полученными в августе 2023 г.

#### *Гидрохимические и гидробиологические исследования*

Целью гидрохимических исследований было выявить особенности гидрохимической структуры и распределения биогеохимических параметров в заливах Западного Шпицбергена (Грэнфьорд). Для этого проводился отбор проб морской воды на заданных горизонтах (0,10,20,30,50, придонный), химический анализ в химико-аналитической лаборатории, а также определение качественного и количественного состава фитопланктонного сообщества и выявление сезонной изменчивости содержания хлорофилла «а» в фотическом слое. В 2024 г. в связи с неблагоприятными погодными условиями отбор образцов проводился только в зал. Грэнфьорд.

Анализ проб был проведен в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш: были обработаны пробы на общую щелочность методом потенциометрического титрования, определены величины рН, биогенные соединения – силикаты, фосфаты и нитриты, проанализированные методом спектрофотометрии по стандартным методикам. Компоненты карбонатной системы (равновесное парциальное давление углекислого газа  $p\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), а также степень насыщенности воды арагонитом  $\Omega_{\text{Ar}}$  и кальцитом  $\Omega_{\text{Ca}}$  были рассчитаны в программе «Program Developed for CO<sub>2</sub> System calculations» (Robbins et al., 2010). Направление потока углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в системе вода – атмосфера была рассчитана с использованием квадратичной параметризации Ваннинкова (Wanninkhof, 2014) с учетом  $p\text{CO}_2$  в воде, скорости ветра и  $p\text{CO}_2$  в атмосфере. Качественный и количественный состав микроводорослей был определен под световым микроскопом Zeiss Axio Imager A2 с увеличением 40х. Биомасса фитопланктона рассчитана счетно-весовым методом, в основе которого лежит определение объема клеток водорослей. Концентрация хлорофилла «а» (хл-А) была определена спектрофотометрическим методом, в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90.

Видовое разнообразие фитопланктонного сообщества и сезонной изменчивости концентрации хлорофилла «а» показало, что залив Гренфьорд относится к олиготрофным (по Китаеву, 1984) (Неверова-Дзиопак, Цветкова, 2020). Общая численность водорослей составила 300 060 тыс. кл/л, что указывает на значительные различия в распределении микрофлоры в фьорде. Биомасса фитопланктона варьировалась от 0,001 до 0,075 г/м<sup>3</sup> со средним значением 0,018 г/м<sup>3</sup>. Максимальная биомасса была зафиксирована на станции G4-4 (центральная часть залива) в поверхностном слое, где условия, вероятно, способствуют активному росту водорослей. В этой точке содержание кремния мало (1,67-3,5 мкМ/л), что указывает на малую долю речного стока, влияющего на жизнедеятельность микроводорослей.

Всего было выделено 4 систематические группы: Bacillariophyta (11 родов), Dinophyta (8 родов), Haptophyta (1 род) и Ochrophytina (1 род). В поверхностном слое отмечалось преобладание динофитовых водорослей, среди которых выделены 8 родов: единичные клетки Amphidinium, Gymnodinium, Prorocentrum, Scrippsiella и достаточно большое количество Protoperidinium, Diplopsalis, Dinophysis (рис. 3.4а,б), Tripos (Ceratum) (рис. 3.4в). Наибольшим числом видов был представлен род Protoperidinium: *Protoperidinium breve*, *Pr. brevipes*, *Pr. pellucidum*, *Pr. ovatum*, *Pr. pallidum*, *Pr. steinii*, *Pr. bipes*, *Pr. depressum*.

Диатовые водоросли чаще всего обнаруживались на глубине 30 м и были представлены 11 родами, среди которых: Chaetoceros, Thalassiosira, Nitzschia, Fragilariopsis, Cylindrotheca, Skeletonema, Pleurosigma, Licmophora, Eucampia, Navicula и наиболее часто встречаемый род на 30 м Pseudo-nitzschia (рис.3.4г). Также в ходе анализа были идентифицированы единичные клетки кокколитофорид вида *Gephyrocapsa huxley* (*Emiliania huxleyi*), силикофлагелят вида *Octactis speculum* (*Dictyocha speculum*), а также различные

виды Tintinnid (инфузорий) (рис.3.4д.), что хорошо согласуется с другими исследованиями планктонного сообщества (Капустина и др., 2018).

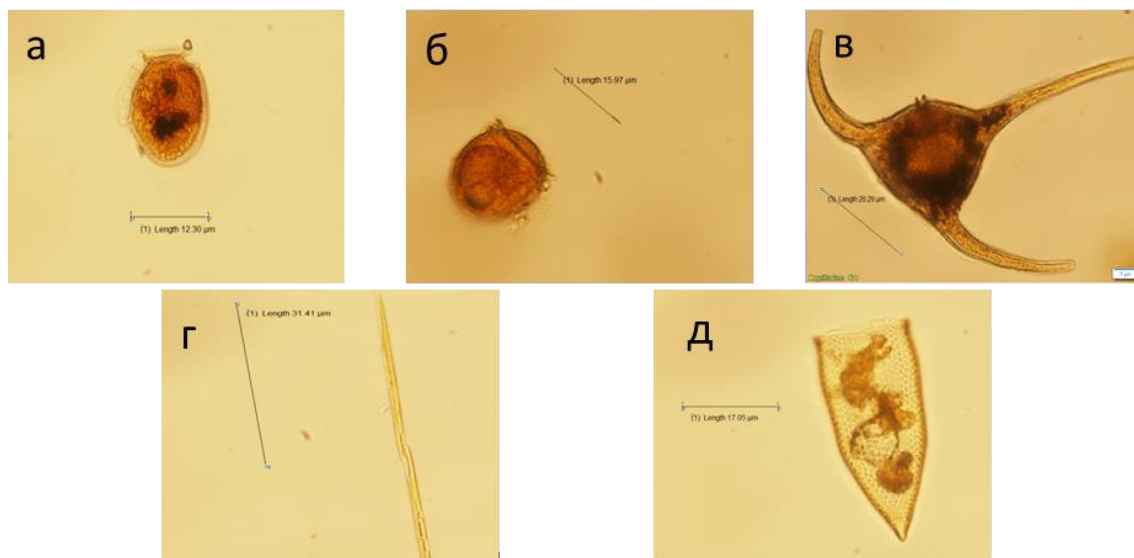


Рисунок 3.4 – Фотографии планктона: а — динофитовая водоросль рода *Dinophysis*, станция G7-6; б — динофитовая водоросль рода *Dinophysis*, станция G6-4; в — динофитовая водоросль рода *Tripos*, станция G6-4; г — диатомовая водоросль рода *Pseudo-nitzschia*, станция G7-6 ; д — Tintinnid, станция G7-6

Содержание хл-А изменялось в широких пределах от 0,22 до 1,5 мг/м<sup>3</sup>, при среднем значении 0,65 мг/м<sup>3</sup>. Наблюдаемые относительно высокие значения хл-А в поверхностном слое (1,5 мг/м<sup>3</sup>) могут свидетельствовать о высокой степени чувствительности экосистемы фьорда к внешним факторам, таким как увеличение питательных веществ, поступающих с речным стоком. Распределение доли феофитина в исследуемый период неоднозначно. Наиболее угнетенное состояние микроводорослей наблюдалось на двух станциях G7-6 (внешний залив, 0 и 30 м) и G4-4 (30 м), где содержание феофитина больше 40% (47 и 50 % соответственно). В остальных районах концентрация феофитина ниже 40%, что характеризует активную фазу развития фитопланктона.

Общая щелочность изменялась от поверхности ко дну в пределах 1000–2250 мкмоль/кг (рис. 3.5). Минимальные концентрации регистрировались во внутренней части Грэнфорда, что связано с влиянием терригенного стока речных долин и ледникового стока. Диапазон значений pH находился в пределах 7,9-8,4 и также изменяется с глубиной. Рассчитанное парциальное давление углекислого газа в воде варьировалось от 200 до 700 мкклатм.

Полученные в 2024 г. данные в целом имеют сходимость с измерениями 2022-2023 гг. В зал. Грэнфорд продукты диссоциации угольной кислоты в виде гидрокарбонатов (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) и карбонатов CO<sub>3</sub><sup>-</sup> в среднем составили 1915 мкмоль/кг и 95 мкмоль/кг соответственно. Воды достаточно насыщены арагонитом (при ΩAr>1), такая среда благоприятно способствует образованию карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>), раковин и скелетов. Рассчитанные концентрации растворенного CO<sub>2</sub> варьируются от 9 до 40 мкмоль/кг. В Грэнфорде оценки потока CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) проводились при низких скоростях ветра (<3 м/с) и было выявлено незначительное поглощение CO<sub>2</sub> из атмосферы, FCO<sub>2</sub> составил -0,007 ммоль м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>.

Таким образом в сентябре 2024 г. в заливе Грэнфорд наблюдалось снижение скорости поглощения CO<sub>2</sub> при сравнении с данными FCO<sub>2</sub> предыдущих лет (-1,52...-4,76 ммоль м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup> в 2022-2023 гг.). Основная часть терригенного стока поступала во внутреннюю часть Грэнфорда (ст. G0-2), где осуществлялась ее трансформация в морских водах. Было выявлено уменьшение pCO<sub>2</sub> и увеличение pH в связи с активизацией фотосинтетической деятельности фитопланктона. Повышенная биопродуктивность для этого периода года вызвана активным прогревом поверхностного слоя и поступлением

пресноводного стока, способствующего более интенсивному потреблению  $\text{CO}_2$ , увеличению щелочности вод.

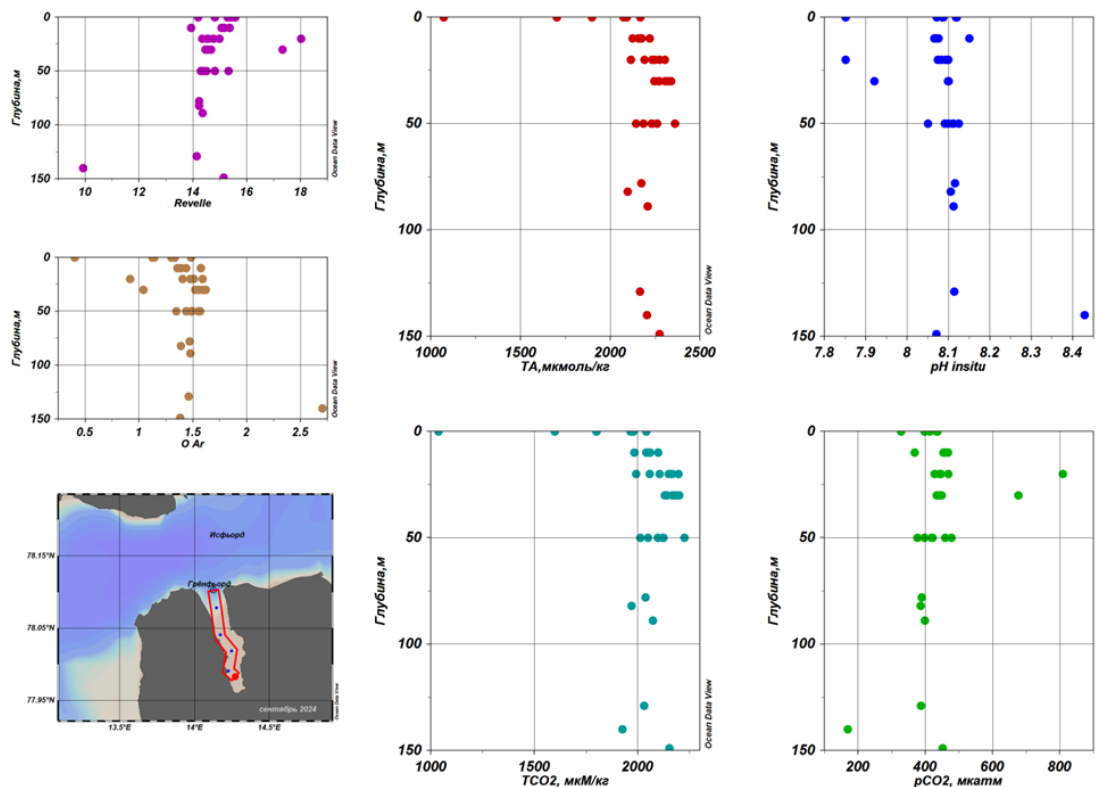


Рисунок 3.5 – Распределение карбонатных параметров в заливе Грэнфьорд, 07.09.2024

Содержание биогенных компонентов контролировалось их потреблением фитопланктоном и характеризовалось подповерхностным минимумом в слое скачка, и одновременно отображало влияние речных водных масс, поступающих в заливы. Речные воды характеризуются минимальными концентрациями фосфатов и нитритов и высоким содержанием силикатов, поэтому в зоне их влияния в поверхностном слое воды в заливе наблюдался максимум силикатов. Повышенное содержание нитритов в придонном слое указывало на процессы разложения органического вещества, поступившего туда за летний период.

Воды архипелага характеризуются достаточной степенью насыщенности арагонитом. Данный показатель является важным для оценки морской экосистемы в условиях асидификации, так как арагонит выступает в роли строительного материала для большого числа морских организмов: кораллов, моллюсков. В целом морская экосистема Грэнфьорда обладает высокой буферной ёмкостью и устойчива к воздействию внешних факторов. Это подтверждается значениями фактора Ревеля, отношением между частичным изменением  $p\text{CO}_2$  и изменением содержания растворенного неорганического углерода, от 10 до 18. Принятые нормальные значения для морской воды 8-20, с увеличением фактора Ревеля снижается буферная емкость океана и быстрее изменяться  $p\text{CO}_2$  в воде. На данный момент этого не наблюдается.

По данным ведущихся исследований сделаны доклады на конференциях «Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане и внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка» (Москва, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва 27-29.02.2024. и VII Всероссийская научная конференция молодых учёных «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО -2024, Владивосток, 13-17.05.2024) и опубликованы статьи:

Алексеева Н.К., Никулина А.Л., Блошкина Е.В., Рыжов И.В., Новихин А.Е., Махотин М.С. Биогеохимические особенности заливов Западного Шпицбергена // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VIII Всероссийской научной конференции

молодых ученых, г. Владивосток, 13–17 мая 2024 г. Владивосток: Приморский океанариум – филиал Национального научного центра морской биологии ДВО РАН, 2024, DOI:10.29006/978-5-6045110-3-9., С.453.

Алексеева Н.К., Никулина А.Л., Блошкина Е.В., Швед Я.В., Рыжов И.В., Новихин А.Е., Махотин М.С. Биогеохимические характеристики поверхностного слоя и потоки CO<sub>2</sub> в системе океан-атмосфера в заливах Западного Шпицбергена // Морской гидрофизический журнал. В печати.

Литература:

Капустина Л. Л., Павлова О. А., Родионова Н. В. Планктонные сообщества двух фьордов О. Западный Шпицберген // Труды КарНЦ РАН. 2018. №1.

Неверова-Дзюпак Е., Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография // СПбГАСУ. – СПб., 2020. С.18-22.

Robbins, L.L., Hansen, M.E., Kleypas, J.A. and Meylan, S.C. CO<sub>2</sub>calc – A user-friendly seawater carbon calculator for Windows, Mac OS X, and iOS (iPhone). Reston: U.S.: Geological Survey, 2010. 17 p.

Wanninkhof, R. (2014). Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited // Limnology and Oceanography: Methods, 12(6), 351-362.

Мероприятие 3 выполнено полностью.

#### **Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена**

Основная цель исследований – комплексные наблюдения для определения балансовых характеристик, внутреннего строения и временной динамики ледников юго-западной части Шпицбергена в рамках темы 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» направления 5.1 Плана НИТР/ОПР Росгидромета на 2020-2024 гг. Исследования строения, термического состояния и динамики ледников выполняются также в сотрудничестве с Институтом Географии РАН.

В 2024 г. работы велись по трем направлениям: измерение сезонной абляции на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд, геодезические измерения на ледниках Альдегонда, Западный Грэнфьорд, Вёринг, Дальфонна, изучение состояния и динамики оледенения в районе пос. Баренцбург (Земля Норденшельда) и пос. Пирамида (Земля Диксона), необходимых для построения системы долгосрочных наблюдений за изменениями морфометрических и гидротермических параметров ледников и подстилающих их пород.

Задачи исследований в 2024 г. включали:

– измерения баланса массы ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд в 2023–2024 балансовом году гляциологическим методом, наблюдения за ходом абляции и изменениями высоты снеговой линии на ледниках;

– инспекция, при необходимости восстановление геодезических пунктов, заложенных в 2018–2019 гг. для проведения спутниковой топографической съёмки;

– проведение топографической съёмки на поверхности ледников Альдегонда, Вёринг и Дальфонна Восточный и в ближайших их окрестностях (там, где края ледников располагались по состоянию на 2018–2019 гг.);

– сквозное термобурение 2-х скважин (ориентировочно 140 и 80 метров) на участках ледника Альдегонда с наличием тёплого и только холодного льда. Установка в пробуренные скважины термокос (на всю глубину) сроком на 1 год и более;

– термобурение скважины и суточные измерения температуры на леднике Фритьоф в точке с известным распределением скоростей (точке ОГТ);

– определение мощности, термического состояния и изучение подлёдного ложа ледников в районе пос. Пирамида (ледники Йотунфонна, Кайусбрин, Гонвильбрин);

- определение скоростей распространения электромагнитной волны методом ОГТ в ледниках с различными гидротермическими характеристиками (ледник Альдегонда);
- определение мощности, термического состояния и изучение подлёдного ложа ледников в районе п. Баренцбург (ледники Альдегонда, Западный Грэнфьорд).

*Расходная составляющая бюджета массы ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд*

Полевые работы проводились с июля по сентябрь. Заброска в район исследования из посёлка Баренцбург осуществлялась на моторной лодке, далее пешие маршруты. На рисунке 4.1 приведены районы проведения исследовательских работ. Исполнители: Терехов А.В. и Демидов В.Э.

Для наблюдений уровневых рек было совершено 6 маршрутов на ледник Альдегонда и 5 на ледник Западный Грэнфьорд. В течение сезона абляции на ледниках забуривались новые рейки, параллельные тем, которые практически вытаяли. В 2024 г. наблюдения были дополнены геодезическими измерениями л. Альдегонда и л. Западный Грэнфьорд, Дальфонна Восточный и Вёринг.

Вследствие быстрого отступления ледников из наблюдений на леднике Альдегонда с 2017 г. исключена рейка №11, а на леднике Западный Грэнфьорд рейка №1, которые находились на высотах 157 м и 36 м соответственно. С 2023 г. на леднике Альдегонда исключены вытаявшие на морену рейки №2 и №15 (высоты 209 м и 173 м соответственно). С августа 2024 года на леднике Западный Грэнфьорд перенесена выше по уклону вытаявшая рейка №2. Данные наблюдений и исключение рек из сетки наблюдения свидетельствует о выраженной деградации ледника Альдегонда и существенного отступления ледника Западный Грэнфьорд. Снег на момент начала наблюдений 13.07.2024 на л. Западный Грэнфьорд располагался только в трещинах. На леднике Альдегонда на момент начала наблюдений 11.07.2024 снег отсутствовал.

Изучение баланса ледниковой массы (прихода и расхода массы снега и льда на леднике за определенное время) является важной гляциологической задачей, хорошо описывающей климатические изменения. Летний баланс массы – это уменьшение массы от максимума снегонакопления, приходящееся на зимний период, до конца сезона таяния – на рах. Шпицберген с июня по конец сентября – начало октября. За этот период формируется

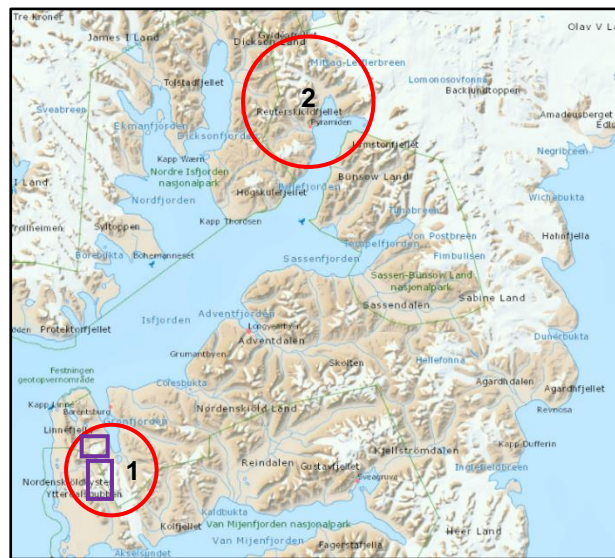


Рисунок 4.1 – Районы проведения гляциологических массбалансовых наблюдений (фиолетовые полигоны) и термобуровых и георадиолокационных исследований (красные полигоны) 2024 г.: 1 – район вблизи п. Баренцбург (ледники Фритёф, Альдегонда, Западный Грэнфьорд), 2 – район вблизи п. Пирамида (ледники Йотунфонна, Кайусбрин, Гонвилбрин)

Таблица 4.1 – Расчётные объёмы поверхностной абляции л. Альдегонда

Высота, м	Ср, мм в.э.	Площадь, км <sup>2</sup> GNSS 2024	Ср, мм в.э. GNSS	W 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> в.э GNSS
100-200	2915	0	0	0,00
100-250	3447	1,9	2961	5,63
250-300	2679	1,735	2617	4,54
300-350	2573	0,645	2484	1,60
350-400	2118	0,455	2118	0,96
>400	2228	0,265	2232	0,59
<b>Сумма</b>		<b>5</b>		<b>13,32</b>

Таблица 4.2 – Расчётные объёмы поверхностной абляции на л. Западный Грэнфьорд

Высота, м	Ср, мм в.э.	Площадь, км <sup>2</sup> GNSS	W 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> в.э.
0-100	4370	0,89	3,87
100-200	3435	1,95	6,71
200-300	2913	4,14	12,05
300-400	2254	5,24	11,80
>400	2153	4,20	9,05
<b>Сумма</b>		<b>16,42</b>	<b>43,50</b>



новая летняя поверхность. Наибольший вклад в уменьшение ледниковой массы вносит поверхностная абляция. В данном случае под «абляцией» понимается расход поверхностной ледниковой массы путем таяния и испарения, в основном под влиянием солнечной радиации, тепла атмосферного воздуха и выпадающих осадков.

Результаты наблюдений поверхностной абляции в 2024 г. свидетельствуют о неравномерном таянии ледниковой поверхности при соблюдении основной тенденции уменьшения абляции с увеличением высоты. В целом, максимальное таяние на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд приходилось на вторую половину июля-первую половину августа. В 2024 году особенно активно таяние шло в августе. Это связано, прежде всего, с наблюдавшимися в этот период максимумами среднесуточной температуры воздуха, которая является ведущим фактором абляции.

Для измерения общих объемов поверхностной абляции в ArcGIS с использованием снимков со спутника Sentinel-2 была рассчитана общая площадь л. Альдегонда и Западный Грэнфьорд и доли площадей их различных высотных уровней. Высоты рек были пересчитаны исходя из данных GNSS топоъемки 2024 г. и 2019 г. соответственно. На основании данных по усредненной абляции в пределах разновысотных уровней был составлен расчет объемов поверхностной абляции (табл. 4.1 и 4.2). Итоговый общий объем абляции на леднике Альдегонда в период с сентября 2023 года по сентябрь 2024 года составил 13,32 млн. м<sup>3</sup> в. э., при этом зона абляции занимает все высотные уровни. На леднике Западный Грэнфьорд общий объем абляции за то же время составил 43,5 млн. м<sup>3</sup> в. э. Это наибольшие величины, зарегистрированные за весь период наблюдений (рис. 4.2).

Данные АМС НОВО, установленным у нижней и верхней границ л. Альдегонда отчетливо показывают пик температуры воздуха в конце июля – августе (см. рис. 1.13). Пик 2024 г. значительно превышает среднегодовую норму, что объясняет рекордную суммарную абляцию на ледниках бассейна залива Грэнфьорд в сезоне 2023-2024 гг.

#### Гляцио-геодезические исследования

В целях выполнения гляцио-геодезических работ на ледниках в окрестностях Баренцбурга отрядом было шесть полевых выходов: 4, 6 и 9 августа — на ледник Альдегонда,

11 августа — в долину Холлендер, 12 августа — на ледники Дальфонна Восточный и Западный Грэнфьорд, 15 августа — на ледник Вёринг. Наземная топографическая съемка ледников проводилась при помощи комплекта ГНСС-приёмников Sokkia GRX2 (2 шт.) и полевого контроллера Juniper Archer 2 методом кинематики с пост-обработкой в программе Topcon Office. Съёмка проводилась маршрутами вдоль характерных линий рельефа, таким образом, чтобы расстояние между соседними профилями составляло 50–150 м. Маршруты съемки совпадали с аналогичными профилями при предыдущей съемке 2018 г., за исключением тех областей,

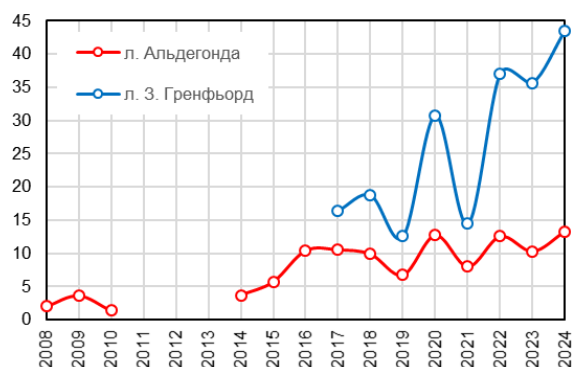


Рисунок 4.2 – Годовая поверхностная абляция на ледниках Альдегонда и Зап. Грэнфьорд, млн.м<sup>3</sup> в.э

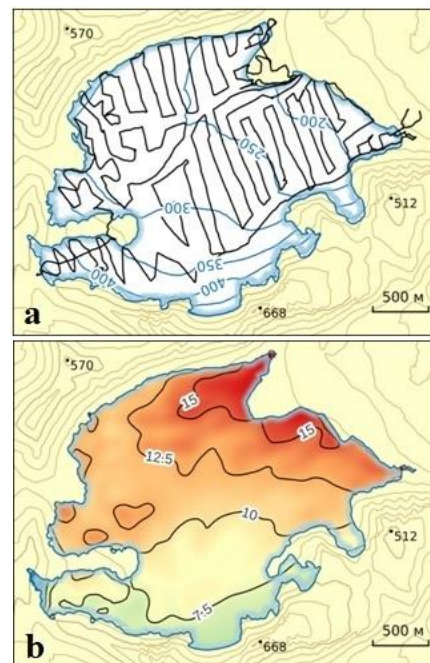


Рисунок 4.3 – (а) маршруты топографической съёмки на леднике Альдегонда в 2024 г. (б) снижение поверхности ледника Альдегонда в метрах относительно 2018 г.

где этому препятствуют водотоки или другие препятствия, затрудняющие пешее передвижение.

Общая длина профилей на леднике Альдегонда составила 45,0 км (рис.4.3). Площадь видимой поверхности ледника на момент съёмки составила 5,0 км<sup>2</sup>, что на 0,6 км<sup>2</sup> меньше, чем в 2018 г. Самая нижняя точка на краю ледника расположена у правого (южного) борта долины и имеет высоту 125 м над уровнем моря (эквивалентно 158 м над эллипсоидом WGS84). У левого борта высота края ледника составила около 170 м над у.м. Снежный покров на момент съёмки практически полностью отсутствовал: единственный участок с сохранившимся снегом был расположен в южной части у перегиба склона на высоте около 340–350 м, охватывая площадь в 0,035 км<sup>2</sup>, т.е. менее 1% от общей площади ледника.

Для вычисления изменений высоты поверхности ледника с 2018 г. использовано 7980 точек съёмки. По результатам предварительной обработки, поверхность ледника Альдегонда снизилась на величину до 19 метров (на самом краю языка в низовьях), а в геометрическом центре, рядом с абляционной рейкой номер 18 – на высоту около 11 метров (рис. 4.3b). Увеличения высоты поверхности нигде не зафиксировано. Среднее по площади снижение поверхности составило 11,0 м. Если принять плотность стаявшего слоя льда 850 кг м<sup>-3</sup>, то эта величина будет эквивалентна геодезическому балансу массы в –9,35 м в.э. (для периода 2018–2024 гг.). Также топосъёмка дала возможность уточнить площади высотных зон, используемых для расчёта среднего по леднику баланса массы гляциологическим методом: доля от общей площади ледника тех высотных диапазонов, которые расположены выше отметки 250 м над уровнем моря, сократилась.

Длина профиля на леднике Западный Гренфьорд составила 6,45 км, длина маршрутов на леднике Дальфонна Восточный — 10,9 км. На рис. 4.4 показано снижение поверхности Дальфонна Восточный, полученное вычитанием цифровых моделей рельефа, основанных на двух последовательных топографических съёмках, 2019 и 2024 г.

Топографическая съёмка на леднике Вёринг показала, что площадь видимой поверхности около 0,60 км<sup>2</sup>, что на 0,15 км<sup>2</sup> меньше, чем по состоянию на 2019 г. Снижение поверхности ледника за 2019–2024 гг. показано на рис.4.5: наименьшие потери льда наблюдаются на юге, где поверхность затенена скальным обрамлением, а максимальные ожидаемо зафиксированы в восточной, наиболее низко расположенной части ледника. В связи с быстрой потерей льда на самом краю языка, в последующие годы Вёринг полностью отступит за ригель своей основной котловины, и следует ожидать перехода ледника от карово-долинного к каровому морфологическому типу.

Полученные результаты топографических съёмок в общем согласуются с данными, полученными гляциологическим методом по измерениям абляционных рек. Все ледники в районе Баренцбурга подвержены деградации, баланс их массы ежегодно отрицателен, что приводит как к стремительному сокращению площадей, так и снижению поверхности (уменьшению объема) ледников.

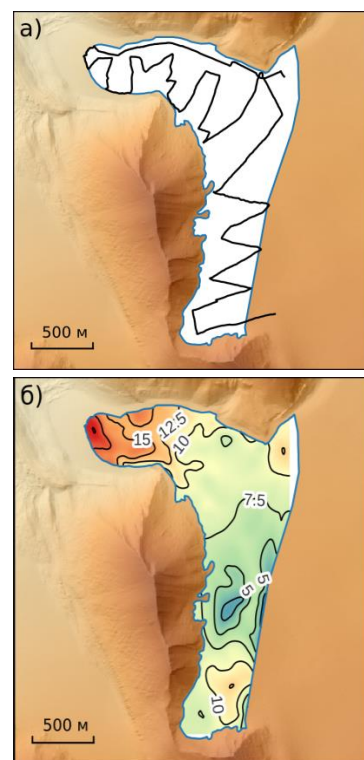


Рисунок 4.4 – Маршруты топографической съёмки на леднике Дальфонна Восточный в 2024 г. (а) и снижение поверхности ледника в метрах относительно 2019 г.

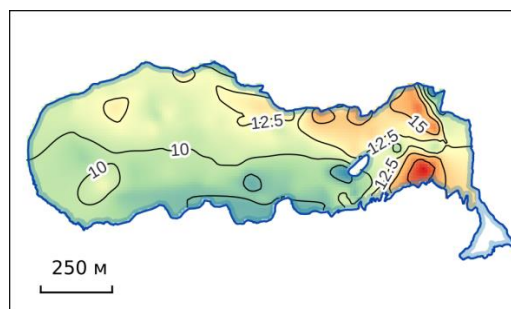


Рисунок 4.5 – Снижение поверхности ледника Вёринг в метрах относительно 2019 г.

## Георадиолокационные и термобуровые исследования

Полевые исследования выполнялись с 13.03. по 18.04.2024 при устойчивых отрицательных температурах и до начала таяния снежного покрова коллективом из 4 человек под руководством А.Л. Борисика и В.В. Харитонова и при поддержке сотудников зимовочного состава РАЭ-Ш. Район работ и объем полевых работ представлены на рис. 4.1 и в табл. 4.3.

Для георадиолокационных измерений использовался комплект аппаратуры Pulse ЕККО Pro с антенной 50 МГц, для привязки получаемых данных – комплект геодезической аппаратуры (ГНСС система) Sokkia GRX2, работавший в режиме RTK и позволявший получать высокоточные координаты непосредственно в ходе перемещения по профилям. В процессе измерений, оборудование, размещённое в специальных саях, перемещалось по заранее размеченному профилю при помощи снегохода со скоростью 4–7 км/ч, каждая трасса получаемой радарограммы привязывалась с помощью приёмника ГНСС. Шаг съёмки при профилировании составлял 0,5 м, при работе методом ОГТ 2 м.

В период с 20 марта по 2 апреля были пробурены 3 скважины на ледниках Альдегонда и Фритьоф. Термобурение на ледниках выполнялось в заранее выбранных по данным георадиолокации точках при помощи установки для термобурения УВБЛ-2, предназначенной для бурения скважин во льду горячей водой с возможностью записи параметров бурения (рис. 4.6). Непосредственно после бурения в скважины №1 и №2 на леднике Альдегонда были установлены термокосы на всю глубину скважин с периодом измерений 1 раз в 6 часов. На леднике Фритьоф термометрическая коса была установлена на глубину 75 м временно.

Первые результаты термометрии хорошо согласуются с данными георадиолокации (рис. 4.7). Так, в скважине №1, находящейся в области холодного льда температура постепенно повышается от -6 – -5°C вблизи поверхности до -0,4°C на ложе. В скважине №2, расположенной в области распространения тёплого льда, схожий рост температуры продолжается до зоны интенсивных отражений на глубине около 85 м, соответствующей границе холодного и тёплого льда. Ниже температура остаётся практически постоянной и составляет около -0,1°C. Также в интервале глубин 65-95 м отмечено относительно интенсивное понижение температуры до -0,3°C вблизи границы холодный-тёплый лёд за апрель-сентябрь 2024 г. (рис. 4.8). Сравнивая температуры в общем интервале глубин двух скважин, можно отметить, что несмотря на более высокое положение скважины №2 над уровнем моря, температура льда в ней на 0,3-0,5°C выше, чем в скважине №1.

Таблица 4.3 – Перечень полевых работ весной 2024 г.

Объект	Объем наблюдений, пог. м
Ледник Альдегонда	
Скв. №1 (77,974185° 14,033751°)	75,5 м
Скв. №2 (77,963975° 14,059907°)	136,4 м
Ледник Фритьоф	
Скв. №3 (77,859919° 14,339244°)	75,0 м
Ледник Йотунфонна	61302
Ледник Кайусбрин	12701
Ледник Гонвильбрин	13601
Ледник Альдегонда	11598 2 точки ОГТ
Ледник Западный Грэнфьорд	15768



Рисунок 4.6 – Термобуровые работы на скважине №2 на леднике Альдегонда и установка термокосы



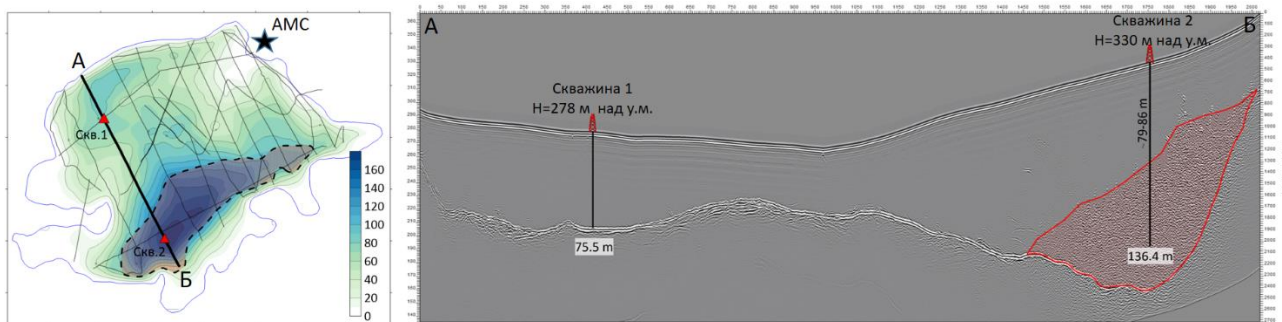


Рисунок 4.7 – Положение скважин №1 и №2 на карте глубин ледника Альдегонда (слева) и георадиолокационный профиль по линии АБ с нанесённым положением скважин и областью распространения тёплого льда (справа)

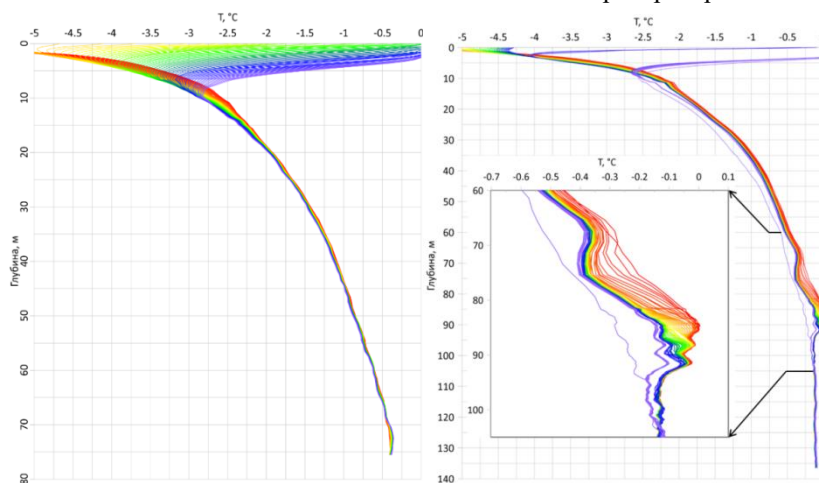


Рисунок 4.8 – Температурные кривые за период апрель-сентябрь 2024 г. в скважине 1 (слева) и скважине 2 (справа). На врезке показан диапазон глубин интенсивного понижения температуры в интервале 65-95 м вблизи границы холодный-тёплый лёд

Дополнительно, вблизи скважин выполнены измерения по методу ОГТ. Данный вид измерений позволяет с высокой точностью определять среднюю и интервальную скорость распространения электромагнитной волны во льду, напрямую зависящую от содержания в нём воды. На рис. 4.9 показано сопоставление полученных интервальных скоростей с температурными кривыми в скважинах.

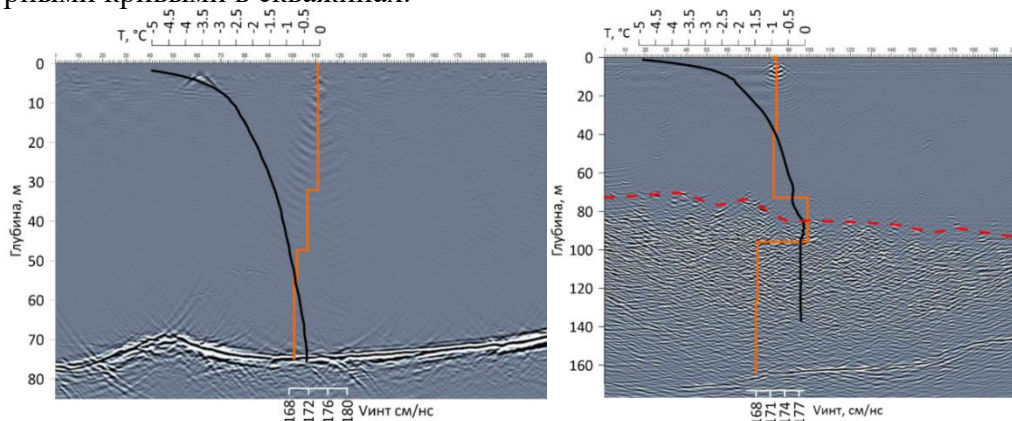


Рисунок 4.9 – Георадиолокационные разрезы через скважину 1 (слева) и скважину 2 (справа). Чёрная линия – температурные кривые в скважинах в день выполнения измерений ОГТ, оранжевая линия – графики интервальной скорости, красный пунктир – граница холодный – тёплый лёд

В скважине 1 отмечено монотонное понижение интервальной скорости от 174 см/нс у поверхности до 169 см/нс на ложе. Данные значения типичны для холодного льда, что подтверждается полученной температурной кривой и отсутствием локальных отражений внутри ледника, характерных для тёплого, водосодержащего льда. В скважине 2 с поверхности и до глубины около 70 м, интервальные скорости составляют около 172 см/нс, что также соответствует холодному льду. В интервале глубин 70-95 м, отмечен положительный скачок скорости до значения 179 см/нс, который соответствует зоне

интенсивного понижения температуры вблизи границы холодный-тёплый лёд (см. рис.4.9, врезка). Ниже 95 м скорость понижается до значения 168 см/нс, являющегося переходным между холодным и тёплым льдом и остаётся практически постоянной до ложа ледника. При этом температура также практически не меняется до забоя скважины, составляя  $-0,1^{\circ}\text{C}$ .

Обобщая данные полученные в весенне-летний период можно отметить хорошую корреляцию между данными термометрии и георадиолокации, подтверждающую двухслойную гидротермическую структуру ледника. Отмеченное интенсивное понижение температуры в весенний период вблизи границы холодный-тёплый лёд, позволяет сделать предположение о сезонной изменчивости данной границы связанной с поступлением воды в толщу ледника.

Основные усилия по расширению сети долговременных наблюдений за состоянием ледников были сосредоточены на ледниках Земли Диксона, где выполнены измерения на ледниках Йотунфонна, Кайусбрин и Гонвилбрин (рис. 4.10), которые, вместе с результатами работ 2022-23 годов существенно расширяют репрезентативность полученных данных на этой территории и позволяют сопоставить внутреннюю структуру изученных ледников с расположенными западнее ледниками Земли Норденшельда, исследованными в 2018-2022 годах.

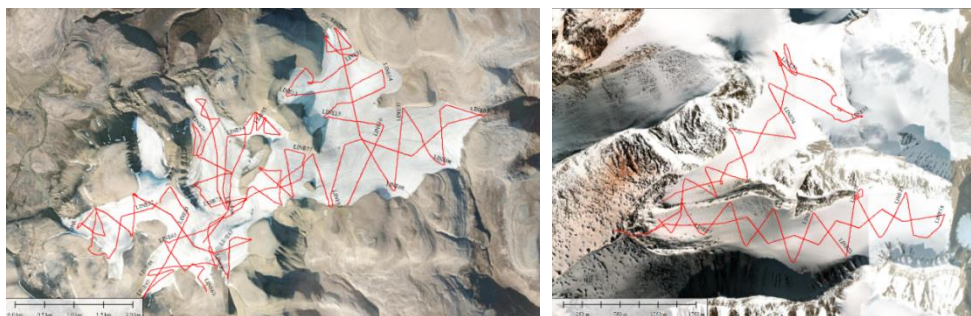


Рисунок 4.10 – Сеть наблюдений на ледниках Йотунфонна (слева) и Кайусбрин, Гонвильбрин (справа)

По результатам предварительной обработки полученных данных, максимальная измеренная толщина ледника Йотунфонна достигает 130-140 м, а ледников Кайусбрин и Гонвилбрин 90-100 м. Поскольку на полученных георадиолокационных разрезах отсутствуют области интенсивных отражений внутри ледников, можно предполагать, что они имеют преимущественно холодное строение. Данные по этим ледникам получены впервые и впоследствии войдут в сеть комплексного изучения ледников Земли Диксона.

Дополнительно, с целью определения изменения внутренней структуры ледников, выполнены повторные георадиолокационные измерения на леднике Западный Грэнфьорд, полученные с интервалом 14 лет. По результатам обработки нескольких профилей отмечено отступление фронта тёплого ядра ледника вместе с фронтом ледника, а также относительно более интенсивное таяние ледника с поверхности, по сравнению с понижением границы холодный-тёплый лёд (рис. 4.11). После выполнения обработки всех профилей, планируется публикация по теме изменения внутренней структуры ледников Земли Норденшельда.

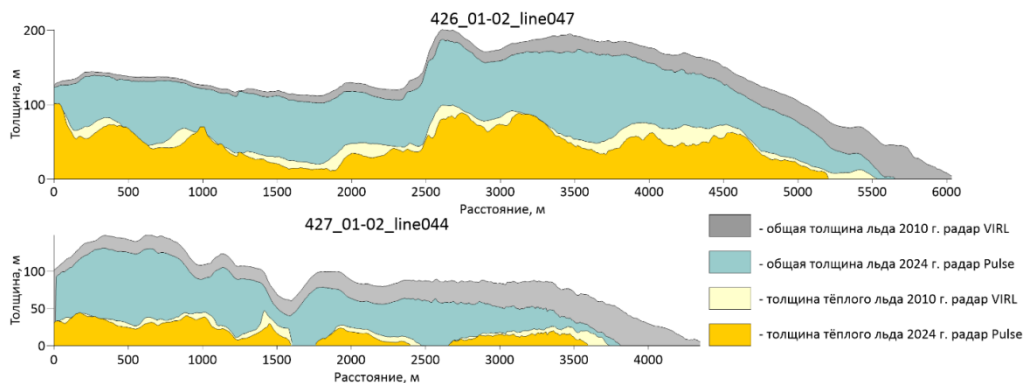


Рисунок 4.11 – Толщины льда на леднике Западный Грэнфьорд полученные с интервалом 14 лет

Данные о глубинах исследованных ледников отправлены в международную базу данных Всемирной службы мониторинга ледников GTN-G, GlaThiDa (Zurich, Switzerland) и будут опубликованы в ближайшем релизе.

Результаты гляциологических исследований представлены на конференциях:

Борисик А.Л., Лаврентьев И.И., Судакова М.С. Первые результаты георадиолокационного зондирования методом ОГТ ледников Земли Норденшельда. Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане и внутренних водах. 27-29 февраля 2024 года, Москва.

Борисик А. Л. Строение ледников Шпицбергена по данным георадиолокационного зондирования. Научно-деловая конференции POLAR 2024 16 мая 2024 года, Санкт-Петербург.

Борисик А.Л., Новиков А.Л., Харитонов В.В. Термическое состояние ледника Альдегонда по данным георадиолокации и термометрии глубоких скважин. Первые результаты. XVIII гляциологический симпозиум «Гляциосфера Земли – состояние, изменение и взаимодействие её компонентов» 8-11 октября 2024 г., г. Сочи.

Лаврентьев И.И., Борисик А.Л., Мачерет Ю.Я., Судакова М.С. Изменение гидротермической структуры политермического ледника Фритьоф на Шпицбергене по данным повторных радиолокационных измерений. XVIII гляциологический симпозиум «Гляциосфера Земли – состояние, изменение и взаимодействие её компонентов» 8-11 октября 2024 г., г. Сочи

Мероприятие 4 выполнено полностью.

## Мероприятие 5. Палеогеографические исследования

Основной целью исследований 2024 г. являлся отбор и обработка полевых материалов для выполнения палеогеографических реконструкций для западной части Земли Оскара II, северо-восточной части о. Земля Принца Карла и Земли Норденшельда (о. Западный Шпицберген) (рис. 5.1). Предшествующие полевые и аналитические исследования четвертичных отложений различных районов архипелага Шпицберген показали высокую информативность получаемых данных для выявления основных параметров и механизмов изменения климата и природной среды района за последние тысячелетия. Исследования проводились в рамках темы 3.2 «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга» Плана НИТР Росгидромета на 2020–2024 гг.

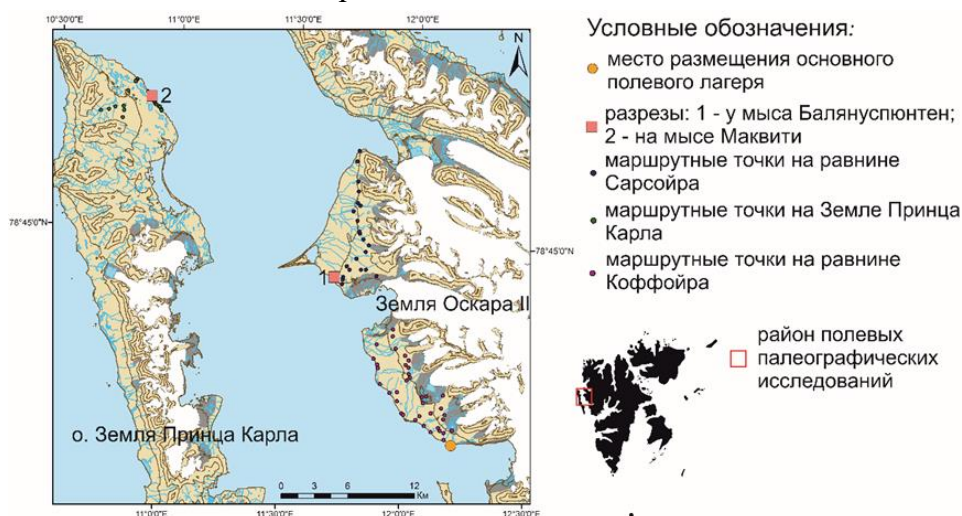


Рисунок 5.1 – Районы и маршрутные точки палеогеографических исследований в 2024 г.

В рамках полевых работ в июле-сентябре 2024 года выполнялись следующие задачи:



- изучение и детальное описание рельефа в северо-восточной части Земли Принца Карла и западной части Земли Оскара II;
- изучение морских террасовых уровней, отбор проб морских отложений на различные типы анализов в районах исследования;
- изучение крупных обнажений – ключевых разрезов, описание их литологии и отбор образцов;
- отбор поверхностных образцов в рамках биоиндикационных исследований для создания наиболее достоверных реконструкций растительности и климата.

Аналитические исследования включали обработку полученных результатов полевых работ, радиоуглеродное датирование, диатомовый и спорово-пыльцевой анализы.

Полевые наблюдения в западной части Земли Оскара II и северо-восточной части Земли Принца Карла выполнялись Фомичевой Е.Д. совместно с сотрудниками отдела геологического картирования ФГБУ «ВНИИОкеангеология» с 10.07 по 27.08.24. Аналитические исследования проводились в «Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» СПбГУ (радиоуглеродное датирование), химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш (диатомовый анализ, Фомичева Е.Д. 28.08-06.09.24) и отделе географии полярных стран ФГБУ «АНИИ» (Соловьева Д.А., обработка полевых и аналитических данных, спорово-пыльцевой анализ).

*Полевые палеогеографические и геоморфологические исследования в западной части Земли Оскара II и северо-восточной части о. Земля Принца Карла*

Исследования были направлены на сбор материала для последующего проведения реконструкций изменения окружающей среды в районах архипелага Шпицберген в плейстоцене - голоцене. Работы включали в себя пешие маршруты с изучением особенностей рельефа и наземных четвертичных отложений. Всего было выполнено 19 маршрутов, из них: 8 маршрутов по равнине Коффейра, 3 маршрута по равнине Сарсойра и 8 маршрутов в северо-восточной части Земли Принца Карла, описаны 75 точек наблюдения, расчищены и изучены 6 разрезов отложений, отобраны 153 образца: 9 проб на

радиоуглеродное, 3 на уран-ториевое (U-Th) и 6 проб на ОСЛ-датирование, 7 проб на малакофаунистический, 7 проб на спорово-пыльцевой, 56 проб на диатомовый и 64 пробы на фораминиферовый анализ, 1 поверхностная проба.

Изучение моренных комплексов ледника Элисбрин выполнялось с целью определения локальных механизмов приледникового рельефообразования и выявления реликтов морских террасовых уровней и источников моренного материала. Для этого подробно описывался рельеф приледниковых комплексов – моренные холмы и гряды, озерно-ледниковые террасы, зандровые равнины, проводился отбор раковин моллюсков для определения

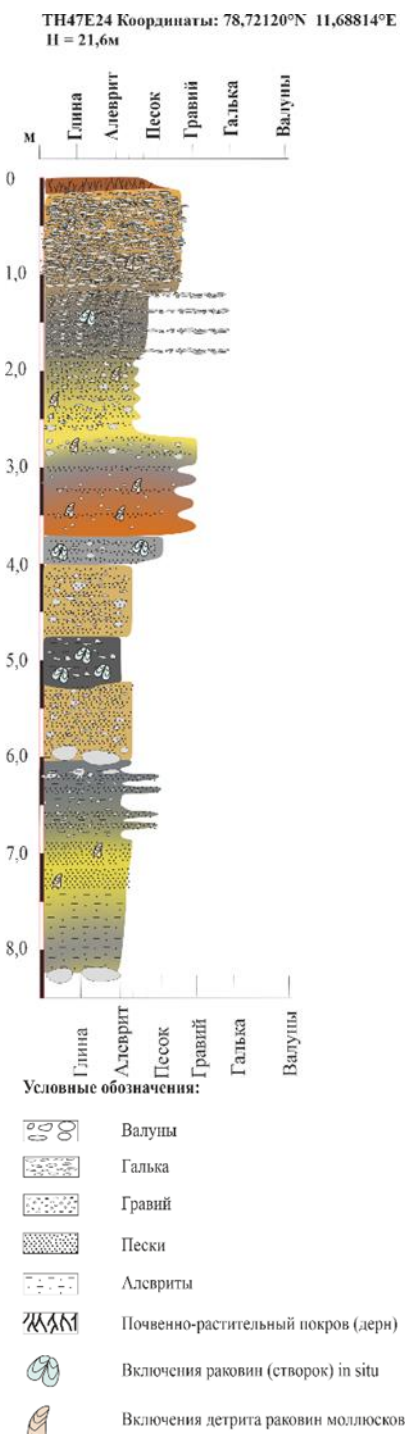


Рисунок 5.2 – Литологическая колонка разреза морской террасы у мыса Бялхуспонтен

видового состава и возможного выявления возраста источников сноса.

В северо-восточной части Земли Принца Карла производилось изучение отложений м. Маквити. Обнажение представляет собой 3-километровый абразионный уступ, высотой 15-20 м, сложенный позднеплейстоценовым ледниково-морским галечно-валунным материалом и морскими песками, галечниками, которые перекрываются галечно-валунными морскими осадками позднеплейстоценового-раннеголоценового времени. В ходе проведенных работ в толще морских отложений обнаружена неописанная ранее пачка. Для получения наиболее детальных реконструкций палеобстановок за последние 70+-10 тыс. лет было проведено пикетирование через каждые 100 м, отобраны образцы на фораминиферовый, диатомовый анализ. Для наиболее точной геохронологической привязки отобраны образцы на уран-ториевое, радиоуглеродное и ОСЛ-датирование. Также из толщи песков морского генезиса извлечены костные останки, вероятнее всего сухопутного млекопитающего, *in situ*.

В западной части Земли Оскара II на равнине Сарсойра у мыса Балянупюнтен изучены морские голоценовые и позднеплейстоценовые отложения. Обнажение представляет собой абразионно-аккумулятивную террасу высотой 20-25 м и сложенную гравийниками, песками и алевритами морского генезиса, которые залегают на третичных слюдистых глинах (рис. 5.2). Впервые были отобраны из нижней части разреза образцы на ОСЛ-датирование, а также на диатомовый анализ. Также для наиболее точной геохронологической привязки отобраны образцы на уран-ториевое и радиоуглеродное датирование.

В результате проведенного комплекса работ были получены новые данные о геоморфологии и строении покрова четвертичных отложений для северо-восточной части Земли Принца Карла и западной части Земли Оскара II. Во время работ проводилась геоморфологическая съемка с фиксацией морфологии и предположительного генезиса основных форм микро- и макрорельефа.

В пределах равнин Коффойра и Сарсойра на Земле Оскара II, а также в северо-восточной части Земли Принца Карла были исследованы морские террасовые уровни, которые имеют хорошую выраженность в рельефе и представлены комплексами аккумулятивно-абразионных и абразионных террас. На равнине Коффойра прослежены морские террасовые уровни на отметках 3-6, 10, 19-23, 35-42, 60 м, на равнине Сарсойра выделена серия морских террасовых уровней: 7, 15-25, 30-40, 45-50; в северо-восточной части Земли Принца Карла на равнине Абердинфлюа отмечены комплексы морских террас на уровнях: 18-20 м и фрагментарно на отметках 30-32; 45-50; 50-55 м, а также верхний морской абразионный уровень, составляющий 62 м. Выполнены подробное описание расчисток и разрезов

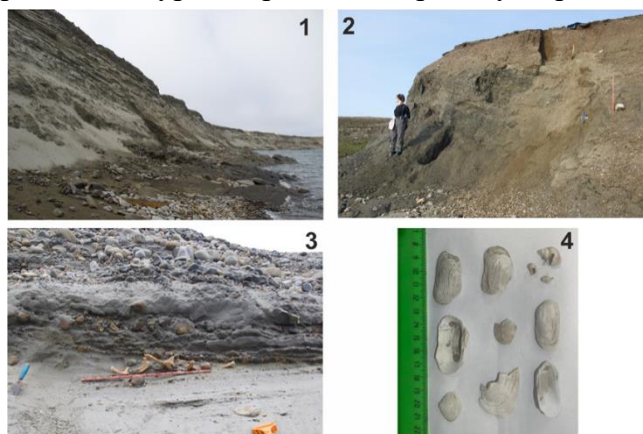


Рисунок 5.3 – Разрезы четвертичных отложений и их включения: 1 – обнажение морских отложений на мысе Маквити, Земля Принца Карла; 2 – расчистка морских отложений на севере равнины Коффойра; 3 – костные останки в песках морского генезиса на мысе Маквити; 4 – образец включений раковин моллюсков (Фото 1-3 Окунев А.С., 4 Фомичева Е.Д.)



Рисунок 5.4 – Местоположение изученных разрезов с радиоуглеродными датами в тундре Эрдмана



морских террас, произведен отбор проб морских отложений для выявления этапов и условий отступления уровня моря в голоцене в данных районах (рис. 5.3).

*Аналитические исследования проб четвертичных отложений Земли Норденшельда и юго-западной части Земли Оскара II*

Аналитические исследования включали в себя диатомовый и спорово-пыльцевой анализы, радиоуглеродное и уран-ториевое датирование, обобщение полученных результатов.

Для получения новых данных об изменении уровня моря и эволюции природной среды за последние 15000 лет были получены 35 радиоуглеродных и 3 уран-ториевых дат для морских и континентальных отложений Земли Норденшельда, о. Земля Принца Карла и юго-западной части Земли Оскара II. Так, объекты, изученные ранее в тундре Эрдмана и получившие геохронологическую привязку отображены на рис. 5.4. Результаты исследования позволили выявить возраст отложений, слагающих террасовые уровни 3-5 м, 8-10 м 22-25 м, 30-32 м.

Спорово-пыльцевой анализ был выполнен для 20 проб эоловых отложений на равнине Даудманс. Результаты исследования позволили получить информацию об изменении растительности в точке исследования.

Отобранные в ходе полевого сезона 2024 г. пробы морских осадков были проанализированы экспресс-методом обнаружения ископаемых диатомовых водорослей. По результатам проведенного анализа в 4 обработанных образцах не обнаружено створок диатомей.

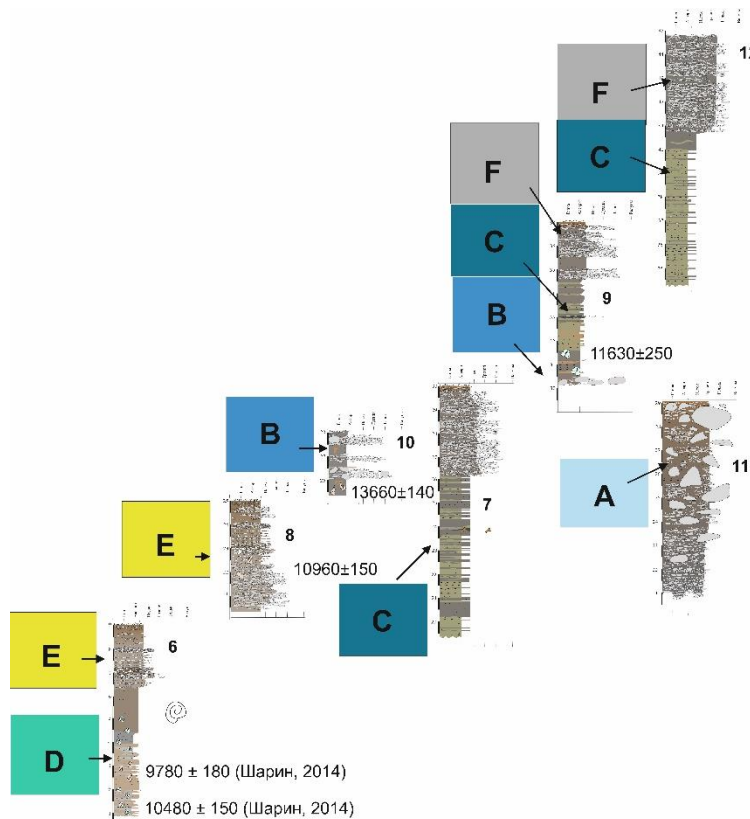


Рисунок 5.5 – Корреляция изученных разрезов в долине Холлендардален. Литологические колонки расположены на рисунке по гипсометрическому положению, номера справа от колонок соответствуют номерам разрезов, радиоуглеродный возраст указан в кал.л.н.

Горизонт	Литология	Условия	Долины
A		ледниковое осадконакопление	Холлендардален
B		приледниковый залив	Берцелиусдален Холлендардален Васдален
C		приледниковое озеро/залив	Холлендардален Кальвдален Семмельдален Васдален
D		мелководье/сублитораль, айсберговый разнос	Холлендардален Финнесет Берцелиусдален Васдален Семмельдален
E		пляж, приливно-отливная зона	Холлендардален Финнесет Берцелиусдален Васдален
F		плоскостной смыв пролювиальный конус выноса	все долины
G		дельта, дистальная приморская часть	Финнесет, кутвая часть Гренфьорда
H		дельта, без доступа морских вод	Грендален
I		речное осадконакопление	Грендален Васдален Семмельдален
J		эоловое осадконакопление, аридизация	Рейндаден Колесдален
K		заболачивание, высокая продуктивность растительного покрова	Колесдален Рейндаден Семмельдален

Рисунок 5.6 – Литология, местоположение и интерпретация изученных горизонтов

Для выделения этапов развития долин Земли Норденшельда была проведена корреляция изученных в районе разрезов (рис.5.5) и выделены однородные генетические горизонты. Выделенные литологические горизонты отображают локальные этапы развития,

реконструкция условий и геохронологическая привязка для которых была проведена по аналитическим данным. Литология и интерпретация условий осадконакопления для выделенных толщ отображена на рис.5.6.

Таким образом, в результате проведенных полевых работ были получены новые данные о геоморфологии и строении покрова четвертичных отложений западной части Земли Оскара II и северо-восточной Земли Принца Карла, были выделены морские террасовые уровни, прослеживающиеся в изученных районах. Получены новые данные о строении континентальных и морских четвертичных образований. По результатам работ выполняется построение схем геоморфологического строения и четвертичных отложений изученных районов, геолого-геоморфологические профили, колонки и разрезы.

Данные аналитических исследований позволили существенно детализировать имеющиеся представления об эволюции природной среды районов исследования в послеледниковье. В ходе работ были получены новые геохронологические и микропалеонтологические характеристики районов, проведена корреляция литологических толщ в центральной части Земли Норденшельда и построена схема эволюции долин района исследования.

Результаты проведенных палеогеографических и геоморфологических исследований представлены на конференциях: POLAR 2024 (г.Санкт-Петербург, май 2024 г.), Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом Океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген (г. Москва, февраль 2024 г.), Палеолимнология Северной Евразии (г. Красноярск, август 2024 г.) и опубликованы в работах:

Соловьева Д.А., Веркулич С.Р., Пушина З.В., Савельева Л.А., Зазовская Э.П. Послеледниковые изменения природных условий в северо-западной части Земли Норденшельда (о-в Западный Шпицберген) по результатам исследований речных отложений в долине Грендален // Геоморфология и палеогеография, на рецензии.

Soloveva D.A., Okunev A.S., Kupriyanova N.V. Early Holocene transgression in the central of Svalbard: research results and problems of reconstruction // *Limnology and Freshwater Biology* 2024. 4, 684-689 DOI:10.31951/2658-3518-2024-A-4-684

Соловьева Д.А., Окунев А.С., Куприянова Н.В., Веркулич С.Р. Результаты палеогеографических исследований в юго-западной части Земли Оскара II // Итоги экспедиционных исследований в 2023 г. в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции, 2024. С. 112-122.

Demidov, V., Verkulich, S., Ekaykin, A., Terekhov, A., Veres, A., Kozachek, A., Wetterich, S., Soloveva, D., Varentsov, M., Barskov, K. Thaw slump development and other rapid permafrost disturbances in Hollendardalen Valley, Svalbard // *Polar Science*, 2024. 101122. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101122

Мероприятие 5 выполнено полностью.

### **Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты**

В 2024 г. работы по исследованию многолетней мерзлоты на арх. Шпицберген были направлены на продолжение долговременных наблюдений за динамикой температурного режима мерзлых пород на существующей наблюдательной сети, а также на ее расширение путем обустройства новых скважин.

Одной из главных задач полевых работ являлся поиск и расконсервация глубоких углеразведочных скважин советского времени в районе Баренцбурга для изучения влияния долгопериодных колебаний климата на температурное состояние пород ниже слоя годовых теплооборотов. Была проведена попытка расчистки 8 ранее обнаруженных глубоких скважин, однако, по разным причинам (смятие обсадной колонны, наличие ледяных пробок на всю глубину скважин и т.п.) ни одна из них не была расчищена на значительную глубину.

На плато Харитонова удалось расчистить скважину на глубину 10 м и оборудовать ее термокосой. В настоящее время это скважина с самой высокой абсолютной отметкой устья в созданной в Баренцбурге сети мониторинга многолетней мерзлоты. Две неглубоких скважины были пробурены на геофизическом полигоне Баренцбурга для установки термокос по программе изучения теплообмена атмосферы и подстилающей поверхности. В дальнейшем полевые работы были сфокусированы на анализе взаимодействия существующей инфраструктуры поселков Баренцбург и Пирамида с мерзлыми грунтами.

Несмотря на высокоширотное положение Шпицбергена потепление климата несет очевидную угрозу для инфраструктуры поселков, так как может активизировать процессы деградации мерзлоты, связанные с ней опасные криогенные процессы и потерю несущей способности грунтами в основании сооружений. Темпы современного потепления в атлантическом секторе высокоширотной Арктики особенно велики. Анализ данных метеостанции Баренцбург за 1976 – 2015 г. показал, что скорость увеличения среднегодовой температуры воздуха здесь в 1,5 раза выше, чем на Кольском полуострове, и вдвое выше, чем в среднем по территории России. Опасения вызывают не только темпы роста среднегодовой температуры, но и возможность ее перехода в зону положительных значений в перспективе ближайших десятилетий. Так, в аномально теплый 2016 г. среднегодовая температура воздуха в Баренцбурге уже составила  $-0,4^{\circ}\text{C}$ .

В советский период вопросами инженерно-геологического сопровождения проектирования и строительства на Шпицбергене занимались ряд ведущих организаций страны: ЛЕНГИПРОАрктика, ГИПРОШахт, НИИГА, ЛЕНТИСИЗ, Севморгеология, ПНИИС, ВСЕГИНГЕО и др. В 1990-е годы эти работы, как и строительство, были приостановлены. Однако, даже поддержание функционирования действующей инфраструктуры, особенно в условиях потепления климата, требует продолжения изучения состояния многолетней мерзлоты.

Получение представления об инженерно-геокриологических особенностях районов Баренцбурга и Пирамида и возможных геокриологических опасностях, связанных с потеплением климата, являлось второй целью исследований. Для ее решения проводился анализ архивных и опубликованных материалов инженерно-геологической тематики по районам Баренцбурга и Пирамиды, изучался опыт строительства и эксплуатации сооружений в этих поселках, выявлялось современное температурное состояние грунтов, которое сравнивалось с данными, полученными в советское время.

В рамках полевых работ проводились:

– поиск и анализ отчетов по инженерным изысканиям, а также тематических отчетов инженерно-геологических и гидрогеологических исследований в архиве рудоуправления в Баренцбурге, в архиве Шпицбергенской партии АО «ПМГРЭ» в п. Баренцбург и в архиве рудоуправления в п. Пирамида;

– снятие данных с термометрических кос в районе пп. Баренцбург и Пирамида;

– обследование инфраструктуры пп. Баренцбург и Пирамида на предмет вызванных мерзлыми грунтами деформаций;

– промеры глубины сезонно-талого слоя (СТС) на площадках CALM Barentsburg и CALM Alkhorset.

Мерзлотные исследования зимне-весеннего сезона на Шпицбергене проводились с 12 февраля по 31 марта 2024 г. Работы выполнялись коллективом из 2-х человек: Демидов Н.Э. и Масловский А.С. В полевых работах в окрестностях Баренцбурга также принимал участие начальник зимовочного состава РАЭ-III Новиков А.Л. В осенний сезон (1-25 сентября 2024 г.) наблюдения по сети термометрических скважин и промеры СТС на площадках CALM проводил Демидов В.Э.

Район работ в районе Баренцбурга включал сам поселок, геофизический полигон, долины Грёндален, Рейндален, Берзелиус и Колес. В п. Пирамида была обследована сеть из 29 скважин (рис. 6.1).

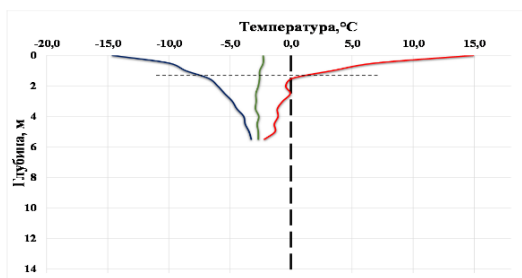


Рисунок 6.1 – Сеть скважин в п. Пирамида, обследованных в зимне-весенний сезон 2024 г. (синие кружки – скважины, оборудованные под постоянный мониторинг, желтые кружки – скважины, в которых проводятся разовые измерения, красные кружки – необорудованные скважины)

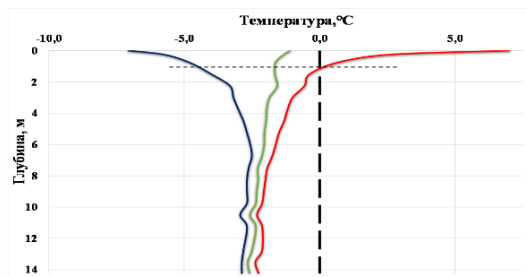
Температурный режим пород определялся путем считывания температурных данных со скважин, оборудованных термодатчиками Geo Precision (Германия) и ООО «МГУ-Геофизика» (Россия). Для анализа тенденций изменения климата использованы данные с метеостанций в Баренцбурге и Пирамиде из официального интернет-ресурса Росгидромета, данные метеостанции «Грин Харбор» за 1912-1931 гг. взяты из архивного отчета Обидина Н.И. (1953), данные автоматической метеостанции в Пирамиде получены из базы данных Норвежского метеорологического института (NMI). Выводы о динамике изменения температурного состояния грунтов в Баренцбурге и Пирамиде за прошедшие 40 лет сделаны на основе сравнения среднегодовых температур в наблюдательных скважинах в период 2022-2023 гг. с данными, опубликованными в 1983 г. сотрудниками «Севморгеология». Для прогнозирования изменения температурного состояния грунтов на ближайшие 50 лет выполнены оценочные расчеты в программе QFrost (Россия), решающей задачи теплопроводности с учетом фазовых переходов для неоднородных сред конечно-разностным способом. Моделирование выполнено для одной из самых глубоких скважин в сети РАЭ-Ш в районе Баренцбурга №8а.

Проведенная в 2024 г. работа позволила выявить основные черты инженерно-геокриологических условий в районе Баренцбурга и Пирамиды, обобщить местный опыт строительства и эксплуатации сооружений, сделать ревизию сохранившихся фондовых материалов, создать систему мониторинга состояния многолетней мерзлоты, на ее основе оценить тренды изменения температурного состояния грунтов и сделать ряд рекомендаций для оператора российских поселков на Шпицбергене.

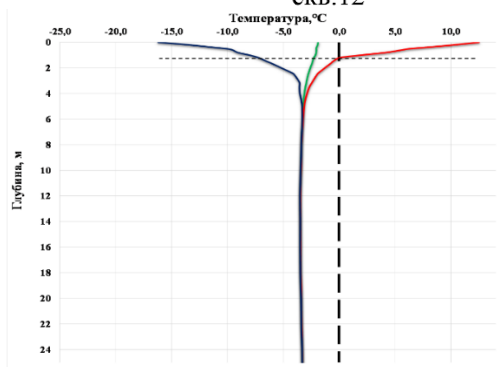
Обработка снятых в 2024 г. с термометрических кос данных показала, что среднегодовые температуры грунтов в настоящее время находятся в диапазоне  $-3,5... -2,2^{\circ}\text{C}$  (рис. 6.2, 6.3), что обеспечивает возможность поддержания функционирования зданий по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований. При этом необходимо внимательным образом следить и устранять обводнение фундаментов, в том числе по причине течи коммуникаций. Выполненные модельные оценки показали, что опускание кровли многолетней мерзлоты при условии сохранения текущих темпов потепления климата прогнозируется уже в ближайшие 30 лет (рис. 6.4).



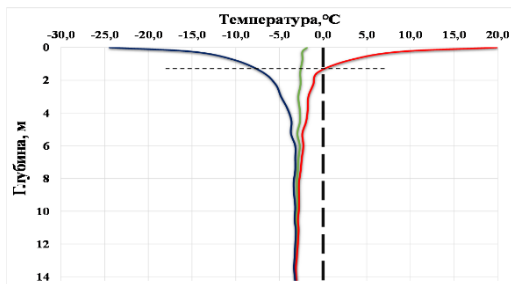
СКВ. 2



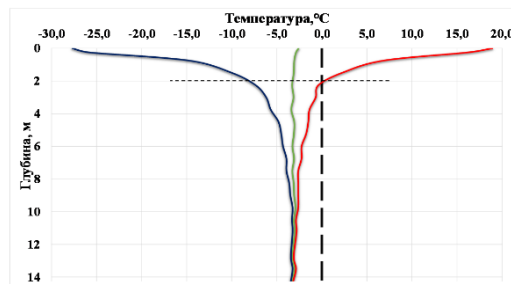
СКВ. 12



СКВ. 8 а

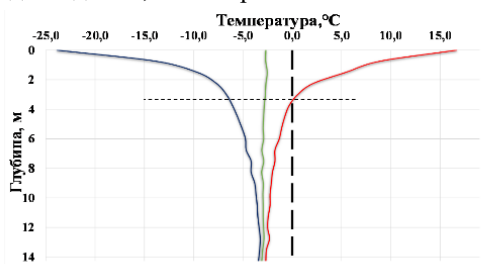


СКВ. 13

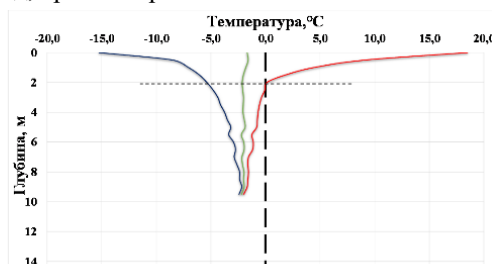


СКВ. 15

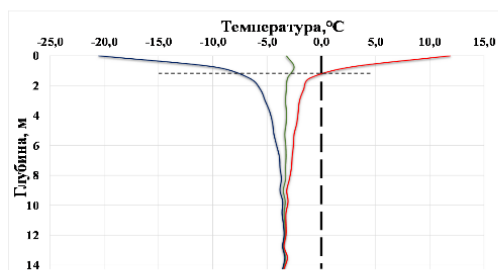
Рисунок 6.2 – Термометрические кривые по наблюдательным скважинам в Баренцбурге: зеленая кривая – среднегодовые, синяя кривая – минимальные за год, красная кривая – максимальные значения



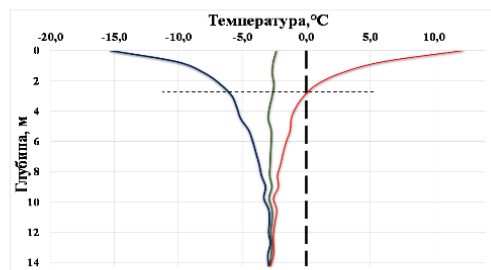
СКВ. 109



СКВ. 115



СКВ. 131



СКВ. 145

Рисунок 6.3 – Термометрические кривые по наблюдательным скважинам в Пирамиде: зеленая кривая – среднегодовые значения, синяя кривая – минимальные за год значения, красная кривая – максимальные значения



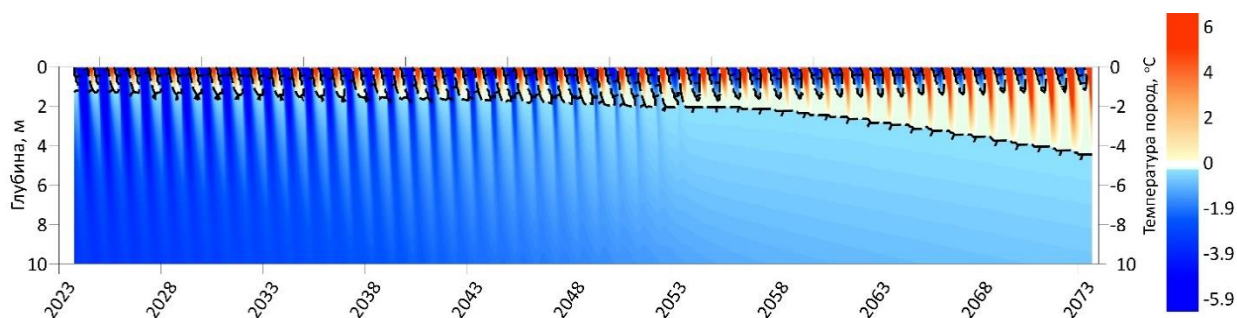


Рисунок 6.4 – Термоизоплеты по прогнозируемому расчету температуры пород в скважине № 8а на период 2023-2073 г.

Кривые среднегодовых температур в слое годовых теплооборотов по наблюдательным скважинам имеют безградиентный характер или имеют тенденцию отклоняться с глубиной в сторону отрицательных температур (рис. 6.2, 6.3). Такой же характер кривых регистрировался на Шпицбергене еще в советское время в глубоких скважинах. Этот эффект говорит о текущем повышении температуры грунтов в верхней части разреза мерзлой толщи.

Замеры мощности сезонно-талого слоя (СТС) проведены 20-21 сентября 2024 г. на площадке CALM Баренцбург (рис. 6.5а). С учетом наблюдений 2023 г. мониторинг СТС на площадке CALM Баренцбург по сети 50×50 м ведется непрерывно в течение 7 лет, начиная с 2017 г. (рис. 6.5в). Данные 2024 г. показали максимальные мощности СТС за период

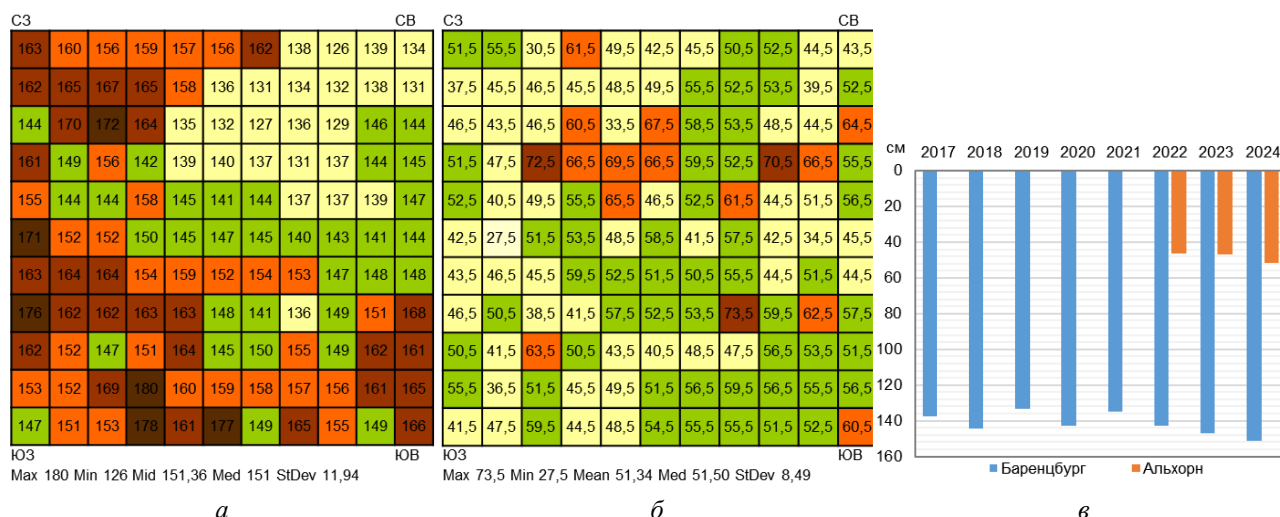


Рисунок 6.5 – Мощность сезонно-талого слоя на площадках CALM в п. Баренцбург 20-21.09.2024 (а) и мысе Альхорн 17.09.2024 (б), средняя мощность сезонно-талого слоя в 2017-2024 гг. (в)

наблюдений, что свидетельствует о длительном и теплом лете 2024 г.

Замеры мощности сезонно-талого слоя (СТС) на площадке CALM Альхорн проведены 17 сентября 2024 г. Результаты измерений (рис. 6.5б) показали значительно меньшие мощности СТС в торфяниках по сравнению с суглинисто-галечными осадками, что связано с теплоизолирующими свойствами торфа. С учетом наблюдений 2024 года мониторинг СТС на площадке CALM Альхорн ведется непрерывно в течение 3 лет, начиная с 2022 г. (рис. 6.5в).

Помимо продолжения фонового мониторинга состояния мерзлоты в окрестностях поселков необходимо проведение геотехнического мониторинга, особенно в функционирующих зданиях в Пирамиде и ряде проблемных зданий в Баренцбурге, среди которых здание музея, вертодром, жилой дом № 29 (рис. 6.6). Одной из важных задач сети наблюдения за температурным режимом мерзлоты можно считать своевременное оборудование зданий термостабилизаторами.

Несмотря на незначительную мощность четвертичных отложений и более простые инженерно-геологические условия Баренцбурга по сравнению с Пирамидой, деформациям подвержены многие здания, фундаменты которых опираются на скальные грунты. Это обстоятельство, вероятно, вызвано некачественной очисткой от воды и шлама скважин, в которые опускались сваи. Для Баренцбурга актуальной задачей является осмотр и своевременный ремонт свай, так как они подвергаются здесь агрессивному воздействию окружающей среды в большей мере. В ходе инженерно-сейсмологических работ советского времени на Шпицбергене отмечалось, что наличие здесь таликовых зон и относительно высокотемпературной мерзлоты повышает риски разрушения инфраструктуры в ходе землетрясений. Поэтому, опасность фактора деградации мерзлоты усиливается расположением района в сеймоопасной зоне.



Рисунок 6.6 – Состояние инфраструктуры в Баренцбурге и Пирамиде: трещина в доме № 29, Баренцбург (а), наледь от протечки коммуникаций в доме № 31, Баренцбург (b), свая жилого здания РАЭ-Ш 2018 г., Баренцбург (с), керосиновые термостабилизаторы свайного фундамента 125-квартирного дома, Пирамида (d)

В целом, построенные на мерзлых грунтах поселки Баренцбург и Пирамида с учетом сохранившихся в фондах материалов изысканий и проектной документации, а также с учетом наличия действующей сети термометрических скважин представляют собой хороший научно-образовательный геотехнический полигон. Данные поселки можно рассматривать как длительный эксперимент по взаимодействию инфраструктуры с мерзлыми грунтами в условиях быстро меняющегося климата высокоширотной Арктики. Шпицбергенский опыт строительства может быть использован при проектировании инфраструктуры на других арктических архипелагах вдоль трассы Северного морского пути.

В 2024 г. результатам изучения мерзлоты Шпицбергена были посвящены следующие статьи и выступления на конференциях

Демидов Н.Э., Гунар А.Ю., Демидов В.Э., Неверов И.А., Новиков А.Л., Угрюмов Ю.В. Деградация мерзлоты как фактор риска для инфраструктуры поселков Баренцбург и Пирамида на Шпицбергене // Геориск, 2024. 4. (в печати)

Демидов Н.Э., Угрюмов Ю.В. Об организации системы мониторинга многолетней мерзлоты высокоширотной Арктики по трансекте арх. Шпицберген – о. Врангеля // Российские полярные исследования. 2024. № 3 (57). С. 6-11.

Demidov, V., Verkulich, S., Ekaykin, A., Terekhov, A., Veres, A., Kozachek, A., Wetterich, S., Soloveva, D., Varentsov, M., Barskov, K. Thaw slump development and other rapid permafrost disturbances in Hollendardalen Valley, Svalbard // Polar Science, 2024. 101122. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101122

Участие с устным докладом «Вопрос многолетней мерзлоты в сохранении инфраструктуры российских поселков на Шпицбергене» (Демидов Н.Э., Демидов В.Э., Масловский А.С., Новиков А.Л.) в конференции «Культурно-историческое наследие Арктики. Поселки российского присутствия в фокусе научного внимания. К 100-летию поселка Баренцбург», 15 марта 2024, Баренцбург.

Участие с устным докладом «Сеть мониторинга многолетней мерзлоты на трассе Северного морского пути как часть Государственной системы фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты» (Демидов Н.Э., Угрюмов Ю.В.) в VIII Всероссийской

научной конференции «Моря России: современные методы исследований и их практические применения», 23 – 27 сентября, г. Севастополь.

Литература:

Обидин Н.И. Мерзлота и подземные воды Баренцбурга, Груманта и Пирамиды о-ва Шпицберген (Предварительный отчёт по исследованиям 1952 г.). Л.: изд-во Научно-исследовательского института геологии Арктики, 1953.

Мероприятие 6 выполнено полностью.

### **Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей**

Выносной пункт приема-передачи спутниковой информации (ВППИ), размещенный в п. Баренцбург, является важнейшим элементом инфраструктуры РАЭ-Ш ААНИИ. ВППИ обеспечивает круглосуточный прием и передачу в ААНИИ плановой ледовой и гидрометеорологической информации, которая используется в целях мониторинга ледовых и гидрометеорологических условий на акватории СЛО и арктических морей; обеспечения безопасности мореплавания на трассе СМП, акваториях Баренцева, Белого и Балтийского море и обеспечения безопасности деятельности по освоению месторождений углеводородного сырья на шельфе и побережье арктических морей.

ВППИ представляет комплекс технических и программных средств приема, первичной обработки и передачи спутниковой информации. Управление работой комплекса осуществляется из удаленного пункта управления и тематической обработки (УПУ) ААНИИ в Санкт-Петербурге. Техническое обслуживание комплекса, первичную обработку и отправку информативных с точки зрения отображения ледяного покрова спутниковых данных, осуществляет инженер-оператор непосредственно из Баренцбурга, офис которого расположен в лабораторном корпусе №1.

Основу комплекса составляют три станции MEOS, изготовленные норвежской компанией Kongsberg Spacetec AS и установленные на отроге горы Улаф (рис. 7.1):

– станция meos-bg1 для приема данных L-диапазона со спутников серии NOAA, METOP, FY-3;

– станция meos-bg2 для приема данных X-диапазона со спутников TERRA, AQUA, Suomi-NPP, JPSS-1, а также со спутников серии FY-3;

– станция meos-bg3 (резервная) для приема данных L-диапазона и X-диапазона со спутников серии NOAA, METOP, FY3, а также со спутников TERRA, AQUA, Suomi-NPP, JPSS-1.



Рисунок 7.1 – Спутниковые антенны ВППИ в п. Баренцбург

Выгодное географическое положение обеспечивает преимущество ВППИ на Шпицбергене по сравнению с другими отечественными пунктами приема спутниковой информации (Санкт-Петербург, Обнинск, Новосибирск, Хабаровск), так как зона его обзора в Баренцбурге почти полностью охватывает акваторию Северного Ледовитого океана (рис. 7.2). Кроме того, над архипелагом находится точка схождения орбит спутников дистанционного зондирования Земли, благодаря чему спутники попадают в зону видимости

ВППИ. При условии одновременной работы трех станций это обеспечивает прием максимально возможного количества информации.



Рисунок 7.2 – Расположение ВППИ на арх. Шпицберген

В течение 2024 г. зимовочным составом РАЭ-Ш обеспечивались прием, первичная обработка и передача в ААНИИ и систему ЕСИМО гидрометеорологической информации (табл. 7.1). Для передачи использовался широкополосный интернет-канал, предоставляемый по контракту с ААНИИ норвежским оператором Telenor Svalbard AS.

Таблица 7.1 – Объем переданной ВППИ гидрометеорологической информации за годовой период

Количественные показатели информации	2023	2024 г.			Всего
	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	
Количество сеансов приема информации с ИСЗ	7395	7273	7501	7366	29535
Объем переданной информации, Гб	357	349	279	252	1237

ВППИ работал круглосуточно, серьезных сбоев в его работе допущено не было, за исключением единичных случаев кратковременных плановых и внеплановых отключений электричества в п. Баренцбург. Работу ВППИ обеспечивал вед. инж. Сарсенов Н.С.

15 мая и 08 октября 2024 г. работу ВППИ инспектировала комиссия Государственного департамента связи Норвегии (НКМ). Проверка работы наземных спутниковых станций проводилась в соответствии с Предписанием от 21 апреля 2017 года № 493 о создании, эксплуатации и использовании наземных станций спутниковой связи на Шпицбергене, §9. Результаты проверки положительные. Расчеты показывали, что прохождения спутников совпадают с записями в журналах станции.

Мероприятие 7 выполнено полностью.

### Мероприятие 8. Геофизические исследования

Геофизические исследования объединяют наблюдение за пространственным распределением и вариациями магнитного поля Земли на поверхности и в околоземном пространстве, состояния ионосферы сточки зрения распространения радиоволн и ультрафиолетового излучения в зоне эритемной активности по теме 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 Росгидромета на 2020–2024 гг. Наблюдения проводятся синхронно на полярных станциях Росгидромета в Арктике и Антарктиде.



В 2024 г. проводились непрерывные исследования ионосферы и параметров распространения радиоволн и воздействия вариаций солнечного излучения на приземную атмосферу. Магнитометрические измерения не проводились в связи с выходом из строя оборудования и невозможности своевременно заменить его на новое.

*Исследование состояния ионосферы и параметров распространения радиоволн коротковолнового (КВ) диапазона над акваторией Баренцева моря*

Проведение ионосферных наблюдений методом наклонного зондирования (НЗ) в поселке Баренцбург на арх. Шпицберген направлено на обеспечение контроля состояния ионосферы и условий распространения радиоволн на ряде трасс, пересекающих акваторию Баренцева моря (рис. 8.1) путём исследования вертикальной слоистой структуры в местах средних точек радиотрасс (на рисунке обозначены черны точками).

Основные задачи исследования включали:

- измерение числовых значений параметров ионосферы;
- оценка качественных характеристик ионосферных явлений;
- обеспечение сравнимости величин, получаемых на разных трассах ионосферной сети и в разные суточные, годовые и декадные периоды;
- регулярная и своевременная передача всех результатов наблюдений ионосферных данных в Полярный геофизический центр ФГБУ ААНИИ, хранение ионосферной информации в собственной базе данных.

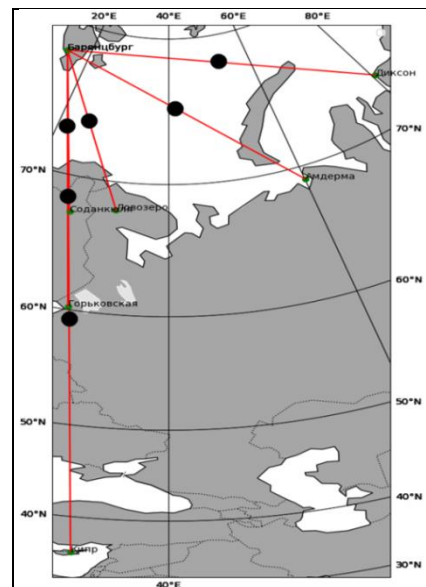


Рисунок 8.1 – Трассы наклонного зондирования, принимаемые на станции в п. Баренцбург

Работа комплекса наклонного зондирования ионосферы осуществлялась автоматически и контролировалась сотрудниками зимовочного состава РАЭ-Ш, контроль и анализ данных велся отделом геофизики ААНИИ. Измерения велись непрерывно.

Методом многочастотного наклонного зондирования ионосферы исследуются параметры распространения радиоволн на трассе между разнесенными передатчиком и приемником НЗ в широком диапазоне частот (обычно 3-30 МГц). Для реализации наблюдений НЗ передатчик и приемник должны обладать точной системой синхронизации (GPS/Глонасс). Метод НЗ ионосферы дает информацию о состоянии ионосферы и ее реакции на различные гелиогеофизические процессы на протяжении исследуемой радиотрассы для повышения надежности прогнозирования условий радиосвязи. С помощью НЗ определяют основные характеристики линий радиосвязи: максимальные и наименьшие наблюдаемые частоты (МНЧ и ННЧ), диапазон оптимальных частот, участки диапазона с минимальным влиянием многолучевого распространения. Результатом наклонного радиозондирования ионосферы является ионограмма НЗ, которая отражает частотную зависимость группового запаздывания сигналов, прошедших различными путями в ионосфере, в точке приёма, т. е. модовую структуру волнового поля и амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) ионосферного канала.

Одним из эффектов, регистрирующихся на трассах наклонного зондирования ионосферы и характеризующих её состояние, является перемещающиеся ионосферные неоднородности (ПИВ) – малоинтенсивные и постоянно перемещающиеся неоднородности в ионосфере (Сергеенко и др. 2006), которые являются откликом ионосферы на прохождение атмосферных гравитационных волн (АГВ), порождаемых естественными и антропогенными источниками энерговыделения. ПИВ, разделяют на два условных класса, основываясь на их горизонтальной скорости, пространственной горизонтальной длине волны и временному периоду:



- Крупномасштабные ПИВ. Возмущения с длиной волны около и более 1000 км, они встречаются редко, перемещаются от полярных областей по направлению к экватору с скоростью, примерно, 400–1000 м/с;

- Среднемасштабные ПИВ. Распространяются со скоростью  $\sim 70$  м/с, имеют длину волны, около, 200 км.

Перемещающиеся ионосферные возмущения оказывают существенное влияние на характеристики радиоволн в широком диапазоне частот — от ОНЧ до УВЧ (Колчев и др., 2022).

ПИВ чаще всего появляются в моменты сильного возмущения магнитного поля. Так, майские магнитные бури 2024 г. и ПИВ, которые им сопутствовали, хорошо заметны на всех трассах наклонного зондирования ионосферы высокоширотной сети ионзондов. Но наиболее их число отмечается на долготных среднеширотных трассах, в том числе, на линии Кипр-Баренцбург (рис.8.2). При этом, на северных радиотрассах, таких как Ловозеро-Баренцбург, Горьковская-Баренцбург, Соданкюля-Баренцбург, данный тип эффектов в тоже самое время встречается реже или вообще не встречается. Аналогичная картина присутствия ПИВ наблюдалась при октябрьской магнитной буре 2024 г. (рис. 8.3). Поскольку интенсивность бури была ниже, то и амплитуда ПИВ была более низкой.

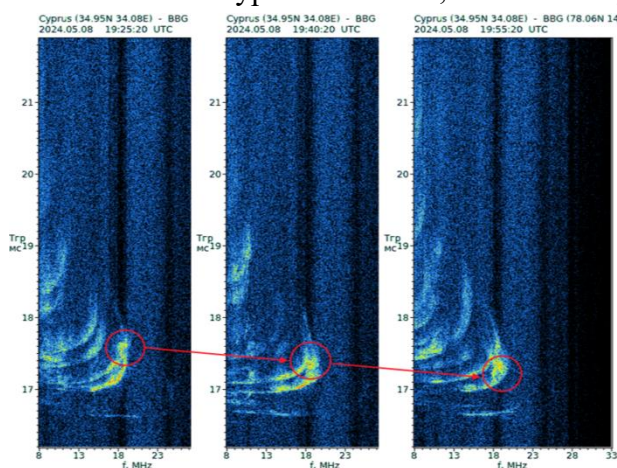


Рисунок 8.2 – Перемещающаяся ионосферная неоднородность на трассе Кипр-Баренцбург

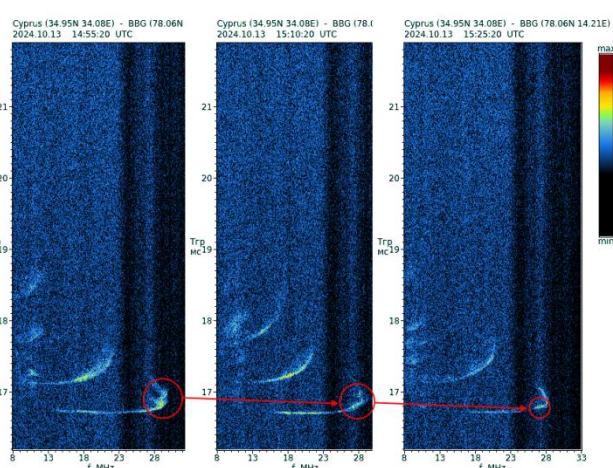


Рисунок 8.3 – ПИВ на трассе Кипр-Баренцбург 10 октября 2024 г.

На рисунке 8.4 приведены примеры регистрации ПИВ на северной радиотрассе Ловозеро-Баренцбург в октябрьскую магнитную бурю 2024 г. При этом, стоит отметить, что время обнаружения ПИВ на трассе Ловозеро-Баренцбург 10 октября 2024 года отличается от того времени, когда был зафиксирован ПИВ на трассе Кипр-Баренцбург. Данный факт свидетельствует о том, что на первой трассе неоднородность пересекла среднюю точку трассы над акваторией Баренцева моря, во втором же случае в районе средней полосы России.

Пункт наблюдения параметров ионосферы методом наклонного радиозондирования, расположенный на арх. Шпицберген, имеет большое значение для системы мониторинга в высоких широтах, поскольку позволяет диагностировать параметры условий распространения радиоволн

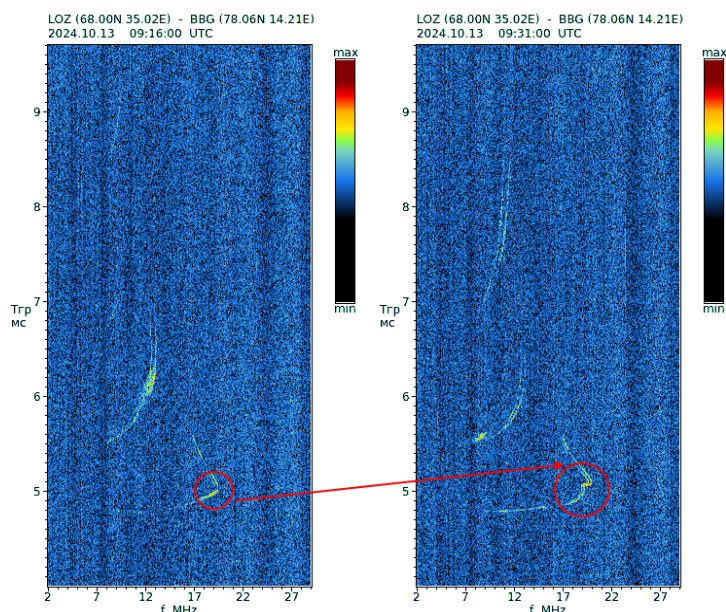


Рисунок 8.4 – ПИВ на трассе Ловозеро-Баренцбург 10 октября 2024 г.

над акваторией Баренцево моря и области аврорального овала.

В рамках проведения мониторинга параметров ионосферы методом наклонного зондирования на приемном пункте в Баренцбурге, на Шпицбергене, в 2024 г. ни один раз отмечались естественные ионосферные неоднородности, вызванные магнитными возмущениями, спровоцированными мощными солнечными вспышками. Данные эффекты были зарегистрированы как на трассах, средняя точка которых расположена над средними широтами, так и непосредственно над акваторией Баренцево моря.

На основе данных, полученных станцией наклонного зондирования ионосферы на арх. Шпицберген, выполнены исследования по возможной организации каналов связи в акватории Баренцево моря при помощи спорадического Es-слоя. По данной теме представлен доклад на XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: «Возможность организации каналов связи через спорадический Es слой / Долгачева С.А., Калишин А.С., Борисова Т.Д.// Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», 2024. С. 144 – 147.

*Исследование воздействия вариаций солнечного излучения UVB–UVA на показатели приземной атмосферы п. Баренцбург в 25-м цикле солнечной активности (2020-2031 гг.)*

Колебания спектрального солнечного излучения на участке приходящего к земной поверхности ультрафиолета UVB–UVA обусловлены различными механизмами на Солнце. Основная часть этих колебаний (флуктуаций) относится к области солнечной атмосферы «фотосфера-хромосфера», а также к солнечным осцилляциям, которые генерируются глобальным механизмом на Солнце (как звезды) (Sharovalov 2023). Колебания UV, в свою очередь, воздействуют на временные характеристики фотохимических реакций и показатели приземной атмосферы, например, на приповерхностное атмосферное давление (Шаповалов, Федотова, 2022). Эффективным способом исследования связи отмеченных факторов является мониторинг интенсивности UVB-UVA на протяжении 11-летнего цикла солнечной активности (СА). Целью исследований поэтому является изучение воздействия вариаций интенсивности UVB–UVA на показатели приземной атмосферы в высокоширотной Арктике. В задачи входят:

– спектральные измерения интенсивности UVB (280-315 nm) и UVA (315-400 nm) и уровня УФ-индекса в 25 цикле СА;

– временной анализ интенсивности UVB-UVA, уровня УФ-индекса и показателей приземной атмосферы в динамике и на стадиях 11-летнего цикла СА.

Поддержание работы измерительного оборудования входит в задачи зимовочного состава РАЭ-Ш, ответственный за обработку данных – с.н.с. отдела геофизики С.Н. Шаповалов.

Спектральные наблюдения интенсивности UVB-UVA проводятся с помощью восьмиканального оптоволоконного спектрометра AvaSpec-3638 по зенитной методике, когда углы Солнца над горизонтом составляют  $> 5^\circ$ .

Измерения уровня УФ-индекса (UVI) ведется по шкале Всемирной организации здравоохранения. Для предупреждения об опасных уровнях воздействия солнечного ультрафиолетового излучения на организм человека Всемирной организацией здравоохранения ([www.who.int](http://www.who.int)) используется количественный показатель поступающего на земную поверхность излучения UVB (315-280 нм) – UVA (400-315 нм), т.н. УФ-индекс (UVI), который описывает интенсивность потока излучения по отношению к его фотобиологическому эффекту (WHO, 2002):

$$UV \text{ index} = K_{er} \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} S_{er}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где,  $E(\lambda)$ -спектральная освещенность солнечного излучения в единицах Вт/м<sup>2</sup>\*нм при длине волны  $\lambda$ ,  $ker$  - константа взвешенного по эритеме значения освещенности (40 м2/Вт),  $ser(\lambda)$  - спектр действия эритемы.

UVI тесно коррелирует с изменением СА ( $r \sim -0,7$ ) из-за пятнообразования на поверхности фотосферы (солнечная атмосфера). В этой связи уровень UVI, с которым связаны метеопараметры приземной атмосферы:  $T(^{\circ}C)$ ,  $RH(\%)$ ,  $hPa$  (мм.рт.ст.) и  $V(m/c)$ , можно считать показателем СА. В п. Баренцбург используется индикатор ультрафиолетовый радиации №28 (ГГО). Дистанционный контроль измерений выполняется с помощью программы удаленного управления компьютером.

Анализ данных по измерениям интенсивности UVB-UVA за период с 10.03.2024 г. по 31.08.2024 г. выполнялся с применением преобразования Фурье. На рис. 8.5(a,b,c,d) представлены периодограммы UVB-UVA за 21.06.2024 г. (летнее солнцестояние), когда спектральные измерения проводятся круглосуточно.

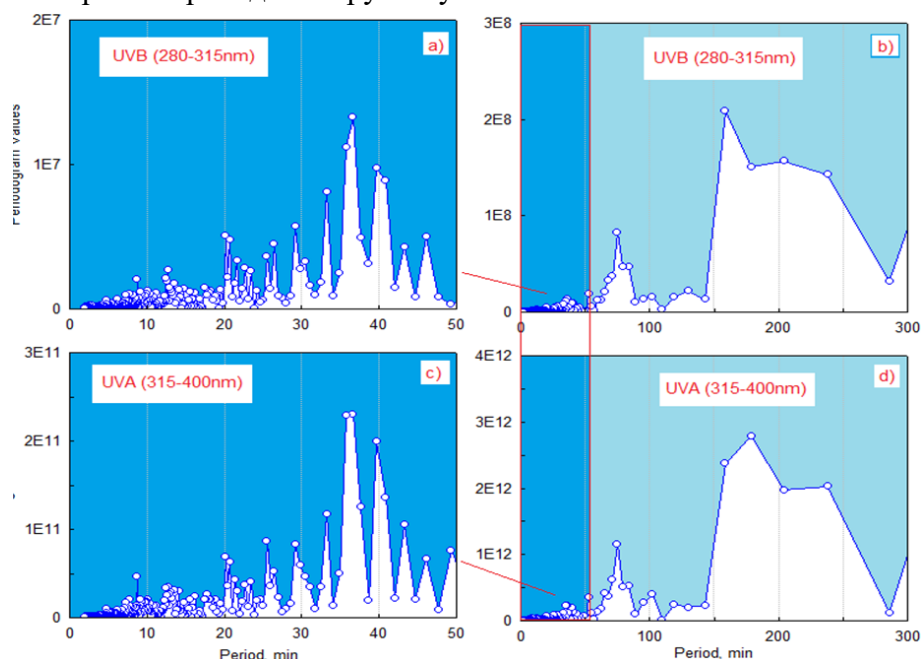


Рисунок 8.5 – Периодограммы интенсивности солнечного излучения UVB и UVA по данным измерений в летнее солнцестояние 21.06.2024 г. (AvaSpec-3638, п. Баренцбург)

На графиках 8.5a и 8.5c представлен интервал абсциссы от 0 до 50 мин., на котором амплитуды колебаний значительно меньше амплитуд в интервале 50-300 мин. (8.5b-d), но для этой группы характерна статистическая устойчивость, которая отмечается также для других пунктов наблюдений в Арктике и Антарктиде. На данном участке наибольшие амплитуды колебаний соответствуют ~35-40 мин., а среднее значение по интервалу ~5-20 мин., что тождественно участку частотного спектра солнечных осцилляций в диапазоне 2-5 мГц, т. н. p-mods. На графиках 8.5b и 8.5d, составляющих интервал от 1ч. до 5 ч., доминируют колебания 80 мин. и 160-180 мин., близкие к другому диапазону солнечных осцилляций, т. н. g-mods, которые генерируются в конвективной зоне Солнца (0-0,4 мГц).

В Фурье-анализе приповерхностного атмосферного давления (hPa) выявлены флуктуации от 3-х до 50 мин. (рис. 8.6), аналогичные колебаниям UVB-UVA на графиках a и c (рис. 8.5). Основным средством определения взаимосвязи сигналов на конкретных частотах является квадрат функции когерентности. Анализ квадрата когерентности UVB/hPa и UVA/hPa показал основную группу гармоник с центральным периодом ~5 мин. (рис. 8.7).



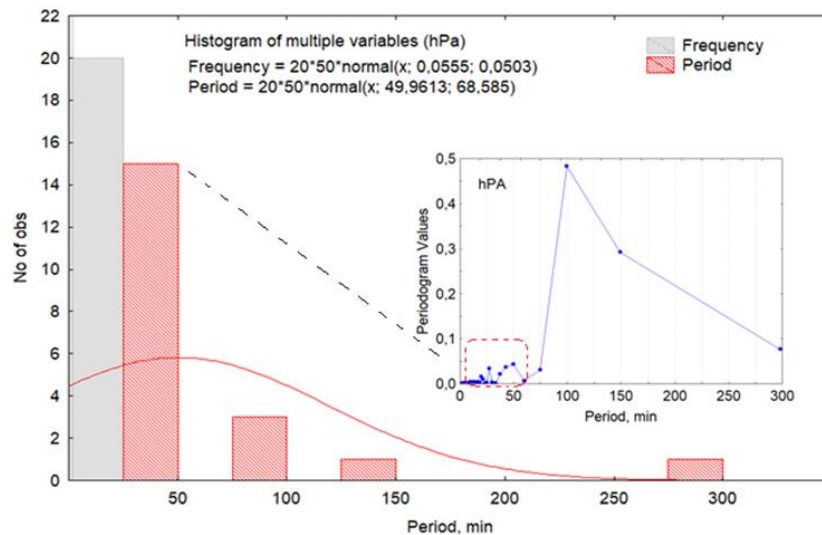


Рисунок 8.6 – Гистограмма временного диапазона флуктуаций приповерхностного атмосферного давления (hPa) в п. Баренцбурге 17.06.2024 г. (ближайший ясный солнечный день к летнему солнцестоянию 21.06.2024)

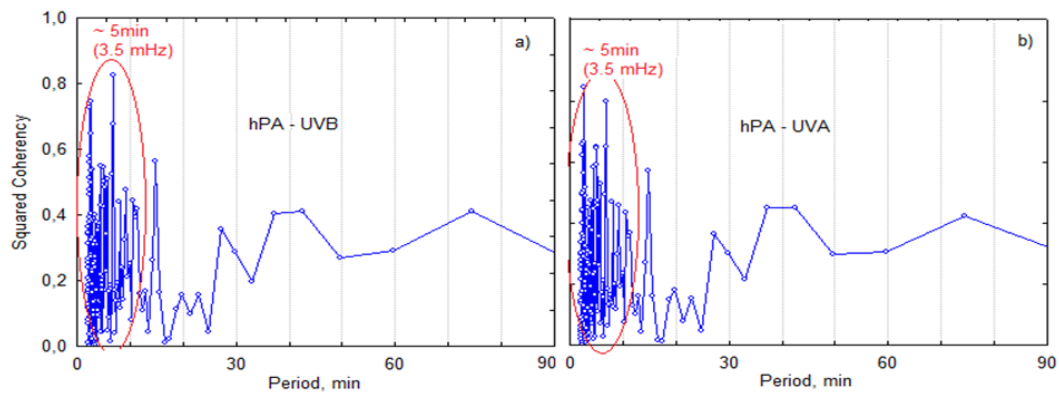


Рисунок 8.7 – Графики квадрата когерентности UVB-hPa (a) и UVA-hPa (b), демонстрирующие основную группу флуктуаций в трех факторах (AvaSpec-3648, п. Баренцбург)

В распределении общего ряда наблюдений int.UVB-UVA на первый план выделяется участок с противофазовым ходом вариациям индекса CA MgII (280 нм). Индекс MgII (<https://www.iur.uni-bremen.de/deu>) характеризует изменения UV в солнечной атмосфере на протяжении 11-летнего цикла CA, а периоды вариаций (22-25 сут, ~450 нГц) обусловлены вращением фотосферы в области гелиоэкватора (рис. 8.8).

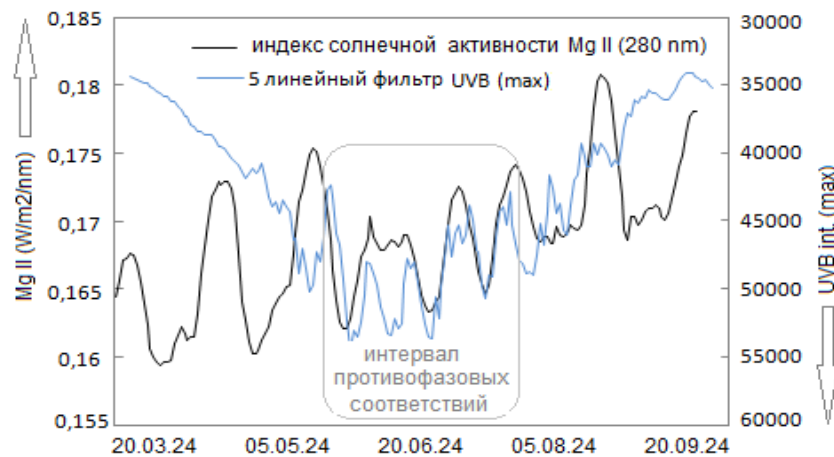


Рисунок 8.8. – Сравнение интенсивности UVB (фильтр 5 nm, aver.) с ходом индекса Mg II за период наблюдений с 20.03.24 г. по 23.09.24 г. (AvaSpec-3648, п. Баренцбург)

За общий период наблюдений в периодограммах UVB-UVA установлен временной диапазон интенсивности от ~5 мин. до 160-180 мин., практически тождественный частотному спектру солнечных осцилляций. Оценка квадрата когерентности UVB- UVA с hPa позволила определить основную группу колебаний ~ 3-10 мин. с максимальной

амплитудой относительно периода ~5 мин. Выделенная группа флуктуаций в трех факторах (рис. 8.7) соответствует максимуму амплитуды частотного спектра солнечных осцилляций  $p$ -modes на частоте ~3,5 мГц.

Анализ наблюдений УФ-индекса в отчете не представлены по причине неисправности приемного устройства в УФР и невозможностью его оперативно заменить.

Результаты анализа данных представлены на конференциях:

Шаповалов С.Н., Рябинин И.О., Соломатникова А.А., Соколов В.Т. Мониторинг УФ-индекса в высокоширотной Арктике и Антарктиде // Сборник тезисов XXVIII Всероссийской ежегодной конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2024». 07-11 октября 2024, ГАО РАН, Санкт-Петербург. С.117.

Литература:

Колчев А.А., Зыков Е.Ю., Выборнов Ф. И., Чернов А. Г., Шумаев В. В. Оценка параметров перемещающихся ионосферных возмущений по сети ЛЧМ-ионозондов // Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки, 2022. Т. 164, №. 1, с. 137-147.

Сергеенко Н.П., Захаренкова И.Е., Шагимурагов И.И., Сазанов А.В., Рогова М.В. Анализ проявления в ионосфере крупномасштабных перемещающихся неоднородностей, ассоциированных с землетрясениями, по комплексным измерениям // Вестник Мурманского государственного технического университета, 2006. Т. 9, №. 3, с. 445-452.

Шаповалов С.Н., Федотова А.А. Зависимость показателей риносинуситов от притока солнечного ультрафиолетового излучения // XXVI Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». Труды конф. /Под ред. А.В.Степанова, Ю.А.Наговицына - СПб: 2022. С.303-306. DOI: 10.31725/0552-5829-2022-303-306

Shapovalov S.N. The Temporal Characteristics of the UVB–UVA Solar Radiation during Seasonal Observation Periods in Antarctica and the Arctic // Geomagnetism and Aeronomy, 2023, Vol. 63, No. 7, pp. 239–247

WHO, Global solar UV Index: A practical guide, World Health Organisation (WHO), World Meteorological Organisation (WMO), United Nations Environment Program (UNEP), and International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNRP), Geneva, 2002.

Мероприятие 8 выполнено частично.



## ФГБУ «Мурманское УГМС»

### Мероприятие 9. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург»

Комплексные наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» выполняются в целях реализации Стратегии российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2030 года в области фундаментальных и прикладных научных исследований в соответствии с Концепцией создания и развития Российского научного центра на архипелаге Шпицберген, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2014 года № 1667-р.

Наблюдения за гидрометеорологическими параметрами природной среды выполняются круглосуточно на базе Гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» ФГБУ «Мурманское УГМС» с 01.01.2024 по 31.12.2024. Основные результаты наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды в 2024 году:

#### 1. Метеорологические наблюдения

В 2024 году метеорологические наблюдения на ГМО «Баренцбург» проводились 8 раз в сутки в стандартные сроки за следующими параметрами: температурой воздуха и подстилающей поверхности, характеристиками ветра, метеорологической дальностью видимости, количеством, формой и высотой облачности, атмосферным давлением, влажностью воздуха, атмосферными явлениями, количеством осадков, высотой снежного покрова. Всего по программе станции было выполнено 2928 комплексных наблюдений.

*Климатические особенности 2024 года на архипелаге Шпицберген по данным ГМО «Баренцбург»:*

Как уже отмечалось специалистами ФГБУ «Мурманское УГМС» на архипелаге Шпицберген в последние десятилетия отмечается повышение средней температуры воздуха как в целом за год, так и отдельно в каждом сезоне года. Не стал исключением и 2024 год, к климатическим особенностям которого можно отнести умеренно теплую зиму, которая длилась с октября по апрель включительно. Несмотря на то, что температура воздуха в январе и марте была ниже нормы, в целом средняя сезонная температура за зимний период превысила климатическую норму на 0,6 °С. Весна (май) была теплее на 0,9 °С, а лето – период с июня по август, стало самым теплым за период наблюдений с 1948 года. Значение средней за месяц температуры воздуха в июне + 4,7 °С, что выше климатической нормы на 1,9 °С, стало вторым в ряду самых высоких, теплее был только июнь 2022 года (+5,1 °С). В июле средняя температура превысила норму на 1,3 °С. Август стал самым теплым за 79-летний период наблюдений. Средняя за месяц температура воздуха составила +10,0 °С, превывсив предыдущий рекорд, который отмечался в прошлом 2023 году на 2,4 °С, а климатическую норму – на 4,5 °С. За последние пять лет температура воздуха в августе трижды обновляла свое рекордное значение. Средняя температура в сентябре, т.е. осенняя температура воздуха была выше климатической нормы на 1,2 °С и вошла в число восьми самых высоких значений.

По данным метеорологических наблюдений на гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» в 2024 году среднее отклонение температуры воздуха за девять месяцев составило 1,2 °С (рис. 9.1).

За девять месяцев 2024 года количество выпавших осадков в Баренцбурге составило 64 % от своей годовой нормы, что на треть меньше, чем в предыдущем 2023 году за этот же период (рис.9.2). Наименьшее месячное количество осадков в абсолютном и относительном выражении отмечалось в марте (26 мм или 44% от климатической нормы). Наибольшее количество осадков и относительном выражении - в июле, когда за месяц выпало 184 % от климатической нормы.

Из опасных явлений погоды в апреле 2024 года в Баренцбурге отмечался сильный ветер в порывах до 25 м/с.

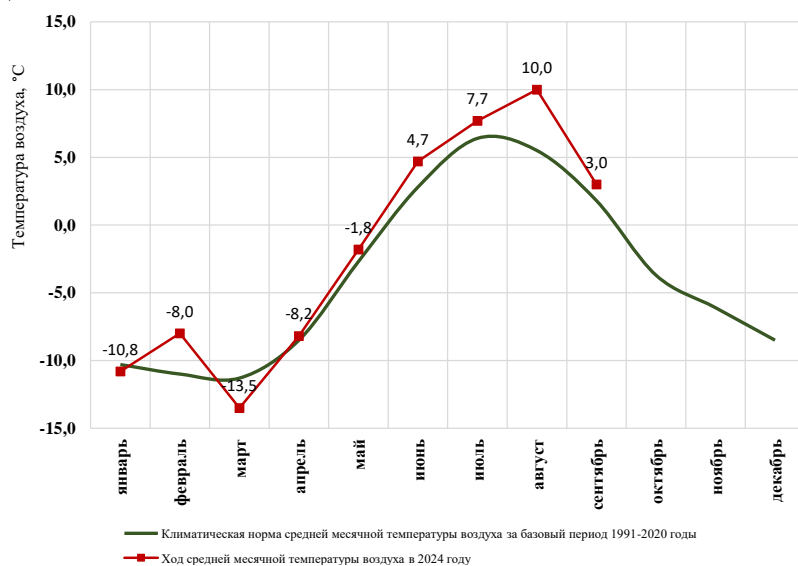


Рисунок 9.1 – Ход средней месячной температуры воздуха (°C) в 2024 году в сравнении с климатической нормой

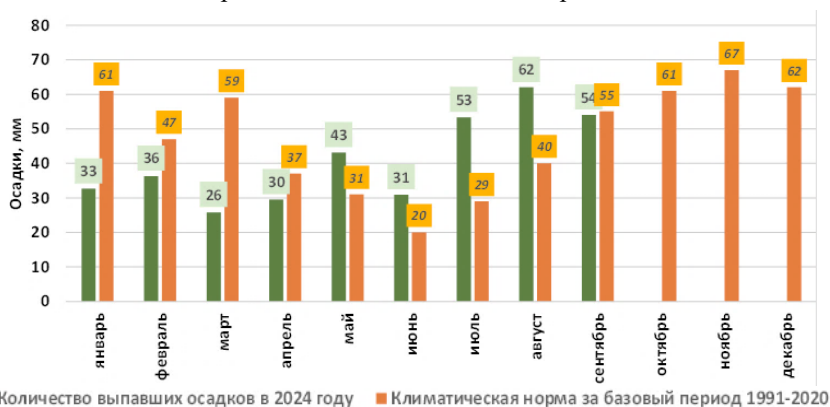


Рисунок 9.2 – Количество выпавших осадков (мм) в 2024 году в сравнении с климатической нормой

## 2. Морские гидрометеорологические наблюдения и работы

На ГМО «Баренцбург» проводились следующие наблюдения:

- наблюдения над уровнем моря по футштоку – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- наблюдения над уровнем моря по мареографу – ежечасно;
- наблюдения за волнением визуально – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- определение температуры морской воды – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- ледовые наблюдения в заливах Гренфьорд и Исфьорд с измерением характеристик ледяного покрова в постоянной точке (толщина льда, глубина его погружения, высота и плотность снежного покрова на льду);
- отбор проб и определение солёности и плотности морской воды ареометрическим методом – ежедневно в 12 ВСВ;
- наблюдения за видимостью в сторону моря – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- геодезические работы по нивелировке футштока – 2 раза в год.

Всего проведено 1098 комплексных наблюдений.

## 3. Радиационный мониторинг

В п. Баренцбург производилось ежедневное измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МЭД, мЗв/ч) на расстоянии 1 метр от поверхности – выполнено 366 измерений.

Данные передавались в МТ АСКРО – Мурманскую территориальную автоматизированную систему контроля радиационной обстановки. По данным наблюдений ГМО «Баренцбург» радиационный фон (мощность экспозиционной дозы на местности) изменялась в пределах колебаний природного фона от 0,06 до 0,13 мЗв/ч.

#### *4. Гелиогеофизические наблюдения*

Актинометрические наблюдения производились ежедневно по пиранометру Пеленг СФ-06 с измерительным блоком электронным. Было проведено 366 наблюдений.

Измерения общего содержания озона в атмосфере выполнялись в светлое время суток при малооблачной погоде озонометром М-124. Количество телеграмм с результатами измерений 366.

Производство измерений часовой амплитуды изменения горизонтальной компоненты геомагнитного поля – 8784 часов.

Измерение трехчасового К-индекса возмущенности геомагнитного поля – 2928 часов.

Регистрация уровня космического радиоизлучения на частоте 30 МГц с оперативной передачей данных в прогностические организации Росгидромета для диагностики и прогнозирования условий коротковолновой радиосвязи в Арктическом регионе – 8784 часов.

Определение периодов аномального поглощения радиоволн – 366 сроков.

По состоянию на 15.10.2024 зарегистрировано 110 магнитных бурь.

Учитывая, что архипелаг Шпицберген расположен в области активного взаимодействия земной атмосферы с частицами солнечного ветра, где происходит зарождение ионосферно-магнитных бурь, ценность оперативной геофизической информации очень высока.

Геофизические данные Баренцбурга входят составной частью в диагностические и прогностические материалы МЦ МГФО. Геомагнитная и риометрическая информация оперативно передается в отдел геофизики ФГБУ «ААНИИ», Мурманский Центр мониторинга геофизической обстановки, Гелиогеофизический Центр Росгидромета.

Материалы наблюдений ГМО «Баренцбург» обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Объем полученной информации за 2024 год составил 0,1 Гб. ГМО «Баренцбург» включена в публикацию ВМО № 9 Том С1 для международного обмена.

Осуществляется оперативная передача метеорологических данных ГМО «Баренцбург» в прогностические организации Росгидромета. Продолжается изучение климатических изменений в арктической зоне и развитие научных исследований по изучению климатических изменений арктического бассейна. Проведенные регулярные гидрометеорологические наблюдения на базе ГМО «Баренцбург» актуальны для обеспечения безопасности мореплавания. Оперативная гидрометеорологическая информация ГМО «Баренцбург» используется специалистами Гидрометцентра ФГБУ «Мурманское УГМС» для составления прогнозов и предупреждений о неблагоприятных (НМЯ) и опасных (ОЯ) гидрометеорологических явлениях по всей зоне ответственности Мурманского УГМС (как морской, так и материковой зоны). Наибольшее число ОЯ (сильный снег, метель, штормовой ветер, быстрое обледенение судов) связано с циклонами, формирующимися в Гренландском море и, углубляясь, стремительно смещающимися на юго-восток Баренцева моря.

В целях изучения и прогнозирования гидрометеорологических и геофизических процессов, происходящих в атмосфере и океане, климатических изменений Арктического региона, укрепления позиции российского присутствия на архипелаге Шпицберген рекомендуется продолжить в 2025 году проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

Мероприятие 9 выполнено полностью.

## ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ»

### Мероприятие 10. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген

В рамках реализации задач мероприятия Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» в 2024 г. выполнялись исследования на архипелаге Шпицберген, включающие в себя работы по фоновому и локальному экологическому мониторингу загрязнения объектов окружающей среды в районе поселка Баренцбург и его окрестностях, на акватории и побережье залива Грэнфьорд и обследование состояния загрязнения окружающей природной среды в районе пос. Пирамида в соответствии с планом НИТР Росгидромета на 2020–2024 гг., тема 4.3.3 «Оценка состояния и тенденций изменения загрязнения природных сред Арктической зоны Российской Федерации».

Результаты работ могут быть использованы государственными и коммерческими организациями, ведущими и планирующими работы, связанные с добычей ресурсов и транспортными перевозками, а также в информационных обзорах, связанных с исследованием изменений климата в Арктическом секторе Северо-Атлантического региона.

Основная цель – оценка состояния загрязнения компонентов окружающей природной среды (атмосферного воздуха, снежного покрова, морских вод и донных отложений, вод и донных отложений водоёмов суши, почвенных вод, почв и растительного покрова) на территориях и в ближайших окрестностях посёлков Баренцбург и Пирамида, других объектов инфраструктуры, включая сопредельные территории и акватории заливов, а также выявление источников загрязнения природной среды на территории действующих и ликвидированных производственных объектов, локализация, паспортизация, оценка их степени опасности.

Выполнялись следующие задачи:

– Организация и проведение отбора проб компонентов природной среды в районе п. Баренцбург и п. Пирамида и прилегающих акваториях залива Грэнфьорд и бухты Петунья, соответственно;

– Выполнение химико-аналитических и других лабораторных исследований отобранных образцов компонентов природной среды в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш (п. Баренцбург) и базовой лаборатории Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» (г. Санкт-Петербург).

#### *Полевые работы*

Полевые работы проводились в марте-апреле и августе-сентябре 2024 г. и включали отбор проб атмосферного воздуха и атмосферного аэрозоля; снежного покрова на территории п. Баренцбург и п. Пирамида и фоновых районов; морских поверхностных и придонных вод; морских водных взвесей на акватории залива Грэнфьорд и бухты Петунья (залив Исфьорд), поверхностных вод озера Стемме и реки Грендалсэльва, долина которой расположена южнее поселка Баренцбург, почвенных вод, почв, растительного покрова. На всех точках опробования выполнялись сопутствующие метеорологические наблюдения, включавшие измерение метеопараметров: скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры воздуха, видимости, количества и формы облачности, наличия и количества осадков. Схемы расположения точек наблюдений и отбора проб при выполнении фонового и локального экологического мониторинга представлены на рис 10.1 и 10.2.

На водных станциях дополнительно проводились наблюдения за состоянием водной поверхности, включающие визуальные наблюдения за наличием и интенсивностью плавающих пятен и пленок, скоплений отмирающих водорослей, появления повышенной мутности воды, пены и т.д.

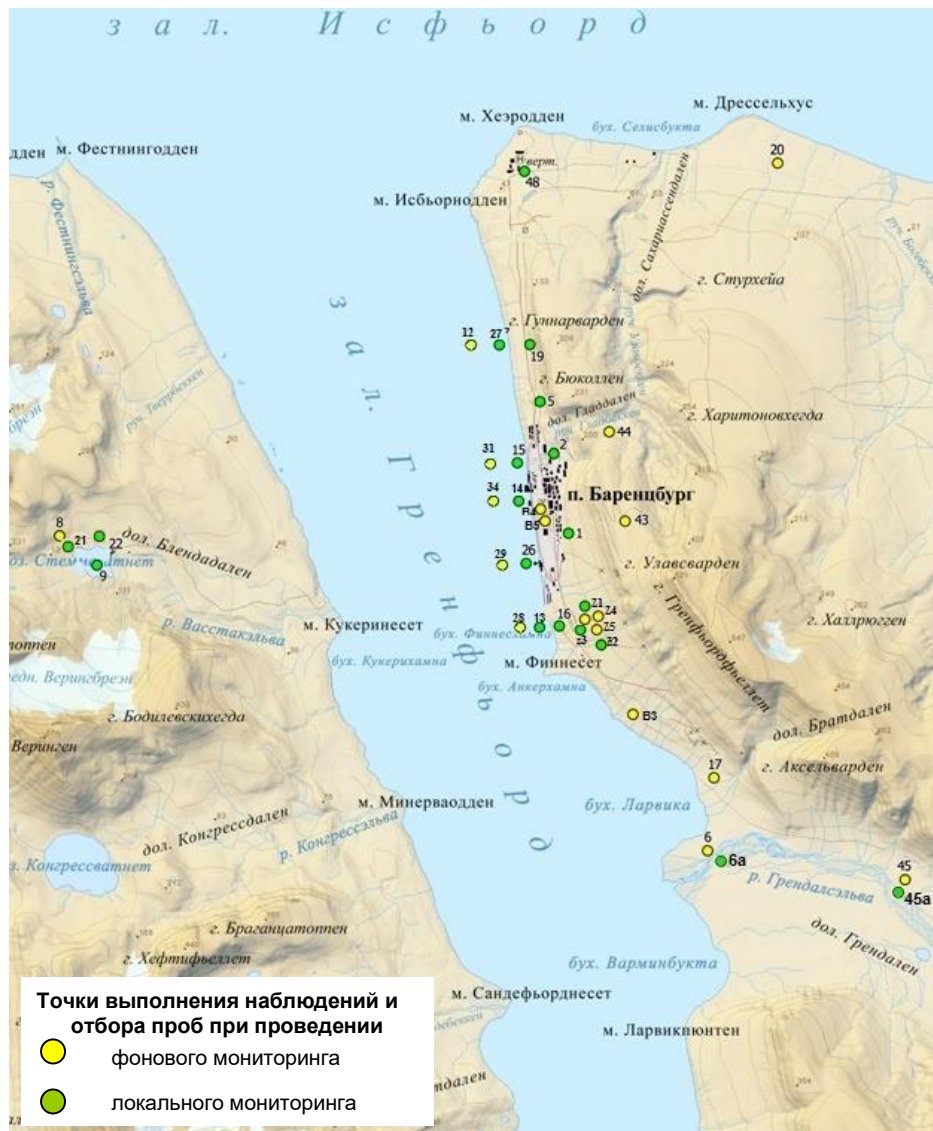


Рисунок 10.1 – Схема точек выполнения наблюдений и отбора проб при проведении фонового и локального экологического мониторинга в районе пос. Баренцбург

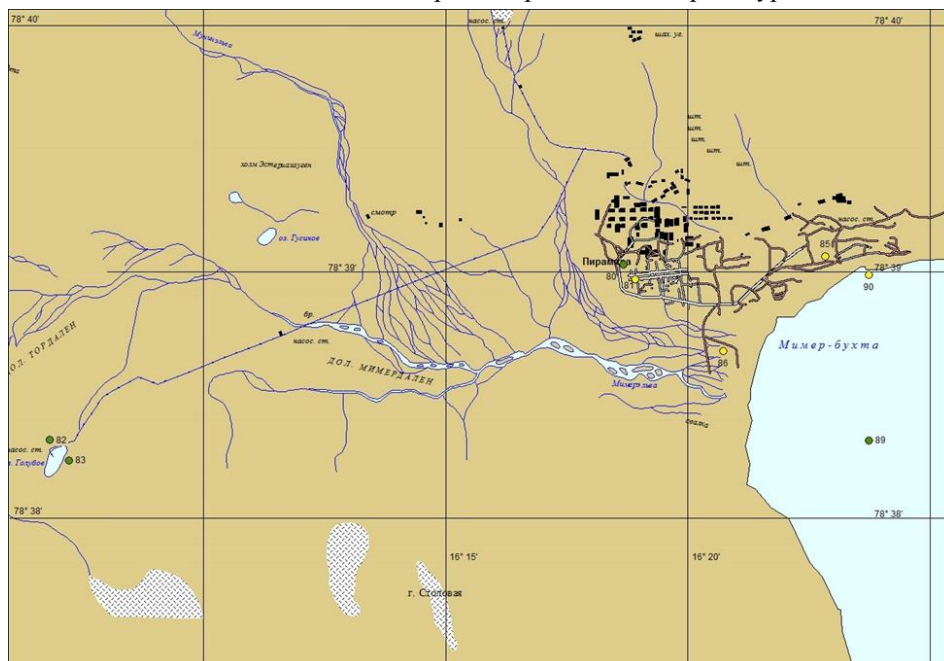


Рисунок 10.2 – Схема точек выполнения наблюдений и отбора проб при проведении фонового и локального экологического мониторинга в районе пос. Пирамида



Производились маршрутные визуальные наблюдения за состоянием поверхностного слоя почвы, размерами и характером зон нарушенности, наличием и месторасположением свалок мусора, и другими нарушениями компонентов природной среды.

Работы выполнялись специалистами Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун»: Яески Е.А. - начальник полевого отряда, Голяков А.М. – ведущий инженер химик.

*Зимне-весенний этап* проходил в период с 11 марта по 07 апреля 2024 г. на 20 наземных и 3 водных точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург и его окрестностях, в районе оз. Стемме, в районе р. Грендалсэльва, в районе мыса Дрессельхус, на восточном склоне г. Стурхеда, северо-восточном склоне г. Гренфьордфьеллет, в районе вертолетной площадки, в п. Пирамида и его окрестностях. На точках геоэкологического опробования произведены:

Отбор проб (образцов) для определения содержания загрязняющих веществ на точках геоэкологического опробования:

- 20 проб снежного покрова;
- 6 проб озерной воды;
- 42 фильтра для определения содержания твердых частиц в снежном покрове;
- 3 фильтра для определения содержания водных взвесей в озерной воде;
- 12 проб атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА.

*Летний этап* выполнялся в период с 30 июля по 13 сентября 2024 г. на 20 наземных и 17 водных точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург, п. Пирамида, район оз. Стемме, в заливах Гренфьорд и Биллефьорд, на которых произведены:

Отбор проб (образцов) для определения содержания загрязняющих веществ на точках геоэкологического опробования:

- 40 проб почвы;
- 27 проб воды (озерной – 4, речной – 2, морской – 21);
- 10 проб донных отложений (озерных – 3, речных – 2, морских – 5);
- 39 проб наземной растительности (мха – 19, сосудистых растений – 20);
- 81 фильтр для определения содержания водных взвесей (в морской воде – 63, в озерной воде – 12, в речной воде – 6);
- 12 проб атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА.

#### *Лабораторные работы*

В полевой лаборатории были произведены следующие анализы:

Подготовка проб для дальнейшего определения содержания ПАУ. Пробы экстрагировали гексаном 30 минут на мешалке, экстракты высушивали сульфатом натрия, концентрировали на ротационном испарителе и переносили в микровиалы. Дальнейшее определение проводили на хроматографе Shimadzu LC.

Подготовка проб для дальнейшего определения содержания ХОС. В пробы добавляли суррогатный стандарт: по 20 мм<sup>3</sup> 2,4,5,6-тетрахлорметаксилола (ТСМХ) с концентрацией 0,5 мкг/см<sup>3</sup> и ПХБ #198 с концентрацией 0,5 мкг/см<sup>3</sup>, экстрагировали гексаном 30 минут на мешалке, экстракты высушивали прокалённым сульфатом натрия, концентрировали на ротационном испарителе и переносили в микровиалы.

Определение массовой концентрации ртути, основанное на перманганатной минерализации пробы с последующим восстановлением ртути раствором хлорида олова (II) до металла, переносе паров ртути в аналитическую кювету анализатора РА-915М током воздуха (метод «холодного пара») и измерении атомного поглощения ртути на резонансной длине волны 253,7 нм.

Определение общего содержания нефтепродуктов выполнялось флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02-3М» фирмы «Люмэкс».

Пробы экстрагировали 10 мл гексана в делительной воронке объемом 250 мл, экстракты переносили в измерительную кювету и производили измерения.

Определение содержания компонентов минерального состава (нитраты, хлориды, сульфаты, натрий, калий, кальций, магний, аммоний) выполнялось с помощью аналитической системы на базе высокоэффективного жидкостного хроматографа Shimadzu LC-20 с кондуктометрическим детектором. Пробы для проведения анализа предварительно фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Определение содержания общего азота и общего углерода (TN, TC, IC, NPOC) выполнялось с помощью анализатора общего углерода Shimadzu TOC- Lcsh с приставкой TNM-L.

Определение содержания растворенной кремнекислоты, нитритов, фосфатов, общего фосфора проводилось с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 с проточной и непроточной кюветами.

Определение щелочность, проводимости, солености и минерализации велось на ВЭЖХ-системе для ионообменной хроматографии Shimadzu LC-20 с кондуктометрическим детектором.

Пробы почв, донных отложений и наземной растительности подвергались лиофильной сушке с последующим измельчением (ручным или механическим). Определение гранулометрического состава (ситовым методом) основано на массовой доли частиц различной крупности, выраженной в процентах по отношению к массе сухой пробы, взятой для анализа.

По окончании всех полевых работ отобранные пробы и материалы наблюдений доставлены в базовую лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» (г. Санкт-Петербург).

#### *Состав исследований в отобранных на архипелаге Шпицберген пробах*

В пробах атмосферного аэрозоля выполняются определения:

- содержание NH<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S;
- тяжелых металлов (ТМ): Ni, Co, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, As и Hg;
- хлорорганических соединений (ХОС) включая полихлорбифенилы (ПХБ): альфа-ГХЦГ, бета-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, 2,4ДДЕ, 4,4ДДЕ, 2,4ДДД, 4,4ДДД, 2,4ДДТ, 4,4ДДТ, пентахлорбензола, гексахлорбензола, гептахлора, альдрина, октахлорстирола, гептахлорэпоксида, транс-хлордана, цис-хлордана, транс-нонахлора, цис-нонахлора, мирекса, фотомирекса; полихлорбифенилов (ПХБ): #28, #52, #101, #105, #118, #138, #153, #156, #180;
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ): нафталина, аценафтилена, флуорена, аценафтена, фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(б)флуорантена, бенз(к)флуорантена, бенз(а)пирена, дибенз(а, h)антрацена, индено(123cd)пирена, бенз(g, h, i)перилена.

В пробах морской воды выполняются определения:

- растворенного кислорода; биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>); химического потребления кислорода (ХПК); водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и щелочности.
- тяжелых металлов (ТМ);
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- неполярных алифатических углеводородов C<sub>15</sub>-C<sub>31</sub> (НАУ);
- индивидуальных фенолов: алкилфенолов (крезолы, ксиленолы), хлорфенолов (моноклор-, дихлор-, трихлор-, пентахлор-), нитрофенолов (мононитро-, динитро-);
- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);

- биогенных элементов (кремнекислоты, нитритов, нитратов, аммония, общего азота, фосфатов, общего фосфора).

- концентрации взвеси.

В пробах морской взвеси выполняются определения:

- тяжелых металлов (ТМ);
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);

В пробах воды выполняются определения:

- растворенного кислорода; биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>); химического потребления кислорода (ХПК); водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и щелочности.

- тяжелых металлов (ТМ);
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- неполярных алифатических углеводородов C15-C31 (НАУ);
- определение компонентов минерального состава: NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg и NH<sub>4</sub>.

- летучих ароматических углеводородов (ЛАУ): бензола, толуола, орто-, пара- и мета-ксилола;

- индивидуальных фенолов;
- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);
- биогенных элементов;
- концентрации взвеси.

Снежный покров анализируется следующим образом:

- определение кислотности снежного покрова (величина рН)
- фильтрация пробы талой воды снежного покрова через мембранный фильтр 0.45 мкм для определения содержания твердых частиц.

- определение компонентов минерального состава;
- тяжелых металлов (ТМ);
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- биогенных элементов;
- индивидуальных фенолов.

В пробах донных отложений водоемов суши определяются содержания:

- тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка;
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- неполярных алифатических углеводородов C15-C31 (НАУ);
- индивидуальных фенолов;
- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);
- гранулометрический состав.

В пробах почвенных вод выполняются определения:

- тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка;
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- неполярных алифатических углеводородов (НАУ);
- летучих ароматических углеводородов (ЛАУ);

- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);
- индивидуальных фенолов;
- сероводорода;
- сульфидов;
- биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>);
- химического потребления кислорода (ХПК);
- водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и щелочности;
- биогенных элементов.

В пробах почв выполняются определения:

- тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка;
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- неполярных алифатических углеводородов (НАУ);
- летучих ароматических углеводородов (ЛАУ).

В пробах наземной растительности выполняются определения:

- тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка;
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);

Перед проведением химико-аналитических исследований выполняется описание видового состава образцов наземной растительности.

Всего за время проведения исследований проведено наблюдений в зимне-весенний этап на 20 наземной и 3 водных станциях; в летний этап на 20 наземных и 17 водных станциях геоэкологического опробования. По окончании лабораторных исследований в лаборатории Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» (г. Санкт-Петербург), полученные данные будут обобщены и представлены в аналитическом обзоре о состоянии природной среды в районе деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

В 2024 год опубликованы следующие материалы, подготовленные Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун»:

Фрумин Г.Т., Демешкин А.С. Динамика трофического статуса озера Биенда-Стемме (Западный Шпицберген) // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 5. С. 62–68. DOI: 10.17076/lim1905

Демешкин А.С. Оценка тенденций изменения состояния загрязнения вод залива Гренфьорд // Моря России: от теории к практике океанологических исследований, тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 23–29 сентября 2024 г., г. Севастополь, ФГБУН ФИЦ МГИ, 2024. с. 255-256.

Мероприятие 10 выполнено полностью.



## Мероприятия Роснедр ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

### Мероприятие 11. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген

Исследования проводились в рамках проекта «Мониторинг геологической карты архипелага Шпицберген и прилегающих акваторий масштаба 1:1 000 000 в 2024-2026 гг.». Эти работы являются продолжением работ 2021-2023 гг. Заказчик работ – Роснедра, исполнитель – ФГБУ «ВНИИОкеангеология».

Основной целью полевых геологоразведочных работ является сбор новых материалов для актуализации нового комплекта предварительных карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген и создание карт-врезок в виде предварительного комплекта современной геологической основы масштаба 1:100 000 ключевых опорных участков побережья пролива Форландсундет (в пределах территории северной части Земли Оскара II с прилегающими площадями и Земли Принца Карла) и района Кросс-фьорда (западная часть Земли Хаакона VII и южная часть Земли Альберта I) (рис. 11.1).



Рисунок 11.1 – Районы полевых работ 2024 года полевой партии ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Полевая группа в составе 5 человек работала на Шпицбергене с 26 июня по 9 сентября 2024 года. Непосредственно на участке исследований на Земле Оскара II и Земле Принца Карла группа работала с 10 июля по 27 августа. Объекты полевых работ: а) равнина Каффи; б) равнина Сарс; в) северный берег Сент-Джонс-фьорда; г) район Эйдем-бухты (гора Мотала); д) северная часть Земли Принца Карла (рис 11.1 и 11.2).

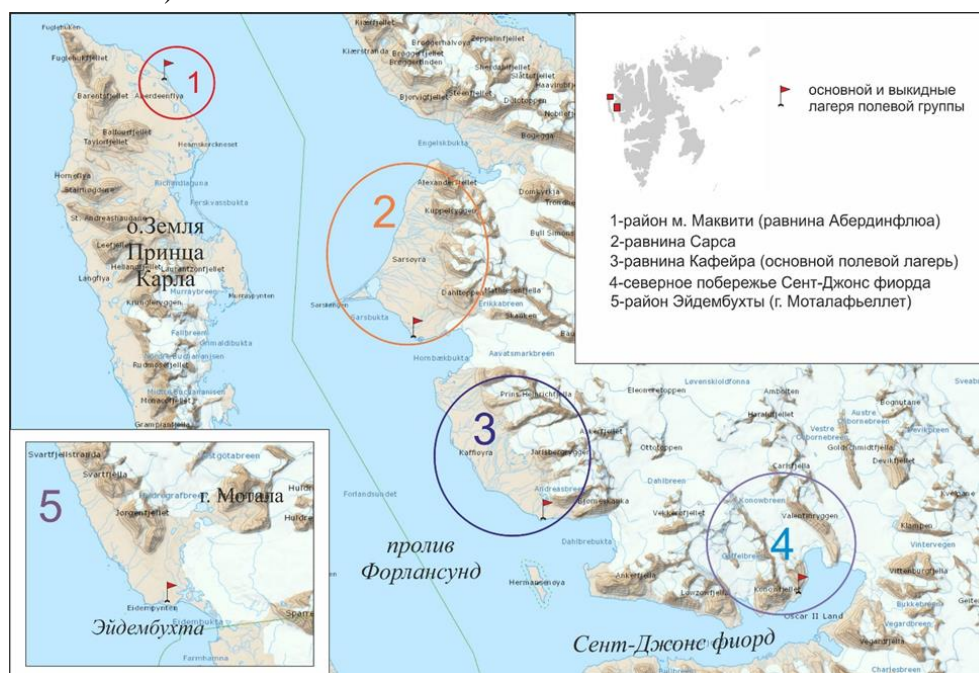


Рисунок 11.2 – Участки полевых работ: 1 – северная часть Земли Принца Карла; 2-4 – северная часть Земли Оскара II (2 – равнина Сарс, 3 – равнина Каффи, 4 – северный берег Сент-Джонс-фьорда; 5 – Эйдем-бухта (гора Мотала, к югу от Сент-Джонс-фьорда)

Доставка полевых групп к месту работ и обратно осуществлялась морским транспортом (норвежское МС «Фарм»). В полевых работах принимали участие сотрудники ФГБУ «ААНИИ» и Института археологии РАН (Москва). Руководитель работ – Сироткин А.Н. (pechenga-67@yandex.ru).

Полевые работы проводились наземными и лодочными маршрутами и включали: геологические ревизионно-увязочные маршруты, шлиховые маршруты, специализированные геолого-геоморфологические исследования, комплекс опробования (геохимическое, минералогическое, шлиховое, палеонтологическое, геохронологическое). Пополнение предварительной эталонной коллекции образцов горных пород Шпицбергена.

Полевые лагеря были организованы: а) основной базовый лагерь в южной части равнины Каффи; б) выкидные лагеря для проведения многодневных маршрутов: северная часть Земли Принца Карла, юго-западная часть равнины Сарс, Эйдем-бухта и северный берег Сент-Джонс-фьорда (рис. 11.2).

Основные полученные результаты:

1. Составлены предварительные карты геологического содержания масштаба 1:100 000 для северной части Земли Оскара II:

- геологическая карта (рис. 11.3);
- геоморфологическая карта;
- карта четвертичных отложений.

2. Собран материал для уточнения особенностей геологического строения архипелага Шпицберген по стратиграфии и вещественному составу пород рифейского, вендского, нижнепалеозойского и четвертичного комплексов; петрологии разновозрастных магматических комплексов; структурным и кинематическим характеристикам зон глубинных разломов, в том числе:

- реконструкции условий формирования, времени и степени метаморфизма, тектонической позиции метаморфических толщ (свит) Даудманс и Альххорн;
- получения петрологических характеристик и определения абсолютного возраста силлов позднепротерозойских метабазитов (северный берег Сент-Джонс-фьорда и равнина Каффи);
- описания состава разрезов, характеристики пород и характера структурных соотношений вендской (серия Комфортлессбреен) и нижнепалеозойской (серия Буллбреен) толщ;
- генетических типов четвертичных осадков и их возраста.

3. Детально описано и опробовано крупное обнажение четвертичных осадков на севере Земли Принца Карла, представляющее опорный разрез неоплейстоцен-голоценовых осадков северо-западной части архипелага.

4. Изучены характер, особенности и возраст рельефообразующих процессов в пределах изученных районов; собран материал по палеогеографии и палеонтологии для создания в дальнейшем палеогеографических схем района.

5. Изучены особенности минерагении района; собран дополнительный материал по золотонности отдельных участков площади.

6. Собран каменный материал для пополнения эталонной коллекции горных пород архипелага и актуализирован её предварительный каталог.

Кроме полевых исследований сотрудниками ВНИИОкеангеология проведена тематическая лекция по геологии Шпицбергена для жителей Баренцбурга.

Мероприятие 11 выполнено полностью.





## Мероприятие 12. Региональные геолого-геоморфологические исследования Шпицбергенского шельфа

Экспедиционные работы, проведенные в 2024 году в пришпицбергенской части Баренцева моря силами ФГБУ «ВНИИОкеангеология», выполнялись в соответствии с выпиской из перечня объектов по геологическому изучению в Антарктиде, на архипелаге Шпицберген и континентальном шельфе, финансируемых за счёт субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 29 декабря 2023 г. № 049-00004-24-00 на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов. Работы проводятся в рамках Федерального проекта «Геология: возрождение легенды», утверждённого приказом Федерального агентства по недропользованию № 797 от 29.12.2022 г. с 2022 по 2024 г. Проект зарегистрирован на международном интернет-портале Research in Svalbard, где он фигурирует под № RiS ID 11895: Geological study of Svalbard shelf (GeoShelf). Экспедиционные исследования в 2024 году проводились по Разрешению на проведение морских научных исследований № 893/2024, выданного Министерством энергетики Королевства Норвегия.

Целевым назначением работ является изучение геологического строения континентального шельфа Шпицбергена, континентальных склонов и прилегающих глубоководных котловин Норвежско-Гренландского и Евразийского бассейнов Северного Ледовитого океана. Составление комплекта геологических карт масштаба 1:1 000 000 на Шпицбергенский шельф и прилегающие океанические котловины. Оценка ресурсного потенциала структурно-вещественных комплексов на обнаружение проявлений различных видов полезных ископаемых; оценка перспектив нефтегазоносности.

В 2024 г. исследования проводились в районе с координатами углов: район запланированных работ с координатами углов 76°00' с.ш.; 17°01' в.д., 76°21' с.ш.; 18°04' в.д., 76°38' с.ш.; 18°04' в.д., 76°38' с.ш.; 23°55' в.д., 76°20' с.ш.; 23°55' в.д., 76°16' с.ш.; 24°12' в.д., 76°13' с.ш.; 24°44' в.д., 76°14' с.ш.; 26°51' в.д., 76°00' с.ш.; 26°53' в.д. Площадь района работ – 10 887 км<sup>2</sup>. Полевые работы выполнялись с борта научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов» (ФГБУ «Северное УГМС») (рис. 12.1). в период 01.06.2024 – 21.06.2024 и после прибытия в район работ велись непрерывно.



Рисунок 12.1 – НИС «Профессор Молчанов»

### *Сейсмоакустическое профилирование*

Непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) используется, главным образом, для изучения верхней части геологического разреза, сложенного осадочными рыхлыми или слабо литифицированными породами (первые 100 м). При проведении непрерывного сейсмоакустического профилирования использовался сейсмоакустический комплекс СОНИК-4М. Буксировка сейсмокосы выполнялась с использованием приспособления, отводящего косу вправо от кильватерной струи судна. В качестве такого приспособления использовалась штатная судовая Г-балка с гидравлическим приводом, расположенная по правому борту судна на 4 палубе. Буксировка разрядника (спаркера) выполнялась с использованием отводящего приспособления (выстрела) для вывода разрядника из кильватерной струи судна влево. В качестве такого приспособления использовался деревянный брус 100x100мм длиной 6м.

В период с 06.06.2024 по 14.06.2024 было выполнено 12 сейсмоакустических профилей суммарной длины 756 погонных км (рис. 12.2).

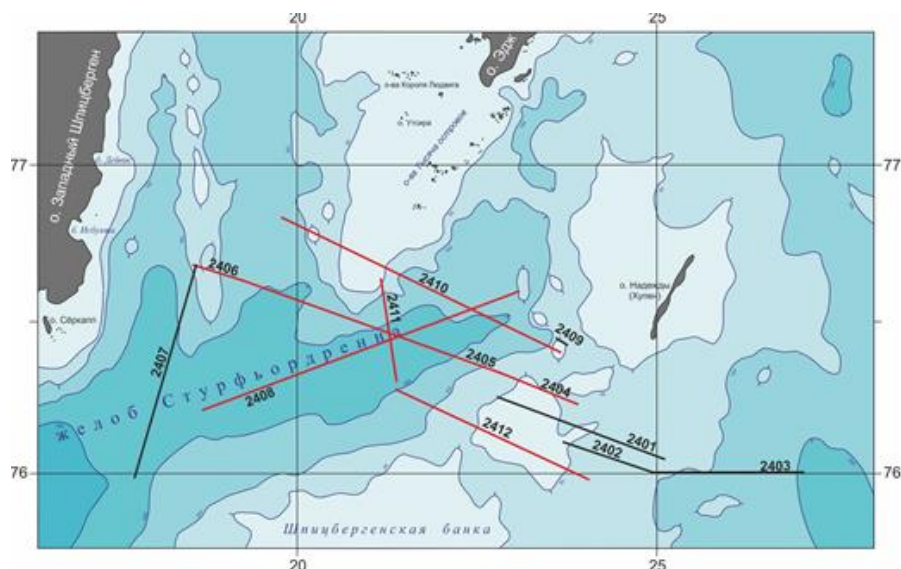


Рисунок 12.2 – Положение сейсмоакустических профилей и профилей, проведенным совместно с многолучевым эхолотированием (отмечены красным)

Примеры полученных сейсмоакустических данных приведены на рисунках 12.3-12.6. На профилях хорошо читается рельеф поверхности морского дна в районе исследований, а также характер залегания рыхлого осадочного чехла и коренных пород. Коренные породы мезозойского возраста залегают субгоризонтально (рис. 12.3), или смяты в пологие складки, срезаны эрозионными процессами, на них несогласно залегают четвертичные образования (рис. 12.4).

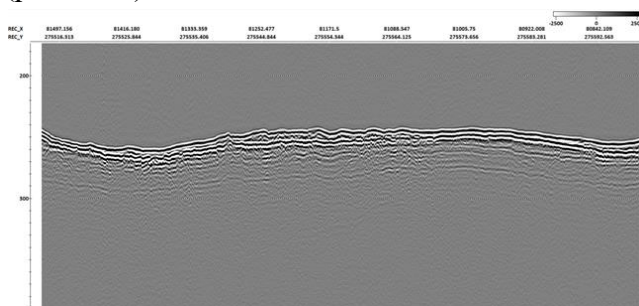


Рисунок 12.3 – Участок профиля №2410 с неровной поверхностью морского дна и маломощным четвертичным чехлом

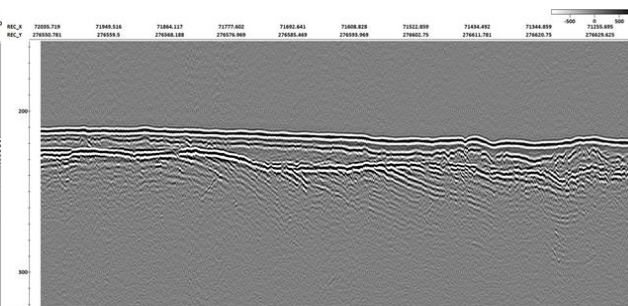


Рисунок 12.4 – Участок профиля №2410 с несогласным залеганием двух четвертичных сейсмокомплексов на эродированной поверхности мезозойских пород, смятых в синклиналиную складку

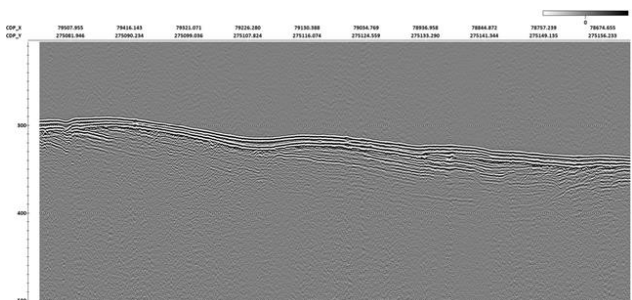


Рисунок 12.5 – Участок профиля №243 с моноклинальным залеганием коренных пород и тонким слоем четвертичного чехла

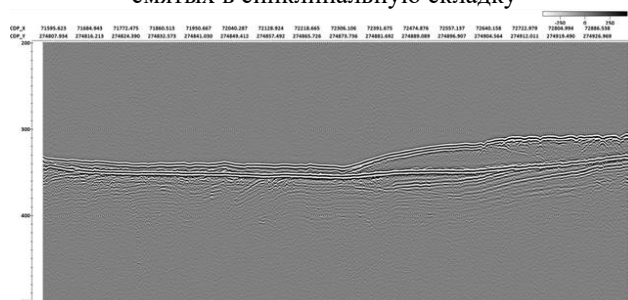


Рисунок 12.6 – Участок профиля №2408 у подножия склона желоба Стур-фьорд – аккумулятивное тело флювиогляциальных отложений увеличенной мощности

Четвертичные отложения в районе работ имеют незначительную мощность, составляя в среднем 5-10 м (рис. 12.5), и лишь местами увеличиваясь до 25-30 м в местах развития флювиогляциальных образований у подножия склонов (рис. 12.6). На вершинах банок и подводных возвышенностей четвертичные отложения либо отсутствуют вовсе, либо покрывают коренные породы тонким плащом мощностью менее метра.



## Многочуевое сканирование морского дна

Основной решаемой задачей являлось определение фактических глубин и характера рельефа дна на акватории Шпицбергенского шельфа. Съёмка рельефа дна выполнялась автоматизированным гидрографическим комплексом (АГК) на базе многочуевого эхолота. Схема подключения аппаратуры представлена на рисунке 12.7.

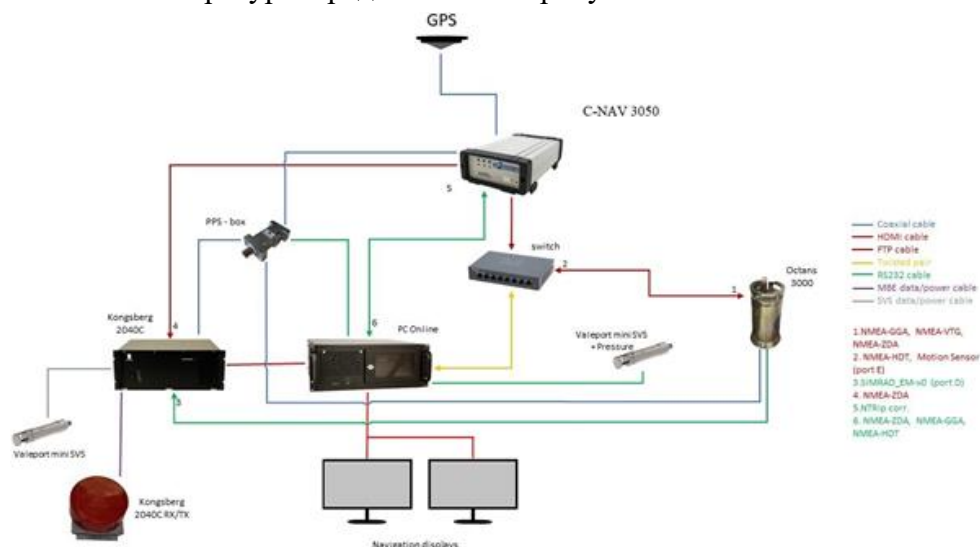


Рисунок 12.7 – Схема подключения АГК

Для выполнения работ по гидрографическому сопровождению в качестве программного обеспечения использовались следующие приложения: QINSy – планирование, сбор, обработка гидрографической и навигационной информации, контроль качества на этапах съёмки и обработки; QIMERA – обработка данных многочуевого эхолота; Kongsberg SIS – настройка рабочих параметров многочуевого эхолота.

Съёмка рельефа дна включала следующий комплекс необходимых мероприятий: проведение поверочных тестов и испытаний аппаратуры перед началом работ и после их завершения; калибровку гидрографического комплекса после установки на судно; разметку и нанесение рабочих галсов; измерение скорости звука в воде перед началом съёмки; полевую проверку и оценку качества рабочих материалов. Калибровка МЛЭ была произведена непосредственно в районе работ и выполнялась с целью определения систематических ошибок, возникающих вследствие не параллельности основных осей и погрешности в углах установки антенны многочуевого эхолота. Перед выполнением калибровки производилось измерение профиля скорости звука в воде. Расчет систематических погрешностей выполняется средствами программы сбора и обработки гидрографической информации QINSy или Qimera в строгой последовательности – ROLL (систематическая погрешность определения угла крена), PITCH (систематическая погрешность определения угла дифферента), HEADING (систематическая погрешность определения курса) (табл. 12.1)

Таблица 12.1 – Результаты поверочных испытаний

№	Система	Roll	Pitch	Heading
1	Kongsberg EM 2040C	-0,105	0,662	0,313

В период с 09.06.2024 по 14.06.2024 было отработано 7 рабочих галсов суммарной длины 591 погонных км (см. рис. 12.8)

### Донный пробоотбор

Из-за ограничений по донному пробоотбору, наложенных норвежской стороной, в экспедиции опробовались только поверхностные и подповерхностные донные осадки и донный каменный материал. Запрет касался использования грунтовой трубки и других пробоотборников, проникающих ниже поверхностных осадков. Донный пробоотбор на первых станциях выполнялся ковшом VanVin объемом 20 литров, затем – ковшом «Океан-0,25» (рис. 12.9).

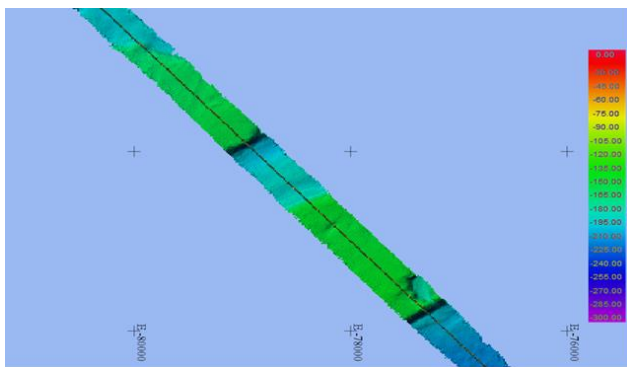


Рисунок 12.8 – Пример съемки дна с выраженным рельефом



Рисунок 12.9 – Работа с ковшом «Океан-0,25»

Ковши предназначены для отбора проб поверхностного слоя донных отложений. Ковш с открытыми створками плавно опускается на дно моря. За счет собственной тяжести и момента силы, прикладываемой к боковинам ковша при его закрытии, он вдавливается в грунт боковинами на глубину 25-30 см и отсекает пробу грунта. После закрывания створок проба грунта изолирована от водной среды, поэтому при извлечении из воды грунт не размывается. Отверстия на поверхности ковша позволяют выходить воздуху во время погружения. На борту судна при раскрытии ковша получается ненарушенный блок донных отложений с глубиной охвата разреза до 30 см. Всего работы проведены на 86 станциях (рис. 12.10), которые покрывают площадь работ неравномерно, но дают представления об осадках, залегающих как на вершинах подводных возвышенностей и банок, а также их склонах, так и в желобе Стур-фьорд, и примыкающих к нему желобах.

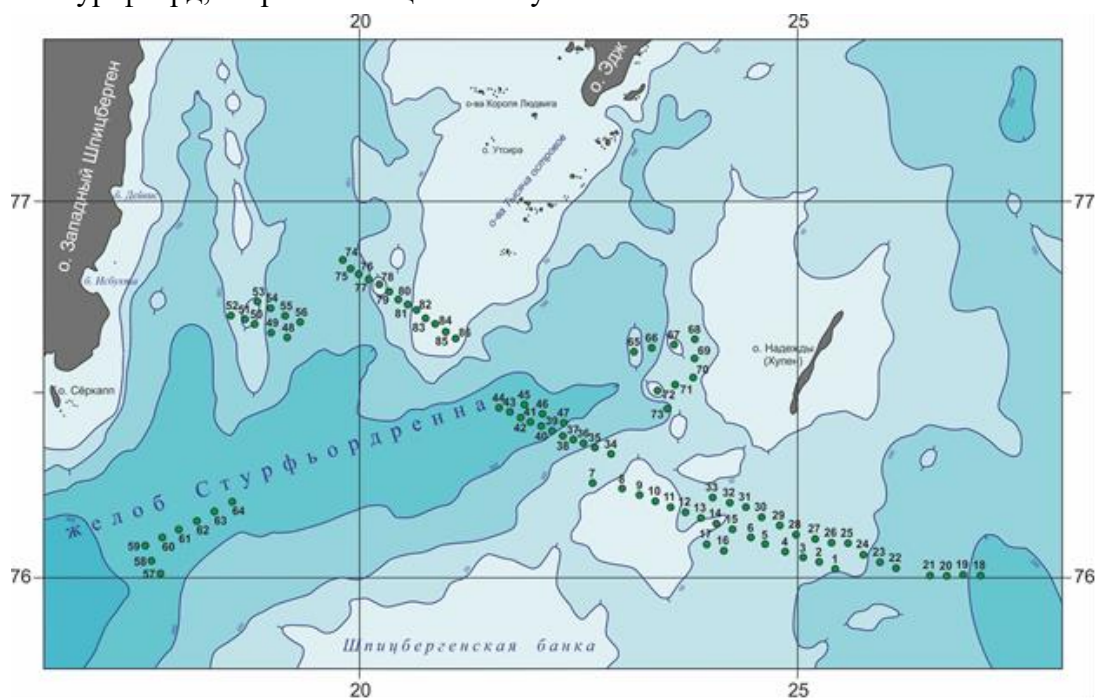


Рисунок 12.10 – Станции донного опробования в районе работ

### *Отбор проб из осадков*

На борту судна из поверхностных и подповерхностных осадков отбирались пробы на: гранулометрический, минералогический, геохимический, петрографический. Кроме того, отобраны и заморожены пробы на содержание органического вещества, раковины морских моллюсков для видовых определений, и пробы для анализа газов, содержащихся в осадках. Составлены каталоги проб по видам анализов, сопоставлены записи по пробам с полевым журналом. Извлечение газа из донных осадков проводилось парофазным методом (хэд-спейс). Для этого образец донного осадка объемом 20 мл отбирали из керна с помощью шприца с отрезанным фланцем. Отобранный осадок помещали во флакон объемом 75 мл с

резиновой пробкой и обжимным алюминиевым колпачком, содержащий 20 мл дистиллированной воды. Далее флакон укупоривался обжимным устройством и помещался в штатив орбитального шейкера для встряхивания в течение 12 ч при 400 об/мин. После установления равновесия хед-спейс газ переносили в чистые виалы объемом 15 мл и хранили под солевым затвором.

В районе работ донное опробование выполнено на 86 станциях. Плейстоцен-голоценовые осадки, вскрытые ковшом-дочерпателем, представлены в основном алеврито-пелитовыми осадками, иногда с примесью гравия и песка. На нескольких станциях донные осадки отсутствовали, зато в дочерпатель попадал обильный донно-каменный материал разной окатанности (рис. 12.11): щебень, дресва, гравий, галька, валуны, и т.д. В основном, это осадочные породы мезозойского возраста: песчаники, алевролиты, аргиллиты. Реже встречались обломки магматических пород. На некоторых станциях вскрыты отложения древнего пляжа с хорошо окатанной галькой, в других местах окатанность каменных обломков очень слабая или отсутствует вовсе.

На некоторых станциях, расположенных на вершинах подводных возвышенностей и банок, встречались довольно многочисленные представители бентоса: двухстворчатые моллюски, реже гастроподы и брахиоподы; кораллы, мшанки, усонogie раки, раки-отшельники, крабы, офиуры, морские звезды, актинии, креветки, полихеты и т.д. Живые экземпляры выпускались в море, раковины отмерших морских моллюсков, домики баянусов, отмершие кораллы и мшанки, панцири морских ежей и трубочки полихет отбирались для дальнейшего видового определения (рис. 12.12). Предварительно, наиболее часто встречались раковины: *Macoma calcarea*, *Macoma baltica*, *Astarte borealis*, *Astarte crenata*, *Portlandia arctica*, *Clinocardium ciliatum*, *Chlamis islandica*, *Balanus balanoides*, *Mya truncate*, *Hiatella arctica*.



Рисунок 12.11 – Донный каменный материал (ДКМ) с станции донного опробования, ПМ 2424К

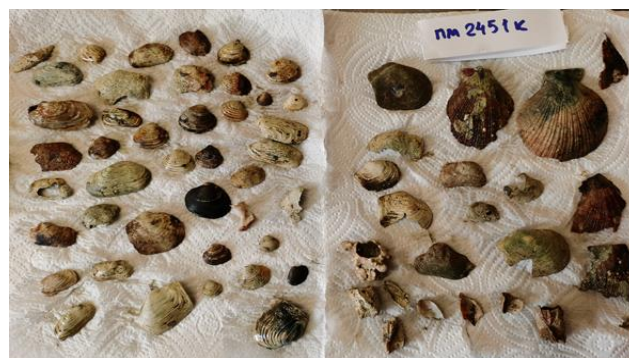


Рисунок 12.12 – Раковины морских моллюсков, поднятие на станции ПМ 2451К

Журнал донных осадков переведен в цифровой формат. Составлены паспорта станций донного опробования, где указывается информация о номере станции, координатах, типе пробоотборника, наименовании судна, дате пробоотбора, интервале пробоотбора; приводится описание полученного разреза с указанием интервалов отобранных образцов.

По результатам проведения полевых геологосъемочных исследований охарактеризованы рельеф и строение верхней части осадочного чехла пришипицбергенской части Баренцева моря. Район работ изучен с такой детальностью впервые.

#### *Радиометрические измерения осадков*

Радиометрические измерения поверхностных донных осадков выполнялись дозиметром-радиометром МКГ-01-10/10 Экорад при помощи внешнего детектора. Всего измерения были проведены на 80 станциях. Для каждой станции были измерены значения мощности амбивалентной дозы (МАД) гамма излучения и рентгеновского излучения и плотности потока бета частиц. Фоновые значения во время измерений составляли 0,026-0,03 мкЗв/час. Наиболее высокие значения всех измеренных параметров наблюдаются вблизи о. Западный Шпицберген и вблизи арх. Тысяча островов (рис. 12.13). Это может быть связано,



как и с увеличением влияния антропогенного воздействия вблизи суши, так и с ростом наличия крупнообломочного материала, который имеет повышенную естественную радиоактивность по сравнению с более глубоководными мелкими фракциями.

Таким образом, в результате морских геологосъемочных работ, проведенных ФГБУ ВНИИОкеангеология в южном углу планшета картирования (Баренцево море, район желоба Стурфьорд) с борта НИС «Профессор Молчанов», были получены новые геолого-геофизические данные, которые позволяют выяснить геологическое строение изученных площадей, а именно – строение самой верхней части осадочного чехла.

Сейсмоакустическое профилирование районов желоба Стурфьорд и мелководных банок, окаймляющих остров Надежды, архипелаг Тысячи островов, а также Шпицбергенской банки свидетельствуют о неровном рельефе дна возвышенностей и склонов, местами имеются всхолмления, что может свидетельствовать о гляциальном происхождении форм рельефа. В понижениях в сейсмоакустической записи проступают черты слоистого строения осадочной толщи верхних метров, в то время как на поднятиях на поверхность морского дна выходят коренные породы.

Отобранные образцы донных осадков, донно-каменного материала, выделенные из осадков газы будут всесторонне изучаться в аналитических лабораториях. По каменным обломкам будет выполнен петрографический анализ для выяснения областей сноса и строению коренного ложа в местах отбора проб. Изучение газов, выделенных из осадков, позволит выяснить их природу и происхождение.

Рейсовое задание полностью выполнено. Заактивированы следующие объемы:

- сейсмоакустическое профилирование – 756 км;
- многолучевое эхолотирование – 591 км;
- станции донного пробоотбора – 86 точек;
- образцы ДКМ - 61 проба;
- пробы на гранулометрический и минералогический анализы – 113 проб;
- геохимические пробы – 110 проб;
- палеонтологические пробы – 73 пробы;
- пробы на органическую геохимию (заморожены) – 116 проб;
- пробы газов – 78 проб.

Сотрудники ФГБУ ВНИИОкеангеология сердечно благодарят экипаж НИС «Профессор Молчанов» за обеспечение выполнения работ.

Мероприятие 12 полностью выполнено.

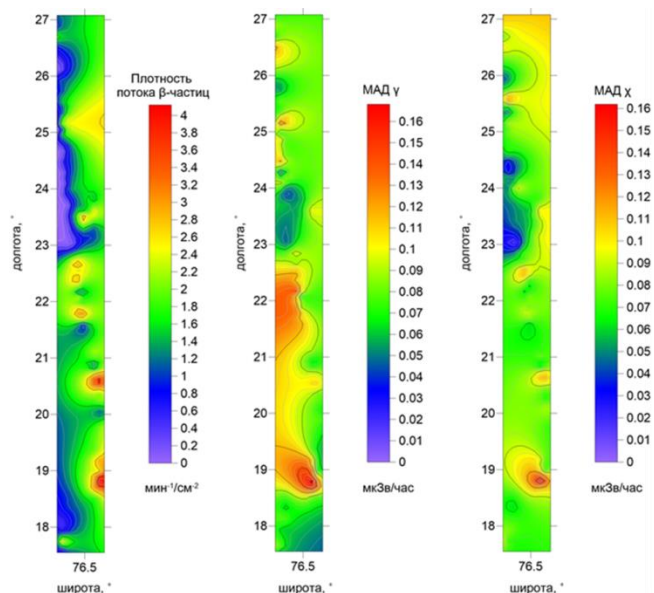


Рисунок 12.13 – Результаты радиометрических измерений по станциям пробоотбора, где слева направо показаны плотность потока β-частиц, мощность амбивалентной дозы гамма излучения и мощность амбивалентной дозы рентгеновского излучения

## Мероприятия организаций Минобрнауки России

### Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)

#### Мероприятие 13. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата

Основная цель проекта – исследование изменчивости криосферы, формирования почв приледниковых территорий, межгодовой динамики баланса парниковых газов в природных и антропогенно измененных ландшафтах и изменчивости фауны птиц в условиях природных и антропогенно измененных ландшафтов острова Западный Шпицберген в рамках реализации «Стратегии российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2030 года».

Основные решаемые задачи на 2024 г.:

- Измерение абляции на леднике Восточный Грэнфьорд Земли Норденшельда для оценки баланса массы ледников в современных климатических условиях.
- Круглогодичное измерение тепловых потоков в сезонно-талом слое многолетней мерзлоты на разных высотных уровнях для оценки состояния многолетней мерзлоты.
- Исследование состава и динамики численности фауны птиц в природных ландшафтах и в поселках с целью оценки вклада в эти изменения климата и антропогенного фактора.

Экспедиционные исследования на архипелаге Шпицберген сотрудниками ИГ РАН проводились с 30 июня по 1 сентября 2024 г. В связи с существенным усложнением, включая получения виз, и удорожанием логистики при отсутствии индексирования финансирования с 2017 г. в экспедиционных исследованиях смогли участвовать только 6 сотрудников, том числе 1 молодой.

*Измерение абляции на леднике Восточный Грэнфьорд Земли Норденшельда для оценки баланса массы ледников в современных климатических условиях*

В 2024 году продолжено проведение комплекса балансовых наблюдений на леднике Восточный Грэнфьорд. Это 11-й (2014-2024) сезон ежегодных измерений баланса массы на леднике, данные о состоянии баланса массы которого ежегодно отправляются во Всемирную Службу Мониторинга Ледников WGMS. В 2024 году сезон был открыт 27 июля. В эти даты проведена съемка показаний абляционных реек и расставлена новая абляционная речная сеть. Промежуточные отсчеты по рейкам сняты 9 августа. Конечные измерения и закрытие сезона проведено 7 сентября. Схема работ представлена на рис. 13.1.

Результаты летних полевых работ на леднике Восточный Грэнфьорд будут использованы для расчета баланса массы и его компонентов для ледниковой системы Восточный и Западный Грэнфьорд, а также в количественной оценке состояния ледникового стока и состояния приледникового озера.

Для получения баланса массы всего ледника используются средневзвешенные значения баланса массы ( $b_j$ ) для каждой высотной зоны, которые затем суммируются. Высотный интервал устанавливается для каждого

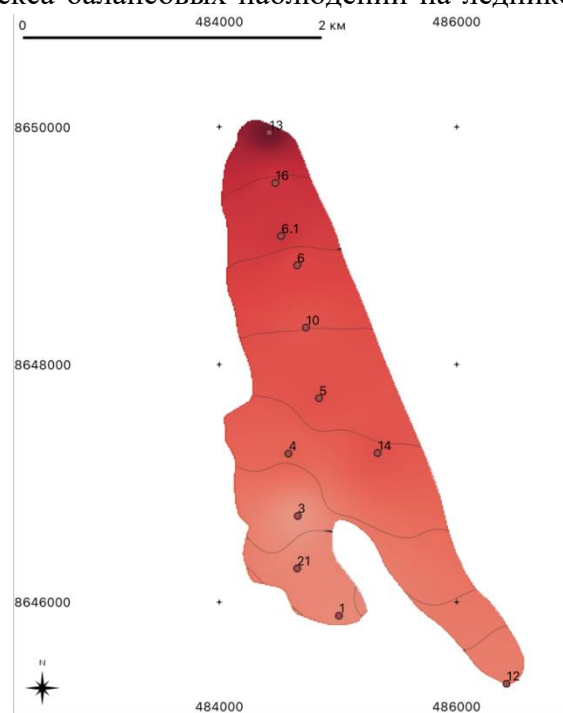


Рисунок 13.1 – Карта годового баланса массы (мм в.э.) ледника Восточный Грэнфьорд за 2024/23 балансовый год. Точками обозначено расположение речной сети, контур ледника 2024г. Изолинии построены по цифровой модели рельефа ArcticDEM



года в зависимости от количества реек, по которым доступны данные. В последние годы высотный интервал составил 20 м (~ 17 полос высот). Общая площадь ледника ( $A_{glacier}$ ) оценивается для каждого года по имеющимся спутниковым снимкам, контуры высотных зон были определены с помощью цифровой модели рельефа Arctic DEM. Значение баланса массы ( $b_j$ ) умножается на площадь ( $A_j$ ) каждой зоны, суммируется и затем делится на общую площадь ледника ( $A_{glacier}$ ) для получения среднего удельного баланса массы ( $B$ ):

$$B = \sum_{j=1}^n (b_j \cdot A_j) / A_{glacier}$$

где  $B$  – баланс массы ледника,  $b_j$  – удельный баланс массы высотной зоны,  $A_j$  – площадь высотной зоны,  $A_{glacier}$  – площадь ледника.

Баланс массы, оцененный гляциологическим методом: на рис. 13.2 показано изменение измеренного годового удельного баланса массы в точках реек в зависимости от высоты на леднике Восточный Гренфьорд в 2014/13, 2016/15 – 2024/23 гг. Потеря массы уменьшается с высотой. В 2024/23 гг. разность между балансом массы в нижней и верхней точках измерений варьируется от -5,5 до -2,4 м в.э. В распределении прослеживается выраженный высотный градиент.

За период наблюдений с 2013/14 по 2024/23 гг, наиболее отрицательный баланс массы был выявлен в 24/23 г. и составил -3,3 м в.э., что можно охарактеризовать как «сильно отрицательный» (для сравнения: -1,6 в.э. в 2023 году, -2,1 м в.э. в 2022 и -2,4 м в.э. в предыдущем наиболее отрицательном значении 2016 года).

Данные наблюдений на леднике Восточный Гренфьорд в 2024 году подготовлены для подачи во Всемирную службу мониторинга ледников (WGMS).

*Круглогодичное измерение тепловых потоков в сезонно-талом слое многолетней мерзлоты на разных высотных уровнях для оценки состояния многолетней мерзлоты*

Для получения температурного профиля в грунте на разной высоте над уровнем моря (НУМ) ежегодно устанавливаются термохроны, в точках: т. 1 расположена в 100 м на юго-запад от метеоплощадки (на высоте 70 м НУМ); т. 2 – около края первой террасы на высоте 100 м НУМ на юг от т. 1 на расстоянии 300 м; т. 3 – на склоне г. Улаф (400 м НУМ). Места расположения термохрон представлены на рис. 13.3. Точки расположены вдоль многолетнего маршрута проведения измерений в районе п. Баренцбург. Температура грунта измерялась температурными логгерами iButtons DS1922L/DS1922T. Термохроны были установлены на глубинах 0, 10, 30, 50 и 70

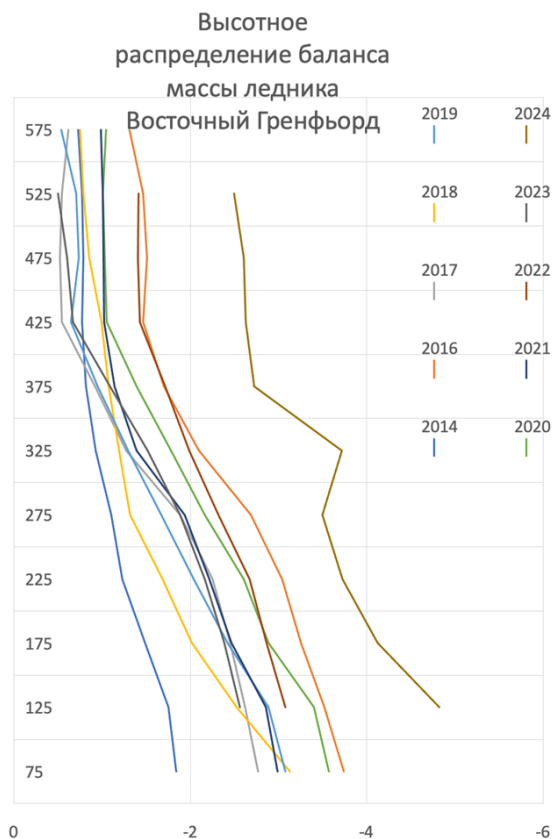


Рисунок 13.2 – Высотное распределение годового удельного баланса массы

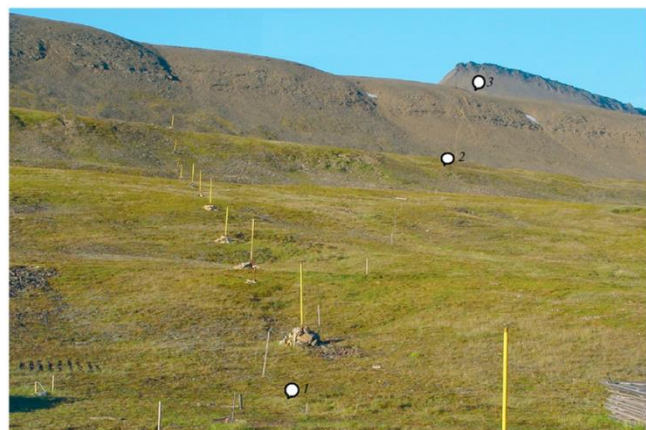


Рисунок 13.3 – Места расположения термохрон в точках 1, 2 и 3

см. Интервал измерения температуры грунта составлял 2 часа. Эти данные являются необходимой основой для настройки математической модели взаимодействия «атмосферы-снежного покрова-грунта». Температурные данные используются для расчета термического сопротивления снежного покрова и коэффициента теплопроводности снега, что является необходимым для расчета температурного режима зимнего промерзания сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты.

При наличии снежного покрова интенсивность охлаждения грунта определяется тепловым потоком через снежный покров. При этом на границе снежного покрова и грунта соблюдается равенство потоков тепла через снег и приповерхностный слой грунта. Методика оценки термического сопротивления снежного покрова по температурному профилю в приповерхностном слое грунта и температуре воздуха представлена в работе (Котляков, Сосновский, 2021). В её основе лежит равенство потоков тепла в снеге и приповерхностном слое грунта при квазистационарном профиле температур в этих средах. Как показали расчеты, эта методика применима для условий Западного Шпицбергена с его условиями резких и частых колебаний температуры воздуха только при толщинах снежного покрова более 0,5 м. В этих условиях рассчитанные значения термического сопротивления снежного покрова и коэффициента теплопроводности снега имеют небольшой разброс от среднего значения при коэффициенте вариации порядка 5,5%. При меньшей толщине снежного покрова на границе снег-грунт не устанавливается квазистационарный температурный режим (рис. 13.4).

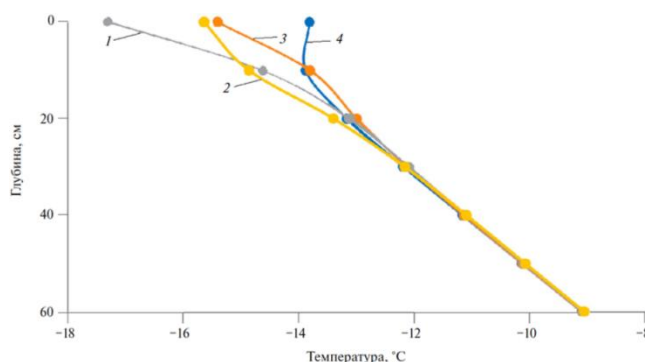


Рисунок 13.4 – Распределение температуры в снежном покрове на 3-е сутки в часы: 1 – 6; 2 – 12; 3 – 24; 4 – 18

*Комплексные исследования потоков углерода в системе почва-атмосфера для антропогенных почв, почв и почвоподобных тел супрагляциальных систем в условиях современного климата*

В рамках изучения потоков углерода в системе почва-атмосфера решаются две задачи:

- оценка нетто-баланса и основных потоков биогенных парниковых газов и С-баланса в условиях арктической тундры и антропогенно-измененных участках, на поверхности ледника Альдегонда и в его перигляциальной зоне.
- изучение особенностей формирования почв и почвоподобных тел в селитебных зонах урбанизированных ландшафтов (п. Баренцбург).

Измерения потоков биогенных парниковых газов проводились на 13 многолетних мониторинговых ключевых участках в поселке Баренцбург и окрестностях на основе прямых измерений на максимуме вегетации, из них 2 в супрагляциальной и перигляциальной зонах ледника Альдегонда и 1 новый участок в супрагляциальной зоне ледника Эсмарка, 6 – антропогенных на территории поселка и 4 – в естественной арктической тундре. Заложены почвенные разрезы на ключевых участках длительного мониторинга потоков биогенных парниковых газов – 1 разрез в фоновой арктической тундре в долине Грэндаллен, 2 разреза на ключевых участках в селитебной зоне поселка Баренцбург (см. рис. 13.5).

Измерения потоков проводили модифицированным полевым инфракрасным газоанализатором закрытого типа на базе AZ-77535 (AZ Instruments, Тайвань) методом закрытых камер, влажность почвы на глубине 0-7 см определялась полевым влагомером SM-150 (Delta-T, Великобритания), температура приземного воздуха, почвы на глубинах 1 и 10 см определялась полевым всесредовым термометром Checktemp-1 (Hanna Instruments, США). Прозрачные камеры использовались для оценки нетто-баланса CO<sub>2</sub> (NEE) и непрозрачные –

для измерения дыхания  $R$  экосистем. На каждом участке устанавливались по 8 баз-оснований с водным затвором. Измерения проводились в дневное время. Одновременно регистрировались показатели окружающей среды: температура воздуха, почвы, влажность почвы. GPS-регистратор фиксировал координаты баз-оснований. Проективное покрытие определялось методом фотофиксации. Почвенные разрезы закладывались до материнской породы или кровли многолетнемерзлых пород, почвенные образцы отбирались стерильно из генетических горизонтов для последующих лабораторных почвенных физико-химических и микробиологических исследований.

Средние показатели эмиссии  $\text{CO}_2$  ( $R$ ) по выделенным группам антропогенно-изменённых и естественных экосистем в течение срока наблюдений распределились следующим образом: самые высокие величины  $R$  отмечены на антропогенно-изменённых ключевых участках от 980 до 10656, среднее значение 5451,2 мг С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>. Дыхательная активность экосистем естественной тундры (без перигляциальных участков) составила соответственно 4487,4 (от 3611 до 5343) мг С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>.

На морене с криоконитовым суглинистым материалом с малым количеством щебня и гравия близ ледника Альдегонда, освободившейся 23 года назад, эмиссия  $\text{CO}_2$  на заселённых растительностью участках соответствовала естественным тундровым экосистемам – 3807,1 (от 2679 до 5674) мг С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>, а на свободных от видимой биоты участки щебнистой морены без криоконитового материала минимальные значения 40,4 мг С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>. Эмиссия диоксида углерода на скоплении криоконитового мелкодисперсного суглинистого материала на поверхности ледника Альдегонда была в 5 раз выше, чем на лишенной растительности щебнистом участке – 218 мг С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>. На лишенных видимой растительности скоплениях криоконитового материала на поверхности ледника Эсмарка эмиссия диоксида углерода была еще выше – 348,1 мг С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>.

Чистый экосистемный обмен измерялся только на заселённых растениями (фанерогамами и криптогамами) участках. На антропогенных ключевых участках средние значения нетто-баланса С составили +5868 мг углерода в сутки (от +1715,4 до +15403,1). На всех исследованных ключевых участках экосистемы показали положительный нетто-баланс С за период полевых измерений. Положительные значения  $\text{NEE}$  свидетельствуют, что антропогенные экосистемы Баренцбурга являются С-источником для атмосферы.

Для разновозрастных объектов зеленой инфраструктуры селитебной зоны поселка Баренцбург характерны в староосвоенной части (ключевой участок «Плисецкая» и многочисленные прикопки) серогумусовые грубогумусовые урбитсратифицированные



Рисунок 13.5 – Полевые измерения эмиссии диоксида углерода с использованием модифицированного газоанализатора AZ-77535 (режим «темной» камеры), влагомера SM-150 Delta-T и термометра Checktemp-1 Delta-T: *a* – ключевой участок «Бассейн», антропогенно-изменённая экосистема объекта городской зеленой инфраструктуры селитебной зоны п. Баренцбург; *b* – ключевой участок «Ледник Альдегонда», скопление мелкодисперсного суглинистого криоконитового материала на поверхности ледника



почвы с погребенными урбиковыми UR горизонтами (начальные этапы освоения и озеленения территории поселка Баренцбург), а для современной активной зоны освоения с высокой общественной нагрузкой (ключевой участок «Бассейн» и многочисленные прикопки) – реплантоземы с серией техногенных рекультивационных горизонтов RAT, отражающие этапы озеленения и перестройки территории в последние десятилетия. Типичные серогумусовые грубогумусированные почвы фоновых тундровых экосистем (ключевой участок «Грёндален») для селитебной зоны поселка не характерны, повсеместно диагностируются артефакты или полностью искусственный генезис поверхностных органогенных горизонтов почв и почвоподобных тел (рис. 13.6).

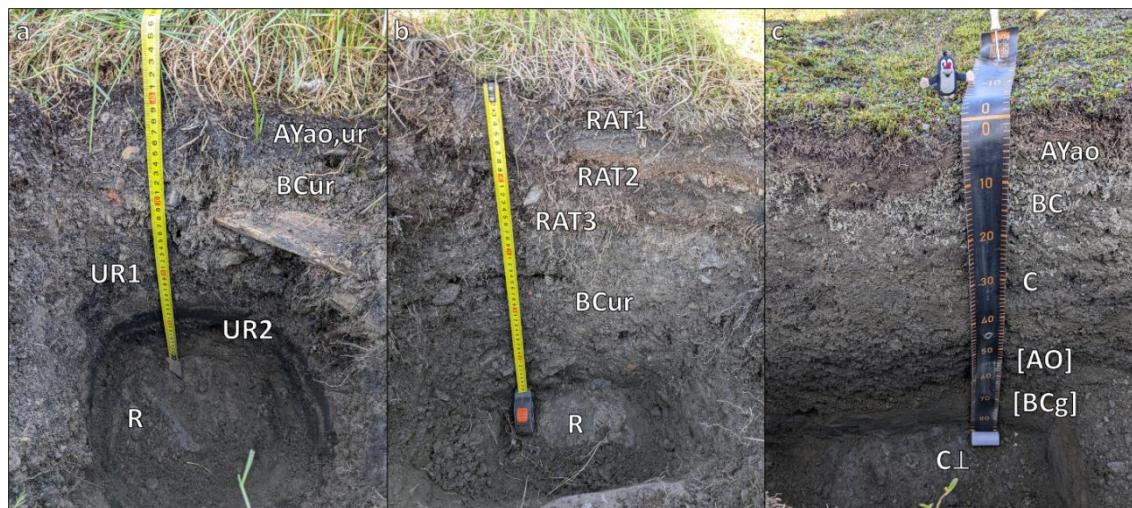


Рисунок 13.6 – Почвы и почвоподобные тела селитебной зоны (а – Р-ВВ-SP-2024, ключевой участок «Плисецкая»; б – В-ВВ-SP-2024, ключевой участок «Бассейн») и фоновой арктической тундры (с – G-ВВ-SP-2024, ключевой участок «Грёндален»)

*Исследование состава и динамики численности фауны птиц в природных ландшафтах и в поселках с целью оценки вклада в эти изменения климата и антропогенного фактора*

Основу орнитофауны Шпицбергена составляют водоплавающие, околотовные, и морские птицы. Современная динамика природной и антропогенной среды, связанная с отступанием ледников, и антропогенными изменениями в окрестностях поселков, создают ряд дополнительных местообитаний для птиц, которые активно заселяются в настоящее время.

В 2024 г работы были проведены преимущественно в п. Баренцбург и его окрестностях (обследованы устьевые участки рек восточного берега, дельта р. Грён, прибрежная полоса литорали от мысов Феннисет до мыса Фестнинген, внутренняя часть залива Гренфьорд, приледниковые озера близ ледника Альдегонда, склоны гор Копань, окрестности дома Русанова, п. Колсбей и Грумант (со стороны моря), п. Пирамида и побережье до бухты Петунья. Оценен характер пребывания видов и их пространственное размещение в естественной природной среде, в том числе в «новых» местах, которые освобождаются от ледников (морены, приледниковые озера и др.), проведены учеты птиц, в том числе индивидуально меченых в синантропной колонии моевок в п. Пирамида и Баренцбург.

С 2022 г. была достигнута договоренность о регулярном мониторинге орнитофауны в осенне-зимне-весенний периоды силами жителей п. Баренцбург с фото-документацией. Благодаря этому удалось получить информацию по срокам отлета и прилета птиц осенью и весной, зимовкам чистиков в заливе и дополнительные сведения о залетах новых видов (вяхирь, свистель, большой веретенник), что обогатило список орнитофауны окрестностей Баренцбурга.

Всего в Грэн-фьорде зарегистрирован 31 вид морских, водоплавающих и околоводных птиц, среди которых ведущая роль принадлежит отрядам ржанкообразные Charadriiformes и гусеобразные Anseriformes (табл. 13.1). В августе 2022-2024 г. встречены 20 видов из 28 отмеченных ранее, из них гнездятся 15 видов, а 5 неизвестных ранее видов (лебедь, вяхирь, большой веретенник, белая сова, свиристель) добавлены в список по опросным сведениям, полученным от местных жителей, что подтверждено фотодокументацией.

Таблица 13.1 – Видовой состав и характер пребывания птиц в 2022-2024 г.

№	Систематика	Вид	Август
			Баренцбург+Пирамида
1	<b>Gaviiformes</b> Gaviidae	КРАСНОЗОБАЯ ГАГАРА <i>Gavia stellata</i>	Г
2	<b>Procellariiformes</b> Procellariidae	ГЛУПЫШ <i>Fulmarus glacialis</i>	Г
3		ЛЕБЕДЬ sp	(+)
4	<b>Anseriformes</b>	КОРОТКОКЛЮВЫЙ ГУМЕННИК <i>Anser Brachyrhynchus</i>	Г
5	Anseridae	ЧЕРНАЯ КАЗАРКА <i>Branta bernicla</i>	+
6	Anatidae	БЕЛОЩЁКАЯ КАЗАРКА <i>Branta leucopsis</i>	Г
7		МОЛЯНКА <i>Clangula hyemalis</i>	+
8		ОБЫКНОВЕННАЯ ГАГА <i>Somateria mollissima</i>	Г
9		ГАГА-ГРЕБЕНУШКА <i>Somateria spectabilis</i>	+
10		СИБИРСКАЯ ГАГА <i>Polisticta stelleri</i>	-
11	<b>Charadriiformes</b>	ГАЛСТУЧНИК <i>Charadrius hiaticula</i>	Г
12	Charadriidae	ПЛОСКОНОСЫЙ ПЛАВУНЧИК <i>Phalaropus fulicarius</i>	-
13	Stercorariidae	МОРСКОЙ ПЕСОЧНИК <i>Calidris maritima</i>	Г
14		КАМНЕСАРКА <i>Arenaria interpres</i>	-
15		БОЛЬШОЙ ВЕРЕТЕННИК <i>Limosa limosa</i>	(+)
16		БОЛЬШОЙ ПОМОРНИК <i>Stercorarius skua</i>	-
17		КОРОТКОХВОСТЫЙ ПОМОРНИК <i>Stercorarius parasiticus</i>	Г
18	Lariidae	БУРГОМИСТР <i>Larus hyperboreus</i>	Г
19	Sternidae	МОРСКАЯ ЧАЙКА <i>Larus marinus</i>	+
20		МОЕВКА <i>Rissa tridactyla</i>	Г
21		БЕЛАЯ ЧАЙКА <i>Pagophila eburnean</i>	-
22		ПОЛЯРНАЯ КРАЧКА <i>Sterna paradisaea</i>	Г
23		ЛЮРИК <i>Alle alle</i>	Г?
24		ТОНКОКЛЮВАЯ КАЙРА <i>Uria aalge</i>	-
25		ТОЛСТОКЛЮВАЯ КАЙРА <i>Uria lomvia</i>	+
26		ЧИСТИК <i>Cephus grille</i>	Г
27	ТУПИК <i>Fratercula arctica</i>	Г?	
28	<b>Columbiformes</b>	ВЯХИРЬ <i>Columba palumbus</i>	(+)
29	<b>Strigiformes</b>	БЕЛАЯ СОВА <i>Nyctea scandiaca</i>	(+)
30	<b>Passeriformes</b>	СВИРИСТЕЛЬ <i>Bombicilla garrulous</i>	(+)
31		ПУНОЧКА <i>Plectrophenax nivalis</i>	Г

Обозначения: Г-гнездится, Г?- вероятно гнездится, +-встречается в летнее время, (+) – по опросным сведениям

В августе 2024 г. большинство птиц находились в постгнездовом статусе, готовились к миграциям. Гуси уже покинули свои гнездовые территории и собрались в линные или предотлетные стаи, кулики концентрировались кормящимися стайками на берегу, полярные крачки носили корм птенцам во внутренней части залива, и продолжали кормить летных птенцов в антропогенных местообитаниях. Синантропные гнездовья чистиков в Баренцбурге значительно деградировали из-за активизации ремонта фасадов зданий. Птенцы бургомистров в большинстве уже покинули крыши домов, но еще требовали корм.

Наиболее многочисленны в августе в окрестностях Баренцбурга были моевка, обыкновенная гага, глупыш, короткоклювый гуменник, морской песочник, полярная крачка, пуночка. Среди размножающихся птиц доминировали моевка (в соотношении 3:1 в антропогенных и в природных местообитаниях), затем обыкновенная гага, короткоклювый гуменник, полярная крачка, пуночка и бургомистр (последние 4 вида в соотношении 4:1 в



антропогенных и природных местообитаниях соответственно). В п. Пирамида по численности доминировали гнездящиеся на зданиях моевка, а также бургомистр и полярная крачка, а остальные виды отмечены единично. Количество гнездящихся пар у глупыша и у различных видов чистиковых достоверно установить не удалось из-за труднодоступности мест их гнездования. На горе Копань, в окрестностях п. Баренцбург, после 12 августа 2024 г. люриков не было отмечено, но весной, в мае, по опросным сведениям, наблюдались их стайки численностью около 30 птиц.

Проведено детальное обследование синантропных колоний моевок: в п. Баренцбург (на здании ТЭЦ) и п. Пирамида (на «Птичьем доме»).

С помощью бинокля Zeiss x 10 и подзорной трубы Swarovski x 50 удалось прочитать цветные индивидуальные коды по программе Seatrack в синантропных колониях моевок в Пирамиде и Баренцбурге (в 2022, 2023 и 2024) – всего прочитано 121 индивидуальный код, из них 22 птицы встречены в оба года (рис. 13.7). Интересно, что птицы с цветными кольцами, которые в 2022, 2023 и 2024 гнездились на ТЭЦ в Баренцбурге, были ранее отловлены на гнездах и окольцованы С. Декампом в Груманте в 2016 или 2017 гг., а в дальнейшем переместились в Баренцбург, о чем не было известно ранее. Некоторые птиц можно наблюдать на ТЭЦ уже 2 года (СИ в 2022 и в 2023) или 3 года (СТ в 2022, 2023 и 2024).



Рисунок 13.7 – Моевка с кодом СИ, встреченная в 2022 г. (слева) и в 2024 г. (справа)

Маршруты были проведены в составе и при помощи следующих участников: Бетчер Т.И., Новиков А.Л., Шаврин С.А., Демидов В.Э., Шестакова А.А. и др. Использованы опросные сведения: Бетчер Т.И., Колесникова А., Поповой З.М., Носенко Г., Мюнинга Й. и др.

По результатам исследований опубликованы работы:

Nikitin D.A., Lysak L.V., Zazovskaya E.P., Mergelov N.S., Goryachkin S.V. Microbiome of supraglacial systems on the Aldegonda and Bertil glaciers (Svalbard) // Eurasian Soil Science, 2024. Vol. 57, no. 4. P. 601–622.

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Высота снежного покрова и её динамика на материковой части Российской Арктики в условиях современного климата // Лёд и Снег, 2024; 64(2):238-251. DOI: 10.31857/S20766734240200741

Osokin N.I., Sosnovsky A.V. Assessment of thermal resistance of snow cover in Western Spitsbergen. *Led i Sneg. Ice and Snow*, 2024. 64 (3): 420–430. [In Russian]

Чернов Р.А., Ромашова К.В. Классификация приледниковых озер Шпицбергена. *Криосфера Земли*, 2024 (в печати)

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Оценка температуры поверхности грунта под снежным покровом. *Криосфера Земли*, 2024. (в печати)

Литература:

Котляков В.М., Сосновский А.В. Оценка термического сопротивления снежного покрова по температуре грунта // Лёд и Снег, 2021. 61(2), с. 195-205. DOI: 10.31857/S2076673421020081

Мероприятие 13 выполнено полностью.

## Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН)

### Мероприятие 14. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген

В рамках комплексных экосистемных исследований в 2024 г. ученые ММБИ проводили исследования по следующим направлениям:

1. Анализ данных о состоянии водных масс на морских акваториях в районе архипелага.

2. Исследования компонентов микробной трофической сети в пелагиали фьордов Шпицбергена.

3. Изучение роли автотрофного наннопланктона, как компонента трофической цепи экосистем фьордов западного Шпицбергена.

4. Исследования реакции донной фауны фьордов Шпицбергена на изменения климата на популяционном и биоценотическом уровнях.

5. Исследования видового разнообразия фитобентоса, морфо-функционального состояния макроводорослей, эпифитных микроорганизмов на их поверхности, содержания токсикантов в биоте и среде обитания (грунт-вода-водоросли) в заливах Ис-фьорд и Грён-фьорд.

6. Реконструкция исторических концентраций тяжелых металлов и объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в воде в период развития береговой инфраструктуры п. Баренцбург с помощью датирования возраста осадочных слоев донных отложений по  $^{210}\text{Pb}$ .

7. Исследования стратиграфических особенностей осадочной толщи донных отложений устьевого взморья реки Грэндален (залив Грён-фьорд, Западный Шпицберген). Оценка хронологии изменений геоэкологических условий среды с помощью методов радиоизотопного датирования. Определение факторов, влияющих на седиментацию в районе исследования в период климатических изменений.

8. Пополнение баз данных компонентов морских экосистем как основы оптимального планирования мероприятий по охране окружающей среды на архипелаге Шпицберген.

В ходе реализации темы научно-исследовательская деятельность осуществлялась по трем блокам:

– сбор научного материала в наземных и морских экспедициях в районе архипелага Шпицберген;

– аналитическая обработка полевого материала в лабораториях РНЦШ (Баренцбург) и ММБИ (Баренцбург, Мурманск);

– публикация научных статей в российских и зарубежных изданиях, а также популяризация проводимых на архипелаге исследований.

#### *Сбор научного материала в экспедициях в районе архипелага Шпицбергене*

Одним из важнейших направлений в исследованиях окружающей среды является экспедиционный сбор научного материала. Полевые работы ММБИ в районе п. Баренцбург прошли в марте-апреле 2024 г. Кроме этого, запланированы морские экспедиционные исследования в районе архипелага Шпицберген на НИС «Дальние Зеленцы» в октябре-ноябре 2024 г.

#### *Исследования в районе пос. Баренцбург.*

В период с 28 марта по 25 апреля 2024 г. проведена экспедиция (3 сотрудника: Н.И. Мещеряков, И.С. Усягина, А.А. Намятов) на архипелаг Шпицберген. Выполнены океанографические, гидрохимические, радиоэкологические и седиментологические исследования фьордов и озер Шпицбергена. Целью экспедиции являлся отбор и первичный анализ проб для получения следующих результатов:

1. Реконструкция ледниково-морской и лимно-гляциальной седиментации на архипелаге Шпицберген в условиях климатических изменений и выхода из Малого ледникового периода (1303-1850 г), что включало следующие задачи:

- Установление хронологии формирования литотипов донных отложений;
- Выявление темпов седиментации накапливаемого материала в закрытых озерных системах и фьордах архипелага;
- Статистическое выявление основных климатических компонентов, оказывающих влияние на седиментогенез в данных бассейнах.

2. Реконструкция динамики поступления флювиогляциальных потоков в морские и озерные бассейны о. Западный Шпицберген в период современной дегляциации архипелага Шпицберген, гидрохимические исследования морской среды включали:

- Исследование сорбционных свойств морских и озерно-ледниковых отложений;
- Выявление содержания базовых вод – атлантических, стоковых (речных и ледниковых), талых вод (от таяния морского льда), а также вод, изъятых на ледообразование (морского льда) в поровых водах различных датированных слоев донных отложений фьорда;

3. Изучение содержания природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) радионуклидов, а также содержания тяжёлых металлов и металлоидов в озерных и морских донных отложениях за период от начала освоения архипелага Шпицберген по настоящее время (последние 150 лет) и сравнение влияния разных источников на загрязнение в закрытых бассейнах седиментации и фьордах архипелага, включая

- Оценку временной изменчивости содержания природных и техногенных радионуклидов и тяжёлых металлов в озерных осадках Шпицбергена за период от начала освоения архипелага по настоящее время (последние 150 лет);
- Выявление вклада различных источников в загрязнение озер архипелага, попытка их классификации (атмосферные выпадения, поступление с речным стоком и/или при таянии ледников);
- Поиск надежных хронологических маркеров атмосферных выпадений радионуклидов по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  в осадочных слоях кернов озерных донных отложений, а также маркеров трансокеанического переноса сбросов «Селлафильда» в осадочных слоях кернов морских отложений открытых и закрытых фьордов архипелага.

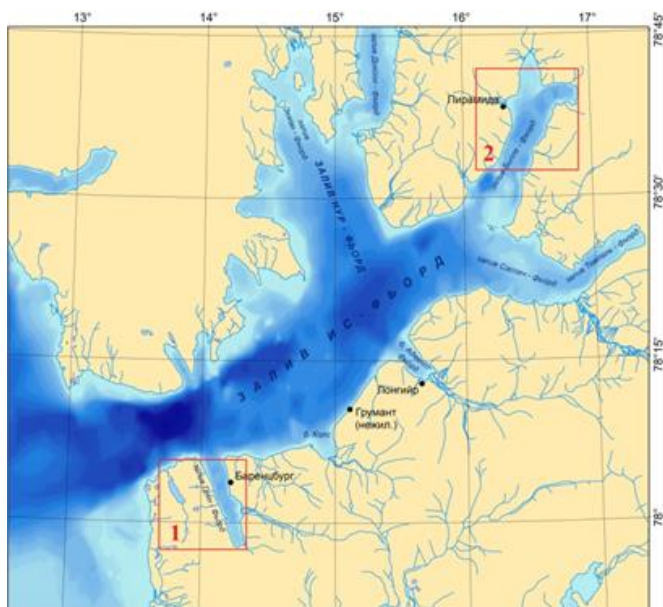


Рисунок 14.1 – Районы работ: 1 – п. Баренцбург: залив Грэн-фьорд, озёра Конгресс, Линне и Стемме; 2 – п. Пирамида: залив Билле-фьорд, Бухта Адольфа, озёра Верхнее и Нижнее в долине реки Мимер

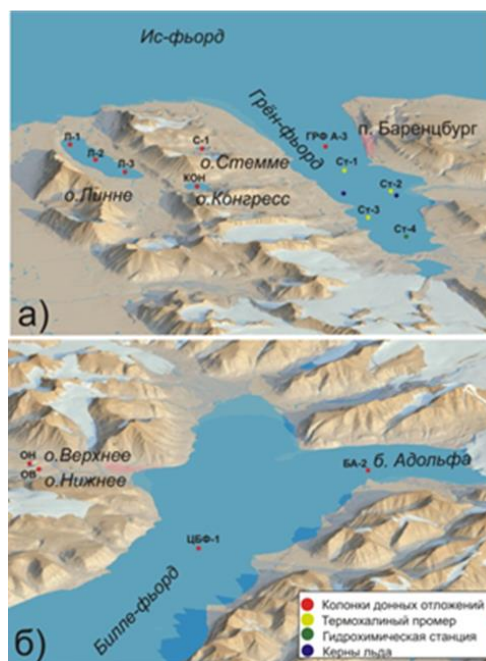


Рисунок 14.2 – Станции, выполненные в районах работ 1 (а) и 2 (б)

Первичная обработка материала проводилась на Биогеостанции ММБИ РАН и в химико-аналитической лаборатории РАЕ-Ш ААНИИ.

В ходе экспедиционных исследований были выделены два района работ (рис. 14.1, рис. 14.2).

Отбор проб проводился совместно со специалистами по гидрологии, гидрохимии и океанологии РАЭ-Ш (ААНИИ). Общий объём отобранных проб и проведённых измерений представлен в таблицах 1 и 2. В ходе полевых работ выполнены STD-зондирования, проанализированы содержания биогенных компонентов, отобраны пробы на анализ содержания изотопов кислорода и водорода. Всего отобрано 10 колонок донных отложений, из которых подготовлены к транспортировке в ММБИ РАН и дальнейшему лабораторному анализу 271 проба осадка (табл. 14.1).

Таблица 14.1 – Общий объём гидрологических и гидрохимических исследований

Параметр	Единица измерений	Кол-во
Температура	профиль	4
Соленость	профиль	4
Si-SiO <sub>3</sub>	количество анализов	32
P-PO <sub>4</sub>	количество анализов	32
N-NO <sub>2</sub>	количество анализов	32
N-NO <sub>3</sub>	количество анализов	32
δ <sup>18</sup> O и δ <sup>2</sup> H	количество проб, морская вода	26
δ <sup>18</sup> O и δ <sup>2</sup> H	количество проб, лед	7
δ <sup>18</sup> O и δ <sup>2</sup> H	количество проб, поровые воды, 4 колонки	204

Таблица 14.2 – Общее количество проб донных отложения в районах работ: МО – морские отложения, ОО – озерные отложения

№	Тип пробы	Место отбора пробы	Шифр	Глубина отбора, м	Длина керна, см	Кол-во слоев, шт.	Поровые воды, шт.
1	МО	зал. Грэн-фьорд	ГРФ А-3	95	48	24	24
2	МО	центр зал. Билле-фьорд	ЦБФ-1	90	16	16	16
3	МО	Бухта Адольфа, Билле-фьорд	БА-2	40	66	33	33
4	ОО	оз. Верхнее (Дальнее)	ОВ	4	20	19	19
5	ОО	оз. Нижнее (Ближнее)	ОН	7	28	14	
6	ОО	оз. Линне	Л-3	15	60	30	
7	ОО	оз. Линне	Л-2	92	92	46	46
8	ОО	оз. Линне	Л-1	15	45	23	
9	ОО	оз. Стемме	С-1	6	15	6	
10	ОО	оз. Конгресс	Кон	30	120	60	58
			всего		всего	271	196

### Гидрологические и гидрохимические условия

Распределение температуры и солености на разрезе в заливе Грэн-фьорд представлено на рисунке 14.3. Значения температуры воды изменялись в диапазоне от -1,38 до 1,89 °С. Среднее значение по всем станциям составляло  $-0,18 \pm 1,21$  °С. Соленость воды изменялась от 34,40 до 34,82 е.п.с., а средняя величина составила  $34,59 \pm 0,15$  е.п.с. Вертикальные профили показывают небольшую изменчивости этих параметров от станции к станции. На профилях температуры воды хорошо прослеживается верхний слой 0–20 м с отрицательными температурами воды и пониженными значениями солености. Понижение солености вызвано относительно небольшим пресноводным речным стоком. В слое 20–25 м наблюдался переход от отрицательных к положительным значениям температуры

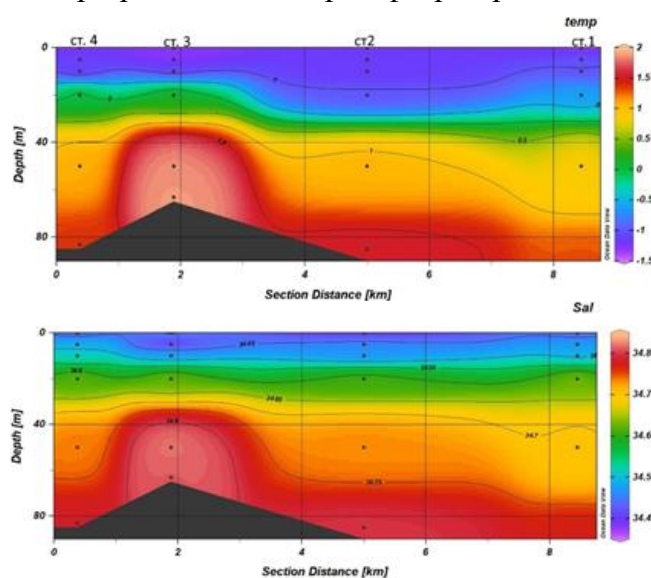


Рисунок 14.3 – Распределение температуры и солености воды на разрезе (дата измерений 02.04.2024)



воды, что сопровождалось увеличением солености на 0,10-0,15 е.п.с. Ниже этого слоя температура воды достигала 1,89 °С, а соленость увеличивалась до 34,82 е.п.с.

Результаты химических анализов в виде средних величин концентраций по горизонтам представлены в таблице 14.3. Распределение концентраций биогенных элементов по глубине представлено на рис. 14.4, а распределение этих параметров на разрезе представлено на рис. 14.5.

Таблица 14.3 – Средние концентрации биогенных элементов в зал. Грэнфьорд (отбор 02.04.2024)

Горизонт	Концентрации, мкг/л							
	P-PO <sub>4</sub>	sd	Si-SiO <sub>3</sub>	sd	N-NO <sub>2</sub>	sd	N-NO <sub>3</sub>	sd
0	33,4	19,2	258,2	12,4	1,3	0,3	103,2	34,1
5	22,3	7,4	256,0	20,7	1,1	0,3	114,7	17,7
10	21,7	4,5	250,1	7,2	1,1	0,1	122,5	5,8
20	33,8	26,2	251,9	6,9	1,4	0,3	122,7	4,8
50	21,5	8,3	256,5	7,9	1,0	0,0	126,8	2,6
Дно	24,9	6,8	250,8	3,6	1,1	0,3	126,5	4,7

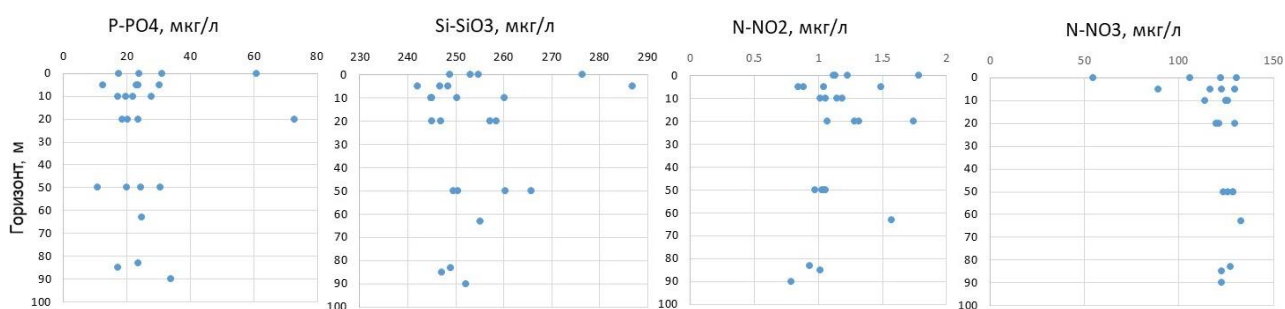


Рисунок 14.4 – Вертикальное распределение концентраций Si-SiO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub> и N-NO<sub>2</sub>, и N-NO<sub>3</sub> (мкг/л) на выполненных станциях (дата отбора проб 02.04.2024)

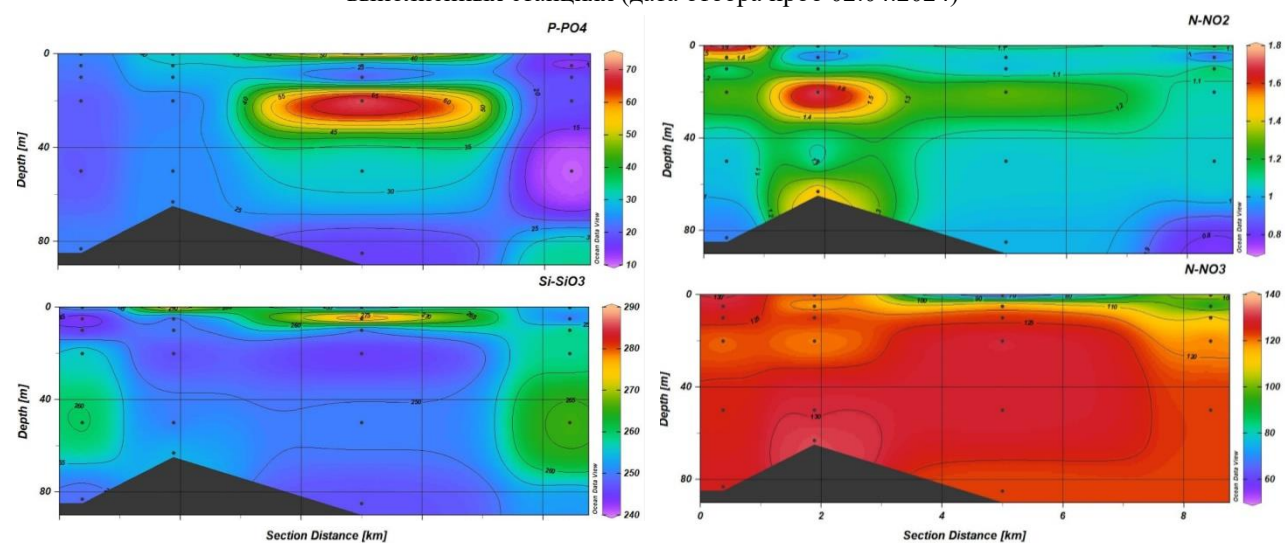


Рисунок 14.5 – Распределение концентраций Si-SiO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub> и N-NO<sub>2</sub>, и N-NO<sub>3</sub> на разрезе, мкг/л (дата отбора проб 02.04.2024)

Среднее значение концентраций кремния силикатов (Si-SiO<sub>3</sub>) составляли 254±10 мкг/л, а диапазон изменения от 242 до 287 мкг/л. Наибольшие концентрации наблюдались в поверхностном слое, хотя разница между значениями на поверхности и в придонном горизонте незначительна и в среднем составляли 8 мкг/л. Среднее значение концентраций фосфора фосфатного (P-PO<sub>4</sub>) составляло 26.3±13,8 мкг/л. Наибольшие значения наблюдались на поверхности и на горизонте 20 м – 61 и 73 мкг/л соответственно (станция 2). Эти значения резко выделяют из общего ряда и возможно, при дальнейшем использовании этих данных они будут отбракованы. Среднее значение концентраций азота нитритного (N-NO<sub>2</sub>) составляло 1,2±0,3 мкг/л при минимуме 1,8 и максимуме 1,9 мкг/л. Среднее значение концентраций азота нитратного (N-NO<sub>3</sub>) составляло 119±17 мкг/л при минимуме 54 и



максимуме 133 мкг/л. Наблюдалось небольшое увеличение этих величин от поверхности  $103 \pm 34$  мкг/л к придонному слою  $126 \pm 34$  мкг/л.

Полученные в начале апреля результаты концентраций биогенных элементов (конец гидрологической зимы), послужат в дальнейшем для расчета биологической продуктивности залива Грэнфьорд. Наряду с этими значениями будут использоваться значения солености, изотопных параметров  $\delta^{18}\text{O}$  или  $\delta^{18}\text{N}$ , а также данные, полученные в конце гидрологического лета (август) в экспедициях 2022 и 2023 гг. Средние величины соотношения солености некоторых биогенных элементов в системе лед-вода представлены на рис. 14.6.

Соотношение концентраций P-PO4 и N-NO3 во льду по отношению к концентрациям в морской воде составили  $0,11 \pm 0,11$  и  $0,11 \pm 0,05$  соответственно. Для величин концентраций кремния это значение выше и составляет  $0,31 \pm 0,15$ , для солености –  $0,188 \pm 0,052$ . Полученное отношение для солености очень близко значению, полученному в пробе льда из моря Бофорта ( $0,186 \pm 0,036$ ) (Melling and Moore, 1995).

#### *Характеристика донных отложений*

Первичное описание кернов позволяет интерпретировать вскрытые отложения, как алеврито-пелитовый материал с включениями зёрен разнозернистого песка и гравия. Исключение составляют донные отложения в озёрах Стемме и Нижнее, здесь распространён плохо сортированный материал, представленный в основном разнозернистым песком и гравийно-галечными зёрнами, доля алевтиро-пелитовых частиц минимальна. Для получения дальнейших характеристик полученного материала проводится лабораторно-инструментальный анализ в лаборатории ММБИ РАН.

Экспедиционная группа ММБИ РАН благодарит сотрудников РАЭ-Ш (ААНИИ) за помощь в проведении экспедиционных работ, а также в решении ряда логистических задач.

#### *Морские исследования, запланированные на НИС «Дальние Зеленцы»*

Экспедиция на НИС «Дальние Зеленцы» в район архипелага Шпицберген проходит в октябре-ноябре 2024 г. (рис. 14.7). Отправлен запрос на разрешение норвежских властей для работы судна в территориальных водах архипелага и в ИЭЗ в районе Шпицбергена. В случае

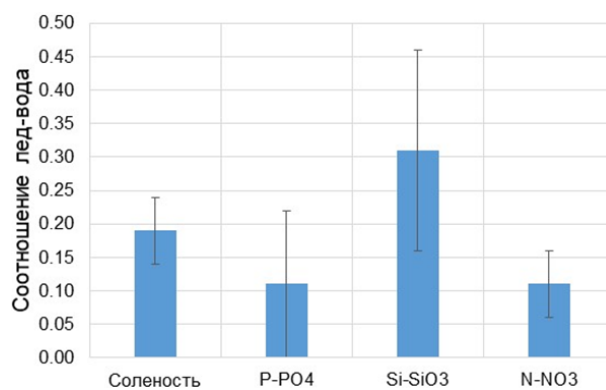


Рисунок 14.6 – Средние значения соотношения солености и биогенных элементов в системе лед-вода

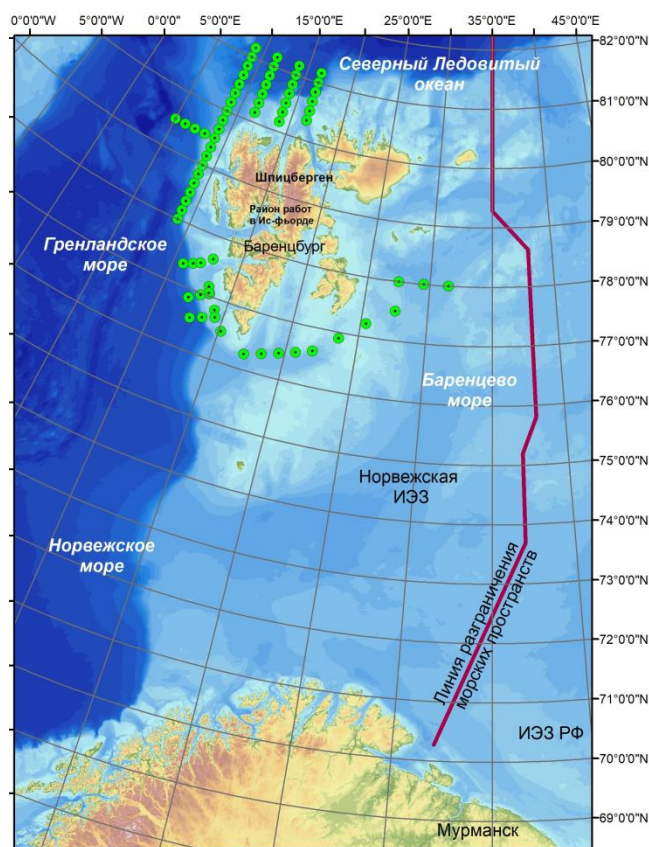


Рисунок 14.7 – Станции экспедиционных исследований ММБИ РАН на НИС «Дальние Зеленцы», запланированных в норвежской ИЭЗ в районе Шпицбергена в ноябре 2024 г.

получения разрешений экспедиционные исследования будут носить комплексный экосистемный характер и охватят акватории системы залива Ис-фьорд на нескольких разрезах и полигонах. Комплекс работ будет включать STD-зондирования для измерения температуры и солености морской воды от поверхности до дна, отбор проб планктона, макрозообентоса, на радиоактивное загрязнение и гранулометрический состав донного осадка. Будет производиться сетной лов зоопланктона.

1 ноября 2024 г. от норвежских властей получено разрешение на заход в порт Баренцбурга в период 6–16 ноября 2024 г.

*Аналитическая обработка полевого материала в лабораториях ММБИ в г. Мурманск*

В течение января-октября 2024 г. проводилась обработка полевого материала, собранного в экспедициях 2023-2024 гг. и подготовка публикаций в лабораториях ММБИ в Мурманске.

Результаты исследований были представлены на конференциях:

Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка. (г. Москва, 27–29 февраля 2024 г.): Моисеев Д.В. Важнейшие результаты комплексных исследований морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген в 2007–2023 гг. и Макаревич П.Р. Комплексные экосистемные исследования ММБИ РАН на НИС «Дальние Зеленцы» в 2023 г.

Культурно-историческое наследие Арктики. Поселки российского присутствия в фокусе научного внимания», посвященная 100-летию поселка Баренцбург (г. Мурманск, 15 марта 2024 г.): Моисеев Д.В. Экосистемные исследования ММБИ РАН в районе Шпицбергена.

XLII конференция молодых ученых Мурманского морского биологического института «Исследования экосистем морей Арктики» (г. Мурманск, 28 марта 2024 г.): Носкович А.Э. Половая структура поселений двустворчатых моллюсков *Macoma calcaria* (Gmelin, 1791) в районах с разным гидрологическим режимом (устный доклад)

Международная научно-деловая конференция POLAR 2024 (г. Санкт-Петербург, 16 мая 2024 г.): Моисеев Д.В. Об основных итогах работы Российского научного центра на архипелаге Шпицберген за 10 лет.

Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)»: Носкович А.Э. Рост и продолжительность жизни двустворчатого моллюска *Macoma calcaria* (Gmelin, 1791) во фьордах о. Западный Шпицберген.

Опубликованы в рецензируемых журналах следующие работы:

Макаревич Р. Р., Моисеев Д. В., Венгер М. Р., Максимовская Т. М., Румынцева З. Ю. Oceanological Research on High Latitude Transects Near the Spitsbergen Archipelago during the Period of Polar Night // *Oceanology*, 2024. Vol. 64, No. 5, pp. 743–745.

Мещеряков Н. И., Усягина И. С., Намятов А. А., Токарев И.В. Стратиграфическая хронология и механизмы формирования донных отложений на устьевом взморье реки Грэндален (Залив Грэн-фьорд, Западный Шпицберген) в период климатических изменений // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 2024. Том 32, №5 (в печати)

Венгер М. П., Широколобова Т. И., Максимовская Т. М., Болтенкова М. А., Ващенко А. В. Компоненты микробной пищевой сети в пелагиали фьордов о. Западный Шпицберген в современных климатических условиях // *Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки*, 2024. Т. 3, № 3. С. 23–37. DOI: 10.37614/2949-1185.2024.3.3.003

Дружкова Е. И. Пространственная и временная изменчивость нанофитопланктона во фьордах Западного Шпицбергена в летний период // *Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки*, 2024. Т. 3, № 3. С. 61–73. DOI:10.37614/2949-1185.2024.3.3.006

Краснов Ю.В., Шкляревич Г.А., Ежов А.В., Гаврило М.В. Особенности трофических связей обыкновенной гаги *Somateria mollissima* в условиях высокоширотных архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки, 2024. Т. 3, № 3. С. 82–93. DOI: 10.37614/2949-1185.2024.3.3.008

Носкович Ф.Э. Половая структура поселений двустворчатого моллюска *MALCOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) в районах с разным гидрологическим режимом // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки, 2024. Т. 3, № 3. С. 144–151.: 144-151. DOI: 10.37614/2949-1185.2024.3.3.014

Макаревич П.Р., Моисеев Д.В., Ишкулов Д.Г., Венгер М.П., Ежов А.В., Карамушко О.В., Максимовская Т.М., Павлова Л.В. Комплексные экосистемные исследования ММБИ РАН на НИС «Дальние Зеленцы» в 2023 г. // Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка: Материалы конференции (г. Москва, 27–29 февраля 2024 г.). – 2024.

Моисеев Д.В., Макаревич П.Р., Венгер М.П., Берченко И.В., Дружкова Е.И., Касаткина Н.Е., Мещеряков Н.И., Усягина И.С. Важнейшие результаты комплексных исследований морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген в 2007–2023 гг. // Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка: Материалы конференции (г. Москва, 27–29 февраля 2024 г.). – 2024.

Носкович А.Э. Рост и продолжительность жизни двустворчатого моллюска *Macoma calcareea* (Gmelin, 1791) во фьордах о. Западный Шпицберген // Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024. – С. 171–176. – ISBN 978-5-6049290-6-3; ISBN ISBN 978-5-6051693-0-7 (т. 3).

Носкович А.Э. Половая структура поселений двустворчатых моллюсков *Macoma calcareea* (Gmelin, 1791) в районах с разным гидрологическим режимом // Исследования экосистем морей Арктики: Программа и тезисы XLII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 300-летию Российской академии наук; [отв. ред. М.П. Плаксина]; Мурманский морской биологический институт РАН. – Мурманск: ММБИ РАН, 2024. – С. 27–28. – EDN: LJZDWN

Литература:

Melling, H., Moore, R. M. Modification of halocline source waters during freezing on the Beaufort Sea shelf: evidence from oxygen isotopes and dissolved nutrients // Continental Shelf Research, 1995. 15(1), 89-113.

Мероприятие 14 планируется выполнить полностью к концу 2024 г.

**Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН)**

**Мероприятие 15. Изучение криптогамной биоты, особенностей адаптации растений и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген**

Цель проекта – оценка современного состояния биологического разнообразия криптогамных организмов и степени пластичности фотосинтетического аппарата и механизмов адаптации высших сосудистых растений высокоарктических районов архипелага Шпицберген при прогнозировании изменения климата.

Задачи проекта:

– Инвентаризация видового состава фототрофной биоты архипелага Шпицберген, выявление новых для региона и Арктики видов растений; составление карт распространения видов; классификация экологического разнообразия; выявление и описание новых для науки видов, изучение филогении арктических таксонов на внутривидовом и инфравидовом уровнях (генетический и эволюционный аспекты); выявление климатогенных и антропогенных преобразований фототрофной биоты.

– Изучение особенностей адаптации высших сосудистых растений Западного Шпицбергена на уровне изменений фотосинтетического аппарата и метаболической активности. Сравнительный анализ жирнокислотного состава липидов и выявление основных направлений их участия в адаптациях у доминирующих и редко встречающихся видов высших растений арктических тундр Западного Шпицбергена.

– Морфолого-генетическая характеристика серогумусовых грубогумусовых почв юго-западного побережья острова Западный Шпицберген.

Экспедиционные работы на архипелаге проводились с 24 июля по 11 августа 2024 г. Камеральные работы по обработке данных выполнялись в течение всего года. Изучались фототрофные представители биоты: цианопрокариоты, лишайники, печеночники, сосудистые растения; почвы. Выполнением исследований руководили:

Давыдов Д.А., к.б.н., зам. дир. по научной работе [d\\_disa@mail.ru](mailto:d_disa@mail.ru)

Кашулина Г.М. д.б.н., гл.н.с., [galina.kashulina@gmail.com](mailto:galina.kashulina@gmail.com)

Константинова Н.А., д.б.н., гл.н.с. [nadya50@list.ru](mailto:nadya50@list.ru)

Шмакова Н.Ю., в.н.с., д.б.н. [shmanatalya@yandex.ru](mailto:shmanatalya@yandex.ru)

При проведении исследований применялись следующие методы:

При проведении исследований использовались следующие методы:

Для идентификации лишайников использованы бинокулярные стереоскопические микроскопы и микроскопы проходящего света МБС-10, Zeiss NU 2, Zeiss Primo Star. Определение лишайников произведено с учетом морфолого-анатомических и хемотаксономических признаков. Кроме стандартного набора реактивов (К, С, КС, КI, HNO<sub>3</sub>), использовалась 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. HPTLC проводился по стандартной методике (Culbertson et al., 1979; Kranner et al., 2002) с использованием стандартных систем растворителей (Orange et al., 2001). В 2024 г. методами HPTLC изучено 10 образцов лишайников из родов *Lepraria* и *Ochrolechia*.

Сбор цианопрокариот проводится маршрутным методом, описание местообитаний сопровождалось измерением некоторых экологических параметров: освещенности, pH, влажности, температуры. Анализ анатомо-морфологических признаков осуществляется с помощью современных микроскопов Zeiss: Axio Scope A1 и AxioPlan 2 imaging,



оборудованных системой дифференциального интерференционного контраста (ДИК) и системой видеофиксации изображений (Jenoptic).

Выделение и культивирование штаммов проводилось с использованием традиционных микробиологических методов на питательных средах (BG-11 и Z8). Полученные альгологически чистые культуры использованы для молекулярно-генетического анализа.

Образцы печеночников идентифицировались с использованием бинокля и микроскопа, с более подробным описанием отдельных образцов фотографированием как внутриклеточных структур, так и фрагментов, и общего облика. Куртины и изолированные побеги образцов *Lophozia silvicoloides*, *Lophozia savicziae*, *Jungermannia polaris* и *J. pumila*, собранных на Шпицбергене изучены с использованием стереомикроскопа Nikon SMZ800 оборудованного фотокамерой ST-WS-800, микрофотографии внутриклеточных структур получены с использованием светового микроскопа Nikon Eclipse 50i, Nikon DS-Fi1 оборудованного фотокамерой Nikon DS-Fi1. Всего изучено 166 образцов *Jungermannia polaris* включая *J. pumila* и 12 образцов *Lophozia silvicoloides* включая *Lophozia savicziae*.

Ряд таксонов печеночников и цианопрокариот был исследован молекулярно-генетическими методами с целью уточнения их идентификации, определения уровня внутривидовой дифференциации и решения вопросов таксономии и классификации. Выделение ДНК осуществлялось с помощью набора реактивов DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Germany), подготовка матриц к секвенированию произведена с помощью набора реактивов Cleanup Mini Kit (Evrogen, Россия). Были получены нуклеотидные последовательности локусов ITS1-2 ядДНК, *trnL-F* и *trnG*-интрона хпДНК с помощью праймеров, предложенных в работах White et al. (1990) и Taberlet et al. (1991). Реакция амплификации (ПЦР) проходила в 20 мкл реакционной смеси, подготовленной на основе коммерческого набора MasDDTaqMIX (Dialat Ltd, Россия), 10 пмоль каждого праймера, 1 нг ДНК по следующему протоколу: 3 мин 94°C, 30-40 циклов (30 с 94°C, 40 с 56°C, 60 с 72°C) и 2 мин заключительной элонгации при 72°C. Секвенирование проводили с использованием набора реактивов ABI PRISM® BigDye™ Terminator v. 3.1 Sequencing Ready Reaction Kit с последующим анализом продуктов реакции на автоматическом секвенаторе Applied Biosystems 3730 DNA Analyzer (Applied Biosystems, USA) в ЦКП «Геном» (ИМБ, Москва). Сборка нуклеотидных последовательностей и составление файлов выравниваний проводили в программе BioEdit 7.0.1. (Hall 1999). Для проведения филогенетического анализа методами максимального правдоподобия и методом Бейеса были использованы программы IQTREE (Nguyen et al., 2015) и MrBayes v.3.2.1 (Ronquist et al. 2012). Подсчет генетических дистанций осуществляли с помощью программы Mega 11 (Tamura et al., 2021), сети гаплотипов строили в программе TCS (Clement et al., 2000) Полученные последовательности загружены в международную базу данных GenBank, и присвоенные им номера внесены в информационную систему L. (Мелехин и др., 2013; Melekhin et al., 2019).

Анализ данных по распространению таксонов проводился с использованием информационной системы L. (<http://kpabg.ru/cris/>) Картирование распространения видов осуществляется с применением ГИС QGIS.

Оценка степени пластичности фотосинтетического аппарата и механизмов адаптации высших сосудистых растений выполнена в окрестностях поселка Баренцбург (78°03' 38.2" с.ш., 14°12' 59.6" в.д.); на мысе Финнесет (78°02' 39.2" с.ш., 14°13' 10.0" в.д.); в окрестностях бухты Колсбей (78°08' 41.4" с.ш., 15° 01' 27.3" в.д.). В качестве объектов исследования были выбраны 11 видов высших сосудистых растений из 8 семейств арктических тундр. Из них 7 видов травянистых многолетников: сем. Caryophyllaceae – звездчатка приземистая (*Stellaria humifusa* Rottb.), ясколка альпийская (*Cerastium alpinum* L.), смолевка бесстебельная (*Silene acaulis* L.); сем. Polygonaceae – кисличник двупестичный (*Oxyria digyna* (L.) Hill); сем. Ranunculaceae – лютик серно-желтый (*Ranunculus sulphureus* Soland.); сем. Saxifragaceae – камнеломка дернистая (*Saxifraga cespitosa* L.), камнеломка поникающая (*S. cernua* L.); 4 вида кустарничков: сем. Salicaceae – ива полярная (*Salix polaris*

Walenb.); сем. Rosaceae – дриада восьмилепестная (*Dryas octopetala* L.); сем. Ericaceae – голубика обыкновенная, мелколистная (*Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum* (Lange) Hulten.); сем. Betulaceae – березка карликовая (*Betula nana* L.)

Свежий растительный материал фиксировали методом лиофильной сушки в химико-аналитической лаборатории Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (п. Баренцбург). Дальнейший анализ проб проводили на оборудовании ЦКП «Аналитическая лаборатория» Института леса Карельского научного центра РАН.

Суммарные липиды экстрагировали смесью хлороформа и метанола в соотношении 2:1 и фракционировали методом колоночной хроматографии. Определение жирнокислотного состава липидных фракций проводили хроматографическим методом на газожидкостном хроматографе Хроматэк-Кристалл-5000.1 (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия).

При исследовании почв в полевых условиях для каждого из 44 разрезов было проведено морфологическое описание и отобраны образцы основных генетических горизонтов. В сухих и просеянных через сито 1 мм образцах были определены следующие показатели: гранулометрический состав по Качинскому,  $C_{орг}$  - по Тюрину,  $N_{орг}$  – по Къельдалю, обменные катионы – в аммонийно-ацетатной вытяжке (рН 7), рН солевой (1N KCl) и водной вытяжек, групповой и фракционный состав гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (Агрохимические методы..., 1975). Валовой химический состав был определен по прописи Аринушкиной (1970). При диагностике почв ориентировались на классификацию почв России 2004 года (Классификация..., 2004).

#### *Изучение биоразнообразия фототрофной биоты*

Подготовлен чек-лист лишайников и лишенофильных грибов для о. Северо-Восточная Земля (Nordaustlandet), а также проведена оценка степени изученности лишенобиоты этого острова. В настоящее время чек-лист включает в себя 477 видов и 2 подвида лишайников, а также 22 вида и один подвид лишенофильных грибов, среди которых *Calogaya bryochryson* (Poelt) Vondrák, *Diplotomma lutosum* A. Massal., *Flavoplaca flavocitrina* (Nyl.) Arup et al., *Lecanora intumescens* (Rebent.) Rabenh и *Zwackhiomyces coepulonus* (Norman) Grube & R. Sant. впервые выявлены на архипелаге Шпицберген, а еще 40 видов ранее не приводились для Северо-Восточной Земли. Труднодоступность отдельных районов и наличие ледников не позволяет равномерно исследовать территорию острова (рис. 15.1). Анализ на основе чисел Хилла показал, что выявленное разнообразие охватывает не более 80,93% от общего числа видов лишайников в исследуемой области. Лишенобиота острова достаточно богата и включает около 60% видов, известных для Шпицбергена. Для сравнения, лишенобиота архипелага Земля Франца-Иосифа к настоящему времени включает 301 вид лишайников и 50 видов лишенофильных грибов.

В ходе ревизии материалов, собранных в районе долины р. Колес (Colesdalen, о. Западный Шпицберген) в 2009 и 2015 гг., на растительных остатках был обнаружен вид *Stictis radiata* (L.) Pers. Он является факультативно лишенизированным грибом и эпифитом, основной ареал которого находится за пределами Арктики. Местонахождение вида приурочено к одной из локальных «арктических горячих точек», где отмечено произрастание подходящих кустарников *Betula nana* и *Salix herbacea*, остатки которых служат субстратами, в том числе, для такого предпочитающего древесину вида, как *Stictis radiata* (рис. 15.2).

В июле-августе 2024 г. выполнялись экспедиционные исследования и сбор лишайников в районе зал. Грэнфьорд (долина Грэндален, окрестностей ледников Альдегонда, Зап. Гренфьорд, окр. п. Баренцбург, а также в районе залива Yoldiabukta (Vohemanflya) (о. Западный Шпицберген). Собрано ок. 200 конвертов лишайников (в каждом конверте от 1-2 до 10-15 образцов, собранных в одной точке с одного типа субстрата). К настоящему времени идентифицирована примерно пятая часть материала.

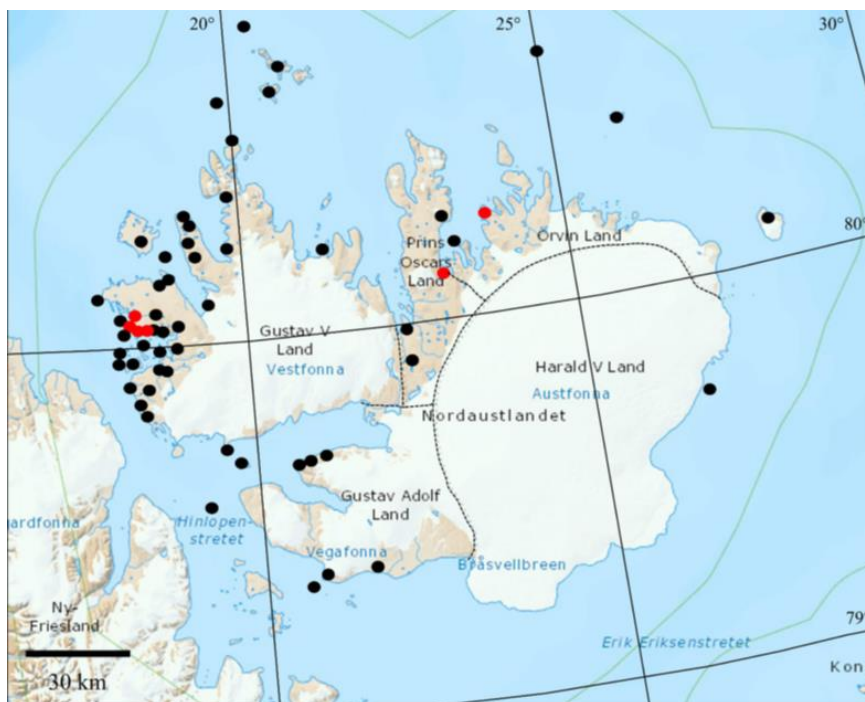


Рисунок 15.1 – Места сбора лишайников на о. Северо-Восточная Земля. Черные точки - данные литературы, красные - наши сборы

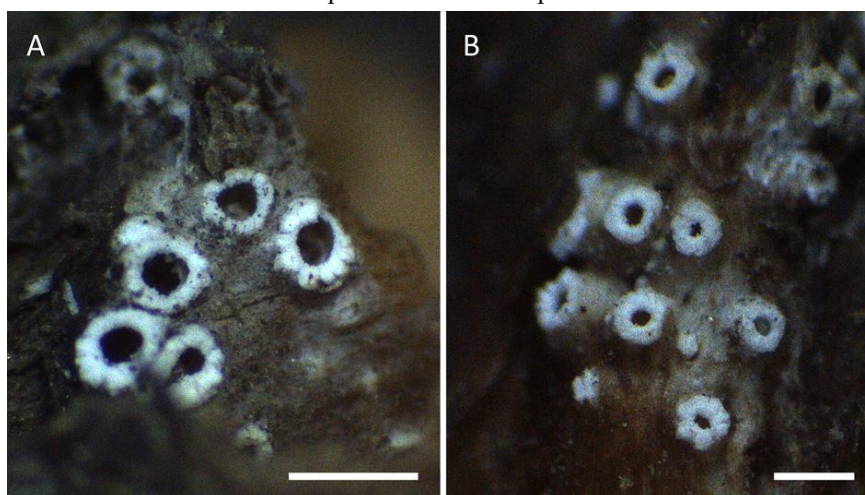


Рисунок 15.2 – *Stictis radiata* (A) на веточках *Betula nana* (КРАВГ 21332) и (B) *Salix herbacea* (LE L-26788). Масштаб: А и В = 0,5 мм. Фото: Чесноков С.В. (БИН РАН)

Изучение лишайников в районе залива Yoldiabukta (окрестности Bohemanflya) проведено впервые. В ходе определения лихенологических материалов выявлено 26 видов лишайников, а также 5 видов лихенофильных грибов, новых для данного района. Из них *Sclerococcum parasiticum* (Flörke) Ertz & Diederich, лихенофильный гриб на *Lecanora epibryon* (Ach.) Ach., является новыми для архипелага Шпицберген. Еще один лихенофильный гриб, *Rhombocarpus stereocaulorum* (Alstrup & D. Hawksw.) Etayo & Diederich, обнаруженный на видах рода *Stereocaulon*, ранее был известен для архипелага из единичного местонахождения только в районе Sørkapp Land (Alstrup & Olech 1993). Лишайник *Steinia geophana* (Nyl.) Stein, также обнаруженный в ходе работы, редок на архипелаге и ранее был известен из 2-х локалитетов: Bünsow Land (Zhurbenko, 2022) и Nordaustlandet (Konoreva et al., 2024). Определение лихенофильных грибов выполнено С.В. Чесноковым.

В ходе экспедиционных исследований проведен сбор печёночников в районе залива Грэнфьорд (Grøndalen, окрестностей ледников Альдегонда, Зап. Грэнфьорд, окрестностей п. Баренцбург), а также в районе залива Yoldiabukta (Bohemanflya). Всего собрано около 200 образцов печёночников, а также материал по видам мхов рода *Sphagnum* L. для молекулярно-

филогенетических исследований (46 образцов). К настоящему времени идентифицировано 53 образца.

Изучение печёночников в районе залива Yoldiabukta (окрестности Bohemanflya) проведено впервые, в силу местных условий были выполнены только рекогносцировочные сборы в течении нескольких часов и в незначительном отдалении от берега моря. В ходе определения материалов выявлено 10 видов печёночников: *Anthelia juratzkana* (Limpr.) Trevis, *Blepharostoma trichophyllum* (L.) Dumort., *Cephalozia bicuspidata* (L.) Dumort., *Cephaloziella varians* (Gottsche) Steph., *Jungermannia* cf. *polaris* Lindb., *Lophoziopsis excisa* (Dicks.) Konstant. & Vilnet, *Saccobasis polita* var. *arctica* Konstant., Vilnet & Mamontov, *Scapania hyperborea* Joerg., *Schljakovianthus quadrilobus* (Lindb.) Konstant. & Vilnet, *Tritomaria scitula* (Taylor) Joerg.

Эти таксоны, за исключением *Saccobasis polita* var. *arctica*, являются распространёнными на архипелаге. Разновидность *S. polita* var. *arctica* была ранее выявлена на Западном Шпицбергене только из локалитетов на юге и на севере острова (Sørkapp Land, Stormbukta, Wedel Jarlsberg Land, Naakon VII Land). Образцы *S. polita* var. *arctica* из Yoldiabukta характеризуются обилием выводковых почек (рис. 15.3), тогда как в образцах из других локалитетов на Шпицбергене данные структуры вегетативного размножения были выявлены только в единичных образцах и в единичном количестве.

Окрестности залива Yoldiabukta представляют интерес в плане дальнейшего исследования разнообразия печёночников при возможности полустационарной работы (организации полевого лагеря) и обследования территории радиальными маршрутами в течении нескольких рабочих дней.

В результате интегративного изучения уточнены распространение и систематическое положение нескольких таксонов печеночников:

*Lophozia savicziae* - *L. silvicoloides*. Результаты молекулярно-филогенетического анализа образцов, определенных на основе морфологических признаков как *Lophozia savicziae* показали, что эти образцы по локусам ДНК находятся в пределах внутривидовой варибельности *L. silvicoloides* (рис. 15.4).

Долгое время считалось, что *L. silvicoloides* является эндемом Японии, но потом вид был найден на Дальнем Востоке и на Аляске и, позже с большим отрывом – в Мурманской области и на Шпицбергене в долине Грэндален (Konstantinova, Savchenko, 2008). Нуклеотидные последовательности изученных локусов ДНК образцов с Дальнего Востока, из Мурманской области и со Шпицбергена оказались практически идентичны. Что касается *Lophozia savicziae*, то этот вид, описан из Мурманской области с горы Вудьяврчорр, но потом приводился для многих северных регионов России (Konstantinova et al., 2009).

Для Шпицбергена вид указывался Бакалиным (2005) по образцу Virula, собранного им 9.VIII.1899 на Olav V Land [КРАВГ 124054] и для о. Северо-Восточная Земля (Konstantinova, Savchenko, 2022). Кроме того, несколько образцов, собранных нами в Грэнфьорде были определены как *Lophozia savicziae*. В этом году нам удалось секвенировать типовой образец *Lophozia savicziae*. Вид оказался филогенетически близким *L. silvicoloides*, имеет сестринское



Рисунок 15.3 – *Saccobasis polita* var. *arctica* (МНА, Mamontov 1005-1-9463)



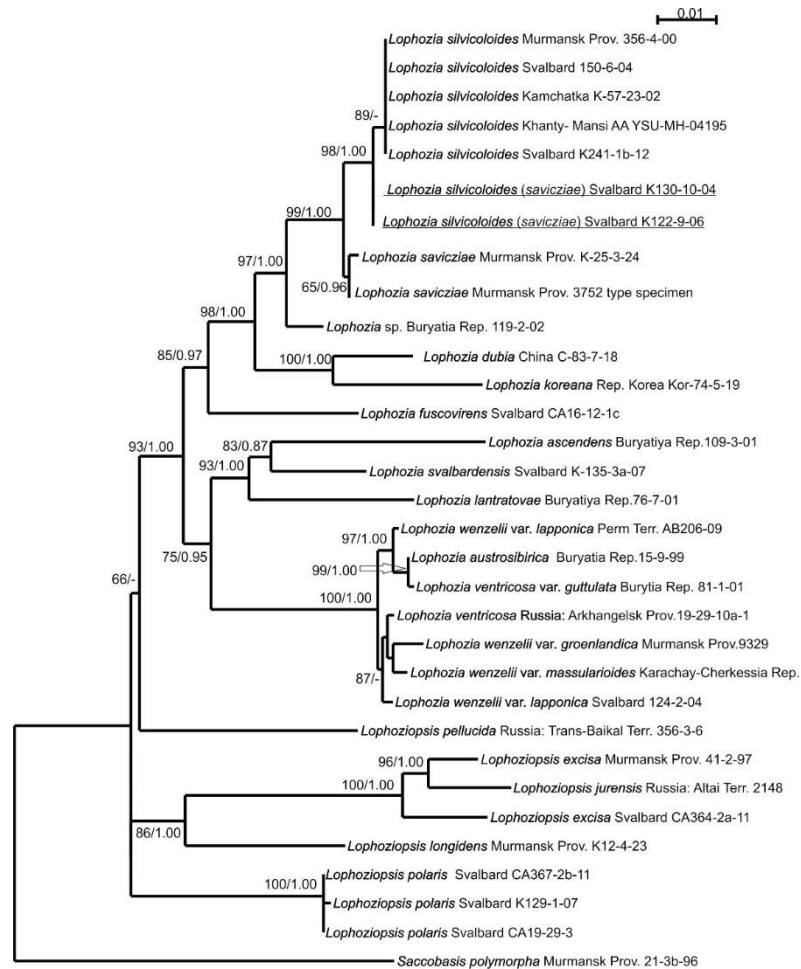


Рисунок 15.4 – Филогенетическое древо для родов *Lophozia* и *Lophozioopsis*, построенное методом максимального правдоподобия на основе данных нуклеотидных последовательностей ITS1-2 ядДНК и *trnL-F* хлДНК. Значения поддержек бутстрепа и апостериорной вероятности указаны над ветвями. Изученные образцы *Lophozia savicziae* подчеркнуты

положение на древе. Молекулярно изучены все образцы, определенные как *Lophozia savicziae* со Шпицбергена.

В результате обнаружено, что они генетически близки *L. silvicoloides*, а не *Lophozia savicziae*. Повторное морфологическое изучение показало также отличие этих образцов от типового образца *Lophozia savicziae*. Впервые сформулированы основные отличия *Lophozia savicziae* от *L. silvicoloides*, заключающиеся в форме периантия, значительно более купного у последнего вида, характере зубчатости устья периантия, форме листа, ширине брюшного сегмента. Сближает же два вида форма и размеры клеток, специфические мелкие масляные тельца со срединной капелькой.

Таким образом, в результате выполненной работы значительно уточнено распространение на Шпицбергене *L. silvicoloides*, составлена карта распространения вида (рис. 15.5), для *Lophozia savicziae* оставлена одна сомнительна точка по старому образцу.

### Обоеполые виды рода *Jungermannia*

Проблема интерпретации обоеполых таксонов рода *Jungermannia* уходит своими корнями в работы S.O. Lindberg, описавшего арктическую форму *Jungermannia pumila* со Шпицбергена как *J. polaris*. *J. pumila* вид очень полиморфный, что отражено в его синонимике, насчитывающей около 30 названий. В настоящее время большинство авторов принимают разделение этого вида на два: *J. pumila* и *J. polaris* (Váňa 1973, Damsholt 2002, Paton 1999, etc.). Однако Р.М. Шустер (Schuster 1988:120) не разделяет эту точку зрения, подчеркивая, что «не существует надежных критериев для отличия этих видов». Полученные

нами результаты показывают, что существуют четкие, хотя незначительные молекулярно-генетические



Рисунок 15.5 – Распространение на Шпицбергене *Lophozia silvicoloides* N.Kitag. Звездочкой отмечено одно сомнительное указание *L. savicziae* Schljak



Рисунок 15.6 – Распространение на Шпицбергене *Jungermannia polaris* Lindb. (кружки) и *J. pumila* With. (треугольники)

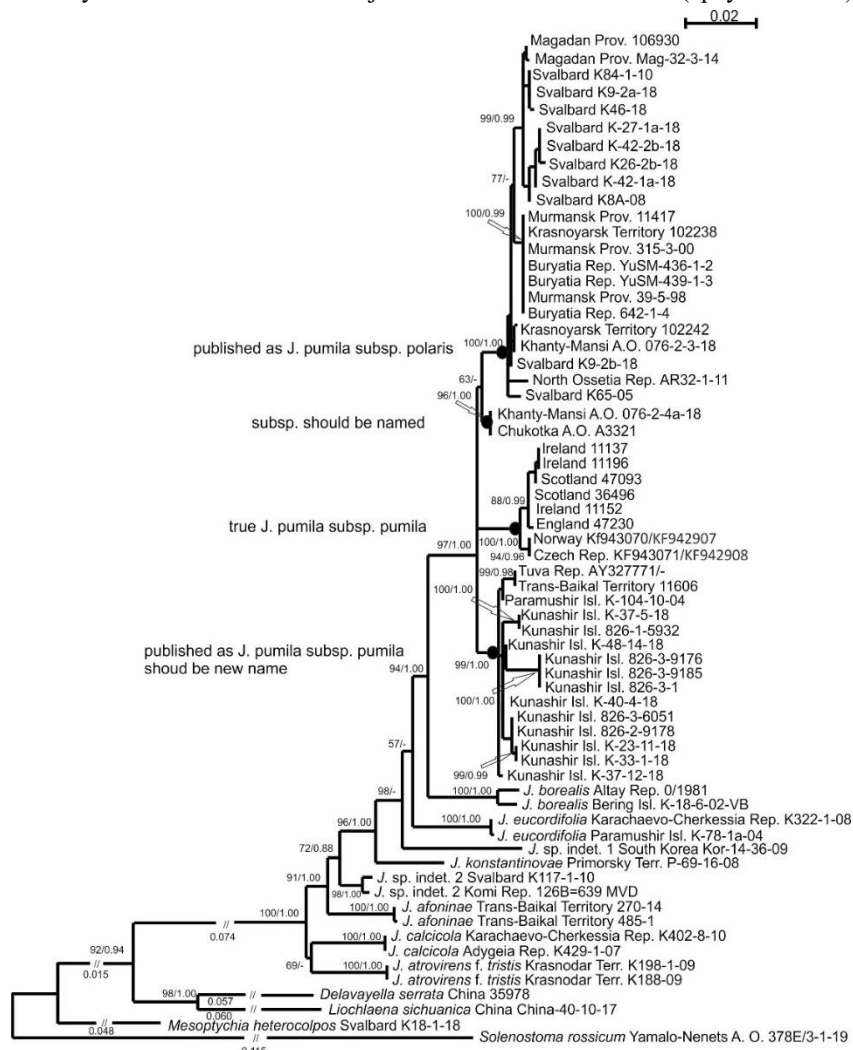


Рисунок 15.7 – Филогенетическое древо для рода *Jungermannia*, построенное методом максимального правдоподобия на основе данных нуклеотидных последовательностей *trnL-F* и *trnG*-интрона хлДНК. Значения поддержек бутстрапа и апостериорной вероятности указаны над ветвями

отличия образцов со Шпицбергена и некоторых других северных регионов России, отнесенных нами к *J. polaris*, и растений с Британских островов, откуда описана *J. pumila*, в том числе из ее типового местонахождения (рис. 15.7). При этом все образцы, определенные как *J. pumila* или *J. borealis* со Шпицбергена расположены в кладе с *J. polaris*. Отдельную субкладу образуют образцы, отнесенные по мофологическим признакам к *fo. cavifolia*. Следует подчеркнуть, что все изученные со Шпицбергена образцы *J. pumila* попали в кладу с *J. polaris*. Последний таксон из разных локальных флор Шпицбергена имеет значительную вариабельность, проявляющуюся в наличие большого числа гаплотипов (8 из 13) по сравнению с образцами из других северных и горных регионов России. Таким образом, на основании полученных данных мы исключаем вид *J. pumila* из флоры Шпицбергена. Кроме того, полученные данные свидетельствуют скорее в пользу трактовки *J. polaris* в качестве подвида как это делал Шустер (Schuster, 1988), а не вида, как это принято большинством авторов в настоящее время (Damsholt 2002, Paton 1999, etc.). Однако этот вопрос требует дальнейшей проработки на основании включения большего числа образцов из разных регионов. Составлена карта распространения вида *Jungermannia polaris* на архипелаге (рис. 15.6).

Полученные данные о распространении видов могут служить основой мониторинговых работ на архипелаге. Кроме того, уточненное систематическое положение видов и их характерных признаков, может использоваться при подготовке определителей и Красных книг.

*Изучение особенностей адаптации высших сосудистых растений Западного Шпицбергена на уровне изменений фотосинтетического аппарата и метаболической активности*

В 2024 г. изучен фракционный состав жирных кислот (ЖК) липидов, выявлены основные направления их участия в структурно-функциональных адаптациях у ряда видов арктических тундр Западного Шпицбергена. Уникальный состав ЖК позволяет предположить, что структура/состав липидов является важным фактором адаптации растений в условиях Арктики.

Липиды, как мембранные, так и запасные, распределены в клетке неравномерно и, в зависимости от структурно-функциональных особенностей вида, выделяется три фракции: гликолипиды (ГЛ), фосфолипиды (ФЛ), нейтральные липиды (НЛ). ГЛ преимущественно локализованы в хлоропластах, где они организуют мембраны тилакоидов, которые встроены в субъединицы фотосистем. Эта группа липидов функционально доминирует в период активной вегетации в летнее время, когда отмечается максимальная активность фотосинтетического аппарата. ФЛ являются важными составляющими всех клеточных мембран и образуют матрикс мембран плазмалеммы и эндомембран, регулируют рост и развитие растений, клеточный ответ на изменения окружающей среды. НЛ играют важную роль у растений в качестве энергетического и субстратного резерва клетки, что актуально для растений высоких широт. В нейтральных липидах ЖК в основном образуют триацилглицерины, которые концентрируются в липидных тельцах, а в форме восков – на поверхности листа и в других структурах. Для этой фракции отмечено максимально высокое разнообразие индивидуальных ЖК.

У изученных растений выявлены различия по величине изменчивости состава жирных кислот по фракциям: для гликолипидов – от 25 до 76%, для фосфолипидов – 10-28%, для нейтральных липидов 7-57%. Каждый вид растений имеет собственный набор ЖК, который и определяет потенциал его адаптации к условиям местообитания. Установлена взаимосвязь между жирнокислотным составом разных фракций липидов и показателем «активность вида» у растений разного географического происхождения и экологии. Наиболее четко эта зависимость просматривалась у видов по фракции гликолипидов, что связано с ее высоким уровнем значимости в период активной вегетации, когда проводили исследование. В результате анализа данных по составу жирных кислот разных фракций липидов выделено

два вида (*Silene acaulis* и *Stellaria humifusa*), у которых «показатель активности» не всегда соответствовал группам по составу ЖК, в которые они входили. Например, *Silene acaulis* с активностью (III), во фракции фосфолипидов вошла в группу видов с высокими значениями активности (IV–V). Причиной этого несоответствия могут быть более благоприятные локальные условия местообитания, которые и способствовали повышению жизнедеятельности вида. Особый интерес вызвал вид *Stellaria humifusa* с высоким значением «активности вида» (IVa), который вошел в группу низко активных видов во фракции гликолипидов. Представители этого вида были отобраны со скального экотопа приморской территории, где он формирует редкую жизненную форму – «мат», местообитание и жизненная форма резко отличаются от других условий произрастания. Это могло стать причиной более низкой активности в данном локальном экотопе, но не исключает и других причин обсуждаемого несоответствия. Однако отмеченные закономерности удивляют больше, чем их нарушения и подчеркивают высокий уровень выявленных взаимосвязей между «поведением» вида в растительном сообществе, его экологической амплитудой и жирнокислотным составом разных фракций липидов.

Основные направления адаптации, связанные с липидной составляющей у арктических растений, включают участие насыщенных и ненасыщенных ЖК в разных соотношениях в зависимости от эколого-географических особенностей видов. В механизмах путей адаптации исследованных видов участвует сходный состав жирных кислот, но в зависимости от эколого-физиологических особенностей видов, он значительно перестраивается. Отличительной особенностью растений Арктики является увеличение значимости насыщенных жирных кислот, содержание которых сильно варьировало по фракциям и видам. Считается, что биосинтез диеновых ЖК C18:2 (n-6) и триеновых ЖК C18:3 (n-3) (ненасыщенные жирные кислоты) обеспечивает биохимическую адаптацию растений к низкой температуре, что подтвердилось и в наших экспериментах. Следует отметить для арктических растений активное участие диеновых и даже моноеновых ЖК, что было отмечено для редкого вида *Vaccinium uliginosum*.

Отмечено разнообразие ЖК с очень длинной цепью во фракционном жирнокислотном составе липидов у всех арктических растений. Участие в жирнокислотном составе разных групп жирных кислот очень длинной цепи (ЖКОДЦ) у растений Арктики заслуживает специального внимания. Одна из гипотез их присутствия во фракции гликолипидов предполагает, что они могут связывать молекулы белков на поверхности клеточных мембран. Эта группа может наряду с насыщенными жирными кислотами регулировать текучесть мембран в условиях стресса. Вариант их активности может объяснить значимое увеличение их содержания во фракции гликолипидов у *Betula nana* и *Vaccinium uliginosum*, которые являются редкими видами и могут испытывать стресс. В условиях климата северных широт большое защитное значение имеют покровные структуры листа, фонды запасаения, формирование которых связано с большим разнообразием и высоким содержанием ЖКОДЦ во фракции нейтральных липидов.

Выявленные зависимости показали, что в условиях высоких широт в обеих стратегиях адаптации («избегание» и «адаптация») липидная составляющая в составе фракций гликолипидов, фосфолипидов и нейтральных липидов играет важную роль, обеспечивая и поддерживая функциональную активность видов и их устойчивость в зависимости от эколого-географических особенностей, происхождения и адаптивного потенциала в условиях высокой Арктики.

#### *Выявление особенностей серогумусовых почв в юго-западной части острова Западный Шпицберген*

В условиях свободного дренажа под тундровой растительностью на Шпицбергене формируются специфические хорошо развитые, высоко гумусированные серогумусовые почвы. Почвообразующим материалом служат рыхлые отложения четвертичного периода, сформировавшиеся, в основном, во время последнего оледенения и в послеледниковую



эпоху. Они представлены мореной, отложениями водных потоков (пролювий, аллювий) и морских побережий (морские песчано-гравийные отложения), а также различными типами склоновых отложений (элюво-делювий).

Преобладающими фракциями в мелкоземе (<1 мм) является мелкий песок (0,05-0,25 мм) и крупная пыль (0,01-0,05 мм). Согласно доле физической глины (<0,01 мм, варьирует от 4 до 56%), грансостав почвообразующего материала серогумусовых почв изменятся от рыхлого песка до легкой глины. В 70% разрезов он характеризуется как суглинок. Однако, высокое содержание камней и щебня (варьирует от 10 до 90%), а также вертикальное морозное растрескивание обеспечивают свободный внутрипочвенный дренаж и аэробные условия при формировании серогумусовых почв.

По данным валового состава, Si является преобладающим элементом в почвообразующем материале всех разрезов. Концентрации всех основных элементов значительно варьируют между разрезами, особенно Ca и Mg благодаря наличию карбонатных пород в районе Биллефьорда. Относительно Кларка почвообразующий материал обследованных почв характеризуется более высоким содержанием P и значительно более низким – Ca, Mg и Mn.

Состав гумуса серогумусовых грубогумусовых почв значительно варьирует как между аналогичными горизонтами разных разрезов, так и в пределах индивидуального профиля: соотношение Сгк:Сфк в гор. О варьирует от 0,4 до 1,3 (медиана 0,5), в гор. АУао – от 0,2 до 3,4 (медиана 0,8).

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

Полученные результаты свидетельствуют о значительном богатстве лишенобиоты архипелага Шпицберген, часть территории которого, несмотря на значительную историю лишенологических 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 лишенобиоту, которая, по данным, полученным на сегодняшний день, примерно на 40% богаче, чем лишенобиоты сопоставимых по площади и географическому положению территорий. Кроме того, продолжение лишенологических исследований на территориях, имеющих обширную историю исследований, позволяет нам уточнять ареалы отдельных видов и их динамику, а также экологические особенности таксонов. Накопление таких данных является основой мониторинговых исследований в Арктике, а также работ по обоснованию и созданию природоохранных территорий, что в современных условиях климатических и антропогенных трансформаций является особенно актуальным.

В результате изучения распространения и таксономии печеночников значительно уточнено распространение на Шпицбергене *Lophozia silvicoloides*, вид *Jungermannia pumila* исключен из флоры Шпицбергена. Кроме того, полученные данные свидетельствуют в пользу трактовки *J. polaris* в качестве подвида.

Отмечено разнообразие жирных кислот с очень длинной цепью во фракционном жирнокислотном составе липидов у изученных арктических растений. Выдвинуто предположение, что они могут регулировать текучесть мембран в условиях стресса. Вариант их активности может объяснить значимое увеличение их содержания во фракции гликолипидов у *Betula nana* и *Vaccinium uliginosum*, которые являются редкими видами и могут испытывать стресс. В условиях климата северных широт большое защитное значение имеют покровные структуры листа, фонды запасаения, формирование которых связано с большим разнообразием и высоким содержанием ЖКОДЦ во фракции нейтральных липидов.

Выявленные зависимости показали, что в условиях высоких широт в обеих стратегиях адаптации («избегание» и «адаптация») липидная составляющая в составе фракций гликолипидов, фосфолипидов и нейтральных липидов играет важную роль, обеспечивая и поддерживая функциональную активность видов и их устойчивость в зависимости от

эколого-географических особенностей, происхождения и адаптивного потенциала в условиях высокой Арктики.

Серогумусовые грубогумусовые почв юго-западного побережья острова Западный Шпицберген формируются на участках под сплошным мохово-лишайниково-кустарничковым покровом на породах разного гранулометрического и химического состава на разных элементах ландшафта, где обеспечен свободный поверхностный и внутрпочвенный дренаж. От собственно серогумусовых почв почвы Шпицбергена отличаются наличием верхнего подстилочно-торфяного горизонта О, сформированного в основном из остатков мхов, и более грубым характером гумуса серогумусового горизонта АУ за счет участия корней в корневом опаде. Характерными особенностями являются высокая и глубокая (до 60 см и более) гумусированность всего профиля, относительно высокие для такой широты содержания гумуса в верхнем минеральном горизонте АУ<sub>ао</sub>, в котором сосредоточена основная масса корней растений, отсутствие дифференциации химического состава в минеральной части профиля, высокое варьирование всех свойств почв как между аналогичными горизонтами разных разрезов, так и в пределах одного разреза.

Высокое плодородие серогумусовых грубогумусовых почв имеет очень важное экологическое значение для архипелага. Являясь продукционной основой почвы позволяют растительности создавать необходимую для обеспечения всех наземных животных биомассу за очень короткий вегетационный период.

Результаты исследований опубликованы:

Davydov D.A. Ecological Analysis of Cyanoprokaryotes of the Svalbard Archipelago // Contemporary Problems of Ecology, 2024. Vol. 17. N. 4. P. 461–476. DOI: 10.1134/S1995425524700264

Konoreva L. A., Chesnokov S. V., Bolshakov S. Yu. Inventory of lichenised and lichenicolous fungi of Nordaustlandet, Svalbard // Polar Biology, 2024. Vol. 47: 639–649. DOI: 10.1007/s00300-024-03263-8

Konoreva L.A., Chesnokov S.V. Is the discovery of *Stictis radiata* in the Svalbard archipelago a result of global climate change or the presence of a suitable substrate? // Czech Polar Reports, 2024. (in print).

Konstantinova N.A., Vilnet A.A. On differentiation of *Lophozia savicziae* Schljak. and *Lophozia sivicoloides* N.Kitag. // Arctoa, Vol. 33 (2) (in print)

Markovskaya E.F., Shmakova N.Yu., Zorina A.A. Composition of fatty acids in lipids of higher vascular plants of the arctic tundra of Western Spitsbergen // Russian Journal of Plant Physiology, 2024. Vol. 71. P. 135-145. DOI: 10.1134/S1021443724606931

Давыдов Д.А. Экологический анализ цианопрокариот архипелага Шпицберген // Сибирский экологический журнал, 2024. Т. 31. № 4. С. 517–534. DOI: 10.15372/SEJ20240401

Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф., Морозова К.В., Ермолаева О.В. Адаптация кустарничков к условиям арктических тундр Западного Шпицбергена // Природные ресурсы Арктики и Субарктики, 2024. Т. 29. № 1. С. 108-120. DOI: 10.31242/2618-9712-2024-29-1-108-120.

Литература:

Агрохимические методы исследования почв [сборник] / АН СССР, ВАСХНИЛ. М: Наука, 1975. 656 с.

Аринюшкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Агрохимия и почвоведение». М: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.

Бакалин, В. А. Монографическая обработка рода *Lophozia* (Dumort) Dumort. s. str. Наука. 2005. 240 с.

Классификация почв России 2004 г.: Информационно-справочная система по классификации почв России.

Мелехин, А. В., Давыдов, Д. А., Шальгин, С. С., Боровичев, Е. А. Общедоступная информационная система по биоразнообразию цианопрокариот и лишайников CRIS (Cryptogamic Russian Information System) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2013. 118(6).

- Alstrup, V., Olech, M. Licheniculous fungi from Spitsbergen // Polish Polar Research, 1993. 14 (1).
- Clement, M., Posada, D.C. K. A., Crandall, K.A. TCS: a computer program to estimate gene genealogies // Molecular ecology, 2000. 9(10), 1657-1659.
- Culberson, C. F., Ammann, K. Standardmethode zur dünnenschichtchromatographie von flechtensubstanzen. Herzogia, 1979. p. 1-24.
- Damsholt, K., Pugh, A. Illustrated flora of Nordic liverworts and hornworts (p. 837). Lund: Nordic Bryological Society, 2002.
- Hall, T. A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. In Nucleic acids symposium series, 1999. Vol. 41, No. 41, pp. 95-98. [London]: Information Retrieval Ltd.
- Konoreva L.A., Chesnokov S.V., Bolshakov S.Yu. Inventory of lichenised and lichenicolous fungi of Nordaustlandet, Svalbard // Polar Biology, 2024. Vol. 47: 639–649. DOI: 10.1007/s00300-024-03263-8
- Konstantinova, N.A., Bakalin, V.A., Andrejeva, E.N., Bezgodov, A.G., Borovichev, E.A., Dulin, M.V., Mamontov, Y.S. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa, 2009. 18, 1-64.
- Konstantinova, N.A., Savchenko A.N. Diversity and phylogeography of hepatics of Siberia (Russia) In: Mohamed, H., Bakar, B.H., Boyce, A.N., Lee, P. (eds.) Bryology in the New Millennium. 2008: 155-172.
- Konstantinova, N.A., Savchenko A.N. Contribution of the hepatic floras of Svalbard IV: Hepatics of the coast of the Sætherbukta (Orvin Land, Duvefjorden, Nordauslandet) // Arctoa, 2022., 31(1), 44-51.
- Kranner, I., Beckett, R. P., Varma, A. (Eds.) Protocols in lichenology: culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring. Berlin: Springer, 2002.
- Melekhin, A.V., Davydov, D.A., Borovichev, E.A., Shalygin, S.S., Konstantinova, N.A. CRIS–service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams // Folia Cryptogamica Estonica, 2019. 56, p. 99-108.
- Nguyen, L.T., Schmidt, H.A., Von Haeseler, A., Minh, B.Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies // Molecular biology and evolution, 2015. 32(1), 268-274.
- Orange et al., 2001 Orange, A., James, P. W., White, F. J. Microchemical methods for the identification of lichens // British Lichen Society, 2001.
- Paton, J.A. The Liverwort Flora of the British Isles. B. H.& A. Harley Ltd., London, 1999.
- Ronquist, F., Teslenko, M., Van Der Mark, P., Ayres, D. L., Darling, A., Höhna, S., Huelsenbeck, J. P. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. Systematic biology, 2012. 61(3), 539-542.
- Schuster R.M. The Hepaticae of South Greenland // Nova Hedwigia, 1988. 92: 1–255
- Taberlet, P., Gielly, L., Pautou, G., Bouvet, J. Universal primers for amplification of three non-coding regions of chloroplast DNA. Plant molecular biology, 1991. 17(5), 1105-1109.
- Tamura, K., Stecher, G., Kumar, S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. Molecular biology and evolution, 2021. 38(7), 3022-3027.
- Váňa, J. Studies on the *Jungermannioideae* (Hepaticae) 1. General characteristics // Folia Geobotanica et Phytotaxonomica, 1973. 8, 181-208.
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S., and Taylor, J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Pages 315-322 in: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications. M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White, eds. Academic Press, 1990. San Diego, CA.
- Zhurbenko, M.P. Licheniculous fungi from the Holarctic. Part V // New systems for small plants, 2022. 56, 301-308.

Мероприятие 15 выполнено полностью.

**Кольский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН  
(КоФ ФИЦ ЕГС РАН)**

**Мероприятие 16. Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген**

Цели исследований:

- повышение научного знания о процессах, происходящих в окружающей среде высокоширотной Арктики на основе регистрации сейсмических и акустических сигналов, порождаемых процессами деструкции криосферы и литосферы;
- непрерывный контроль уровня геодинамического риска в районе размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь» и российских посёлков на архипелаге Шпицберген.

Задачи, поставленные в 2024 г.:

1. Поддержание работоспособности российской сети сейсмических и инфразвуковых наблюдений на геофизических полигонах в поселках Баренцбург и Пирамида;
2. Сбор, обработка и накопление в базе данных ФИЦ ЕГС РАН результатов сейсмологического и инфразвукового мониторинга импульсных сигналов, генерируемых деструктивными процессами в криосфере и литосфере архипелага и прилегающих акваторий за 2024 год;
3. Развитие на базе собираемых данных методологических основ дистанционного геофизического контроля наиболее опасных типов деструктивных процессов в криосфере – отколы айсбергов, подвижки ледников, обрушения и оползни, взрывные выбросы метана при нарушении стабильности газогидратных резервуаров;
4. Выявление в условиях высокоширотной Арктики в инфразвуковом волновом поле импульсных сигналов, генерируемых взрывами и входением в атмосферу болидов;
5. Проведение экспедиционных работ в июне-июле 2024 года для регламентного обслуживания станций.

В выполнении исследований участвовали двенадцать сотрудников КоФ ФИЦ ЕГС РАН, в том числе трое молодых ученых, руководитель исследований Федоров Андрей Викторович, к.ф.-м.н. [afedorov@krsc.ru](mailto:afedorov@krsc.ru)

*1. Сейсмический мониторинг района архипелага Шпицберген*

В 2024 году продолжались работы по непрерывному мониторингу сейсмичности на архипелаге Шпицберген и в прилегающей части европейского сектора Арктики. Также продолжались работы по инфразвуковым наблюдениям на архипелаге Шпицберген.

Работы выполнялись в рамках темы НИР «Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген» и соответствующего мероприятия Межведомственной программы РНЦШ. Для указанных работ использовались данные сети станций ФИЦ ЕГС РАН на Шпицбергене, расположенных в п. Баренцбург, а также данные станций зарубежных сейсмологических организаций: Университет Бергена (Норвегия), NOR SAR (Норвегия), Институт геофизики Польской академии наук. Карта сети использованных станций приведена на рисунке 16.1.

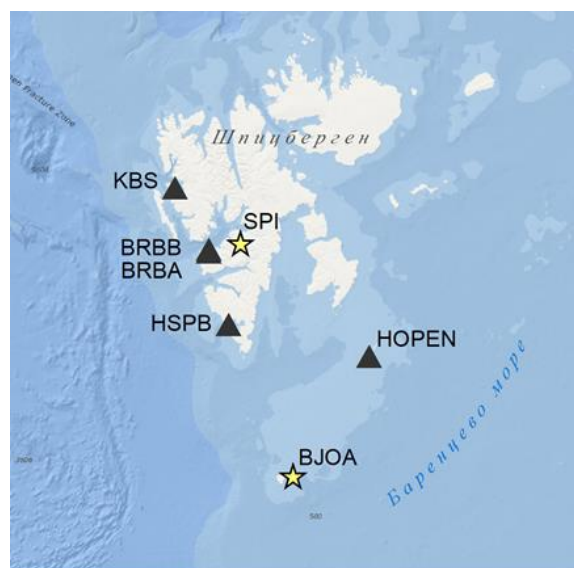


Рисунок 16.1 – Карта сейсмических и инфразвуковых станций международной сети сейсмического и инфразвукового мониторинга на арх. Шпицберген



В 2024 году сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН была выполнена одна экспедиция на Шпицберген с целью технического обслуживания геофизического оборудования для поддержания работоспособности российского сегмента региональной сейсмологической сети. В ходе экспедиционных работ были заменены кабельные линии на сейсмоинфразвуковой группе «Баренцбург» и восстановлена её работоспособность.

По данным наблюдений в 2024 году (данные на 01.10.2024) зарегистрировано и обработано более 9 000 записей сейсмических событий различной энергии. Подавляющее большинство зарегистрированных сейсмических событий имели малые энергии (магнитуда  $M_L < 1$ ) и ассоциировались со слабой тектонической сейсмичностью и процессами разрушения ледников Шпицбергена. На рисунке 16.2 представлена карта эпицентров умеренных и относительно сильных сейсмических событий, зарегистрированных в 2024 году, с магнитудой  $M_L > 1$ .

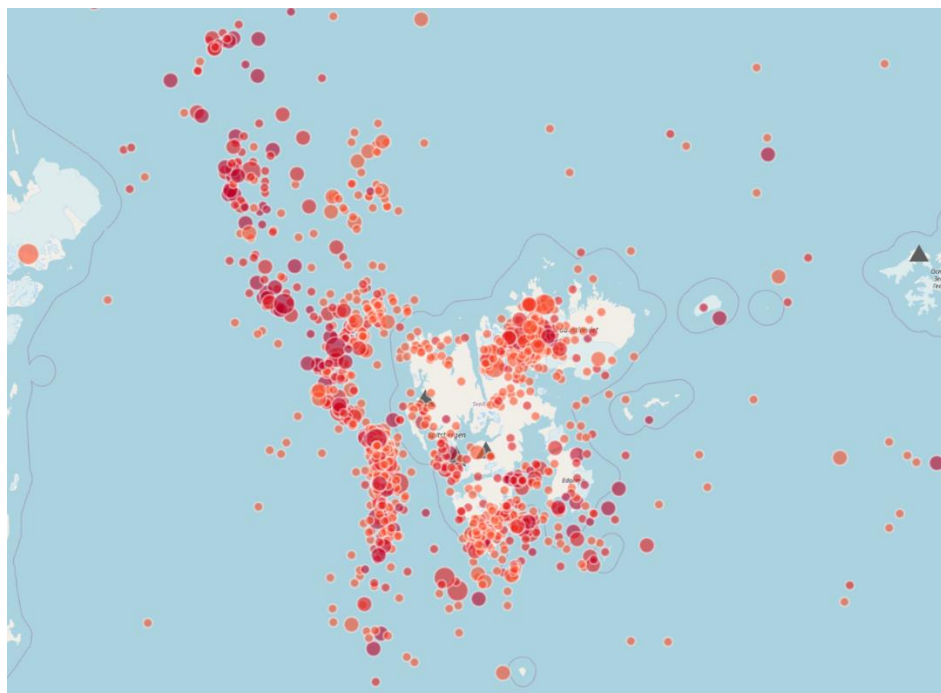


Рисунок 16.2 – Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген в 2024 г.,  $M_L > 1$  (по состоянию на 01.10.2024)

По данным мониторинга наиболее сейсмоактивной зоной в 2024 году оставалась область океанического дна вдоль Срединно-Атлантического хребта (хребет Мона, хребет Книповича, Шпицбергенская зона разломов, хребет Гаккеля). Также высокая интенсивность тектонической сейсмичности отмечена в зоне пролива Стур-фьорд и о. Северо-Восточная Земля.

На рисунке 16.3 представлено расположение эпицентров сильнейших землетрясений региона с магнитудой  $M_L > 3$ . Таких событий в 2024 году зарегистрировано 19. Большинство эпицентров сильнейших землетрясений приурочено также к зоне Срединно-Атлантического хребта и континентального склона, однако 5 сильных землетрясений произошло во внутриплитовой обстановке.

Сильнейшее землетрясение региона имело

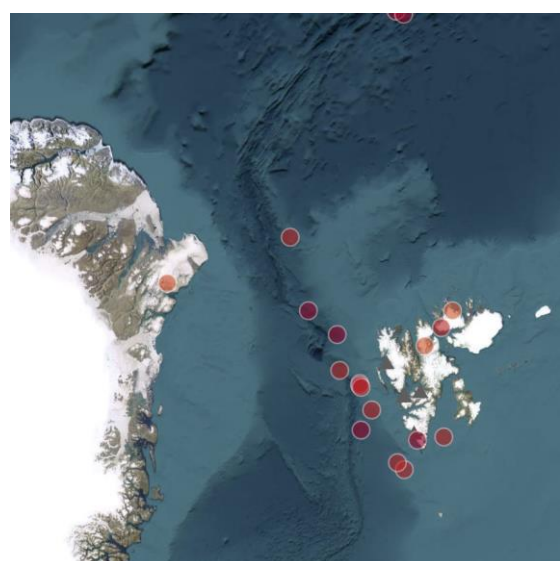


Рисунок 16.3 – Расположение эпицентров сильнейших землетрясений региона с магнитудой  $M_L > 3$

магнитуду  $M_L=3.6$  и произошло 2 мая 2024 г. в 2:01:54 UTC к западу от архипелага в районе с координатами  $78,78^\circ$  с.ш.,  $5,78^\circ$  в.д. на хребте Книповича. Гипоцентр данного землетрясения находился на глубине 10 км, расстояние от эпицентра до ближайших населённых пунктов составило соответственно 130 км – п. Нью-Олесунн, 205 км – п. Баренцбург и 230 км – г. Лонгйирбюэн. К ощутимым сотрясениям в указанных населённых пунктах данное событие не привело. Запись данного события ближайшими региональными станциями приведена на рисунке 16.4.

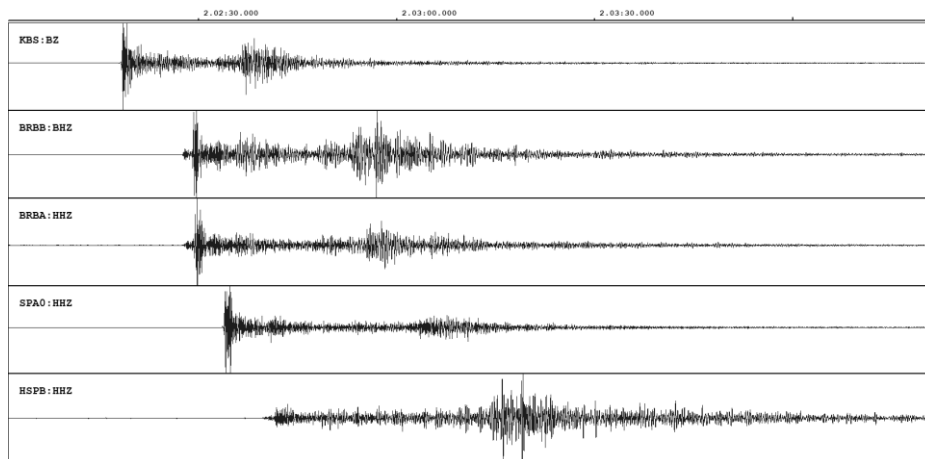


Рисунок 16.4 – Запись землетрясения 2 мая 2024 г. в 2:01:54 UTC,  $M_L=3.6$

В отчётный период продолжались наблюдения за сейсмическими проявлениями деструкции ледников архипелага Шпицберген.

На рисунке 16.5 представлена карта плотности эпицентров слабых сейсмических событий, в большинстве своём ассоциируемых с процессами деструкции и движения ледников Шпицбергена. Наибольшая интенсивность таких процессов отмечается в районе залива Конгфьорд на северо-западе о. Западный Шпицберген. В Конгфьорд стекают пять крупных ледников. Во многом, доминирующее количество регистрируемых льдотрясений в этом районе обусловлено близким взаимным расположением сейсмической станции KBS (Кингсбэй) и местных ледников, что обеспечивает регистрацию даже самых слабых сейсмических событий, порождённых ледниковой активностью.

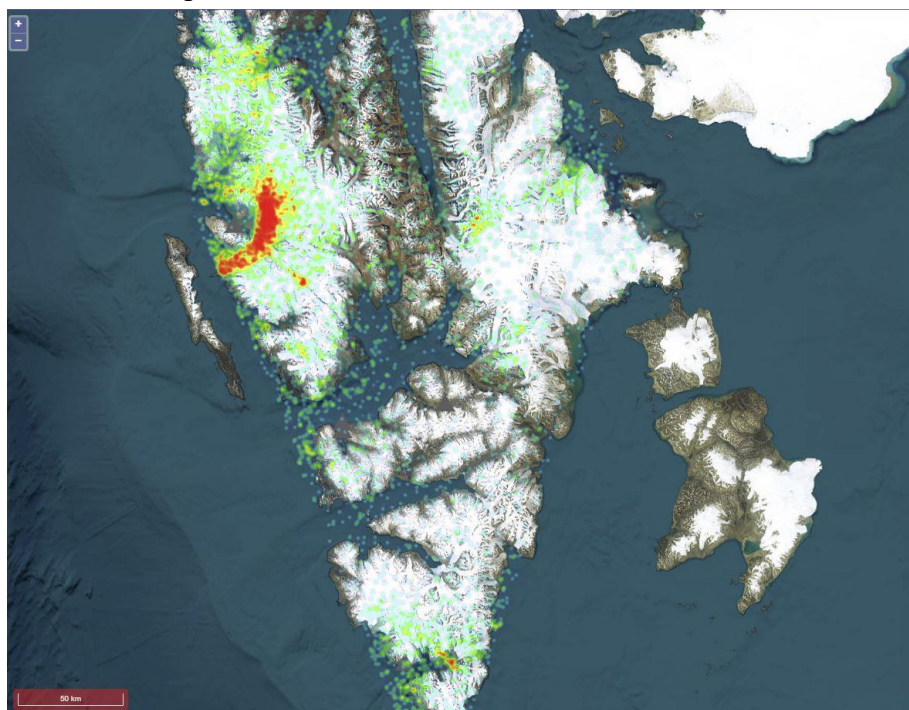


Рисунок 16.5 – Карта распределения плотности эпицентров слабых сейсмических событий, ассоциируемых с активностью ледников Шпицбергена

Также отмечены более локальные области проявления ледниковой сейсмичности, приуроченные к крупным выходным ледникам Хорнсунн-фьорда на юге, а также на восточном побережье о. Западный Шпицберген и в его центральной части.

По результатам проведённых в 2024 году наблюдений пополнены многолетние ряды данных. В дальнейшем результаты сейсмического мониторинга 2024 года будут обобщены с результатами предыдущих периодов наблюдений и будет дана оценка динамики изменений интенсивности сейсмических проявлений, в том числе деструкции ледникового покрова в свете изменения современных климатических условий.

#### *Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»*

В 2024 г. продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения российского посёлка Баренцбург и одноименного угольного рудника государственного треста «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся по данным двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН (BRBA и BRBB), установленных вблизи шахты. За 10 месяцев 2024 года в районе размещения угольного рудника «Баренцбург» зарегистрировано 644 сейсмических событий. Годом ранее за аналогичный период времени количество таких событий составило 401.

Распределение количества зарегистрированных вблизи шахты «Баренцбург» сейсмических событий по месяцам 2024 года показывает традиционный прирост числа событий в летне-осенний период (рис. 16.6), что возможно обусловлено ростом обводнённости массива горных пород в результате увеличения и накопления жидких осадков.

Стоит отметить, что магнитуды подавляющего числа упомянутых сейсмических событий были крайне малы ( $M_L < 0$ ) и не представляли опасности для инфраструктуры шахты или объектов посёлка. На рисунке 16.7 приведена локация сильнейших событий из района шахты Баренцбург за отчётный период.

Сводный анализ изменений интенсивности проявлений сейсмической активности в районе шахты «Баренцбург» за последние годы показывает тенденцию к снижению числа регистрируемых сейсмических событий начиная с 2017 года, что, по-видимому, свидетельствует о снижении интенсивности техногенного воздействия на геологическую среду при разработке данного угольного месторождения.

#### *Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген*

В отчётный период на архипелаге Шпицберген продолжались наблюдения за инфразвуковыми сигналами, распространяющимися в атмосфере. Наблюдения производились на сейсмо-инфразвуковой группе «Баренцбург Б» (BRBB).

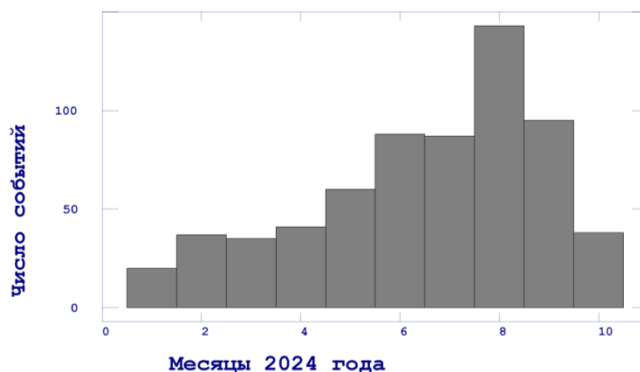


Рисунок 16.6 – Распределение количества сейсмических событий, зарегистрированных в районе размещения шахты «Баренцбург», по месяцам 2024 года

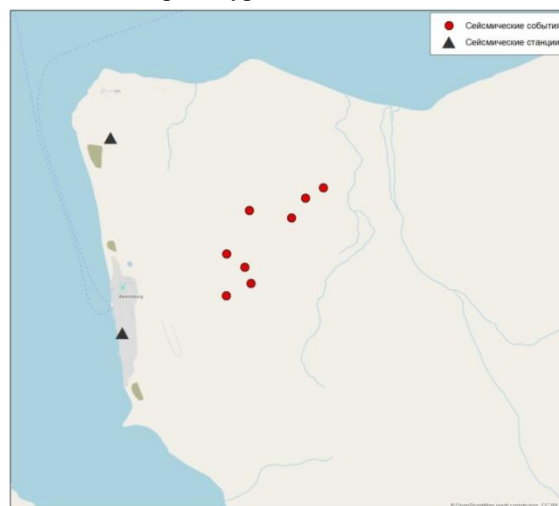


Рисунок 16.7 – Расположение сильнейших сейсмических событий из района шахты Баренцбург в 2024 г.



Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» расположена в 3 км к северу от п. Баренцбург и состоит из трёх разнесённых в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции. Расстановка элементов группы показана на рисунке 16.8.

Непрерывные волновые формы трёх датчиков группы анализировались программой автоматического детектирования инфразвуковых сигналов QACD и разработанной в организации системой потокового детектирования и локации сейсмических и инфразвуковых событий PSDL.

Основными источниками акустических сигналов, регистрируемых в инфразвуковом диапазоне на архипелаге, являются сигналы, порождённые штормами в Северной Атлантике (микробаромы), а также сигналы, генерируемые при растрескивании ледников и отколе айсбергов.

Большую часть 2024 года инфразвуковая группа BRBB функционировала в аварийном режиме в связи с повреждением кабельной линии одного из микрофонов. Существующие ограничения на доставку оборудования и материалов на территорию Шпицбергена позволили выполнить работы по восстановлению кабельной линии лишь в сентябре 2024 года. Таким образом, в данном отчёте представлены результаты инфразвукового мониторинга за сентябрь и октябрь текущего года.

За отчётный период инфразвуковой группой BRBB было обнаружено 138 инфразвуковых событий. Распределение обнаруженных инфразвуковых сигналов по направлениям на источник показано на рисунке 16.9. Доминирующие направления указывают на терминальные части выводных ледников, расположенных на северном берегу Исфьорда и с большой долей вероятности порождены процессами деструкции этих ледников.

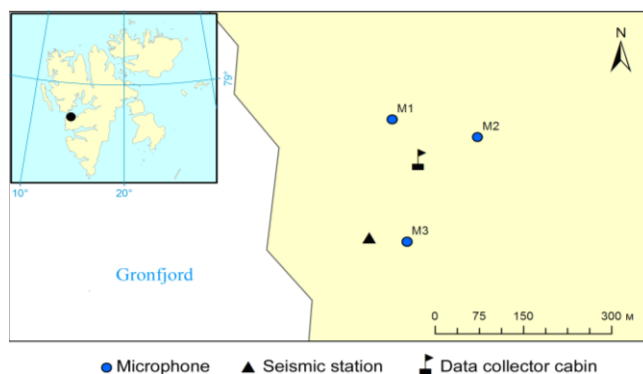


Рисунок 16.8 – Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург Б» на местности

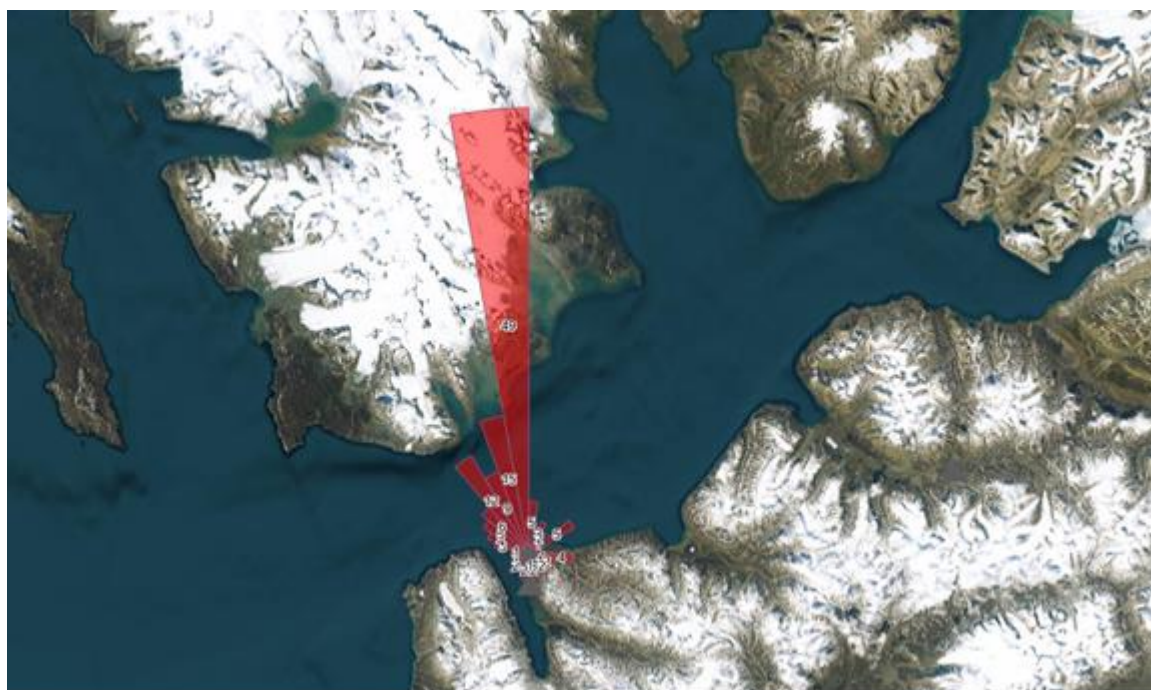


Рисунок 16.9 – Карта-график количественного распределения зарегистрированных в 2024 г. группой «Баренцбург» инфразвуковых событий по азимутам на источник

## *Заключение*

В ходе работ в 2024 году в рамках реализации Мероприятия 16 Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН непрерывно проводился мониторинг сейсмической обстановки и инфразвуковых сигналов в районе архипелага. По результатам мониторинга актуализирован каталог и схема пространственного распределения землетрясений в контролируемом регионе, получена детальная пространственно-временная характеристика сейсмического процесса архипелага Шпицберген. Пополнены базы данных сейсмических событий, ассоциируемых с процессами деструкции ледников Шпицбергена.

Проведена оценка геодинамического риска в районе расположения посёлка и шахты Баренцбург. В указанном районе уровень сейсмической активности оставался на низком уровне, ощутимых и потенциально опасных землетрясений в 2024 году не зарегистрировано.

Выполнена одна экспедиция на архипелаг группой в составе двух человек, которые провели обслуживание и ремонт аппаратуры сейсмического и инфразвукового мониторинга.

Результаты исследований опубликованы:

Асминг В.Э., Федоров А.В. Поточковая система детектирования и локации сейсмических и инфразвуковых событий PSDL // Геофизические исследования. (в печати)

Федоров А.В., Баранов С.В., Асминг В.Э., Федоров И.С. Наблюдения активизации ледника Бломстранд на севере о. Западный Шпицберген по данным одиночной сейсмической станции // Физика Земли. 2024. (в печати)

Асминг В.Э., Баранов С.В., Асминг С.В. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2022 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2024. – С. 128-130. – EDN: VJVLLZ.

Баранов С.В., Асминг В.Э., Ковалева И.С., Асминг С.В. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2022 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2024. – С. 195. – EDN: LNJZBV.

Морозов А.Н., Антоновская Г.Н., Асминг В.Э., Баранов С.В., Болдырева Н.В., Ваганова Н.В., Виноградов Ю.А., Конечная Я.В., Старкова Н.Н., Федоров А.В., Шибаев С.В. Арктика // Землетрясения России в 2022 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2024. – С. 39-42. – EDN: RGBTTM.

Морозов А.Н., Болдырева Н.В. (отв. сост.), Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Баранов С.В., Старкова Н.Н. Арктика // Землетрясения России в 2022 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2024. – С. 157-158. – EDN: SWROLF.

И представлены на конференциях:

Асминг В.Э., Федоров А.В. Обработка инфразвуковых данных в системе автоматического детектирования и локации PSDL // XVIII Международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 09–13 сентября 2024 г. г. Витебск, Республика Беларусь. [http://www.gsras.ru/new/conf/school\\_ims.html](http://www.gsras.ru/new/conf/school_ims.html) (секционный доклад)

Morozov A., Asming V. Relocation of Early Instrumental Earthquakes in the Arctic // Problems of Geocosmos – 2024. <https://events.spbu.ru/events/geocosmos-2024>. 22–26 апреля 2024. (секционный доклад)

Мероприятие 16 выполнено полностью.



## Полярный геофизический институт (ПГИ)

### **Мероприятие 17. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли**

Уникальное положение архипелага Шпицберген позволяет проводить на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург» непрерывные долговременные и регулярные стационарные наблюдения за магнитными и оптическими явлениями, происходящими в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной атмосферы, что является основой для исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

Целью работ является изучение и описание процессов, протекающих в высокоширотной ионосфере и атмосфере Арктической зоны (архипелаг Шпицберген), геофизические процессы и явления, солнечно-земных связей, а также электромагнитных полей в широком частотном диапазоне.

В 2024 году в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проводились непрерывные долговременные стационарные наблюдения за магнитными и оптическими явлениями, которые являются основой для исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

Задачами стационарных наблюдений являлись:

- Исследование развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной ионосферы на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург»;
- Исследование естественных резонансных структур в широком диапазоне;
- Исследование характеристик космических лучей;
- Исследование параметров высокоширотной ионосферы;
- Исследование характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

Стационарные наблюдения в обсерватории ПГИ «Баренцбург» в 2024 году проводились в полном объеме под руководством зам. директора по научной работе к.ф.-м.н. Орлова Константина Геннадьевича orlov@pgia.ru

Сотрудниками института в поселке Баренцбург проведено техническое обслуживание оборудования обсерватории ПГИ «Баренцбург», его настройка (в том числе ремонт некоторых вышедших из строя деталей, выборочная калибровка и тестирование) и отладка после обслуживания. Кроме того, установлено новое оборудование. Проведен комплекс мероприятий и работ по подготовке объектов инфраструктуры обсерватории ПГИ «Баренцбург» к их эксплуатации в осенне-зимнем периоде 2024/2025 г.

#### *Научные исследования*

В работе Балабина Ю.В., Германенко А.В., Гвоздецкого Б.Б. «Наблюдение форбуш-эффектов в марте 2024 парами нейтронных мониторов и мюонных телескопов», представленной на Симпозиуме «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» в секции «Вариации потоков частиц в гелиосфере» проведен анализ данных нейтронного монитора и мюонного телескопа. В Апатитах и Баренцбурге (арх. Шпицберген) установлены одинаковые детекторы космических лучей: нейтронные мониторы 18-НМ-64 и мюонные телескопы. Нейтронные мониторы имеют значительно различающиеся асимптотические конусы приема. Асимптотический конус приема Апатитов представляет собой длинную дугу (до 90 градусов по широте), протягивающуюся от Индийского океана до средних широт России. Асимптотический конус приема Баренцбурга в силу особенностей строения магнитосферы большую часть времени занимает область в

полярной шапке в пределах 20-30 градусов. Мюонные телескопы принимают потоки частиц из области на небесной сфере, близкой по положению и размеру геометрическому полю зрения телескопа.

Важное значение имеют вариации отношения темпов счета одинаковых приборов на двух станциях. После внесения барометрических и температурных поправок в данные приборов отношения темпов счета являются характеристикой анизотропии космических лучей. В марте 2024 года произошли два форбуш-понижения, отмеченные на нейтронных мониторах: 4 и 24 марта, связанные со вспышками на Солнце. Достижение Земли выбросы масс с Солнца вызвали оба раза средние по силе магнитные бури. Показания двух разных приборов и отношение их темпов счета показывают, что эти два форбуш-эффекта значительно различаются не только по амплитуде, но и по вызванной ими анизотропии потока космических лучей. Проведен анализ этой пары событий.

Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Федоренко Ю.В. и др. в докладе «Наблюдения естественных СНЧ/ОНЧ сигналов во время экспедиции «Северный Полюс-41» на 22-ой международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» представили результаты экспериментов, выполненных на ледостойкой самодвижущейся платформе во время проведения экспедиции СП-41 в нейтральных водах и обсерваториях Полярного геофизического института в п. Баренцбург и Ловозеро, в частности наиболее представительные случаи всплесков естественных магнитосферных излучений.

#### *Техническое обслуживание аппаратного комплекса обсерватории ПГИ «Баренцбург»*

Работы по техническому обслуживанию выполнены в период с 05.07 по 20.08.2024 г.:

##### *Станция космических лучей*

Постоянный мониторинг космических лучей выполняется на станциях ПГИ, расположенных в Апатитах и Баренцбурге. Регистрируются различные компоненты вторичных КЛ: адронная, заряженная (счетчики Гейгера и мюонный телескоп), электромагнитная. Это позволяет выполнять не только контроль вариаций всех основных компонентов КЛ, но и изучать влияние атмосферных процессов на разные компоненты. Кроме того, в части аппаратного комплекса обсерватории ПГИ «Баренцбург» в 2024 году проведено расширение состава детекторов: детектор гамма-излучения, аналогичный работающему на станции космических лучей, был установлен на высоте 261,7 м н. у. м. над пос. Баренцбург на площадке спутниковых антенн (рис.17.1). Разность высот составила более 200 м.

На расстоянии 4 км (в помещении КОМ) был установлен еще один детектор – спектрометр гамма-излучения в диапазоне 0,1-6 МэВ (рис. 17.2). Помимо спектральных данных этот детектор имеет выходные интегральные каналы, близкие к первым двум детекторам.



Рисунок 17.1 – Детектор гамма-излучения, его установка и ввод в патрульный режим



Рисунок 17.2 – Спектрометр гамма-излучения

Таким образом, в Баренцбурге проводятся измерения ЭМК в трех разнесенных пунктах.

В 2024 году проведена очередная калибровка счетчиков СНМ-15, составляющих основу нейтронного монитора (рис. 17.3). В процессе работы НМ характеристики счетчиков постепенно изменяются, отчего некоторые из счетчиков могут выйти из стабильного режима на наклонный участок счета, что приведет к изменению счета НМ, не связанному с космическими лучами. Определение счетных характеристик СНМ-15 и подача высоковольтного питания, согласно этим характеристикам, обеспечивают стабильную и надежную работу НМ. По результату калибровки в 2024 году обнаружено, что один счетчик в 1-ой секции изменил характеристику, его рабочее «плато» сместилось в сторону увеличения напряжения питания. Этот счетчик был переустановлен в третью секцию, где собраны счетчики с повышенным напряжением питания.

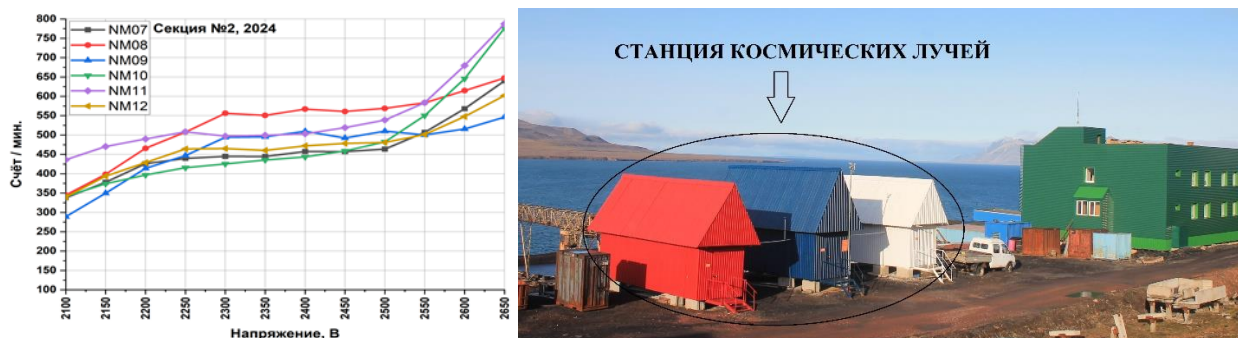


Рисунок 17.3 – Счетные характеристики трубок (СНМ-15) во второй секции НМ. Оптимальной рабочей точкой выбрано напряжение 2400 В

#### *Контейнер оптический многофункциональный (КОМ)*

Выполнено техническое обслуживание (ТО) контейнера оптического, многофункционального (КОМ), обеспечивающего размещение и функционирование оптической аппаратуры обсерватории ПГИ «Баренцбург». В 2024 г. проведено обследование: конструкции КОМ, бетонных опор, лестниц, кабельной сети, блистеров, кронштейнов блендирующих экранов. Обследование показало удовлетворительное состояние конструкции и поверхностей КОМ после нанесения в 2023 г. антикоррозионного покрытия на его крышу. Продолжающееся с 2019 года разрушение оснований северо-восточной бетонной опоры КОМ признано не критичным и достаточен мониторинг отмеченного процесса. Стрела отмеченного в 2021 г. прогиба несущей контейнера не изменилась, достаточен мониторинг отмеченного процесса. Мониторинг оседания насыпи под КОМ не выявил значимого изменения его наклона в истекшем году. Проведена проверка состояния кабеля, обеспечивающего электропитание КОМ напряжением 220В, состояние признано удовлетворительным. Проверено состояние кабеля связи КОМа, новых следов воздействия на него представителей местной фауны не обнаружено. Состояние кабеля признано удовлетворительным.

Проведено ТО общих внутренних систем КОМ: электропитания, освещения, вентиляции, обогрева, источника бесперебойного питания, связи, узлов установки оптического оборудования, блистеров:

- проверено состояние внутренних кабельных линий напряжений 220 и 12В, общего блока низковольтного питания, розеток, переключателей, электрические контакты очищены;
- вентиляции: проверена работоспособность вентиляторов обдува блистеров, заменена смазка подшипников вентиляторов;
- обогрева: проверена работоспособность 2-ух используемых теплоконвекторов, очищены электрические контакты, поверхности тепловыделяющих элементов;
- связи: проверено состояние внутренней кабельной разводки;
- вымыты блистеры МАСОН;
- заменена лопнувшая петля входной двери КОМ.

Отмеченные летние температурные аномалии 2018 и 2020 гг. выявили потенциальную необходимость окраски поверхностей КОМ в белый цвет для поддержания требуемого теплового режима в КОМ летом (температуры в нем достигали, соответственно, почти +30 и +50°C, что приближалось или превосходило критические паспортные параметры размещенной в КОМе аппаратуры). Запланированная на текущий 2024 г. вторичная окраска КОМ в белый цвет была предварена очередной аномалией 2023 г., подтвердившей необходимость данной процедуры (рис. 17.4). В условиях повторяющегося в районе обсерватории превышения 20-тиградусных температур, рекомендовано вторичное окрашивание КОМ, оснащение его системами удаленного контроля температуры, автоматической вентиляции.



Рисунок 17.4 – КОМ в белой окраске

#### Камера всего неба (КВН)

В сезоне 2023-24 гг. в КВН использовался фотоприемник, изъятый из комплекта камеры узкоугольной (КУ). В связи с возобновлением работы КУ изъятый фотоприёмник возвращен в её состав. Функционирование КВН продолжено путем применения неспециализированного фотоприемника, включенного по временной схеме. В связи с иным типом используемой фотоприёмной матрицы применена новая оптическая система прибора. КВН заново смонтирована, установлена, настроена, оттестирована по искусственным источникам, интегрирована в обсерваторскую систему сбора данных (рис. 17.5). Сняты технологические параметры собственно камеры прибора: темновых кадров, параметры «электронного нуля» матрицы камеры, линейности камеры в рабочем динамическом диапазоне для всех планируемых режимов работы. Сняты технологические параметры оптической системы КВН – т.н. «плоское поле». Технические характеристики КВН приведены в таблице 17.1.

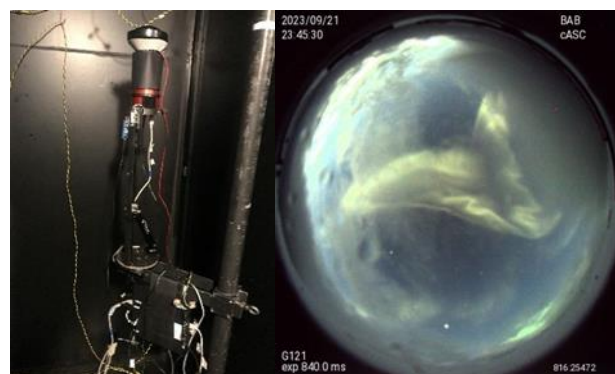


Рисунок 17.5 – Общий вид КВН и кадр КВН

Таблица 17.1 – Технические характеристики КВН

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	180 °	
Формат матрицы	610×610 пикс	возможно 1220×1220 пикс
Угловое разрешение	0,30 °	возможно 0,15 °
Рабочий спектральный диапазон	400-800 нм	
Динамический диапазон	14 бит	
Скорость следования кадров	1 кадр/с	
Тип данных	RGB	панхром. возможен
Порог чувствительности	200 рэлей	для 557,7 нм
Информационный поток	0,5 Мбайт/с	для 1 кадр/сек
Интервалы работы	22 сент – 22 мар	при Солнце ниже -7 град

#### Меридиональный авроральный спектрометр общего назначения (МАСОН)

МАСОН (рис. 17.6, табл. 17.2), отработавший сезон 2023-2024 гг. демонтирован, проведена чистка оптики, электрических контактов, очистка и смазка вентиляторов. МАСОН заново смонтирован, установлен, настроен, оттестирован, прибор интегрирован в обсерваторскую систему сбора данных. Проведено снятие технологических параметров камеры прибора: темновых кадров, параметры электронного «нуля» матрицы камеры, линейности камеры в рабочем динамическом диапазоне для всех планируемых режимов работы. Сняты технологические параметры оптической системы: т.н. плоского поле и



распределение интегральной освещённости вдоль сагиттальной плоскости. Запущен в патрульный режим наблюдений.

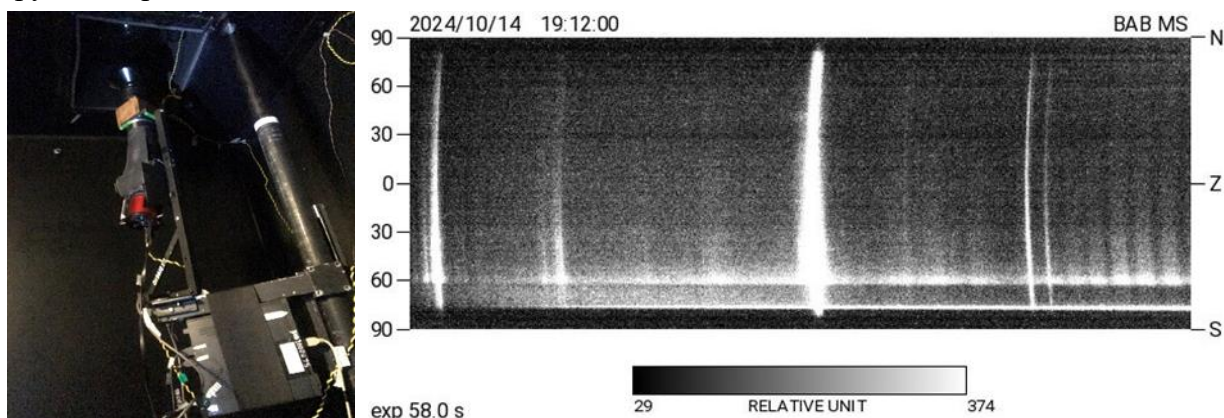


Рисунок 17.6 – МАСОН под блистером (слева) и кадр МАСОН (справа)

Таблица 17.2 – Технические характеристики МАСОН

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	180×0,5°	180° вдоль меридиана
Формат матрицы	346×900 пикс	возможно 346×1350
Угловое разрешение	0,5°	
Рабочий спектральный диапазон	415-670 нм	возможно 385-770 нм
Спектральное разрешение	0,57 нм	возможно 0,5 нм
Динамический диапазон	14 бит	зависит от усиления
Скорость следования кадров	1 кадр/мин	возможно до 4 кадр./мин
Порог чувствительности	100 рэлей	для 557,7 нм
Информац. поток	0,0146 Мбайт/с	для 1 кадр/мин
Интервалы работы	10 сент – 30 мар	при Солнце ниже -7 град

### Система информационного обеспечения наблюдений (СИОН)

Проведено регулярное ТО компьютеров оптических систем (функционально входящих в системы КОМ) и сервера СИОН обеспечивающих сбор данных с оптических приборов: очищены накопители данных, очищены и смазаны вентиляторы компьютеров, промыты разъёмы электроцепей, проверено состояние блоков питания, обновлено программное обеспечение. Работа СИОН представлена на рис. 17.7.

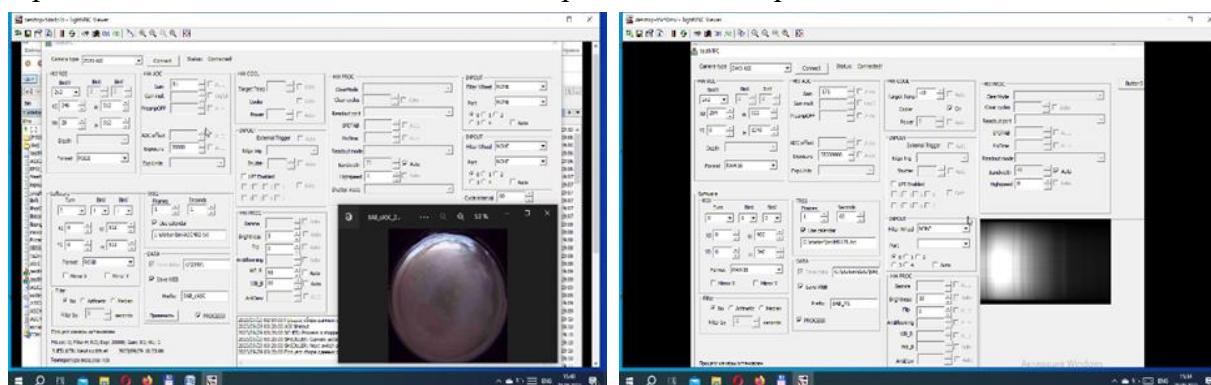


Рисунок 17.7 – СИОН КВН (слева) и СИОН МАСОН (справа)

Доработано программное обеспечение для оптической аппаратуры. На микроконтроллерной базе создано устройство сбора данных об окружающей температуре для контроля работы камер. Устройство интегрировано в программное обеспечение, работающее с камерами.

### Камера узкоугольная (КУ)

Возобновление работы КУ связано с размещением её на высоте 261,7 м н.у.м. над п. Баренцбург, на площадке антенн спутниковой связи (рис. 17.8), что обеспечивает

благоприятные светотехнические условия наблюдений. КУ заново перемонтирована установлена, настроена, оттестирована по искусственным источникам, интегрирована в систему сбора данных (рис. 17.9) с использованием линий связи ААНИИ. Сняты технологические параметры собственно камеры прибора: темновых кадров, параметры «электронного нуля» матрицы камеры, линейности камеры в рабочем динамическом диапазоне для всех планируемых режимов работы. Сняты технологические параметры оптической системы КУ – т.н. «плоское поле». Кадр КУ показан на рис.17.9.



Рисунок 17.8 – Общий вид КУ, установленной на крыше технического здания

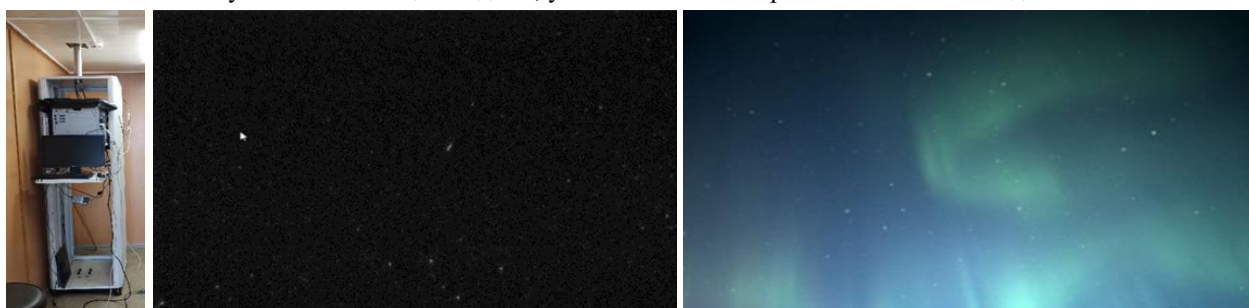


Рисунок 17.9 – Система управления КУ (слева) и кадры КУ, трек (в центре) спутника системы «Старлинк» в поле созвездия Кассиопея (справа)

С учетом того, что было освоено дополнительное помещение под узкоугольную камеру, настроена и обеспечена связь между данным помещением и ПГИ для контроля за работой аппаратуры. Дописано программное обеспечение для работы узкоугольной камеры.

#### *ОНЧ приемник MMBR*

Проведены профилактические работы на антенной системе ОНЧ приемника. Произведена проверка состояния полотна антенн и оттяжек антенной системы ОНЧ приемника. Устранено провисание антенного полотна магнитных рамочных антенн путем подтяжки узлов крепления оттяжек (рис. 17.10).



Рисунок 17.10 – Работы по устранению провисания антенных полотен магнитных рамочных антенн ОНЧ приемника



Рисунок 17.11 – Состояние узлов крепления магнитных рамочных антенн на вершине мачты

Проведена проверка состояния узлов крепления магнитных рамочных антенн на вершине мачты (рис. 17.11). Все крепления оттяжек магнитных рамочных антенн в хорошем



состоянии. (рис. 17.11-12). Устранены незначительные провисания. Открытые участки кабельной прокладки в нижней части конструкции прикрыты грунтом и камнями.

Ревизия заземлений антенной системы показала удовлетворительное состояние контактов кабелей и труб заземлителей. Соединение с заземлителем, выполненное в 2022 году из нержавеющей стали, осталось практически без изменений. По результатам анализа качества данных ОНЧ приемника нарушений в функционировании аналогового тракта не выявлено.

Все приведенные ниже измерения производились с помощью разработанного в ПГИ автономного калибровочного устройства, которое представляет собой низкочастотный генератор с высокой стабильностью и высокоточной синхронизацией фазы выходного гармонического сигнала с универсальным координированным временем, предоставляемым приемником GPS/ГЛОНАСС. Устройство работает по составленной программе с переключением фазы и частоты сигнала на границах установленных временных интервалов.

Прямая калибровка активной вертикальной электрической антенны с целью измерения ее АЧХ и ФЧХ сопряжена с созданием однородного вертикального электрического поля с известной напряженностью, что практически невозможно. Однако, АЧХ и ФЧХ антенны можно измерить с точностью до постоянного коэффициента, подав на вход усилителя через конденсатор гармонический сигнал от генератора, как показано на схеме, приведенной на рисунке 17.15.

Ниже в графическом виде приведены результаты калибровочных измерений. На рисунках слева приведены АЧХ измерительных каналов, а справа их абсолютная ФЧХ (без учета времени задержки вносимого процессом аналого-цифрового преобразования, но с учетом задержки цифрового фильтра  $37/F_s$  ( $F_s=32$  кГц), характерного для применяемого в системе сбора данных АЦП AD7767).



Рисунок 17.12 – Состояние антенной системы ОНЧ приемника после проведения ТО



Рисунок 17.13 – Подключение калибровочного устройства к входу антенны, установка калибровочного тороида и калибровочное устройство, запитанное от аккумулятора



Рисунок 17.14 – Схема калибровки магнитных рамочных антенн тороидальной катушкой

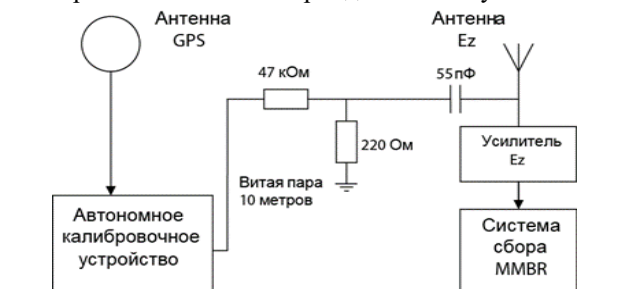


Рисунок 17.15 – Схема калибровки вертикальной электрической антенны ОНЧ приемника

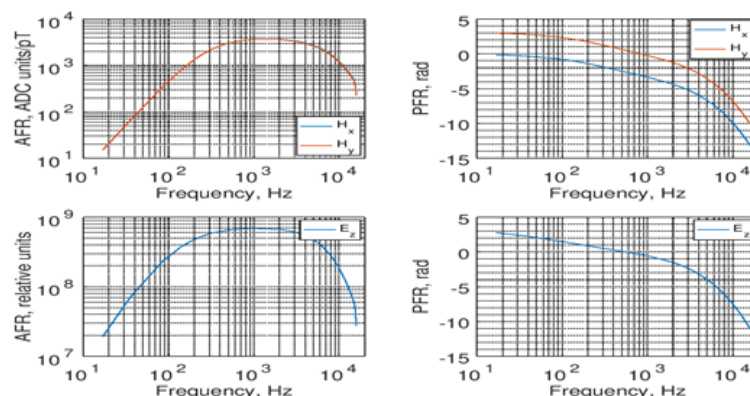


Рисунок 17.16 – АЧХ и абсолютная ФЧХ магнитных рамочных (сверху) и электрической (снизу) антенн ОНЧ приемника в составе с резервным блоком предусилителей до проведения ТО

### КНЧ приемник

Проведен визуальный осмотр прокладки линии связи КНЧ приемника. Линия полностью находится под грунтовым защитным слоем. Деревянные крышки, закрывающие ямы с датчиками находятся в удовлетворительном состоянии. Оголенные места крышек датчиков прикрыты грунтом.

Качество данных контролируется удаленно. За истекший сезон 2023/2024 оно не изменилось. Пример динамических спектров, построенных по данным регистрации компонент магнитного поля КНЧ приемником, представлен на рис.17.17. В силу вышесказанного дополнительных мер для улучшения качества данных не производилось.

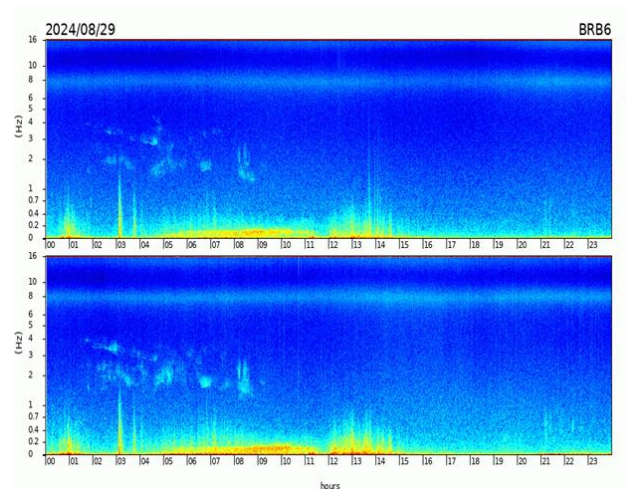


Рисунок 17.17 – Динамические спектрограммы горизонтальных компонент магнитного поля, зарегистрированного на станции Баренцбург стационарным КНЧ приемником

### Риометрический приемник

Как показал сезон наблюдений 2023/2024 на станции Баренцбург эффект влияния помех на данные риометра, вызванных сигналами, приходящими на антенну с боков, незначителен. Поэтому в сезоне наблюдений 2024/2025 принято решение продолжить наблюдения при помощи широкоапертурной антенны. На рисунках 17.18-20 показаны этапы сборки новой антенны риометра.

Новая антенна была собрана из стальных труб прямоугольного сечения и для замедления процесса коррозии была обезжирена и покрыта специальной антикоррозийной краской. На петлевой вибратор установлен изолятор, выполненный из оргстекла. Место установки антенны осталось прежним. Для крепления оттяжек антенны в грунт были вкопаны 3 железобетонных блока с металлическими петлями.



Рисунок 17.18 – Сварочные работы

Для согласования выходного сопротивления антенны (~200 Ом) с коаксиальной линией (50 Ом), выполненной из кабеля RG-213, использовано согласующее устройство



(представлен на рис.17.21) трансформаторного типа («балун») с коэффициентом трансформации 1:4.

В схему приемника для контроля температуры усилителя и последующей компенсации температурной зависимости коэффициента усиления добавлен датчик температуры (рис.17.22).

На схеме: КОМ – контейнер оптический многофункциональный, ИБП – источник бесперебойного питания, БП – блок питания, ПК – мини-компьютер.

По двум витым парам UTP кабеля от БП передается питание на блок стабилизаторов. По двум другим витым парам мини ПК приемника соединен с сетевым коммутатором и включен в локальную сеть обсерватории. Питание усилителя и ПК осуществляется от блока стабилизаторов. Питание и связь регистратора с ПК посредством USB интерфейса.

Проведена профилактика компьютерной техники со снятием защитных кожухов и внешним осмотром электронных компонентов на предмет их выхода из строя. С целью обеспечения совместимости и поддержки актуальной защиты проведено обновление операционных систем на системах сбора данных. КНЧ приемник подготовлен к эксплуатации в новом наблюдательном сезоне 2024-2025.



Рисунок 17.19 – Этапы вкапывания блоков для крепления оттяжек антенны



Рисунок 17.20 – Установка и подключение антенны



Рисунок 17.21 – Согласующее устройство «балун»

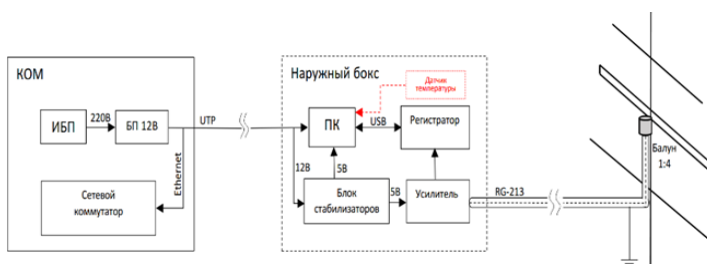


Рисунок 17.22 – Блок-схема риометрического приемника

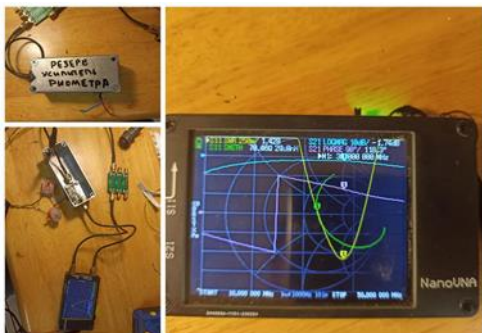


Рисунок 17.23 – Резервный усилитель

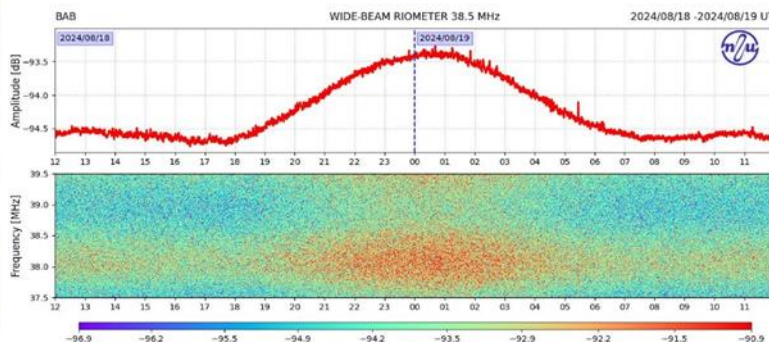


Рисунок 17.24 – Пример записи риометра

### Приемный комплекс GNSS

Проведено техническое обслуживание и проверка работоспособности GNSS – комплекса: профилактика компьютерной техники и настройка программного обеспечения, проверка сопряжения ПК и GNSS приемника, проверка и профилактика антенно-фидерного устройства GNSS приемника, архивирование GNSS данных на сервере, тестирование работоспособности комплекса в дистанционном управлении (рис. 17.25).

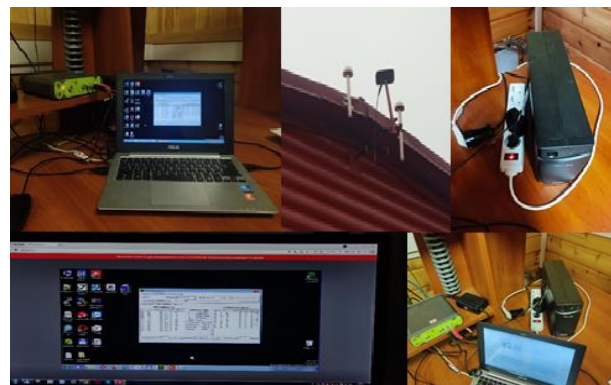


Рисунок 17.25 – GNSS комплекс, обслуживание и проверка

### Санитарно-техническая платформа обеспечения жизнедеятельности

Выполнено техническое обслуживание, ремонт и проверка работоспособности систем санитарно-технической платформы обеспечения жизнедеятельности здания рабочего павильона обсерватории ПГИ «Баренцбург» (рис. 17.26-27), а именно:



- замкнутой системы водоснабжения и системы сбора бытовых стоков, емкостей для хранения технической воды и сбора бытовых стоков;

- трубопроводов подачи технической воды и откачки бытовых стоков, состояние их теплоизоляционной оболочки, исправность системы электрического подогрева трубопроводов (Ду 32, Ду 40);



Рисунок 17.26 – Обсерватория ПГИ «Баренцбург» (здание рабочего павильона, санитарно-техническая платформа жизнедеятельности, система резервного энергоснабжения)

- системы резервного энергоснабжения обсерватории «Баренцбург» (рис. 17.26): проверены системы автоматического запуска ДГУ при нарушении центрального энергоснабжения, системы автоматического открытия (закрытия) вентиляционного клапана притока свежего воздуха в техническое помещение санитарно-технической платформы;

- проведена проверка работы ДГУ в ручном режиме.

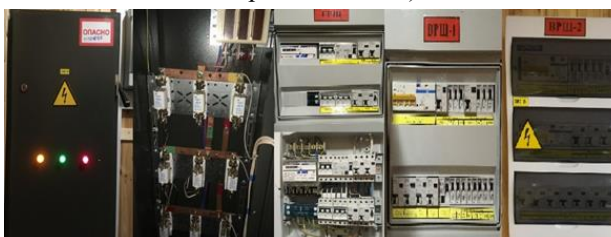


Рисунок 17.27 – Внутренние электрические сети обсерватории ПГИ «Баренцбург»

Проведено обслуживание и проверка внутренних электрических сетей обсерватории «Баренцбург» (рис. 17.27): вводного распределительного устройства (ВРУ); распределительных щитов (ГРЩ, ВРЩ 1; ВРЩ 2); сетей освещения, розеточных сетей; состояние контура заземления оборудования обсерватории, работоспособности электрических конвекторов в здании обсерватории, оптическом павильоне и контейнере санитарно-технической платформы.

Таким образом в результате технических работ на научной станции «Баренцбург» арх. Шпицберген была произведена подготовка электромагнитной и оптической аппаратуры к наблюдательному сезону 2024-2025. Изготовлено калибровочное устройство для локальных

работ. Обновлена и введена в эксплуатацию новая антенная система риометрического приемника. Проведена профилактика антенно-фидерных систем электромагнитной аппаратуры. Проведена очередная калибровка счетчиков СНМ-15, составляющих основу нейтронного монитора. Проведено расширение состава детекторов гамма-излучения. Обновлены операционные системы, произведена профилактика компьютерного парка обсерватории и другие работы.

По результатам исследовательских работ опубликована работа:

Галахов А.А. Поле атмосфериков на фоне сейсмической активности при различной геофизической обстановке (экспериментальные данные) // Современная электроника, 2024. № 4, с. 40-45.

Мероприятие 17 выполнено полностью.



## Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)

### Мероприятие 18. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген

Исследования на архипелаге Шпицберген было запланировано в соответствии с госзаданием по теме НИР 124061400001-1 «Методы современного археологического исследования в сохранении российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген», полевые работы проходили в период с 25 июля по 31 августа 2024 г. и включали натурные обследования и аэрофотосъемку памятников. Цели исследований: изучение истории освоения архипелага, в первую очередь, русскими поморами в XVIII – XIX вв. и российскими экспедициями XVIII – начала XX вв., выявление и обеспечение сохранности объектов историко-культурного наследия, разрушающихся под воздействием природных и антропогенных процессов, развитие музейного дела на Шпицбергене.

Задачами полевых работ являлась более точная и тщательная фиксация памятников, в том числе методами фотограмметрии, а так же выявление диагностирующих признаков, включая и те, которые ранее ускользнули от внимания исследователей. В период нахождения на архипелаге Шпицберген проводилась также компьютерная обработка сделанных ранее цифровых фотографий поморских вещевых объектов (масштабирование, чистка фона, тоновая и цветовая коррекция и пр.). В фондах музея «Помор» в Баренцбурге проведена углубленная фиксация (фотографирование и измерения) обнаруженных на поморских памятниках архипелага предметов. Основные районы работ экспедиции 2024 г. охватывали три региона острова Западный Шпицберген (рис. 18.1):



Рисунок 18.1 – Памятники, обследованные в 2024 г.

– Земля Оскара II. Здесь было обследовано становище Свардфельетбеккен в районе Свартфельестранда, памятник был открыт в 1982 г. археологической экспедицией ИА РАН, однако подробно исследован не был. Также на равнине Кофьойра обнаружено основание поморского креста;

– Земля Принца Карла. В этом месте, в районе бухты Селвоген выявлены следы разрушенного поморского становища, а также погребальный комплекс в непосредственной близости от него;

– Земля Норденшельда. Здесь в районе горы Херфельеступет выявлен и обследован относящийся к XX в комплекс построек, связанных с угледобывающим производством.

#### 1. Свартфельестранда (Земля Оскара II)

*Становище Свардфельетбеккен:* координаты WGS 84: 78,39912118 12,55563005

Поселение было открыто в 1982 г Шпицбергенской экспедицией РАН в ходе разведки побережья Земли Оскара II, раскопки не производились. Двухчастная постройка расположена на первой морской террасе на высоте 3 м в 42 м от берега моря и в 1,4 км югу от устья реки Свартфельетбеккен (рис. 18.2).





Рисунок 18.2 – Становище Свардфьелетбеккен: местоположение (слева), аэрофотосъемка, общий вид (середина), вид с юга (справа)

Постройка состоит из жилого помещения и сеней (рис. 18.3а). Жилое помещение представляет собой рубленную в обло- с остатком постройку, от которой сохранились три нижних венца (рис.18.3б,в). С северной, южной и западной стороны имеется обваловка шириной 1,2 – 1,5 м высотой 30 см от дневной поверхности. Внутренние размеры помещения 2,7х3 м.

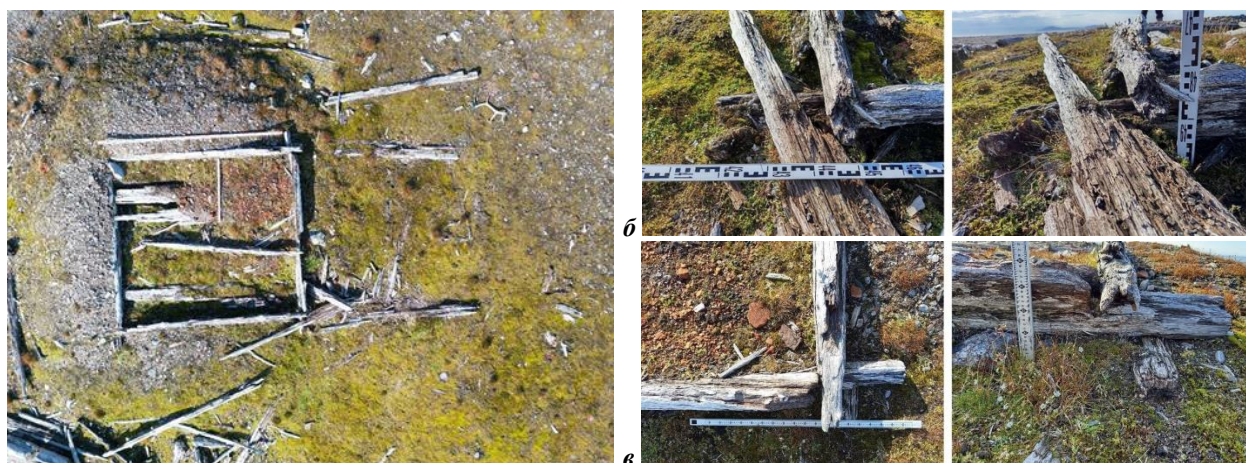


Рисунок 18.3 – Становище Свардфьелетбеккен: (а) аэрофотосъемка, вид сверху; (б) Ю-В угол жилого помещения; (в) С-В угол жилого помещения

Вход в помещение располагался с восточной стороны, в бревне восточной стены сохранился дверной выруб шириной 80 см (рис. 18.4а). Справа от входа, в северо-восточном углу располагалась печь размером около 1,2х1 м, от нее сохранился развал красного кирпича (рис.18.4б). Внутри помещения на поверхности лежат массивные деревянные плахи шириной 28 – 30 см и толщиной 8 – 9 см положенные по-ходу, вероятно, это остатки полового настила (рис. 18.4в).



Рисунок 18.4 – Становище Свардфьелетбеккен: (а) дверной выруб в бревне в стене жилого помещения; (б) развал печи; (в) деревянные плахи полового настила. С-З угол жилой постройки

С восточной стороны к жилому помещению примыкали сени, от которых прослеживаются остатки северного и южного бревен длиной 2,4 и 2,7 м соответственно (рис. 18.5а). Следы восточной стенки на поверхности не прослеживаются. Общие размеры



помещения составляли 2,8х3м. Сени, вероятно, представляли собой каркасно-столбовую конструкцию, в юго-западном углу обнаружены следы вертикально вкопанного столба.

На прилегающей к жилищу территории в большом количестве встречается древесина, в том числе 8 бревен, вероятно являвшихся частью стен. Помимо фрагментов конструкций в подъемном материале встречаются фрагменты деревянных изделий, обломки красного кирпича (рис. 18.2б). В ровике с северной стороны жилища обнаружен позвонок кита со следами обработки (рис. 18.5в). Вся древесина на памятнике плохой сохранности.

Памятник датируется XVIII в.

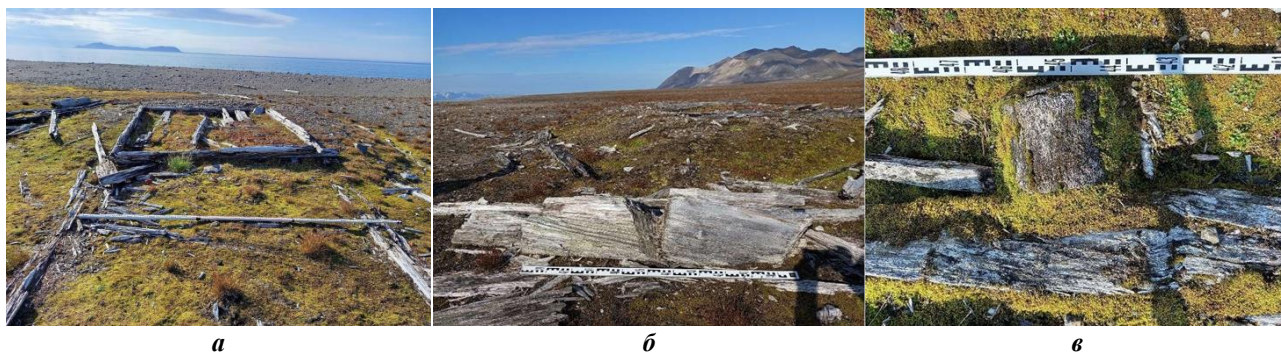


Рисунок 18.5 – Становище Свардфьелетбеккен: (а) сени и жилое помещение, вид с востока; (б, в) подъемный материал, фрагменты деревянных изделий, позвонок кита.

## 2. Кофэйра (Земля Оскара II)

Основание креста: координаты WGS 84: 78,63779969861417 11,897570575018497

Памятник находится в районе мыса Ойрнес, в 1 км к югу от устья реки Ойрнесбеккен и расположен на краю второй береговой террасы высотой 4 м (рис. 18.6а,б).

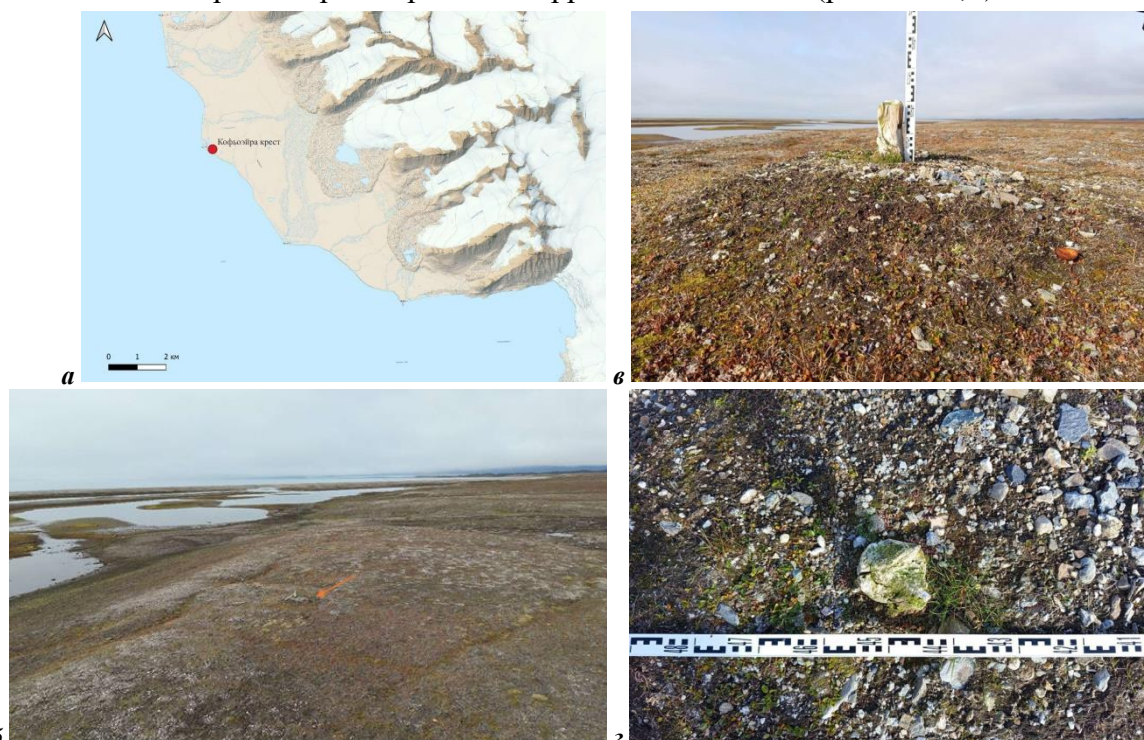


Рисунок 18.6 – Кофэйра, основание креста: (а) местоположение; (б) аэрофотосъемка, виж с юга; (в) вид с юга; (г) вид сверху

От креста сохранилась нижняя часть высотой 21 см имеющая в настоящее время подпрямоугольную форму 12,5х12 см, часть внешних колец не сохранилась. Вокруг креста сохранилась земляная насыпь высотой 15 см (рис. 18.6в,г).



### 3. Селвоген (Земля принца Карла)

Разрушенное становище Селвоген: координаты WGS 84:78,5463454 11,3780027

Расположено на южном берегу бухты Селвоген в 1,6 км к западу от мыса Дэйвспунтен на низкой береговой террасе в 30 м от берега моря (рис. 18.7а,б). На территории, протяженностью 60 м вдоль берега моря и шириной 10–15 м располагается подъемный материал, относящийся к поморскому зимовью. Площадка частично перекрыта поздними делювиальными отложениями из гравия и песка (рис. 18.7в).

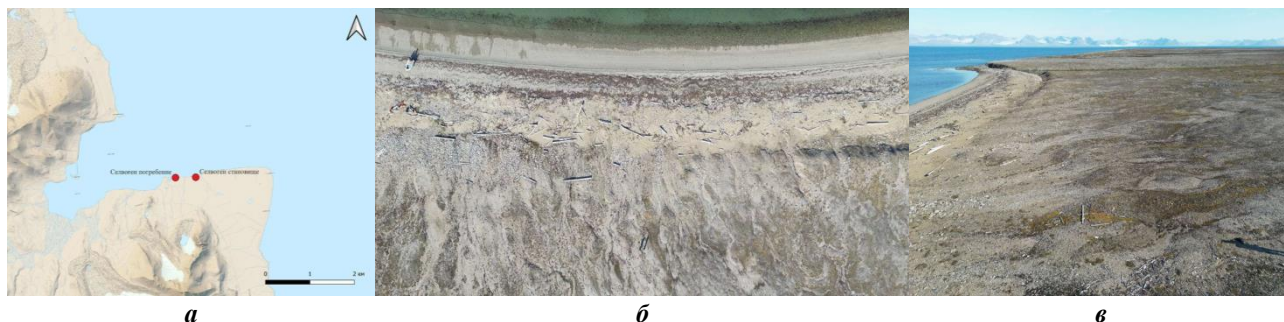


Рисунок 18.7 – Становище Селвоген: (а) местоположение; (б) аэрофотосъемка, общий вид и (в) вид с запада

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 (рис. 18.8а,б). В 6 м к западу от развала печи выявлено скопление щепы и мелких фрагментов древесины, образованное движением делювиальных отложений (рис. 18.8 в,г).

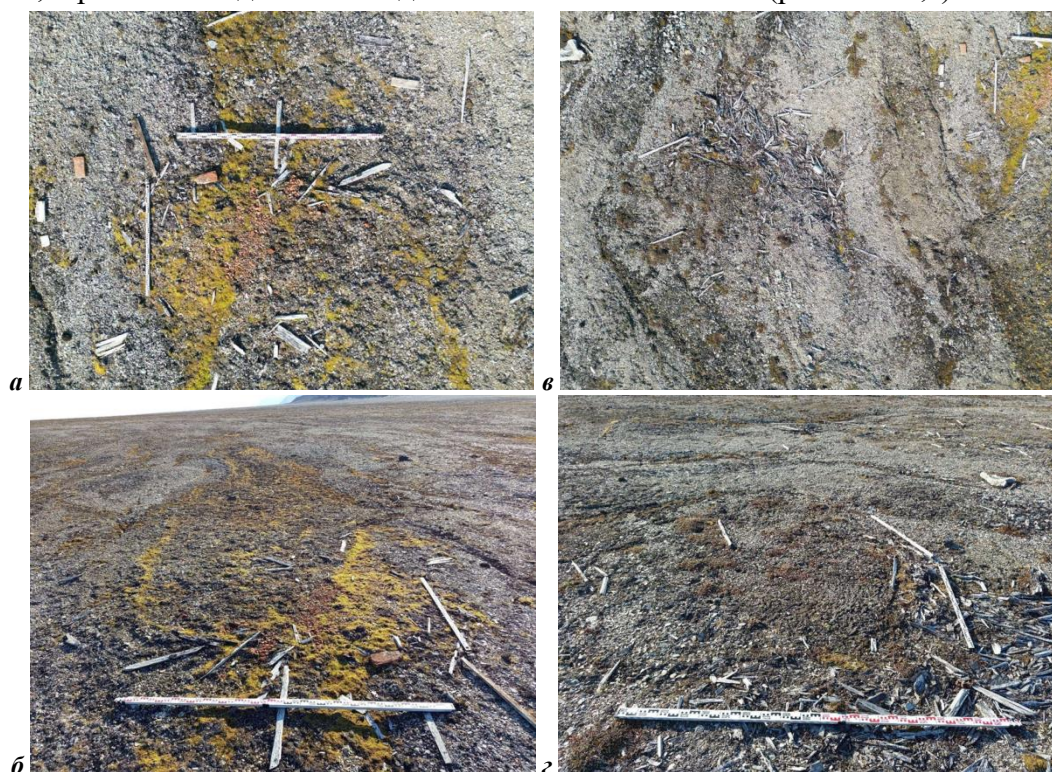


Рисунок 18.8 – Становище Селвоген: (а) развал печи жилища и (б) вид с севера; (в) скопление щепы и (г) вид с севера

Помимо развала печи на прилегающей территории зафиксированы отдельные кирпичи, клепки от бочек (рис. 18.9), деревянные детали с нагелями, прочие деревянные фрагменты, в том числе с железными гвоздями четырехгранного сечения (рис. 18.10).





Рисунок 18.9 – Становище Селвоген, подъемный материал: красный кирпич и клепки от бочек



Рисунок 18.10 – Становище Селвоген, подъемный материал: деревянные изделия с нагелями и железными гвоздями четырехгранного сечения

### *Селвоген: Погребение*

В 450 м к западу от остатков зимовья на небольшом скалистом мысе обнаружена выкладка из крупных камней квадратной формы размером 2х2 м (координаты WGS 84: 78,5462711 11,3575452). Внутри выкладки располагается земляная (могильная?) насыпь размерами 1,4х0,6 м и высотой 20-30 см. На насыпи лежат 2 крупных камня (рис. 18.11а,б,в). В юго-западной части выкладки найдены остатки вертикально вкопанной доски 3х9 см и высотой 10 см (остатки креста?) (рис. 18.11г). Определить культурную принадлежность памятника затруднительно.



Рисунок 18.11 – Погребение Селвоген: (а) аэрофотосъемка, общий вид; (б) вид сверху крупным планом; (в) вид с юга; (г) остатки вертикально вкопанной доски



#### 4. Херфельстунет. Шахта. (Земля Норденшельда)

Разрушенный вход в шахту: координаты WGS 84: 78,00463329 14,33557823

Располагается на обрывистом северном склоне горы Херфельстунет на высоте 200 м в 6 км южнее поселка Баренцбург и в 1 км к востоку от мыса Ларвикпунтен (рис. 18.12а). Памятник представляет собой разрушенный вход в шахту начала XX века, представлявший собой прямоугольную крепь 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 (рис. 18.12б-д).

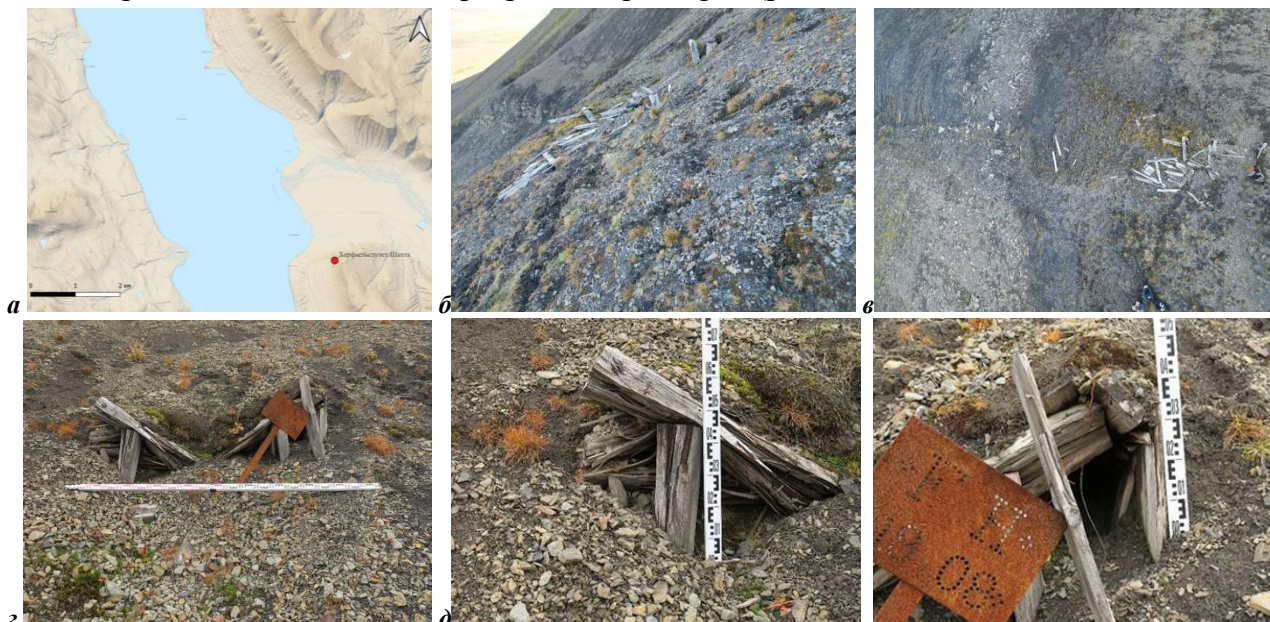


Рисунок 18.12 – Херфельстунет, шахта: (а) месторасположение; (б) общий вид с востока; (в) общий вид сверху; (г) вход в шахту, вид с севера; (д) элементы конструкции

При входе располагается заявочный знак – стальная табличка размером 35x25 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° к земле (рис. 18.12д). Аналогичные знаки с другими датами ранее были обнаружены археологической экспедицией ИА РАН в 2014 г.

Рядом с ходом шахты располагаются остатки постройки из досок, обшитых рубероидом, постройка разрушена и погребена под осыпью породы (Илл. 37). Перед ходом шахты на площадке 5x5 м лежат в большом количестве доски и фрагменты конструкций, проволока, веревки. Фрагменты древесины так же обнаруживаются вниз по склону в сторону Грэндален (Илл. 38). Шахта относится к началу XX в и была заложена для геологической разведки.

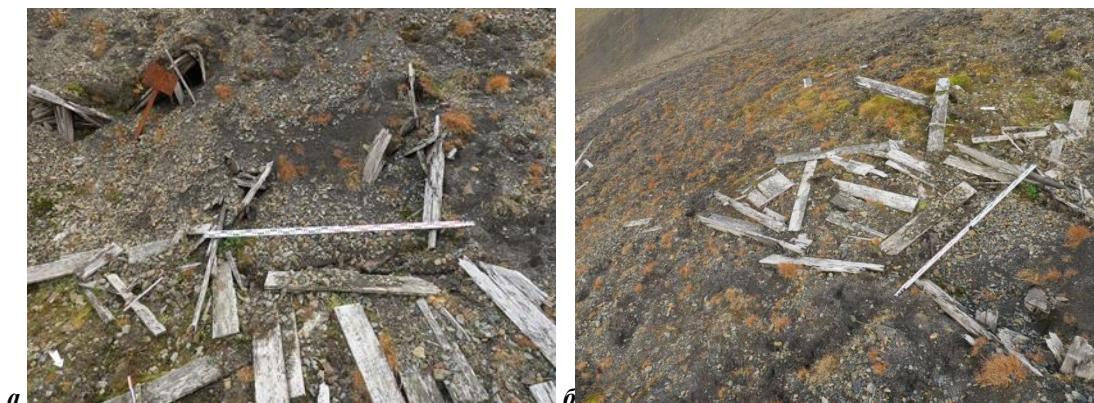


Рисунок 18.12 – Херфельстунет, шахта: (а) остатки разрушенной постройки, вид с севера и (б) вид с запада

Проведенный мониторинг памятников на архипелаге экспедицией ИА РАН в 2024 г. и сопоставление его с результатами прошлых лет подтверждает сделанный ранее 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 ежегодно отправляются в Администрацию Губернатора Шпицбергена. И в случае серьезного аварийного состояния памятника норвежская администрация должна принять меры по обеспечению его сохранности. Однако в современных политических условиях, когда Норвегия объявлена недружественной страной, контакты с норвежской администрацией становятся затруднительными.

В результате проведенных в 2024 году обследований различных поморских памятников в районе пролива Форландзунд и Исфьорде, получена новая важная информация о памятниках российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

В конце 2024 году планируются к публикации две статьи:

О новых памятниках на архипелаге Шпицберген // Археологические открытия.

Новые данные о технике строительства поморских становищ на архипелаге Шпицберген // Краткие сообщения ИА РАН (или Российская археология).

Материалы исследований также представлены на конференции:

Шаврин С.А. Мониторинговое исследование и сохранение памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген в 2023 г. // Ежегодная отчетная конференция «Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане и внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка», г. Москва, 27-29 февраля 2024 г.

Мероприятие 18 выполнено полностью.

**Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)**

**Мероприятие 19. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена**

Основная цель исследований – разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах для моделирования погоды и климата и исследование микроклимата прибрежных территорий с неоднородным рельефом. Исследования включают следующие задачи:

– Изучение турбулентного режима приземного слоя атмосферы над ледником, в том числе: оценка турбулентного теплообмена атмосферы с поверхностью ледника; изучение природы нестационарной турбулентности и противогradientных потоков над ледником; оценка параметров шероховатости и др.

– Верификация аэродинамических формул для расчета потоков тепла и импульса, использующих различные универсальные функции и разный метод задания температуры поверхности.

– Верификация и настройка мезомасштабной модели атмосферы для природно-климатических условий Шпицбергена. Наличие измерений метеорологических параметров на леднике позволяет уточнить параметры модели для ее дальнейшего использования в качестве инструмента исследования пограничного слоя и вышележащей атмосферы не только над ледником Альдегонда, но и над окружающими районами, что особенно актуально ввиду невозможности проведения подробных наблюдений над всеми ледниками региона.

Работы шли по двум направлениям: экспериментальные работы в п. Баренцбург (16 августа – 31 августа 2024 года, 2 человека) и моделирование природных процессов на архипелаге Шпицберген (3 человека). Исследования выполняли И.А.Репина (repina@ifaran.ru), Д.Г. Чечин, А.А. Шестакова, А.И.Нарижная.

Для выполнения поставленных задач в рамках экспедиционных работ ИФА РАН на архипелаге Шпицберген в 2024 г. проводились измерения турбулентных характеристик и градиента температуры воздуха над ледником Альдегонда в период с 16 по 31 августа и включали в себя следующие этапы: установка оборудования на леднике Альдегонда, проверка его работоспособности, замена аккумуляторов, снятие оборудования. Всего было выполнено 4 полевых выхода. Для временных наблюдений было установлено следующее оборудование (рис.19.1):

а) ультразвуковой анемометр «АМК-04» (производство России) на высоте около 1 м над поверхностью, частота измерений 80 Гц, измеряемые величины: три компоненты скорости ветра, акустическая температура, влажность воздуха, давление.

б) два цифровых датчика температуры DS18B20 (производство России) на уровне 2 см и 1 м над поверхностью ледника, частота измерений 1 Гц.

Для расчета турбулентных потоков и других характеристик турбулентности была проведена первичная обработка данных акустического анемометра. Турбулентные пульсации выделялись методом удаления среднего по различным интервалам (от 2 до 30 мин). Предварительно проводились удаление выбросов и двумерная коррекция поворота осей.



Рисунок 19.1 – Фотография оборудования, установленного на леднике Альдегонда в августе 2024 г.



Также проводилась проверка стационарности турбулентности для 20-мин. значений по методу (Foken and Wichura 1996). На основе полученных пульсаций проводился расчет потоков тепла и импульса (по методу ковариации турбулентных пульсаций), а также третьих моментов и других характеристик турбулентности. Для выделения турбулентных режимов дополнительно анализировались спектры и ко-спектры турбулентных пульсаций.

Также для выполнения поставленных задач проводилось моделирование атмосферы с помощью мезомасштабной модели WRF-ARW. Для параметризации приземного и пограничного слоя в модели использовалась схема QNSE, разработанная для устойчивых погранслоев (Sukoriansky et al. 2005). Для параметризации деятельного слоя суши использовалась схема Noah-MP (Niu et al. 2011), позволяющая задавать 4 слоя почвы/льда и 3 слоя снега. Температура в толще льда задавалась в соответствии с данными термометрии, проводившейся на леднике Альдегонда в рамках экспедиции ААНИИ. Использовались три вложенные друг в друга области с горизонтальным разрешением сетки 10, 2 и 0,4 км соответственно. В качестве начальных и граничных условий использовался реанализ CFSR, а также данные о типах поверхности Land Cover Database с разрешением 100 м, данные типизации ландшафтов на основе спутниковых данных Sentinel с разрешением 20 м, данные о рельефе ASTER с разрешением 30 м. Как показали тестовые расчеты, данные о типе поверхности и рельефе с высоким разрешением важны для адекватного воспроизведения метеорологического режима над таким относительно небольшим объектом, как ледник Альдегонда.

В целом, турбулентный режим приземного слоя атмосферы над ледником Альдегонда в период измерений был преимущественно нестационарным (рис. 19.2), что может быть связано с сильным влиянием мезомасштабных эффектов или гравитационных волн на турбулентные вихри. Спектр компонент скорости ветра также отличается от классического универсального спектра, особенно в период 23-25 августа 2024 г. В периоды стационарного турбулентного режима поток тепла был отрицательным (т.е. направленным от атмосферы к поверхности ледника), что соответствует устойчивой температурной стратификации над ледником, которая, согласно данным наблюдений за температурой на двух уровнях (рис. 19.3), сохранялась в течение всего наблюдательного периода. Поток явного тепла достигал  $65 \text{ Вт/м}^2$ , что хорошо соответствует оценкам, полученным по данным измерений в прошлые годы. Третьи моменты (т.н. потоки потоков) в основном малы, что свидетельствует о преобладании локальной генерации потоков.

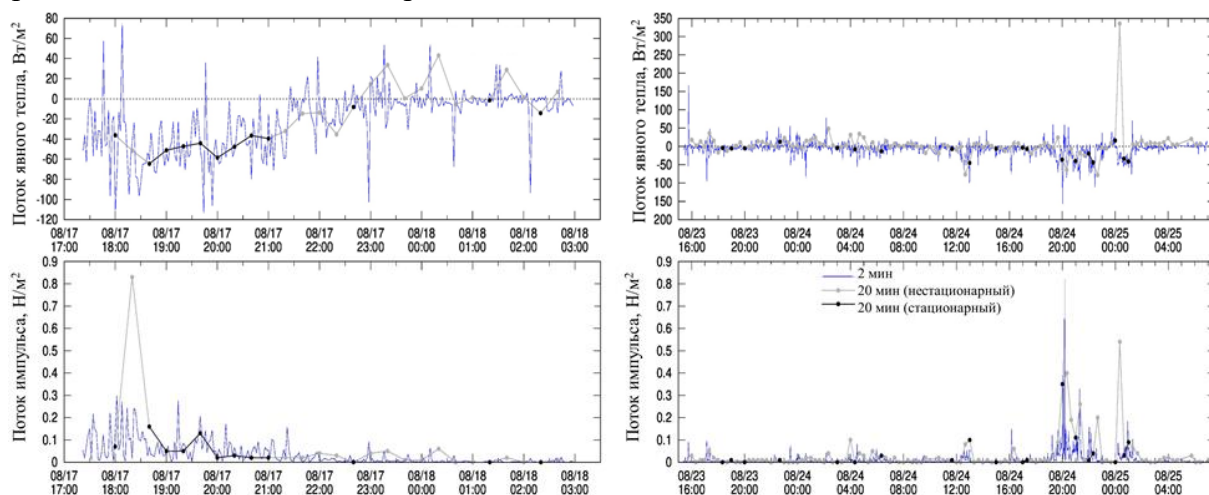


Рисунок 19.2 – Турбулентный поток явного тепла (верх) и импульса (низ), средние по 20-мин (серая и черная линия) и 2-мин (синяя линия) интервалам, для 2 периодов наблюдений 17-18.08.24 (слева) и 23-25.08.24 (справа). Серая линия – периоды с нестационарной турбулентностью, черная линия – периоды со стационарным режимом

Особенностью турбулентного режима в период измерений в 2024 г. стало большое количество положительных (т.е. противогradientных) значений потока тепла (почти половина случаев). Абсолютное большинство этих случаев наблюдалось в периоды



нестационарной турбулентности. Обнаружено различное поведение спектров и ко-спектров турбулентных пульсаций для периодов с градиентными и противоградиентными потоками. При градиентных потоках в высокочастотной области спектра преобладали положительные ковариации, а в низкочастотной (с периодами от 100 до 500 с) – отрицательные. Во втором же случае характерно появление противоградиентных ковариаций вертикальной скорости и температуры на низкочастотном интервале спектра, а также в целом сдвиг пиков спектральной энергии в более низкочастотную область (рис. 19.3). Подобное поведение спектров характерно и для других измерений турбулентных потоков в условиях устойчивой стратификации (например, Cheng et al. 2018), когда мезомасштабные эффекты или гравитационные волны оказывают более сильное воздействие на крупные турбулентные вихри, в результате чего именно в низкочастотной области турбулентность сильнее отклоняется от изотропной.

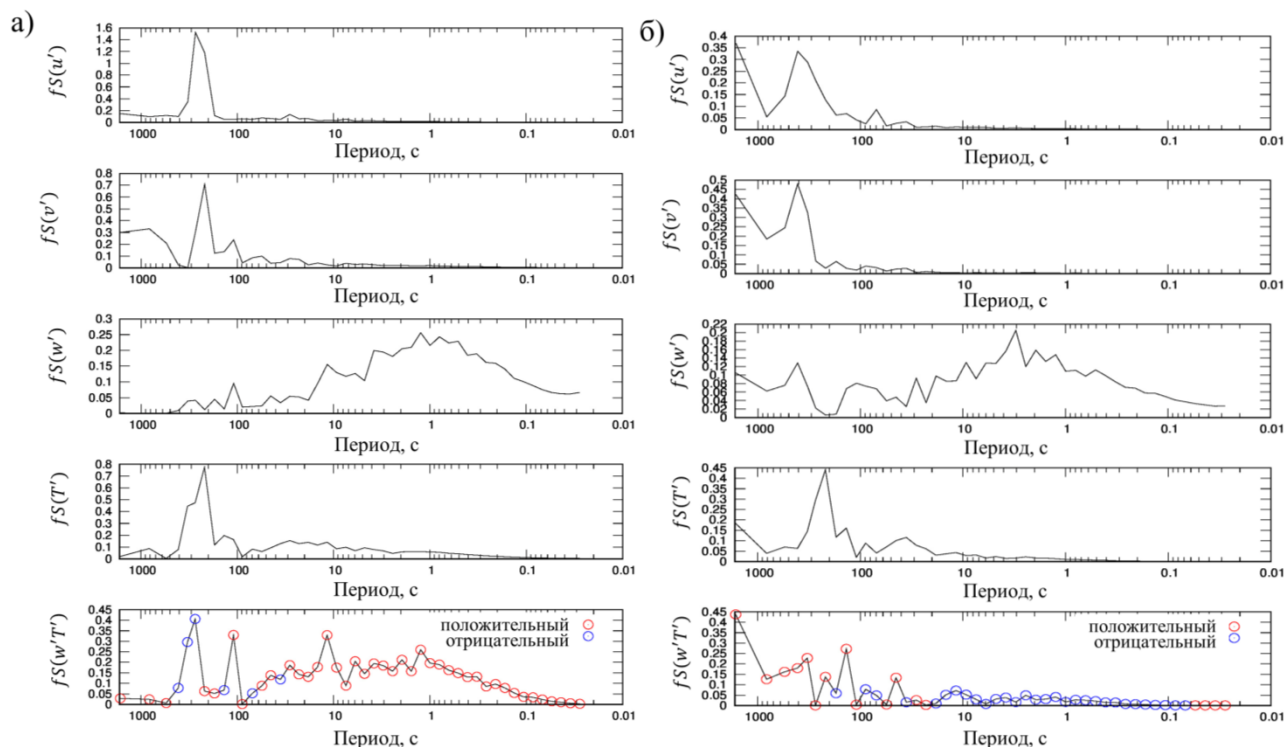


Рисунок 19.3 – Примеры спектров пульсаций  $u'$ ,  $v'$ ,  $w'$ ,  $T'$  и ко-спектров  $w'T'$  (сверху вниз) для периодов с градиентным (отрицательным) (а) и противоградиентным (положительным) (б) потоком тепла

Было проведено сравнение измеренных потоков тепла и импульса для стационарных периодов с расчетами по аэродинамическим формулам (широко применяющимся для расчета потоков во всех моделях погоды и климата) с использованием разных универсальных функций для учета стратификации: функции (Businger et al. 1971) и (Grachev et al. 2005). Отличия между расчетами с использованием разных функций устойчивости не выявлены, что связано с преобладанием близкой к нейтральной или слабоустойчивой стратификации приземного слоя.

Для расчета потоков по аэродинамическим формулам необходимо задавать температуру воздуха на 2-х уровнях, нижний из которых должен совпадать с высотой термической шероховатости (на практике используется температура поверхности). В сезон таяния температуру поверхности ледников принято задавать равной нулю (например, Прохорова и др. 2021). Однако наши расчеты показали (рис. 19.4), что в таком случае поток явного тепла оказывается сильно завышен по сравнению с измеренным. При использовании данных о градиенте температуры, измеренном с помощью двух датчиков температуры DS18B20, позволило существенно улучшить результаты расчетов (рис. 19.4) и продемонстрировало несостоятельность общепринятого приближения поверхностной температуры нулевой температурой, по крайней мере в условиях ледника Альдегонда в период наблюдений.

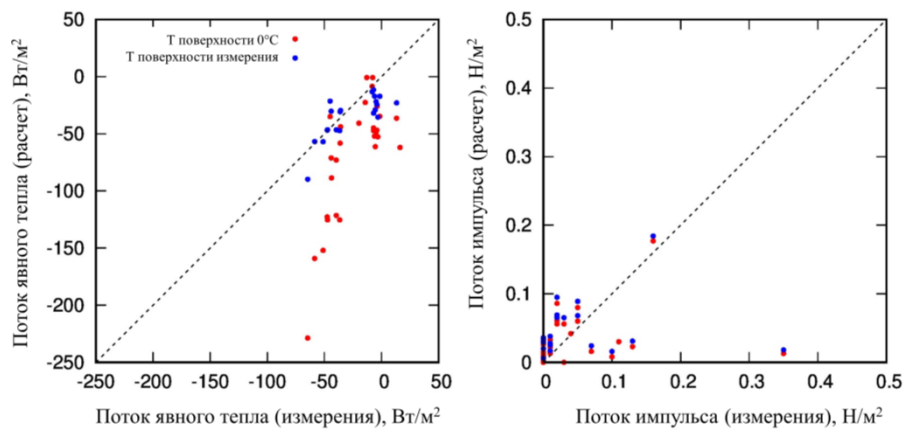


Рисунок 19.4 – Сравнение измеренных (при стационарном режиме) и рассчитанных по аэродинамическим формулам потоков явного тепла (слева) и импульса (справа) с использованием температуры поверхности заданной из наблюдений на нижнем температурном датчике (синим) и заданной нулем (красным)

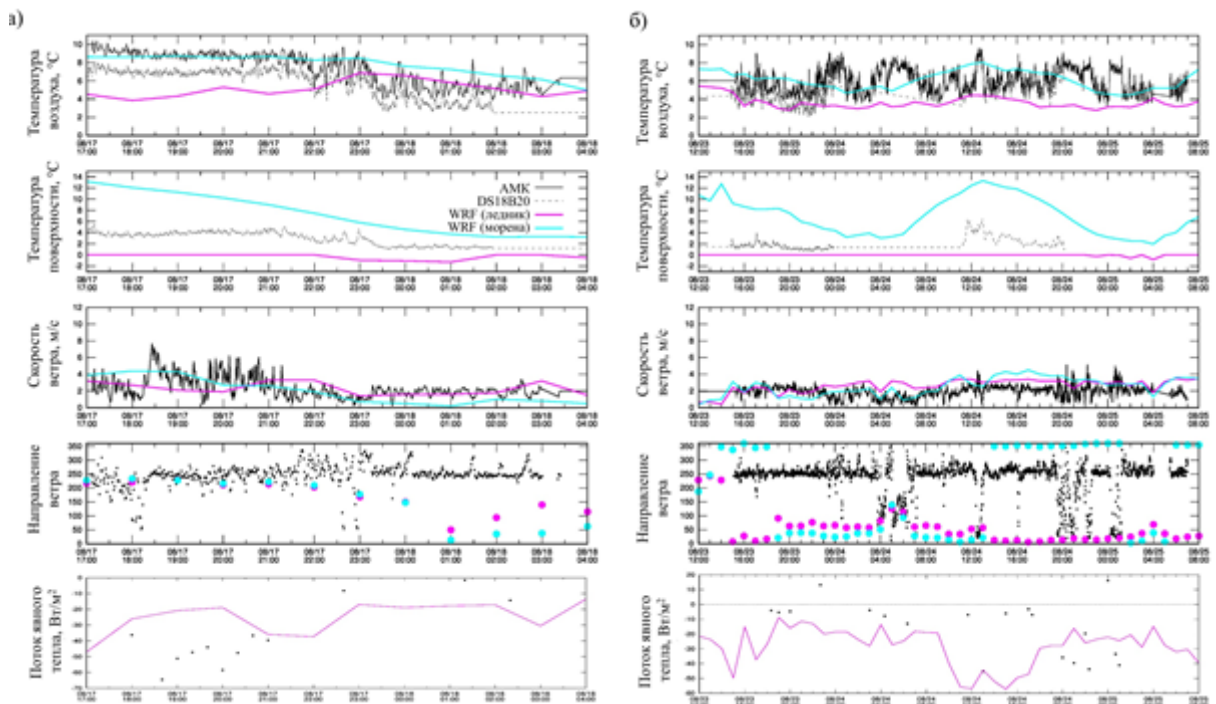


Рисунок 19.5 – Сравнение данных измерений (анемометра – черная линия и пунсоны, и температурных датчиков DS18B20 – серый пунктир) и результатов моделирования на леднике (фиолетовым) и ближайшей морене (голубым) для двух периодов наблюдений

Полученные наблюдения использовались для верификации численного мезомасштабного моделирования атмосферы с помощью модели WRF-ARW. Отмечается занижение моделью температуры воздуха над ледником (рис. 19.5), что может быть связано со слишком упрощенной параметризацией ледника в блоке деятельного слоя. В частности, в модели температура поверхности ледника не может превышать  $0^{\circ}\text{C}$ , в то время как по данным наблюдениям она была несколько выше нуля (из-за нагревания слоя воды на льду и наличия включений – камней и пр.). Ветровой режим в целом воспроизводится моделью, хотя преобладающее направление ледникового ветра (ЗЮЗ) в период слабого ветра воспроизводится плохо. Модель воспроизводит абсолютные значения потока явного тепла, близкие к наблюдаемым, но временной ход воспроизводится неверно из-за неточности воспроизведения временного хода метеорологических параметров. В целом, собранные данные измерений выявили необходимость более тонкой настройки модели WRF, в особенности блока деятельного слоя, для правильного воспроизведения метеорологического режима над ледником.

Таким образом:

– Установлено, что турбулентный режим приземного слоя атмосферы над ледниками в летний период преимущественно нестационарный, что может быть связано с сильным влиянием мезомасштабных эффектов или гравитационных волн на турбулентные вихри. Это приводило к формированию противогradientных потоков тепла.

– Исследована применимость различных универсальных функций для расчета турбулентных потоков в условиях таяния ледника. В случае слабо устойчивой и нейтральной стратификаций преимущество какого-либо метода расчета не выявлено.

– Определено, что задание в расчетах потоков нулевой температуры поверхности приводит к ошибкам в их оценках. Задание реальной температуры уменьшает погрешность расчетов. Температура поверхности по данным наблюдений была выше нуля из-за нагревания слоя воды на льду и наличия включений – камней и пр.

– Полученные наблюдения использовались для верификации численного мезомасштабного моделирования атмосферы с помощью модели WRF-ARW. Собранные данные измерений выявили необходимость более тонкой настройки модели WRF, в особенности блока деятельного слоя, для правильного воспроизведения метеорологического режима над ледником.

По результатам исследований опубликованы статьи:

Zhou L., Zhu J., Kong L., Li P., Ma S., Li F. Repina, I. The observed near-surface energy exchange processes over Arctic glacier in summer // *Journal of Meteorological Research*, 2024. V. 38. №. 3. P. 600-607.

Varentsov M.I., Varentsov A.I., Repina I.A., Artamonov A.Y., Drozd I.D., Mamontov A.E., Stepanenko V.M. UAV-Based Monitoring of the Thermal Structure of Heterogeneous Landscapes // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2024. T. 60. №. 3. C. 334-350.

Представлены доклады на конференциях:

Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане и внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка». 27–29 февраля 2024, Минобрнауки России, Москва: Репина И.А., Мамонтов А.Е., Шестакова А.А., Чечин Д.Е. Исследование свойств подстилающей поверхности ледников Шпицбергена и мезомасштабных атмосферных процессов над архипелагом.

Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2024, 1-6 июля 2024 г., Томск: Репина И.А., Барсков К.В., Чечин Д.Г. Разработка параметризаций для расчета турбулентных потоков в условиях неоднородного рельефа.

Литература:

Прохорова, У. В., Терехов, А. В., Иванов, Б. В., Веркулич, С. Р. Расчет составляющих теплового баланса ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) в период абляции по данным наблюдений 2019 года. *Криосфера Земли*, 2021. 25(3), 50-60.

Businger, J. A., Wyngaard, J. C., Izumi, Y., Bradley, E. F. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of the atmospheric Sciences*, 1971. 28(2), 181-189.

Cheng, Y., Li, Q., Grachev, A., Argentini, S., Fernando, H. J., Gentine, P. (2018). On the Power-law Scaling of Turbulence Cospectra Part 1: Stably Stratified Atmospheric Boundary Layer. arXiv preprint arXiv:1811.09608.

Foken, T., Wichura, B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements // *Agricultural and forest meteorology*, 1996. 78(1-2), 83-105.

Grachev A.A., Fairall C.W., Persson P.O.G. et al. Stable boundary-layer scaling regimes: The SHEBA data // *Boundary-Layer Meteorology*, 2005. 116, 201–235.

Niu, G. Y., Yang, Z. L., Mitchell, K. E., Chen, F., Ek, M. B., Barlage, M., ... Xia, Y. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011. 116(D12).

Sukoriansky, S., Galperin, B., Perov, V. Application of a new spectral theory of stably stratified turbulence to the atmospheric boundary layer over sea ice. *Boundary-Layer Meteorol.*, 2005. 117, 231-257.

Мероприятие 19 выполнено полностью.

**Институт физико-химических и биологических проблем Российской академии наук (ИФХиБПП РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН)**

**Мероприятие 20. Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли: ископаемые почвы девона и современный почвенно-мерзлотный комплекс архипелага Шпицберген**

Ключевая задача состоит в получении новых знаний об эволюции биосферы, формировании и функционировании почвенного покрова в геологической истории Земли. Исследования проводятся согласно Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на период (2021-2030 гг.), подразделы: 1.6.5.2. Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли; палеопочвы как индикаторы состояния и эволюции биосферы в различные геологические и исторические эпохи.

Задачи полевых исследований в 2024 г.:

– Продолжение работы по исследованию геологического разреза девона в окрестностях п. Пирамида на предмет обнаружения палеопочв в долинах Муиндален, Тордален, Хугиндален (Земля Диксона), детальное описание палеопочвенных объектов и отбор образцов палеопочв и палеоботанических объектов для дальнейшего лабораторного исследования комплексом минералогических и геохимических методов.

– Охарактеризовать строение почвенно-мерзлотных комплексов на основных типах морских берегов в районе исследований (организация структуры почвенного покрова, морфологическое строение почвенных профилей и диагностических горизонтов, характеристика ведущих трендов педогенеза). Провести отбор образцов почв, многолетнемерзлых пород, аллохтонного органического и минерального материала для дальнейших комплексных аналитических исследований.

Полевые работы 2024 года по изучению дочетвертичных палеопочв проходили в окрестностях п. Пирамида в долинах Муиндален, Тордален, Хугиндален (Земля Диксона) в период с 10 июля по 16 августа 2024 (Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Демидов В.Э., Калинин П.И., Малышев В.В.). Исследование современных почв вблизи зал. Грёнфьорд и бух. Колсбей велось с 15 по 24 июля 2024. Для заложения почвенных разрезов выбирались участки маршей, пойм и аллювиально-морских террас с задернованными поверхностями. (Лупачев А.В., Гинзбург А.П.). Руководство исследованиями осуществляли Алексеев А.О. (чл.- корр. РАН, [alekseev@issp.psn.ru](mailto:alekseev@issp.psn.ru)), Алексеева Т.В. (д.г.-м.н., г.н.с., [alekseeva@issp.serpukhov.su](mailto:alekseeva@issp.serpukhov.su)), Абрамов А.А. (к.г.-м.н., с.н.с., [forestpro@gmail.com](mailto:forestpro@gmail.com)), Лупачев А.В. (к.б.н., с.н.с., [a.lupachev@gmail.com](mailto:a.lupachev@gmail.com)).

Для достижения результатов проекта задействованы в равной степени геолого-геоморфологические, палеогеографические и палеопочвенные методы полевой и камеральной обработки.

1. Полевые почвенные и геолого-геоморфологические методы: Детальное изучение строения почвенных и палеопочвенных разрезов девона, включающее выделение почвенных горизонтов, их описание и фото документирование. Применение комплекса методов полевой диагностики почв, таких как детальное морфологическое описание почвенных профилей согласно российским и международным стандартам.

Для характеристики современных почвенных разрезов измерялась скелетность щелбнистых почв, реакция с желтой кровяной солью *in situ* для диагностики их оглеения. В полевых условиях проведены измерения температуры почв, изучены физико-химические характеристики природных вод: кислотность (рН), содержание легкорастворимых солей (TDS), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и температура.

2. Камеральная обработка: Применение комплекса инструментальных методов для изучения химического, минерального состава, магнитных свойств, состояния соединений железа в палеопочвах, подстилающих и перекрывающих отложениях, изотопного состав



углерода захороненного органического вещества. В деталях изучаются почвенные макро- и микрообразования (конкреции, ризолиты): морфология, строение, элементный и минеральный составы (электронная микроскопия СЭМ с энергодисперсионным микроанализом, рентгеновская дифрактометрия, рентген-флуоресцентный метод). Для описания почвенных процессов и оценки степени трансформации материала под влиянием выветривания и почвообразования используются различные соотношения химических элементов (геохимические индексы): Al/Ti; Ba/Sr, Rb /Sr; CIA; CIA-K; MIA. Валовой химический анализ почв определяли методом рентген- флуоресцентного анализа (XRF) на приборе Bruker Jaguar S6. Анализ выполняется по методике измерений массовой доли элементов и оксидов в таблетированных пробах, полученной с использованием государственных стандартных образцов (ГСО-ООКО, СП). Для анализа содержания редкоземельных элементов используется масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS SUPES 7000. Минеральный состав образцов палеопочв и пород изучали методом рентгеновской дифрактометрии (D2 Phaser Bruker и ДРОН-3). Анализ состояния соединений железа и их распределения в палеопочвах проведен на основании данных Мёссбауэровской спектроскопии (ЯГРС). Субмикроскопическое исследование почвенного материала и строения растительных остатков проводилось методом сканирующей электронной микроскопии с микрозондом (SEM-EDX Tescan Vega 3, Чехия). Состав стабильных изотопов углерода растительных остатков изучен масс-спектрометрическим методом (Thermo Scientific Delta V Isotope Ratio Mass Spectrometer, США).

Возраст изученных объектов основан на имеющихся данных геологической съемки. Дополнительно было проведено выборочное датирование отобранных образцов на основании данных спорового анализа.

Основной блок проекта связан с исследованием дочетвертичных палеопочв. В задачи работ 2024 года входили исследования геологического разреза девона в окрестностях п. Пирамида на предмет обнаружения палеопочв в долинах Муиндален, Тордален, Хугиндален (Земля Диксона). В ходе экспедиционных пешеходных маршрутов были проведены обследования долин рек Муинэльва, Торэльва с обнажающимися породами девонского возраста в районе рудника Пирамида и долине Хугиндален (Диксонфьорд). Общая протяженность пешеходных маршрутов составила ~120 км. В ходе полевого сезона был выполнен отбор образцов палеопочв девона в долинах р. Муинэльва, р. Эльза и р. Торэльва (рис. 20.1).

В долине р. Муинэльва в отложениях низов франского яруса (формации Planteryuggen и Planteklofta) обнаружено протяженное обнажение песчаников, алевролитов и аргиллитов с присутствием многочисленных окаменелых стволов и подземных частей растений. В этом районе ранее были обнаружены ископаемые останки тропического леса, возраст которого составляет 380 млн. лет (Berry, Marshall, 2015). Найденные окаменелости указывают на то, что главной лесообразующей породой Шпицбергена в эпоху позднего девона были деревья, относящиеся к отделу плауновидных Lycopsidea. В ходе экспедиционных работ 2024 года на этой территории описано более десяти палеопочвенных профилей (отобраны 7 профилей), локализованных на площади более 0,5 км<sup>2</sup>, что позволит детально охарактеризовать палеопочвенный покров. Все палеопочвы приурочены к уровням резкой смены ландшафтных обстановок, как правило, они перекрываются слоями аллювия. При видимой мощности обнажений до 15 м наблюдаются 3-4 этапа почвообразования с зарастанием территории однотипной моновидовой плауновидной растительностью, что подтверждает существование длительного континентального этапа в основании франского времени. Образцы палеопочв доставлены в ИФХиБПП РАН и находятся на стадии изучения.

Завершен анализ материала одного из палеопочвенных профилей, отобранного в ходе первого рекогносцировочного выезда в 2023 г. Палеопочва франского яруса (D3fr) маломощная (до 0,5 м), в ее профиле встречены многочисленные остатки и отпечатки

стволов ликопсидов, отдельные корни растений. Стратификация горизонтов слабо выражена и свидетельствует об ограниченном вертикальном проникновении корней и о биотурбациях.

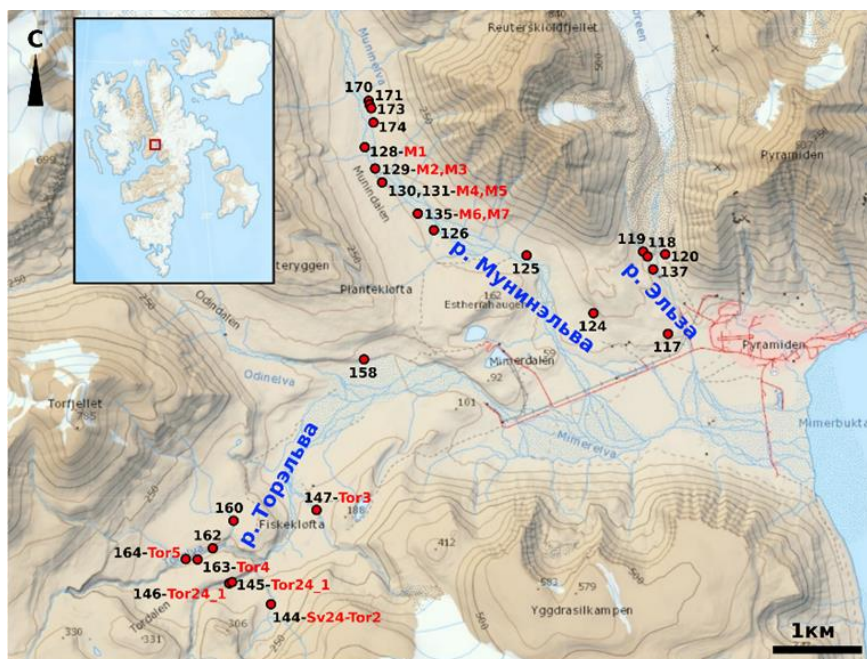


Рисунок 20.1 – Карта-схема региона исследований с точками наблюдения и отбора образцов палеопочв в ходе экспедиционных исследований 2024 года в долинах р. Мунинэльва, р. Эльза и р. Торэльва

Морфологически палеопочва слабо отличается от окружающего аргиллита, однако в ее профиле наблюдаются значимые изменения минерального и химического составов. В минералогическом составе доминируют кварц, каолинит, иллит, хлорит. Отмечается присутствие лепидокрокита ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ), содержание последнего растет вверх по профилю палеопочвы. Формирование лепидокрокита, как правило, свидетельствует о периодически возникающих восстановительных условиях с этапами осушки/затопления. Кроме того, в профиле палеопочвы наблюдается сокращение доли хлорита. По данным мессбауэровской спектроскопии фиксируется изменение содержания  $\text{Fe}^{2+}$  от 37% (от валового железа) на глубине 20-35 см до 9% в слое 0-10 см. Выделяемый на спектрах дублет  $\text{Fe}^{2+}$  ( $I_s$  - 1,12 мм/с;  $Q_s$  -2,64 мм/с) относится к железу в структуре хлорита, и его уменьшение свидетельствует об усилении степени выветривания материала в верхней части профиля. Содержание органического углерода в профиле сохраняется на уровне 1%. Изучение изотопного состава углерода органического вещества показало значения  $\delta^{13}\text{C} = -27,20 \pm 0,3\text{‰}$ , что характерно для наземной растительности с C3 типом фотосинтеза. Свойства палеопочвы: минеральный состав, распределение геохимических индексов по профилю почвы (Br/Sr, Rb/Sr, MIA(O) и др.) позволяют говорить о продолжительном этапе формирования палеопочвы и предположить произрастание растений на переувлажненных почвах с сезонностью по осадкам.

Для реконструкции климатических параметров были использованы данные валового химического состава палеопочв. Для оценки величины атмосферных осадков (MAP) использовался индекс «CIA-K»:  $\text{MAP} = 14,265(\text{CIA-K}) - 37,632$ . Величина среднегодовой температуры (MAT) рассчитывалась в соответствии с уравнением:  $T^\circ(\text{C}) = -2,74 \cdot \ln(\text{PWI}) + 21,39$  (Gallagher, Sheldon, 2013). «CIA-K» – химический индекс, рассчитываемый как:  $(\text{CIA-K}) = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})] \cdot 100$ , соответственно «PWI» – индекс палеовыветривания, рассчитывается по формуле:  $\text{PWI} = (4,20 \times \text{Na}_2\text{O} + 1,66 \times \text{MgO} + 5,54 \times \text{K}_2\text{O} + 2,05 \times \text{CaO}) \cdot 100$ . Так, для изученного профиля позднего девона среднегодовое количество выпавших осадков изменялось в интервале от 1000 до 1250 мм при среднегодовых температурах  $\sim 15^\circ\text{C}$ , что отвечает экваториальному типу климата.

В долине р. Торэльва (рис 20.1) и ее притоков в песчаниках и алевролитах живетского (формация Tordalen подсвета Estheriahaugen) и франского (формация Tordalen подсвета

Fiskeklofta) ярусов обнаружены палеопочвы в лёссовидных и скальных породах (рис. 20.1, 20.2-4 – 2-6). Здесь были отобраны образцы из пяти почвенных профилей (Тор-1; Тор-2; Тор-3 Тор-4; Тор -5). Палеопочва в обнажении Тор-1-24 (D2gv) (78° 37.917' с.ш. и 16° 03.237' в.д.) мощностью до 0,4 м, содержит большое количество углефицированных растительных остатков. Представленные углефицированные растительные макрофоссилии проникают на всю видимую мощность палеопочвы. По данным СЭМ, они принадлежат примитивным несосудистым – предположительно мохообразным растениям. Изучение изотопного состава углерода органического вещества показало значения  $\delta^{13}\text{C} = -25,30 \pm 1,2 \text{ ‰}$ , что характерно для наземной растительности с C3 типом фотосинтеза.

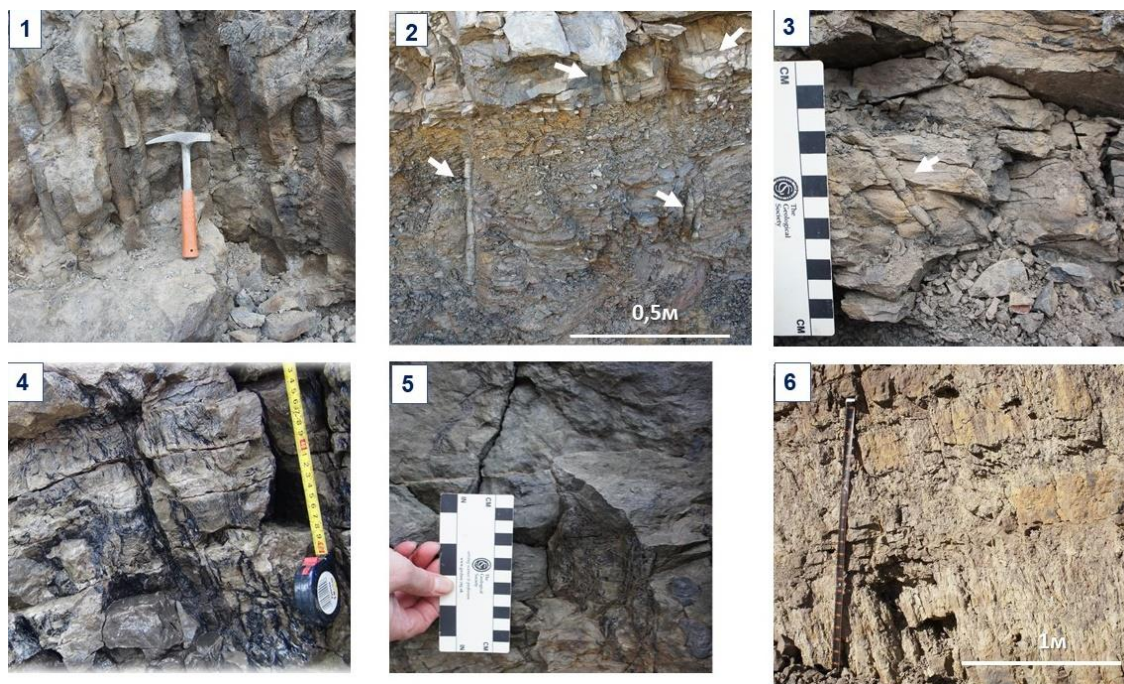


Рисунок 20.2 – Фото палеопочв с растительными остатками в районе п. Пирамида. (1,2,3- долина р. Муниэльва) в отложениях франского яруса. Стрелками показаны окаменелые стволы и отпечатки, а также корни; 4,5 – палеопочвы на скальных породах живетского яруса долина р. Торэльва; 6 -палеопедокомплекс сформированный на лёссовидных суглинках живетского яруса долина р. Торэльва

В обнажении Тор-2 (78° 37.776' с.ш. и 16° 04.407' в.д.) (рис. 20.2-6) по притоку р. Торэльва в отложениях франского яруса выделяется палеопедокомплекс с общей мощностью более 4 м. Педокомплекс, состоящий из 4-5 палеопочв и педосидементов, формировался на аллювии и лёссовидных суглинках. Здесь наблюдается характерная для лёссов столбчатая отдельность. Профиль педокомплекса содержит несколько самостоятельных профилей, наложенных один на другой. В настоящее время проводятся детальные минералогические и геохимические исследования для детализации циклов почвообразования. Анализ комплекса спор, выделенных из образцов палеопочвы, позволяет отнести ее к живетскому ярусу (D2gv). К настоящему времени определен полный валовой химический состав (XRF, ICP-MS), проведен минералогический анализ, включая детальное состояние соединений железа (XRD и Мессбауэровская спектроскопия), определен гранулометрический состав и содержание общего углерода (0,1 -0,3%). Изучение изотопного состава углерода органического вещества показало значения  $\delta^{13}\text{C} = -25,90 \pm 0,7 \text{ ‰}$ , что характерно для наземной растительности с C3 типом фотосинтеза. В отдельных почвенных горизонтах комплекса выделяются тонкие ветвистые растительные отпечатки длиной до 20 см, представляющие собой отпечатки корней; местами обнаруживаются сохранившиеся углефицированные ткани. Продолжается изучение фоссилий с применением СЭМ. Первые результаты фиксируют плохую сохранность материала, предположительно принадлежащего сосудистым растениям. На микрофотографиях прослеживается двухрядовая поровость. Диаметр пор составляет около 8 мкм.



В долине Хугиндален в речных и скальных обнажениях были осмотрены породы нижнего девона (пражский и эмский ярусы – Dicksonfjorden Member, Wood Bay Formation, Andrée Land Group), представленные песчаниками, алевролитами, красноцветными и зеленоцветными аргиллитами. В ходе работ обнаружена и отобрана серия образцов палеопочв (рис. 20.3).

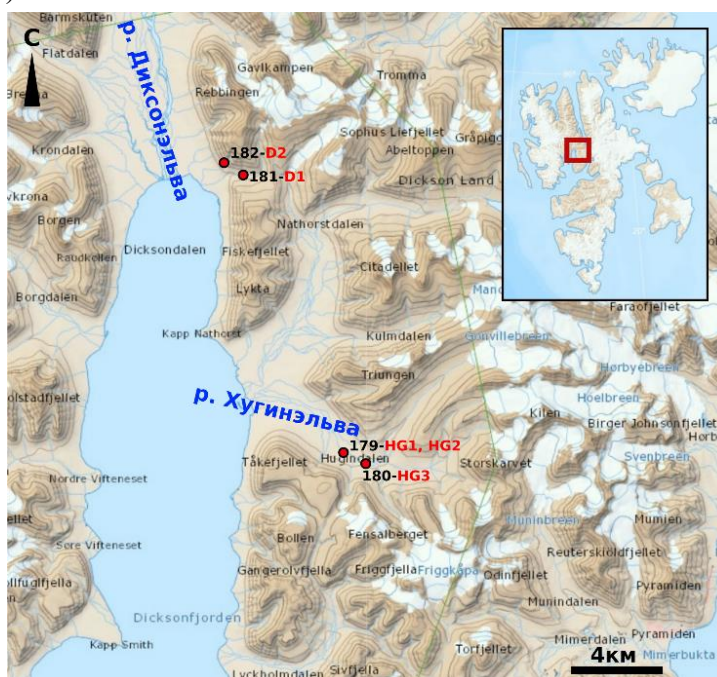


Рисунок 20.3 – Карта-схема региона исследований с точками наблюдения и отбора образцов палеопочв в ходе экспедиционных исследований 2024 года в долинах р. Хугиндален и р. Диксонэльва

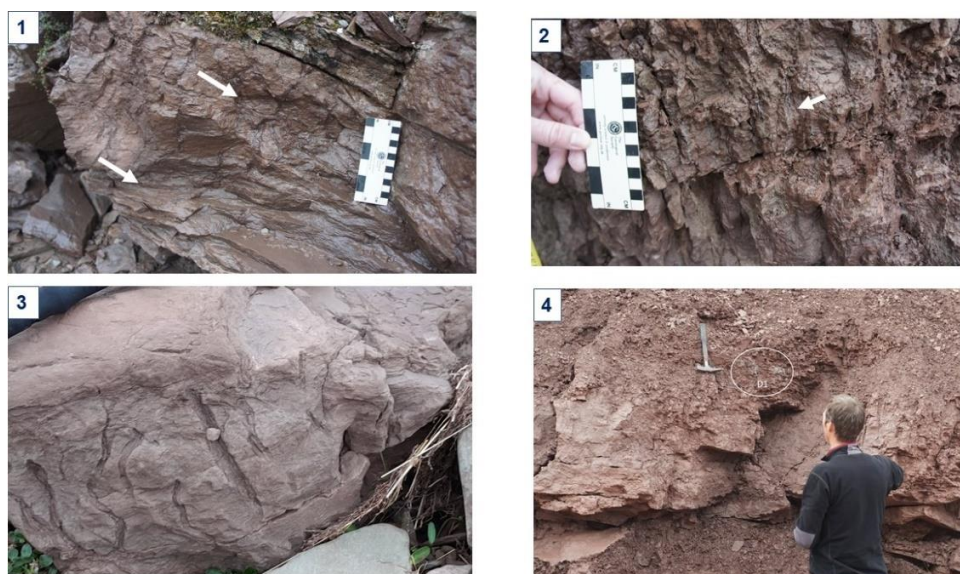


Рисунок 20.4 – Фото палеопочв в районе Земли Диксона (D1- пражский и эмский ярусы - Dicksonfjorden Member, Wood Bay Formation, Andrée Land Group) . 1,2, долина р. Хугиндален. Стрелками показаны отпечатки корней; 3,4 – палеопочвы в долине р. Диксонэльва

Выделяются два типа почв. Первый – с хорошо сохранившимися отпечатками разветвленных корневых систем длиной до 20 см и толщиной до 1 см, с остатками углефицированных растительных тканей и следами оглеения в плотном красноцветном аргиллите. Общая мощность профиля составляет около 0,5 м. Выше по разрезу выделяется второй тип почв, формирующийся на лессовидном суглинке, с отчетливой столбчатой структурой и обилием разнообразных по морфологии зон оглеения вокруг захороненных органических (растительных) остатков. Общая мощность профиля достигает 0,8 м, он перекрыт горизонтально залегающими плотными аргиллитами. По всей вероятности, мы



наблюдаем педокомплексы, как и в случае палеопочв в долине р. Торэльва, которые связаны с циклами континентального осадконакопления (рис. 20.4).

Проведен рекогносцировочный маршрут в долине Диксондален протяженностью 18 км. В речных и склоновых скальных обнажениях были осмотрены породы нижнего девона (пражский и эмский ярусы – Dicksonfjorden Member, Wood Bay Formation, Andrée Land Group) – песчаники, алевролиты, красноцветные и зеленоцветные аргиллиты, отобрана серия образцов. Основная область распространения палеопочв в коренных обнажениях по маршруту – это южный и западный склон г. Реббинген. В осыпях во множестве встречаются обломки пород с признаками корневых ходов, в том числе с сохранившимся растительным материалом. В обнажении в основании склона в долине Soppdalen найдены и отобраны прослой столбчатых алевролитов (D1). На скальных обнажениях, которые начинаются с высоты 220 м над уровнем моря, в мощной толще песчаников обнаружен и отобран прослой столбчатых алевролитов мощностью 40-50 см с признаками корневых ходов (D2?).

Результаты экспедиционных исследований 2024 г. свидетельствуют о широко представленной в отложениях девона архипелага континентальной формации, которая формировалась под воздействием речных, склоновых и эоловых процессов в результате перемещения материала с возвышенностей в предгорные прогибы и приморские низменности.

Подобные (сродни катастрофическим) обстановки благоприятствуют формированию педокомплексов и сохранению палеопочв. Обнаруженные палеопочвы девонского времени отличаются полнотой профиля и сохранностью растительных отпечатков, а в отдельных случаях – и растительных тканей. Показано, что изученные объекты представляют собой палеопочвы различного генезиса. Во-первых, это палеопочвы на речных, пойменных и прибрежно-болотных отложениях – гидроморфные аллювиальные, пойменные и болотные почвы с ликопсидовым типом растительности. Второй тип – это луговые палеопочвы, приуроченные к речным системам, сформированные на лёссовидных суглинках, вероятно под мелкой растительностью травянистого облика. Палеопочвы в педокомплексах, по всей вероятности, формировались за относительно короткое время (тысячи лет). Главным инструментом консервации являлись небольшие реки, которые быстро заполняли аллювием долины с палеопочвами. В дальнейшем, этот аллювий служил почвообразующей породой для палеопочв следующего цикла.

Получение аналитических минералогических и химических данных по уникальным образцам палеопочв 16 палеопочвенных профилей, отобранных в ходе полевого сезона 2024 года и доставленных в ИФХиБПП РАН (около 90 образцов), позволит детализировать процессы почвообразования и климатические условия на архипелаге в геологическом интервале от раннего до позднего девона и осуществить сравнение с накопленными за последнее десятилетие палеопочвенными данными для Центрального девонского поля (Европейская часть РФ).

Второй блок исследований связан с криогенными почвами и подстилающими их верхними горизонтами многолетнемерзлых пород (почвенно-мерзлотные комплексы), являющимися важнейшим элементом функционирования полярных биомов. Исследованная в 2024 г. территория расположена в западной части о. Западный Шпицберген на южном побережье зал. Исфьорд вблизи зал. Грэнфьорд и бух. Колсбей (рис. 20.5). Для заложения почвенных разрезов выбирались участки маршей, пойм и аллювиально-морских террас с задернованными поверхностями. Ключевые участки характеризуют наиболее типичные ландшафтные разности, а также комплекс геолого-геоморфологических и геокриологических характеристик территории. Точки ландшафтных описаний и заложения почвенных разрезов были приурочены к следующим ключевым участкам: южный берег зал. Грэнфьорд и оз. Бретьорна (рис. 20.5А), м. Финнисет (рис. 20.5Б), морена (рис. 20.5В), устье р. Грэндалсельва (рис. 20.5Г), бух. Колсбей (рис. 20.5Д), водозабор на западном берегу зал. Грэнфьорд (рис. 20.5Е).

Описано 20 почвенных разрезов, измерена скелетность щебнистых почв, по реакции с желтой кровяной солью *in situ* диагностировано их оглеение. Проведены измерения температуры почв. Изучены физико-химические характеристики природных вод: кислотность (рН), содержание легкорастворимых солей (TDS), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и температура. Из 20 изученных разрезов 10 относятся к слаборазвитым почвам. Петрозёмы, в т.ч. гумусовые, формируются на плотных породах, участки которых встречаются здесь в различных ландшафтно-геоморфологических условиях. Они характеризуются скелетностью 64,6-93,1% и полным отсутствием реакции с желтой кровяной солью. К делювиальным шлейфам в нижних частях крутых коренных склонов, приурочены ареалы пелозёмов, в т.ч. гумусовых, слаборазвитых почв на суглинисто-глинистых высокощебнистых (до 67,3%) отложениях. Суглинистый мелкозем демонстрирует визуальные признаки оглеения, которые подтверждаются низкими значениями Eh почвенных вод в этих разрезах (175 мВ). Ландшафты низких пойм Грэнфьорда и Исфьорда представлены солончаками сульфидными. Причиной их засоления является периодическое затопление прибрежной зоны высокоминерализованными морскими водами с низкими значениями Eh, показатели TDS в которых превышают 5000 мг/л. Незасоленные почвы здесь также характеризуются низкими значениями Eh от -3 до 90 мВ. В таких условиях формируются глееземы. Практически повсеместно на территории исследования были встречены формы криогенного микрорельефа: каменные многоугольники, морозобойные трещины, пятна-медальоны и т.п. В почвах, поверхность которых осложнена пятнами-медальонами, наблюдаются нарушения естественного строения профиля в процессе криотурбации. Такие почвы были отнесены к криозёмам грубогумусовым.

В районе бухты Колсбей были описаны серогумусовые почвы на погребенных профилях других почв. В одном из них вскрываются два погребенных профиля солончаков сульфидных, во втором – погребенный профиль криозема грубогумусового глееватого. Это, предположительно, свидетельствует о резкой смене условий осадконакопления, которая могла быть вызвана перекрытием поверхности солончака щебнистой мореной. Средняя мощность СТС почв составила 75,6 см, а в большей части разрезов многолетнемерзлые породы (ММП) залегают на глубине 80-85 см. Верхний слой ММП имел высокие отрицательные температуры -0,6 – -0,1°C, невысокую льдистость и корковую криотекстуру. Тонкие пленки льда покрывают поверхности гальки, валунов и т.п. В мелкоземе видимых проявлений льда обнаружено не было, его криотекстура преимущественно массивная.

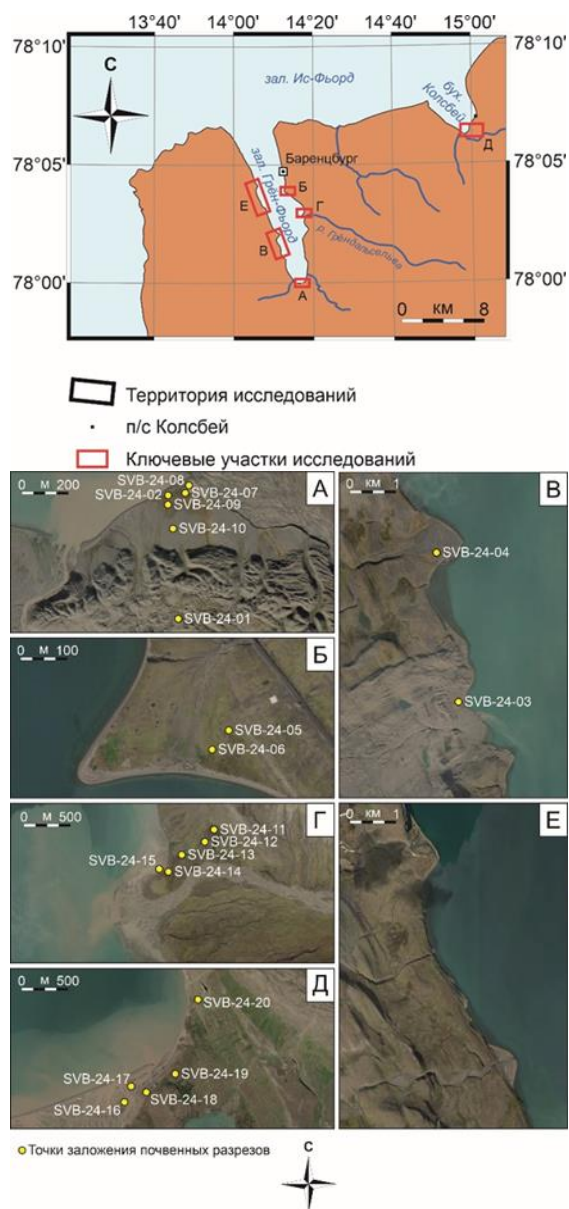


Рисунок 20.5 – Расположение ключевых участков исследований в 2024 г, в пределах архипелага Шпицберген: А – южный берег зал. Грэнфьорд и оз. Бретьорна, Б – м. Финнисет, В – морена, Г – устье р. Грëndальсельва, Д – бух. Колсбей, Е – водозабор на западном берегу зал. Грэнфьорд

Следующим этапом изучения современного почвенно-мерзлотного комплекса (ПМК) Шпицбергена планируются исследования верхних метров толщи ММП под почвенным профилем, для понимания закономерностей строения ПМК и обнаружения продуктов почвообразования в верхних слоях многолетней мерзлоты. Продолжаются работы по совместному проекту AMP'D (Arctic Microbial Permafrost Degradation) с коллегами из университета Теннесси (США), посвященному вопросам интенсификации микробной жизнедеятельности при деградации мерзлоты, полевые работы проводились в 2019 и 2021-2022 годах в районе поселения Нью-Алесунд. Отобранные в ходе полевых работ керны мерзлых пород и почвенные профили анализируются на предмет таксономического и функционального разнообразия методами метагеномики.

Запланированные исследования полевого сезона 2024 года по мероприятию 20 выполнены в полном объеме. Выражаем благодарность тресту «Арктикуголь» за логистическую поддержку при выполнении работ и коллективу РНЦШ ААНИИ за консультации и помощь в проведении полевых и лабораторных работ в поселке Баренцбург.

По теме исследований опубликованы статьи:

Sipes K., Buongiorno J., Steen A.D., Abramov A.A., Buah C., Peters S.L., Gianonne R.J., Hettich R.L., Boike J., Garcia S.L., Vishnivetskaya T.A., Lloyd K.G. Depth-specific distribution of bacterial MAGs in permafrost active layer in Ny Ålesund, Svalbard // *Systematic and Applied Microbiology*, 2024. 47, 126544. DOI: 10.1016/j.syapm.2024.126544.

Алексеев, А.О., Алексеева, Т. В., Демидов, В.Э., Калинин, П.И., Малышев, В.В. Находки палеопочв в обнажениях пород девонского возраста на архипелаге Шпицберген // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 2025. №2 (принята в печать)

Литература:

Berry, C. M., Marshall, J. E. Lycopoid forests in the early Late Devonian paleoequatorial zone of Svalbard. *Geology*, 2015. 43 (12), 1043-1046.

Gallagher T.M., Sheldon N.D. A New Paleothermometer for Forest Paleosols and its Implications for Cenozoic Climate // *Geology*, 2013. V. 41. P. 647–650.

Мероприятие 20 выполнено полностью.

## Мероприятие 21. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене

Научное сотрудничество с большинством европейских стран приостановлено по инициативе иностранных партнеров с марта 2022 г. Тем не менее продолжен обмен сейсмологическими данными между ФИЦ ЕГС РАН, сейсмологическим центром Norsar (Норвегия), консорциумом EarthScope (США) и Академией наук Польши. Данные о состоянии мерзлых пород Шпицбергена передаются ААНИИ в международные базы CALM и GTN-P. Данные о состоянии ледников передаются ИГ РАН во Всемирную Службу Мониторинга Ледников WGMS.

Необходимо также отметить, что данные и дубликаты образцов, собранные в морских экспедициях ВНИИОкеангеология и ММБИ РАН в зоне ИЭЗ Норвегии подлежат передаче норвежской стороне согласно полученному Разрешению на проведение работ.

В рамках Соглашения о сотрудничестве между ММБИ РАН и Институтом полярных исследований Китая (PRIC, г. Шанхай) в апреле 2024 г. была подготовлена и направлена заявка на конкурс российско-китайских проектов РНФ по приоритетному направлению деятельности «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований международными научными коллективами» (совместно с Государственным фондом естественных наук Китая (NSFC)).

В рамках соглашения о научном сотрудничестве между ИФА им. А.М. Обухова РАН и Институтом физики атмосферы Китайской академии наук проводилась совместная обработка и анализ данных, сравнение результатов измерений, опубликована статья.

ПАБСИ КНЦ РАН на уровне индивидуального сотрудничества с учеными из Великобритании D.Long (Эдинбург) получил свежие образцы *Jungermannia pumila* из типового местонахождения в Уэльсе. Кроме того, образцы этого вида из других районов Англии были присланы N. Hodggets и из Ирландии N. Lochard. Планируется совместная публикация.

13-14 июня в Мурманске прошло двухдневное заседание рабочей группы БРИКС по океанологии, полярным наукам и технологиям, организованное Минобрнауки РФ, МИД РФ, Министерством развития Арктики и экономики Мурманской области при поддержке Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. В мероприятии приняли участие ученые из Индии, Ирана, Китая, Бразилии ОАЭ, ЮАР и России. Представители ММБИ РАН, ПГИ, ФИЦ КНЦ РАН, КоФ ФИЦ ЕГС РАН участвовали в мероприятии с докладами о научных достижениях и перспективных направлениях исследований, в том числе на архипелаге Шпицберген.

Официальная делегация представителей Арктической и антарктической администрации Китая (САА) и Института полярных исследований Китая (PRIC) посетила 20-21.08.2024 научно-исследовательскую станцию ФГБУ «ААНИИ» в п. Баренцбург с целью осмотра научной инфраструктуры и ознакомления с текущими научными проектами для поиска перспективных направлений научного сотрудничества. Представители делегации также осмотрели Геофизическую обсерваторию ПГИ и Биогеостанцию ММБИ РАН. В ноябре 2024 состоялся семинар между представителями научного сообщества Китайских научно-исследовательских институтов и ААНИИ для более детального обсуждения перспективных научных тем, возможности проведения совместных полевых исследований в 2025 г. и возможности организации международной полярной школы для молодых ученых на базе РИЦШ.



## Заключение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на арх. Шпицберген в 2024 году включала 21 мероприятие, выполняемые 13 научными организациями Консорциума РНЦШ. Введенные Норвегией санкционные ограничения на ввоз и вывоз научного оборудования, запасных частей и расходных материалов, оплату услуг и товаров на архипелаге, увеличение срока выдачи и стоимости виз и общее удорожание логистики создавали определенные трудности при выполнении экспедиционных исследований, и, в частности, снизили количество ученых и особенно молодых ученых, которые смогли принять участие в полевых работах. Существенную логистическую поддержку участникам Консорциума оказал ФГУП ГТ «Арктикуголь».

В 2024 г. были получены новые данные по гидрометеорологическому режиму, океанологии, гидрологии, гляциологии, геофизики, геологии, палеогеографии, мерзлотоведению, биологии и экологии, исследованы новые археологические памятники. В практически полном объеме проведен сбор натуральных данных, получаемых постоянным (зимовочным) составом или автоматизированными автономными системами наблюдений. Круглогодичные программы мониторинга проводили ААНИИ и Мурманское УГМС Росгидромета. Сбор информации и наблюдения в дистанционном режиме продолжил Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН и Полярный геофизический институт. После проведения необходимого анализа, собранные данные позволяют оценить современное состояние природной среды архипелага, выявить взаимосвязи между протекающими в ней процессами и тенденции происходящих изменений.

Полностью выполнены наблюдения ГМО «Баренцбург» Мурманского УГМС. Материалы наблюдений обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Отмечено, что несмотря на то, что температура воздуха в январе и марте была ниже нормы, в целом средняя сезонная температура за зимний период превысила климатическую норму на 0,6°C, а лето – период с июня по август, стало самым теплым за период наблюдений с 1948 года. Средняя за месяц температура воздуха в августе превысила климатическую норму на 4,5 °С. При этом распределение осадков в течение года было неравномерно, в марте их количество составило 44% от климатической нормы, а в июле – 184%.

Высокие среднесуточные температуры воздуха в летний период отразились на абляции ледников – она была максимальной за весь период наблюдений (ААНИИ, ИГ РАН) и интенсивности откола выводных ледников (КоФ ФИЦ ЕГС РАН), максимальном стоке рек, пришедшемся на август (ААНИИ), максимальной глубине сезонно-талого слоя мерзлоты за период наблюдений с 2016 г. (ААНИИ).

Зимовочным составом ААНИИ выполнены в полном объеме спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного Ледовитого океана и арктических морей при помощи расположенного в Баренцбурге антенного комплекса, постоянные метеорологические, геофизические наблюдения, химико-аналитические исследования.

Гидрологический мониторинг на водосборах рек и ледниках бассейна залива Грэнфьорд показал, что в 2024 г. влагозапас исследуемых объектов оказался ниже среднесезонного на 45 мм в. э., а средняя высота снежного покрова ниже на 20 см. Несмотря на это средний слой стока рек в летний период был максимален за последние пять лет. Впервые выполнены экспериментальные измерения испарения с поверхности почвы в летний период, что вместе данными об испарении с поверхности снега позволит уточнить расчет водного баланса водосборов.

В рамках океанографических исследований впервые проведено зондирование южной части Аусфьорда (Земля Диксона) с припайного льда, которое показало его полное заполнение зимней охлажденной водной массой и отсутствие влияния атлантических вод в связи с наличием топографического барьера. В летний период проведены расчеты первичной продукции в заливе Грэнфьорд, выявлены закономерности распространения фитопланктона в зависимости от прогрева воды и распространения водных масс, исследованы параметры

карбонатной системы и распределение биогенных компонентов, в том числе совместно с ММБИ РАН.

Комплексное изучение ледников в 2024 г. было дополнено геодезическими измерениями с целью определения пятилетнего снижения поверхности ледника и уточнения площадей высотных уровней. Для оценки влияния облачности на компоненты теплового баланса и турбулентных потоков тепла была установлена камера для съемки неба и создан алгоритм оценки снимков. Георадарные исследования мощности и структуры ледников были продолжены на Земле Диксона (совместно с ИГ РАН). На леднике Альдегонда впервые с помощью термобуровой установки пробурены две скважины, в которые установлены термометрические косы на всю толщу ледника для изучения внутреннего термического состояния ледника и тепловых потоков.

Помимо мониторинга термического состояния мерзлоты и криогенных процессов, проведен анализ температуры, полученной в наблюдательных скважинах. Среднегодовая температура грунтов варьирует от  $-3,5$  до  $-2,2^{\circ}\text{C}$  в районе Пирамиды и от  $-3,1$  до  $-2,6$  в районе Баренцбурга. Моделирование показало, что опускание кровли многолетней мерзлоты при условии сохранения текущих темпов потепления климата прогнозируется уже в ближайшие 30 лет, при этом скорость опускания кровли составит около  $12,5$  см/год.

Палеогеографические и геоморфологические полевые исследования выполнялись совместно с ВНИИОкеангеология в северной части Земли Оскара II и Принца Карла, собран материал для дальнейших аналитических исследований, частично выполнен анализ образцов в химико-аналитической лаборатории. Результаты микропалеотнотолического и геохронологического анализа отобранных ранее образцов на Земли Норденшельда и юго-западной части Земли Оскара II помогли провести корреляцию литологических толщ в центральной части Земли Норденшельда и построить схему эволюции долин районов исследования.

Геофизические наблюдения ААНИИ позволили диагностировать параметры условий распространения радиоволн над акваторией Баренцево моря и области аврорального овала и получить новые данные об интенсивности ультрафиолетового излучения и его зависимости от частотного спектра солнечных осцилляций.

СЗФ НПО «Тайфун» успешно выполнил мониторинг загрязнения природной среды в районах хозяйственной деятельности российских предприятий. Подготовка и частичный анализ образцов были выполнены в химико-аналитической лаборатории в п. Баренцбург, дальнейшая обработка образцов ведется в базовой лаборатории в Санкт-Петербурге.

Сотрудники ВНИИОкеангеология успешно провели полевые исследования ландшафтов в северной части Земли Оскара II и Земли Принца Карла, составили предварительные карты геологического содержания на ключевые участки, собрали материал для уточнения особенностей геологического строения архипелага Шпицберген по стратиграфии и вещественному составу пород рифейского, вендского, нижнепалеозойского и четвертичного комплексов, петрологии разновозрастных магматических комплексов, структурным и кинематическим характеристикам зон глубинных разломов. Детально описано и опробовано крупное обнажение четвертичных осадков на севере Земли Принца Карла, представляющее опорный разрез неоплейстоцен-голоценовых осадков северо-западной части архипелага. Пополнена эталонная коллекция горных пород.

Морская экспедиция ВНИИОкеангеология выполнена на НИС «Профессор Молчанов» с целью изучения геологического строения континентального шельфа Шпицбергена в районе желоба Стурфьорд. Проведено сейсмическое профилирование для оценки характера залегания четвертичных отложений, многолучевое сканирование дна с целью оценки фактических глубин и характера рельефа дна, отбор донного материала, радиометрическое исследование осадков. Проведенные измерения свидетельствуют о неровном рельефе дна возвышенностей и склонов, местами имеются всхолмления, что может свидетельствовать о гляциальном происхождении форм рельефа. В понижениях в

сейсмоакустической записи проступают черты слоистого строения осадочной толщи верхних метров, в то время как на поднятиях на поверхность морского дна выходят коренные породы.

Специалисты ИГ РАН продолжили круглогодичное измерение тепловых потоков в сезонно-талом слое многолетней мерзлоты на разных высотных уровнях для оценки состояния многолетней мерзлоты. Это позволило рассчитать значения термического сопротивления снежного покрова и коэффициента теплопроводности снега в условиях резких и частых колебаний температуры воздуха Шпицбергена. Исследования потоков углерода в системе почва-атмосфера в условиях современного климата выявили, что самые высокие величины эмиссии CO<sub>2</sub> отмечены на антропогенно-измененных ключевых участках, более низкой дыхательной активностью обладают экосистемы естественной тундры и морена ледника, заселенная растительностью, а на свободных от видимой биоты участках щебнистой морены без криоконитового материала наблюдались минимальные значения эмиссии диоксида углерода. В рамках орнитологических исследований был оценен характер пребывания видов и их пространственное размещение в естественной природной среде, в том числе в «новых» местах, которые освобождаются от ледников (морены, приледниковые озера и др.), проведены учеты птиц, в том числе индивидуально меченых в синантропной колонии моевок в п. Пирамида и Баренцбург.

Изучение морских систем сотрудниками ММБИ РАН проводилось в два этапа. Весной выполнены океанографические, гидрохимические, радиоэкологические и седиментологические исследования фьордов и озер Шпицбергена с целью реконструкции ледниково-морской и лимно-гляциальной седиментации на архипелаге Шпицберген в условиях климатических изменений и выхода из Малого ледникового периода и расчета биологической продуктивности залива Грэнфьорд на основе распределения биогенных компонентов, солености и стабильных изотопов в водной толще. Вторая часть исследований проходила на борту НИС «Дальние Зеленцы» в октябре-ноябре 2024 г. в Баренцевом и Гренландском морях с целью комплексной экосистемной оценки исследуемых районов.

Ученые ПАБСИ КНЦ РАН провели полевые исследования в окрестностях Баренцбурга, отобрали образцы лишайников и печеночников в районе Грэнфьорда и Йолдиабукты. Подготовлен чек-лист лишайников и лишенофильных грибов для о. Северо-Восточная Земля по материалам, собранным ранее, выявлены особенности распространения на Шпицбергене гриба стриктис радиальный на поверхности карликовой березы и ивы травянистой, уточнены распространение и систематическое положение нескольких таксонов печеночников. Изучен фракционный состав жирных кислот липидов и выявлены основные направления их участия в структурно-функциональных адаптациях у ряда видов арктических тундр Западного Шпицбергена, показано, что в условиях климата северных широт большое защитное значение имеют покровные структуры листа, фонды запасаения, формирование которых связано с большим разнообразием и высоким содержанием жирных кислот с очень длинной цепью во фракции нейтральных липидов. По данным многолетних исследований выявлены особенности серогумусовых почв в юго-западной части острова Западный Шпицберген: они образуются под сплошным мохово-лишайниково-кустарничковым покровом на породах разного гранулометрического и химического состава на разных элементах ландшафта, где обеспечен свободный поверхностный и внутрипочвенный дренаж, и обладают высоким плодородием.

Анализ данных мониторинга сейсмической обстановки в районе Шпицбергена сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН показал, что наиболее сейсмоактивной зоной в 2024 г. оставалась область океанического дна вдоль Срединно-Атлантического хребта (хребет Мона, хребет Книповича, Шпицбергенская зона разломов, хребет Гаккеля), также высокая интенсивность тектонической сейсмичности была отмечена в зоне пролива Стурфьорд и о. Северо-Восточная Земля. Наибольшая интенсивность слабых сейсмических событий, связанные в основном с процессами деструкции и движения ледников отмечалась в районе

залива Конгфьорд на северо-западе о. Западный Шпицберген, куда стекают пять крупных ледников, также отмечены более локальные области проявления ледниковой сейсмичности, приуроченные к крупным выводным ледникам Хорнсуннфьорда на юге, на восточном побережье о. Западный Шпицберген и в его центральной части. В районе расположения посёлка и шахты Баренцбург уровень сейсмической активности оставался на низком уровне, ощутимых и потенциально опасных землетрясений в 2024 году не зарегистрировано.

Сотрудники ПГИ на основе данных, полученных комплексом оборудования геофизической обсерватории «Баренцбург», провели анализ данных нейтронного монитора и мюонного телескопа, показав, что два форбуш-эффекта значительно различаются не только по амплитуде, но и по вызванной ими анизотропии потока космических лучей, изучили наиболее представительные случаи всплесков естественных магнитосферных излучений. В июле-августе проведено техническое обслуживание оборудования геофизической обсерватории в п. Баренцбург, на площадке спутниковых антенн на высоте 261,7 м н. у. м. над пос. Баренцбург установлена детектор гамма-излучения, аналогичный работающему на станции космических лучей, и узкоугольная камера, для которой обеспечиваются благоприятные светотехнические условия наблюдений.

Изучение археологических объектов на архипелаге было продолжено учеными ИА РАН, в том числе с базированием в полевом лагере ВНИИОкеангеология. Обследовано становище Свардфьелетбеккен в районе Свартфьельстранда, открытое в 1982 г. археологической экспедицией ИА РАН, но подробно не исследованное, на равнине Кофьойра обнаружено основание поморского креста. На Земле Принца Карла в районе бухты Селвоген выявлены следы разрушенного поморского становища, а также погребальный комплекс в непосредственной близости от него. На Земле Норденшельда на горе Херфьельступет выявлен и обследован относящийся к XX в комплекс построек, связанных с угледобывающим производством.

Исследования ИФА им. А.М. Обухова РАН включали экспериментальные работы в п. Баренцбург и моделирование природных процессов на архипелаге Шпицберген. Измерения турбулентных характеристик и градиента температуры воздуха над ледником Альдегонда позволили установить, что турбулентный режим приземного слоя атмосферы над ледниками в летний период преимущественно нестационарный, что может быть связано с сильным влиянием мезомасштабных эффектов или гравитационных волн на турбулентные вихри, и приводить к формированию противогradientных потоков тепла. Кроме того, изучена применимость различных универсальных функций для расчета турбулентных потоков в условиях таяния ледника, однако в случае слабо устойчивой и нейтральной стратификаций преимущество какого-либо метода расчета не выявлено. Определено, что задание в расчетах потоков нулевой температуры поверхности приводит к ошибкам в их оценках, а задание реальной температуры уменьшает погрешность расчетов. Полученные наблюдения использовались для верификации численного мезомасштабного моделирования атмосферы с помощью модели WRF-ARW. Собранные данные измерений выявили необходимость более тонкой настройки модели WRF, в особенности блока деятельного слоя, для правильного воспроизведения метеорологического режима над ледником.

Полевые исследования палеопочв в девонских отложениях архипелага Шпицберген сотрудниками ИФХиБПП РАН проходили на Земле Диксона в долинах Муиндален, Тордален, Хугиндален. Обнаруженные палеопочвы девонского времени отличаются полнотой профиля и сохранностью растительных отпечатков, а в отдельных случаях – и растительных тканей. Обнаружено, что изученные объекты представляют собой палеопочвы различного генезиса. Отобранные образцы палеопочв находятся на стадии изучения в лабораториях. Завершен анализ материала одного из палеопочвенных профилей, отобранного в ходе первого рекогносцировочного выезда в 2023 г., результаты позволили говорить о продолжительном этапе формирования палеопочвы и предположить произрастание растений на переувлажненных почвах с сезонностью по осадкам. Второй блок



исследований связан с криогенными почвами и подстилающими их верхними горизонтами многолетнемерзлых пород (почвенно-мерзлотные комплексы), являющимися важнейшим элементом функционирования полярных биомов. Исследованная в 2024 г. территория расположена в западной части о. Западный Шпицберген на южном побережье зал. Исфьорд вблизи зал. Грёнфьорд и бух. Колсбей: описано 20 почвенных разрезов, измерена скелетность щебнистых почв, диагностировано их оглеение, проведены измерения температуры почв, изучены физико-химические характеристики.

Международное сотрудничество приостановлено со стороны европейских партнеров, однако активно развивалось научное сотрудничество с азиатскими партнерами. В рамках Соглашения о сотрудничестве между ММБИ РАН и Институтом полярных исследований Китая (PRIC) была подготовлена и направлена заявка на конкурс российско-китайских проектов РНФ по приоритетному направлению деятельности «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований международными научными коллективами» (совместно с Государственным фондом естественных наук Китая (NSFC)). В рамках соглашения о научном сотрудничестве между ИФА им. А.М. Обухова РАН и Институтом физики атмосферы Китайской академии наук проводилась совместная обработка и анализ данных, сравнение результатов измерений, опубликована статья. Официальная делегация представителей Арктической и антарктической администрации Китая (САА) и Института полярных исследований Китая (PRIC) посетила научно-исследовательскую станцию ААНИИ в п. Баренцбург с целью осмотра научной инфраструктуры и ознакомления с текущими научными проектами для поиска перспективных направлений научного сотрудничества, за визитом последовал семинар между представителями научного сообщества Китайских научно-исследовательских институтов и ААНИИ для более детального обсуждения перспективных научных тем, возможности проведения совместных полевых исследований в 2025 г. и возможности организации международной полярной школы для молодых ученых на базе РНЦШ.

Несмотря на продолжающиеся сложности при организации экспедиционных полевых работ, благодаря взаимной информационной и логистической поддержке, организации-партнеры по РНЦШ выполнили программу исследований и наблюдений. Целевые показатели программы в целом достигнуты. Количество молодых ученых, принявших участие в исследованиях, сократилось в связи с удорожанием проведения полевых работ и общими логистическими проблемами.

**Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований  
на архипелаге Шпицберген в 2024 г.**

№	Целевые индикаторы и показатели	Запланировано	Фактически
1	Количество публикаций в реферируемых изданиях, содержащих результаты научной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (единиц)	33	34
2	Прирост объема информации о природной среде арх. Шпицберген (гигабайт), в том числе данные постоянных метеорологических, геофизических и спутниковых наблюдений	18000	18300
3	Количество молодых ученых (специалистов) ВУЗов, студентов и аспирантов, привлеченных к выполнению НИОКР в рамках проекта	25	22
4	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности, в том числе направленных на государственную регистрацию	1	1