

**УТВЕРЖДЕНО**  
протоколом Наблюдательного совета  
по координации деятельности  
Российского научного центра на  
архипелаге Шпицберген  
от 14 декабря 2023 г. № 17

**ОТЧЕТ**  
**о выполнении**  
**Межведомственной программы**  
**научных исследований и наблюдений на архипелаге**  
**Шпицберген в 2023 году**

Москва 2023

## Содержание

Введение.....	4
Организации Росгидромета .....	5
Организации Роснедр .....	6
Организации Минобрнауки России .....	6
Мероприятия Росгидромета .....	7
ФГБУ «ААНИИ».....	7
Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы .....	7
Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген .....	17
Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген.....	21
Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена.....	27
Мероприятие 5. Палеогеографические исследования.....	32
Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты.....	37
Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей .....	40
Мероприятие 8. Экологические исследования .....	42
ФГБУ «Мурманское УГМС» .....	48
Мероприятие 9. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» .....	48
ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ» .....	52
Мероприятие 10. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген .....	52
Мероприятия Роснедр.....	57
ФГБУ «ВНИИОкеангеология» .....	57
Мероприятие 11. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген.....	57
Мероприятие 12. Региональные геолого-геоморфологические исследования Шпицбергенского шельфа .....	60
Мероприятия организаций Минобрнауки России .....	65
Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН) .....	65
Мероприятие 13. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.....	65
Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН) ...	68
Мероприятие 14. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген .....	68
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН) .....	74
Мероприятие 15. Изучение флоры, растительности, продуктивности и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген .....	74
Кольский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН .....	92
(КоФ ФИЦ ЕГС РАН).....	92

Мероприятие 16. Сейсмо-инфразвуковой мониторинг процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген.....	92
Полярный геофизический институт (ПГИ) .....	98
Мероприятие 17. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.....	98
Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН).....	108
Мероприятие 18. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген .....	108
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН).....	116
Мероприятие 19. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена .....	116
Мероприятие 20. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене .....	121
Институт физико-химических и биологических проблем Российской академии наук (ИФХиБПП РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН) .....	122
Мероприятие 21. Комплексные исследования ископаемых почв палеозоя, современного почвенного покрова и многолетнемерзлых отложений архипелага Шпицберген с целью изучения эволюции биосферы в различные геологические и исторические эпохи .....	122
Заключение .....	126
Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2023 г. ....	130

## Введение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2023 г. (далее – Межведомственная программа) была утверждена Наблюдательным советом РНЦШ 27 марта 2023 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, а также приледниковых озер.
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. Влияние метеорологических условий на теплоперенос в системе атмосфера-поверхностные покровы-грунт.
10. Мониторинг температурного состояния многолетней мерзлоты, глубины распространения сезонно-талого слоя и оценка энерго- и массообмена подстилающей поверхности с атмосферой.
11. Морфолого-генетические, экологические и биогеохимические исследования почвенного покрова.
12. Исследование роли криоконитов в формировании почв в приледниковой зоне.
13. Оценка величины и изменчивости потоков углерода в системе «почва-атмосфера» с разной антропогенной нагрузкой.
14. Исследование биоразнообразия фототрофной биоты, классификация растительности, мониторинг растительного покрова, оценка продуктивности растений в высокоширотных экосистемах Шпицбергена.



15. Исследование состава и динамики численности фауны птиц и их пространственного размещения в естественных ландшафтах и на территории поселков.

16. Мониторинг загрязнения различных районов архипелага Шпицберген, в частности законсервированных и действующих поселков.

17. Изучение четвертичных отложений архипелага с целью палеогеографического анализа, реконструкции ландшафтов и прогноза их формирования и развития.

18. Исследование геологического разреза девона в окрестностях п. Пирамида на предмет обнаружения палеопочв и выбор ключевых участков для почвенных исследований;

19. Изучение геоморфологического строения и основных рельефообразующих процессов на архипелаге Шпицберген.

20. Комплексное геолого-геофизическое изучение отдельных районов архипелага Шпицберген для уточнения их геологического строения и минерально-сырьевого потенциала.

21. Геолого-геофизическое изучение Шпицбергенского шельфа для изучения комплексов мезозойских и кайнозойских отложений и структурно-морфологических особенностей четвертичных образований.

22. Изучение и оценка геодинамической опасности на локальном и региональном уровне путем проведения непрерывного мониторинга сейсмического и инфразвукового полей на архипелаге Шпицберген.

23. Развитие методологических основ дистанционного геофизического контроля проявлений деструктивных процессов в арктической криосфере по данным сейсмологического и акустического мониторинга.

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

25. Исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

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

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

Эти задачи вошли в 21 Мероприятие Межведомственной программы, распределенных между 11 исполнителями – участниками Консорциума РНЦШ и 1 исполнителем вне Консорциума (ИФХиБПП РАН).

### **Организации Росгидромета**

ФГБУ «АНИИ» – 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. Экологические 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 флоры, растительности, продуктивности и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген.

КоФ ФИЦ ЕГС РАН – Мероприятие 16. Сейсмо-инфразвуковой мониторинг процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений 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 21. Комплексные исследования ископаемых почв палеозоя, современного почвенного покрова и многолетнемерзлых отложений архипелага Шпицберген с целью изучения эволюции биосферы в различные геологические и исторические эпохи.

Мероприятие 20. 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 еще больше ограничили возможности по организации работ на Шпицбергене, усложнили получение виз для проезда и увеличили расходы на проезд на территорию архипелага. Несмотря на это практически все запланированные полевые исследования были проведены. Особое значение имели взаимная логистическая поддержка и информационное обеспечение 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.

---

\* Не является участником Консорциума РНЦШ.

## Мероприятия Росгидромета ФГБУ «АНИИ»

### Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы

Исследования параметров приземной атмосферы включают три 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;
- 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 государственного задания ИОА СО РАН и 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. Оценка радиационно-климатического влияния аэрозоля в высокоширотном регионе и разработка средних эмпирических микрофизических моделей аэрозоля в регионе работы станции являются основными целями исследований. Изучение характеристик атмосферного аэрозоля позволяет также оценить вклад региональных источников аэрозоля (местных и морских) и переносов аэрозоля со стороны Евразии.

Измерения характеристик атмосферного аэрозоля выполнялись на территории ГМО Баренцбург сотрудниками зимовочного состава РАЭ-Ш ААНИИ. Для измерений аэрозольной оптической толщины (АОТ) и общего влагосодержания атмосферы (ОВС) использовался солнечный фотометр SP-9. 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. В измерениях приземных характеристик аэрозоля использовался комплект приборов в составе аэталометра (сажемера) МДА-02 (ИОА СО РАН), аэталометра АЕ-33 (ААНИИ), счетчика частиц AZ-10 (ИОА СО РАН) и трехволнового интегрирующего нефелометра TSI-3563 (ААНИИ).

Измерения фотометром выполнялись с 10 апреля по 08 августа. За этот период был проведен 6453 замер. После обработки данных и фильтрации замеров, искаженных облачностью, были сформированы массивы среднечасовых и среднедневных значений АОТ и ОВС. Небольшое количество измерительных дней (19) связано с неисправностью датчика автоматического включения фотометра при Солнце, открытом от облаков и необходимостью включать фотометр в ручном режиме.

В среднем более высокие значения АОТ наблюдались в апреле-мае (рис. 1.1). В летний период происходили отдельные всплески АОТ, обусловленные выносом пирогенного аэрозоля. Наиболее сильные замутнения атмосферы были зарегистрированы 21 июня и 15 июля. В первом случае (21 июня) АОТ атмосферы уменьшалась в течении дня, во втором (15

июля) – произошло достаточно быстрое увеличение АОТ (рис. 1.2). В обоих случаях основная динамика АОТ происходила в коротковолновой части спектра, то есть была обусловлена изменением содержания в атмосфере мелкодисперсного аэрозоля. Анализ обратных траекторий воздушных масс и спутниковых данных о температурных аномалиях показал следующее. В первом случае (21 июня) в течение дня наблюдалось постепенное уменьшение замутнения атмосферы, связанного с изменением воздушных масс. В ночные часы воздух поступал из Европы, где в это время наблюдалось значительное количество температурных аномалий (рис. 1.3а). Днём направление прихода воздушных масс изменилось: воздух стал поступать из Атлантики и северо-восточной части Канады. Второй всплеск замутнения (15 июля) связан, по-видимому, с выносом дымового аэрозоля из Канады (рис. 1.3б).

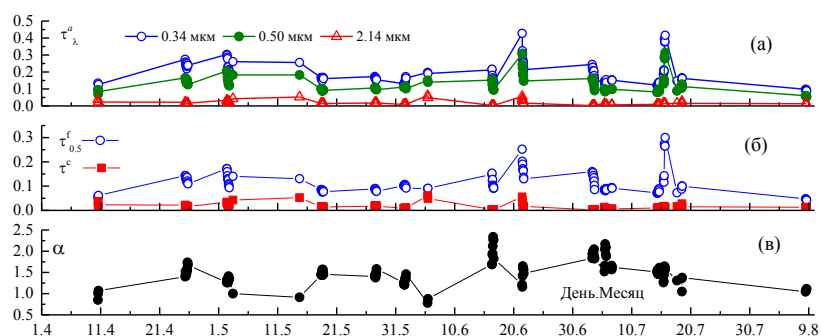


Рисунок 1.1 – Вариации АОТ (0,34; 0,50 и 2,14 мкм) (а), АОТ мелко - и грубодисперсного аэрозоля  $\tau_{0.5}^f$ ,  $\tau^c$  (б) и показателя Ангстрема  $\alpha$  (в) в 2023 г.

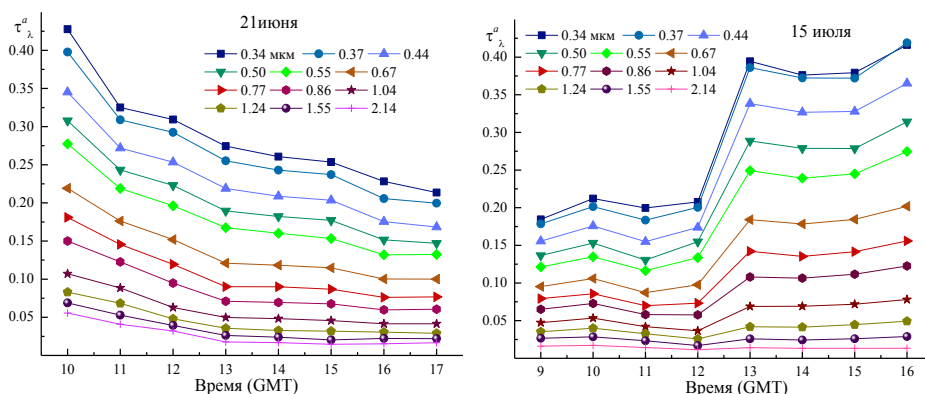


Рисунок 1.2 – Изменчивость спектральных АОТ 21 июня и 15 июля 2023 г.

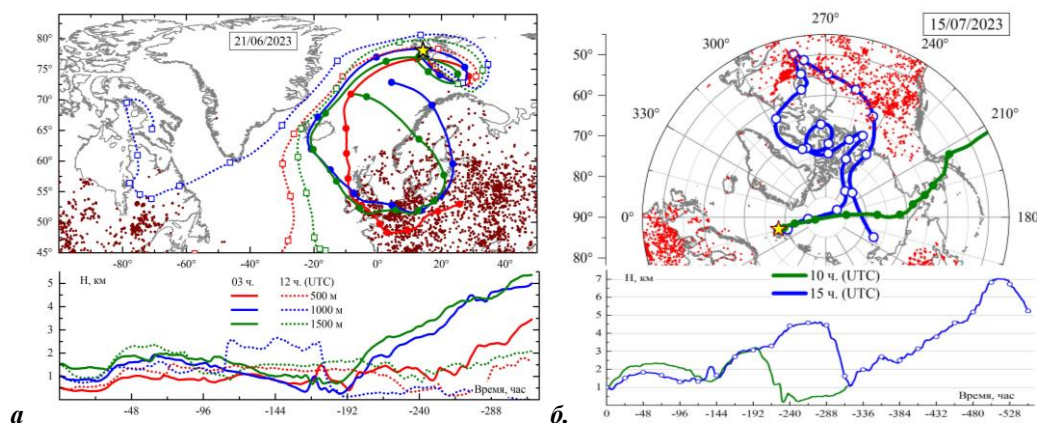


Рисунок 1.3 – Обратные траектории воздушных масс 21 июня (а) и 15 июля (б)

Сопоставление среднемесячных значений АОТ в 2023 г. с аналогичными величинами за период 2011-2021 гг. (Кабанов и др., 2023) показало, что замутнение атмосферы в отчетный период превышало многолетние значения. Превышение многолетних значений составляет 1,8 в мае и 2,1 раза в июле. Основные спектральные различия в характерные периоды года возрастают с уменьшением длины волны, то есть обусловлены мелкодисперсным аэрозолем.

При исключении дымовых ситуаций средние значения  $\tau^{0.5}$ , полученные в 2023 г. также превышают многолетний уровень в 1,24 раза.

Основная изменчивость ОВС атмосферы в 2023 г. была обусловлена годовым ходом этой величины: минимальные значения в холодный период года и максимальные – летом. В целом, средние за месяц значения ОВС в 2023 г. достаточно хорошо согласуются с многолетними результатами (рис 1.4). Разность средних за месяц значений  $W$  в период 2011-2022 гг. и отчетного 2023 г. в период апрель-июль составила  $-0,22 \text{ г/см}^2$  (август исключен так как представлен одним днем измерений). Минимальное среднее за день значение ОВС в отчетном году наблюдалось 2-го мая ( $0,29 \text{ г/см}^2$ ), а максимальное – 21-го июня ( $1,66 \text{ г/см}^2$ ).

Средние значения массовой и счетной концентраций аэрозоля за полный период измерений составили:  $M_A = 3,69 \pm 3,57 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  $N_A = 7,30 \pm 8,56 \text{ см}^{-3}$ . Годовой ход счетной концентрации ( $N_A$ ) характеризовался колебаниями значений с основными максимумами в феврале и апреле, и с всплесками в июне и августе. Минимальные концентрации отмечались в сентябре и июле. Массовая концентрация ( $M_A$ ) имела основной максимум в феврале, и еще один в мае, после чего шло ее плавное снижение до минимума в сентябре 2023 г. (рис. 1.5)

Повышенные значения концентраций поглощающего вещества (черного углерода)  $eBC$  наблюдались в отдельные периоды полярной ночи с основными максимумами в феврале 2023 и ноябре 2022 года (рис. 1.6а). Аналогичный рост концентраций с максимумом концентраций  $eBC$  в декабре наблюдался и в 2021 г. В июне наблюдались минимумы концентраций. Еще одним, нехарактерным минимумом, оказались пониженные значения концентраций поглощающего вещества в марте 2023 г. В целом, среднее значение массовой концентрации  $eBC$  в анализируемый период составило  $49,1 \pm 115,8 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Средние значения коэффициентов полного аэрозольного рассеяния по данным измерений нефелометра TSI 3563 составили:  $8,48 \pm 15,2 \text{ Мм}^{-1}$  ( $\lambda=450 \text{ нм}$ );  $6,31 \pm 11,3 \text{ Мм}^{-1}$  ( $\lambda=550$ );  $4,42 \pm 8,03 \text{ Мм}^{-1}$  ( $\lambda=700$ ). Параметр Ангстрема для коэффициента полного рассеяния составил 1,47.

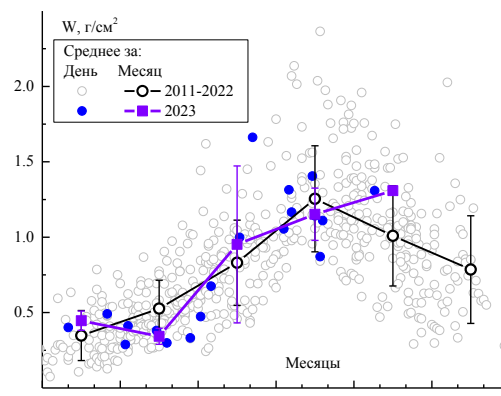


Рисунок 1.4 – Сопоставление ОВС атмосферы в 2023 г. с данными 2011-2022 гг.

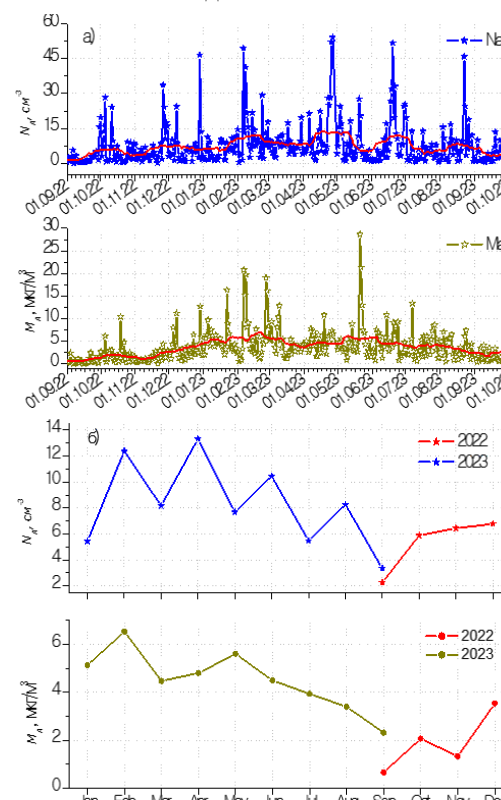


Рисунок 1.5 – Временной ход счетной и массовой концентраций аэрозоля (а) и годовой ход их среднемесячных значений (б) в Баренцбурге в 2022-2023 гг.

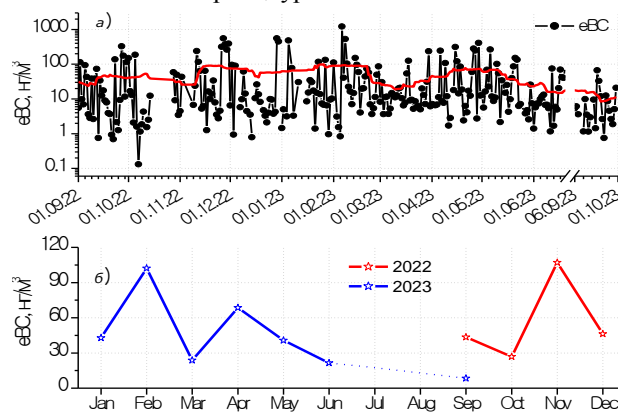


Рисунок 1.6 – Временной (а) и годовой (б) ход массовых концентраций поглощающего вещества в Баренцбурге в 2022-2023 гг.

По данным исследований опубликована статья и представлен доклад:

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

Кабанов Д.М., Чернов Д.Г., Лоскутова М.А., Масловский А.С. Предварительные результаты измерений характеристик аэрозоля на полярных станциях «Мыс Баранова» и «Баренцбург» в 2023 г. // XXX конференция «Аэрозоли Сибири», 28 ноября - 1 декабря 2023 г., Томск.

*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 теплбалансовых особенностей системы «поверхность ледника – атмосфера», что включает в весенний и летний периоды:

- Исследование отражательных характеристик поверхности ледника Альдегонда и Западный Грэнфьорд в зависимости от особенностей рельефа и загрязнённости;
- Исследование теплового и радиационного баланса поверхности ледника Альдегонда;
- Исследование микроклиматических особенностей ледника Альдегонда;
- Методические оценки скорости испарения с поверхности снежного покрова (весной).

В ходе сезонных полевых работ были решены следующие задачи:

- Маршрутные, подспутниковые измерения приходящей и отраженной солнечной радиации над различными типами поверхности ледников;
- На весь период работ в центральной части ледника Альдегонда были установлены две теплбалансовые мачты (ТБМ) для непрерывной записи данных о составляющих радиационного баланса и для проведения интеркалибрации нового вводимого в эксплуатацию оборудования, а также разработки системы поправок к данным балансомера CNR4;
- Получены новые данные о микроклимате ледника Альдегонда с помощью автоматических метеостанций (АМС) HOBO Onset;
- Также получены новые данные о распределении температур внутри ледника по данным термокосы, забуренной в центральной части ледника Альдегонда;
- Отобраны пробы снега в поселке Баренцбург для последующего определения количества загрязнений (весной).

Для оценки компонентов радиационного баланса на леднике Альдегонда были установлены 2 теплбалансовые мачты (ТБМ) для непрерывной регистрации коротковолновых и длинноволновых составляющих радиационного баланса ледниковой поверхности, а также для проведения интеркалибрации оборудования. Для оценки турбулентных потоков тепла и для расчета вертикальных градиентов метеовеличин использованы данные двух АМС, расположенных на ригелях в нижней и верхней части ледника (рис. 1.7). Оценка потока тепла вглубь ледника по двухслойной модели основана на данных, получаемых с термокосы, забуренной на глубину 1,5 м в начале сезона полевых летних работ.

Для дальнейшего перехода от измерений в точке установки ТБМ к распределенным

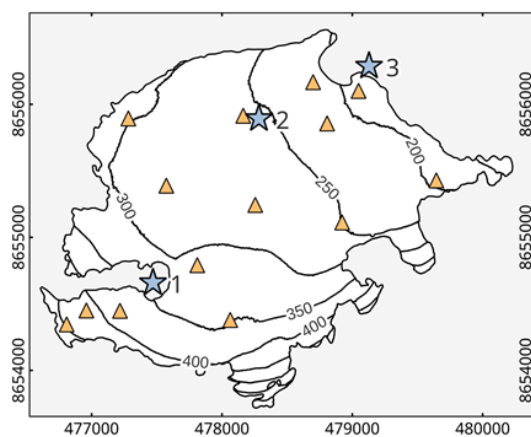


значениям альbedo поверхности используются спутниковые снимки Sentinel-2 и Landsat-8, для их верификации была проведена серия маршрутных съемок альbedo. Частота проведения съемок обусловлена необходимостью отслеживать временную изменчивость состояния поверхности ледников в период абляции.

Маршрут съемки альbedo выбирался исходя из следующих критериев:

Однородность поверхности, т.е. поверхность должна являться наиболее характерной и репрезентативной для данной части ледника;

Точки маршрута соответствовали точкам проведения гляциологического мониторинга для дальнейшего сравнения величин абляции, полученным по рейкам и по результатам теплобалансового моделирования.



— 1    ★ 2    ▲ 3

Рисунок 1.7 – Схема расположения оборудования на леднике Альдегонда (2: 1,3 – АМС, 2 – ТБМ и термокоса) и точки маршрутной съемки альbedo (3)

Проведенные в период максимального снегонакопления измерения альbedo по маршруту на леднике Альдегонда показали некоторое снижение значений в средней части ледника – до 80%, максимальное альbedo отмечалось по краям ледника и составило 86%. Среднее для всего маршрута альbedo составило 84%, что соответствует оценкам 2018 г. (85%), но несколько выше альbedo в 2016-2017 гг. (80%) и 2019 г. (83%). Однако эти различия не превышают погрешности оценок величин альbedo, которая составляет 5%.

В ходе весеннего периода экспедиционных исследований велась непрерывная регистрация составляющих радиационного баланса с помощью оборудования, установленного на ТБМ. Среднесуточные значения суммарной солнечной радиации изменялись от 50 до 220 Вт/м<sup>2</sup>. С увеличением полуденной высоты Солнца максимальные значения в полуденные часы достигали 600 Вт/м<sup>2</sup>. Поток длинноволнового излучения (эффективное излучение поверхности) в основном был направлен от поверхности в атмосферу и в ночное время при ясной погоде составлял 85-90 Вт/м<sup>2</sup>. В середине апреля наблюдался быстрый прогрев приповерхностного слоя воздуха и верхнего слоя снега на протяжении 5 суток, сменившийся резким похолоданием с короткими периодами потепления, устойчивый прогрев стал отмечаться только в первой неделе мая.

Анализ полученных за прошлые года данных показал, что для снежного покрова ледника Альдегонда основным фактором, определяющим характер ослабления ФАР в верхнем слое снега, является плотность снежного покрова, так как концентрация загрязняющих веществ в верхнем слое мала (примерно на порядок меньше чем в п. Баренцбург и окрестностях). По результатам измерения вертикального распределения проникающей в снег солнечной радиации был рассчитан коэффициент ослабления ФАР для верхнего слоя снежного покрова ледника Альдегонда. Среднее значение составило 22 м<sup>-1</sup>.

Для п. Баренцбург и его окрестностей загрязнение является, наряду с плотностью снега, основным фактором, определяющим характер ослабления ФАР в верхнем слое снега. В таблице 1.1 приведены сравнительные данные средней массы взвешенного вещества в пробах снега (верхний слой глубиной 10 см), полученные в предыдущие годы. За последнее время количество взвешенного вещества в пробах поверхностного слоя снега имеют устойчивую тенденцию к снижению.

Таблица 1.1. Средняя концентрация взвешенного вещества в пробах снега ледника Альдегонда

Год	Концентрация взвешенного вещества, мг/л	
	Баренцбург	Альдегонда
2013		4,27
2016	87,37	3,94
2017	35,69	3,57
2018	129,30	2,13
2019	60,04	1,19
2022		0,92
2023	35,63	

Оценка скорости испарения с поверхности снега проводилась по следующей схеме. В специальный, определенного объема, испаритель из органического стекла помещался снег с характерной, для окружающей поверхности плотностью и структурой. Испаритель со снегом взвешивался и помещался в углубления снежного покрова так, чтобы его верхняя граница была вровень с уровнем поверхности окружающего снежного покрова. Затем два раза в сутки испаритель снова взвешивался, а разница в весе регистрировалась. Также регистрировалось количество воды на дне испарителя, образовавшееся непосредственно в результате таяния снега. Выбор прозрачного акрилового оргстекла в качестве материала для испарителя обуславливался задачей минимизации влияния проникающей под поверхность снежного покрова солнечной радиации, а также тем обстоятельством, что теплопроводность этого материала была близка к теплопроводности снега.

Суммарное испарение за период наблюдений 23.03–19.05.23 составило 5,9 мм в.э. ( $5,952 \text{ кг/м}^2$ ). Среднее за сутки – 0,21 мм в.э. ( $0,205 \text{ кг/м}^2$ ), в 2022 г. – 0,29 ( $0,292 \text{ г/м}^2$ ). Погодные условия в весенний период характеризовались высокой циклонической активностью, которая сопровождалась частыми осадками в виде снега, снега с дождем и дождя и сильными ветрами (рис. 1.8). Этим объясняются пропуски в данных. Ветровой перенос был настолько сильным, что вес образца за сутки увеличивался. Необходимо отметить, что погодные условия в сезоне 2023 г. были неблагоприятными для проведения работ по оценке скорости испарения, однако длинный период сезонных работ (2 месяца) позволили провести серию достаточно корректных измерений.

В период проведения летних сезонных работ с 14 августа по 14 сентября 2023 г. поток приходящей коротковолновой солнечной радиации в среднем составил  $68 \text{ Вт/м}^2$  по данным балансомера CNR4 и  $108 \text{ Вт/м}^2$  по данным пиранометра М-80 (рис. 1.9). Максимальные потоки наблюдались 20/08, 25/08 и 12/09 и соответствовали дням с антициклонической погодой и практически полному отсутствию облачности; минимальные значения зафиксированы 30/08 и 4/09, когда наблюдалась сплошная облачность и поток приходящей солнечной радиации уже астрономически снижался. Значения коротковолнового баланса варьировались от 20 до  $128 \text{ Вт/м}^2$  по CNR4 и от 38-251  $\text{Вт/м}^2$  по пиранометру М-80 (см. рис. 1.9).

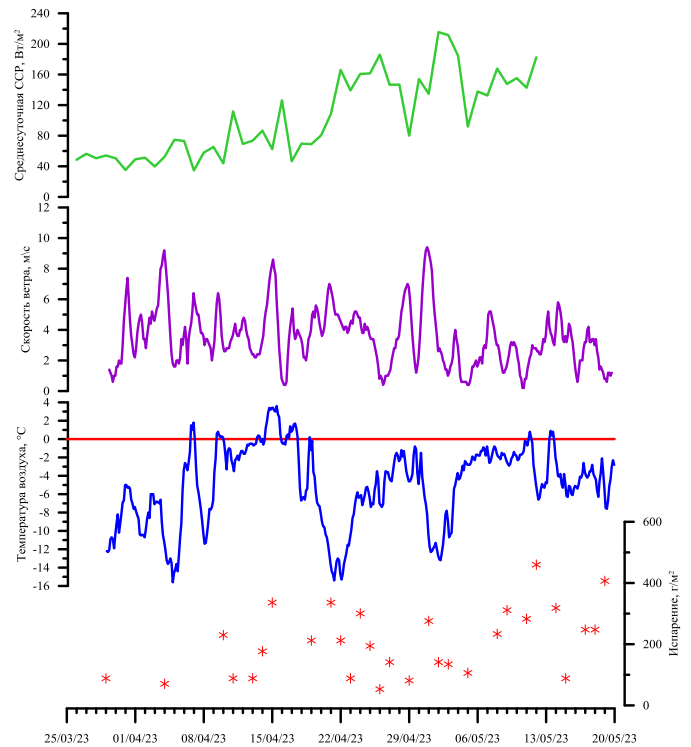


Рисунок 1.8 – Изменение метеорологических параметров весной на леднике Альдегонда по данным АМС

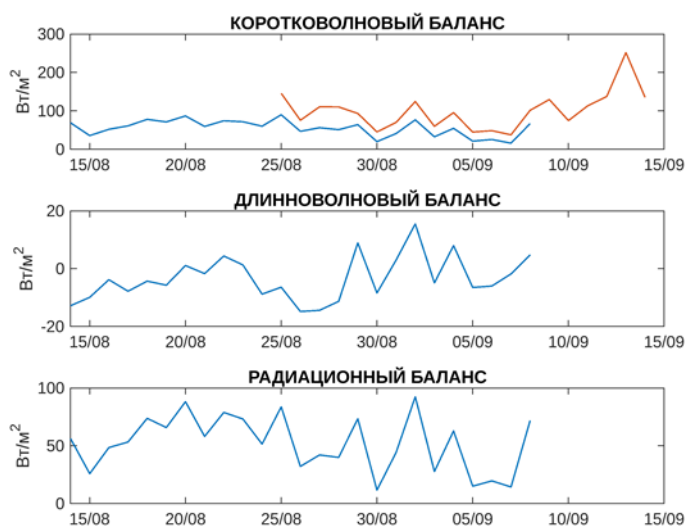


Рисунок 1.9 – Среднесуточные значения коротковолнового и длинноволнового балансов по данным наблюдений ТБМ по CNR4 – синяя линия, и пиранометру Янишевского М-80 – красная линия



Сезонный ход длинноволнового баланса поверхности ледника соответствовал максимумам и минимумам коротковолнового баланса (см. рис. 1.9). Минимальные значения баланса приходились на 25.08–26.08, максимумы наблюдались 30.08 и 03.09. Большую часть сезона значения длинноволнового баланса были отрицательны и менялись в пределах от -14 до 5 Вт/м<sup>2</sup>, что обусловлено сплошным облачным покровом, наблюдавшимся большую часть сезона. Полный радиационный баланс был положительным практически в течение всего периода наблюдений с максимумом в начале сезона и снижением к концу наблюдений.

Одной из важных задач полевого сезона было проведение интеркалибровки коротковолновых датчиков балансомера CNR4 и пиранометров М-80, конструкции Янишевского-Савинова. Среднеквадратическое отклонение данных пиранометров, используемых в балансомере CNR4, от показаний пиранометров М-80 составило ±25 Вт/м<sup>2</sup>, при коэффициенте детерминации R<sup>2</sup>=0,93 (рис. 1.10).

Маршрутные съемки альbedo позволяют оценить временную изменчивость отражательной способности ледника в период абляции. Всего за 1 месяц наблюдений было произведено 6 съёмок: 4 на леднике Альдегонда и 2 на леднике Западный Грэнфьорд. Съёмки проводились по одним и тем же маршрутам, что позволяет оценить временную изменчивость этого параметра, а также осуществить привязку спутникового изображения с целью внесения поправки на реальные условия.

В течение сезона альbedo поверхности ледника в точках мониторинга менялось от 5 до 15 %, что связано с изменчивостью свойств подстилающей поверхности в течение сезона (рис. 1.11).

Оценка сопоставления отражательной способности поверхности ледника Альдегонда по спутниковым снимкам Landsat-8 и маршрутным съёмкам альbedo показала плохую согласованность результатов (рис. 1.12), что может являться погрешностями снимка, связанными с наличием теней от скального обрамления долины, а также тем обстоятельством, что в маршрутных измерениях альbedo использовался датчик, работающий в диапазоне фотосинтетической активной радиации (ФАР) 400-700 нм. Спутниковые изображения существенно занижали значения альbedo, однако датчик ФАР, напротив, показал нереалистично высокие значения для тающей поверхности ледника.

Сезонный ход метеовеличин в 2023 г. по усредненным данным двух АМС приведен на рисунке 1.13. В распределении температуры воздуха хорошо прослеживается сезонный ход. Максимумы в температуре воздуха хорошо соответствуют максимальным значениям потока проходящей солнечной радиации (коэффициент

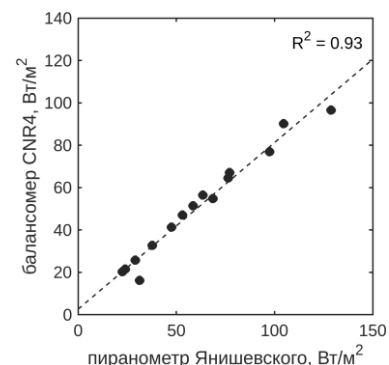


Рисунок 1.10 – Сравнение значений потока проходящей коротковолновой радиации по данным балансомера CNR4 и пиранометра М-80

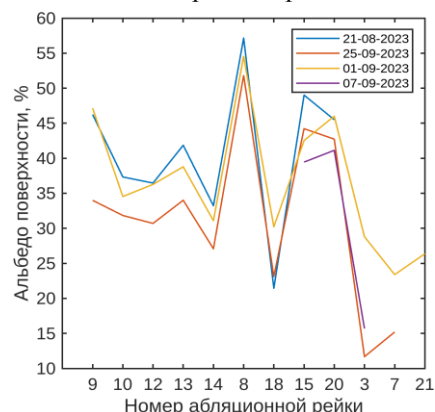


Рисунок 1.11 – Временная изменчивость альbedo в районе абляционных рек на основе натурных данных

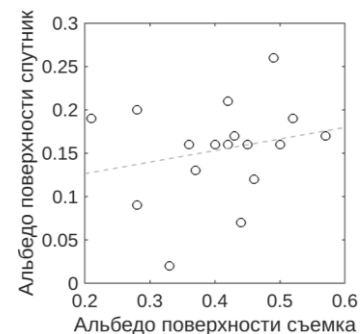
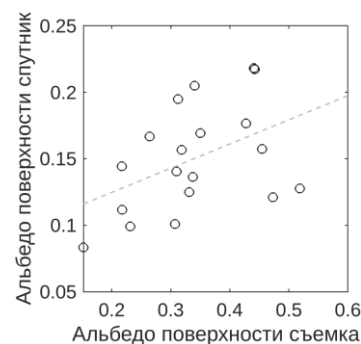


Рисунок 1.12 – Соотношение значений альbedo, полученных по натурным данным маршрутных съёмок и рассчитанным по спутниковым изображениям Landsat-8 для 21.08.2023 – сверху и 25.08.2023 – снизу

корреляции  $r = 0,65$  для периода абляции ледника с июля по сентябрь), что наглядно демонстрирует его преобладающую роль в изменчивости рассматриваемой величины.



Рисунок 1.13 – Сезонный ход метеорологических параметров по данным АМС в 2023 г. красная линия – верхняя АМС, синяя линия – нижняя АМС

В начале и в конце сезона абляции ледника наблюдалось прохождение нескольких глубоких циклонов, что приводило к существенному увеличению скорости ветра (до 12 м/с), что, в свою очередь, обусловило интенсификацию процессов турбулентного обмена в приледном слое воздуха (Prokhorova et al., 2023).

Зависимость величин абляции от измеренных значений солнечной радиации ( $Q$ ) и температуры воздуха ( $T$ ), которая собой определяет суммарное влияние длинноволнового баланса поверхности и турбулентного теплообмена с атмосферой, приведена в таблице 1.2. Поскольку в 2023 г. не выявлено значительных аномалий ни в температуре воздуха, ни в коротковолновой радиации, то установленные ранее связи поверхностной абляции от солнечной радиации и температуры воздуха сохраняются (Проخورова и др., 2023).

Таблица 1.2. Коэффициенты линейной корреляции между скоростями таяния и определяющими параметрами ( $Q$ ,  $T$ )

№ рейки	Положение на леднике	$T$	$Q$
14	Центральная часть	0,96	0,92
6	Нижняя часть	0,98	0,87
3	Затененная часть под южным склоном	0,89	0,79

Данные сезонных наблюдений после проверки и критического контроля будут загружены на Геопортал ААНИИ и метаданные – на портал RiS (Research in Svalbard) №1083 «Organization and conducting of microclimatic observation on the glacier of Aldegonda 2015-2023».

Экспедиционные исследования выполнены под руководством м.н.с. Проخورовой У. В. и н.с. Безгрешновым А. М.

Результаты исследований опубликованы в рецензируемых журналах:

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. DOI: 10.1080/15230430.2023.2190057

Проخورова 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. СС. 212–224 DOI: 10.31857/S2076673423020138

Terekhov A., Prokhorova U., Verkulich S., Demidov V., Sidorova O., Anisimov M., Romashova K. Two decades of mass-balance observations on Aldegondabreen, Spitsbergen:

Терехов А.В., Василевич И.И., Прохорова У.В. Оценка погрешности измерений средней высоты снежного покрова на леднике Альдегонда (Шпицберген) // Лёд и Снег. 2023. Т. 63(3). СС. 357-368 DOI 10.31857/S2076673423030122

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

Целью работы являлось исследование процессов энерго- и массообмена пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью. Задача состояла в проведении анализа составляющих теплового баланса для района Западного Шпицбергена за три года наблюдений. Расчет выполнен на основе метеорологических параметров, получаемых с использованием градиентной мачты Campbell Scientific.

Для оценки турбулентных потоков используются данные измерений проходящей и отраженной коротковолновой ( $Q$ ,  $R_k$ ) и длинноволновой ( $LW_{dn}$ ,  $LW_{up}$ ) радиации, а также результаты расчета турбулентных потоков явного ( $H$ ) и скрытого ( $LE$ ) тепла. Турбулентные потоки рассчитываются по перепаду значений температуры ( $T_a$ ), удельной влажности воздуха ( $q_a$ ) и скорости ветра ( $W$ ) на одном уровне в атмосфере относительно температуры ( $T_s$ ) и удельной влажности ( $q_s$ ) подстилающей поверхности (Макштас и др., 2012, Макштас и др., 2014). Температура поверхности определяется из уравнения Стефана-Больцмана на основе измерений проходящей и уходящей длинноволновой радиации. В расчётах потока скрытого тепла относительная влажность снежной поверхности считается близкой к насыщению и принимается равной 100%, а в летний период в отсутствие снега рассчитывается по специальной методике. Предполагая постоянство потока в пределах приземного слоя, масштаб влажности вычисляется для каждого часа сначала по двухуровневой схеме (по данным о температуре и влажности воздуха на высотах 8 м и 2 м), а затем, после вычисления турбулентных потоков по одноуровневой схеме, удельная влажность поверхности  $q_s$  пересчитывается с новым значением масштаба длины Монино-Обухова (Монин и Обухов, 1954). Давление насыщения на уровне шероховатости вычисляется по формуле Магнуса с использованием радиационной температуры.

Турбулентные потоки явного тепла (рис. 1.14) в зимний период варьировались в пределах  $-15 \dots -35$  Вт/м<sup>2</sup> и были направлены к подстилающей поверхности. Турбулентные потоки явного и скрытого тепла летом на Западном Шпицбергене высоки по сравнению со станцией ЛБ Мыс Баранова (арх. Северная Земля) вследствие более интенсивного прогрева поверхности и формирования неустойчиво стратифицированной атмосферы.

Длинноволновый баланс в течение года находился в диапазоне  $-6 \dots -20$  Вт/м<sup>2</sup> и

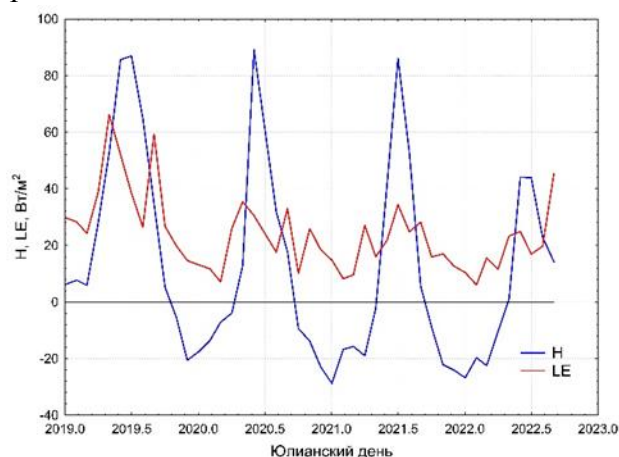


Рисунок 1.14 – Турбулентные потоки явного ( $H$ ) и скрытого ( $LE$ ) тепла

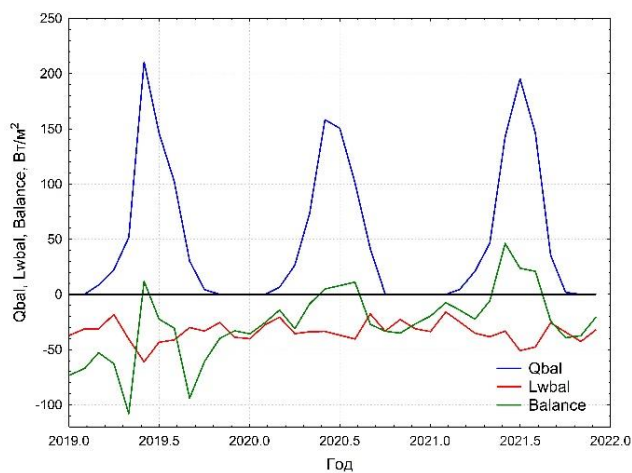


Рисунок 1.15 – Коротковолновый ( $Q_{bal}$ ), длинноволновый ( $LW_{bal}$ ) и суммарный ( $Balance$ ) радиационный баланс

обусловливал постоянно происходящее выхолаживание поверхности (рис. 1.15). Потоки и балансы коротковолновой радиации составили 150–260 Вт/м<sup>2</sup> за исследуемый период. Как видно из рисунка 1.15, все составляющие радиационного баланса имеют ярко выраженный годовой ход, обусловленный сменой полярных дня и ночи. Можно отметить отрицательные и мало меняющиеся в течение всего периода наблюдений величины длинноволнового радиационного баланса ( $LW_{bal}=LW_{dn}-LW_{up}$ ) и максимальные значения коротковолнового радиационного баланса ( $Q_{bal}=Q-R_k$ ) в июле-августе, обусловленные минимальным альбедо (рис. 1.16).

В районе Западного Шпицбергена устойчивый снежный покров, если судить по резкому увеличению альбедо, начал формироваться не ранее второй недели октября (рис. 1.16). Анализ данных о температуре почвы на различных горизонтах позволит оценить роль, подобие и различие процессов, обуславливающих динамику протаивания и промерзания деятельного слоя почвы в районе Шпицбергена по сравнению с другими арктическими районами.

На основе сопоставления временных ходов температур подстилающей поверхности и характеристик энергообмена, было показано, что в 2020 г. температура поверхности грунта в конце мая на короткое время достигла температуры таяния снега. Это произошло на 15 – 25 дней раньше, чем в другие годы, и привело к радикальному уменьшению альбедо, резкому увеличению притока тепла к подстилающей поверхности и продолжительности периода прогрева деятельного слоя грунта.

По данным исследований опубликована статья:

Богородский П.В., Борисик А.Л., Кустов В.Ю., Марченко А.В., Мовчан В.В., Новиков А.Л., Ромашова К.В., Рыжов И.В., Сидорова О.Р., Фильчук К.В., Хаустов В.А. Лёд и снег озера Стемме (о. Западный Шпицберген) зимой 2019/20 г. Лёд и Снег. 2023;63(3):441-453. DOI: 10.31857/S2076673423020035

Литература:

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

Макштас А.П., Иванов Б.В., Тимачев В.Ф. Сравнение параметризаций турбулентного энерго-массообмена в устойчиво-стратифицированном приземном слое атмосферы. // Проблемы Арктики и Антарктики, №3 (93), –2012. –5 – 18с.

Макштас А.П., Тимачев В.Ф., Соколов В.Т., Кустов В.Ю., Говорина И.А. Процессы турбулентного энергообмена на границе морской лед – атмосфера по историческим данным и данным дрейфующих станций «Северный полюс-35» и «Северный полюс-39» // Проблемы Арктики и Антарктики, №1(99), –2014 г.–53-64 с.

Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды Геофизического института АН СССР, №24(151), 1954. 163–187 с.

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. DOI: 10.1080/15230430.2023.2190057

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. СС. 212–224 DOI: 10.31857/S2076673423020138

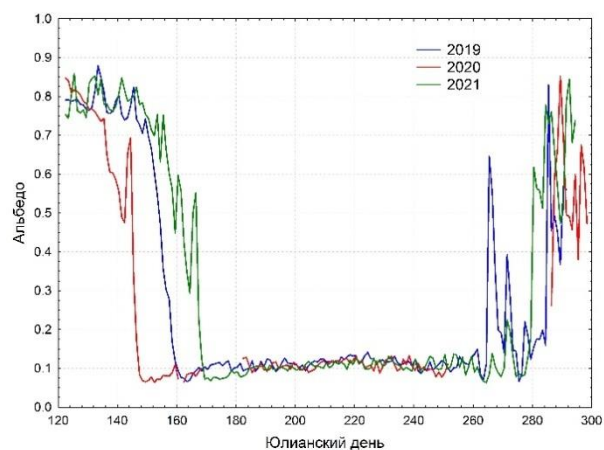


Рисунок 1.16 – Альбедо подстилающей поверхности

Мероприятие 1 выполнено полностью.



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

Гидрологические исследования водных объектов о. Западный Шпицберген продолжили экспедиционные наблюдения ААНИИ, начатые в 2001 году. Полевые экспедиционные работы выполнялись группой в составе Василевича И.И., Петросяна И.С., Секисова Н.Л., Романова М.Л. с 05.04.2023 по 30.09.2023. Химический анализ проб снежного покрова и воды выполнялся сотрудником химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш Ужеговой А.В.

Цель исследований – комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, включая проведение наблюдений за гидрохимическими характеристиками и элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген. Исследования велись на водосборном бассейне залива Гренфьорд. Объекты исследований включали водосборы рек Грэн, Грэнфьорд, Бретьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс и Васстак, а также располагающиеся на этих водосборах ледники Восточный и Западный Грэнфьорд, Альдегонда и озера Конгресс, Стемме, Бретьерна (рис. 2.1).

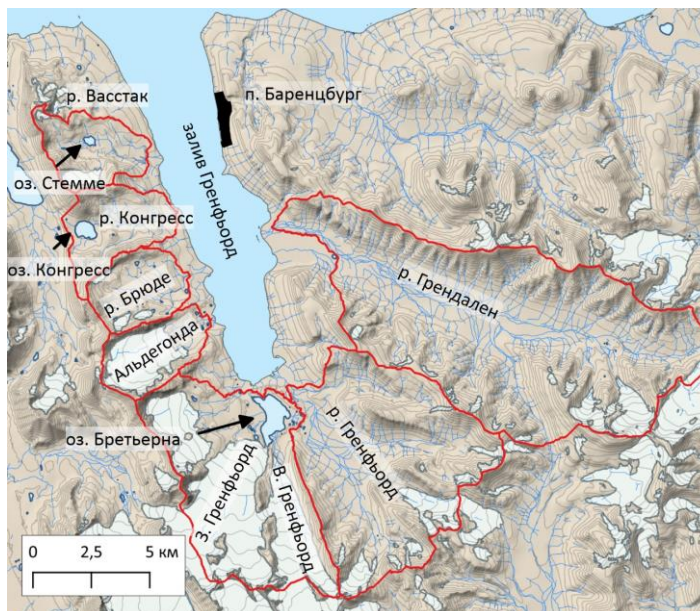


Рисунок 2.1 – Район исследований в 2023 г. Красной линией выделены водосборы исследуемых рек

Исследования осуществлялись в три этапа:

- на весеннем этапе основными задачами являлись изучение распределения снеготаяния 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 снеготаяния;

- во время летнего этапа гидрологических экспедиционных исследований выполнялись регулярные наблюдения за характеристиками гидролого-гидрохимического режима исследуемых рек, специализированные лимнологические наблюдения и вспомогательные геодезические работы.

### *Особенности снеготаяния на водосборах рек и ледниках залива Грэнфьорд*

Выполнение снегомерных работ и обработка полевых материалов производились в соответствии с общепринятыми методиками (Руководство 1958, Кузьмин 1963, Наставления 1985). На некоторых водосборах такие регулируемые методиками параметры, как расстояния между точками измерения высоты снежного покрова и точками производства шурфа, были увеличены с учетом протяженности маршрутов снегомерных съемок, размера, рельефа и других особенностей исследуемых объектов, а также сокращенного состава гидрологической группы. Максимальное расстояние между точками измерения высоты снежного покрова не превышало 400 м (против 100-200 м в стандартных методиках), расстояние между шурфами могло достигать 4 км (против 1 км в стандартных методиках). На ледниках Восточный Грэнфьорд, Западный Грэнфьорд и Альдегонда точки измерения высоты снежного покрова,

плотности и описания стратификации были вновь нанесены в виде регулярных сеток в связи с уменьшением площади ледников и нерегулярного характера размещения точек в предыдущих исследованиях. Снегомерные работы на ледниках в этом году выполнялись по старым и новым точкам с целью соотнесения результатов. Также впервые была проведена снегомерная съемка на морене ледника Западный Гренфьорд (водосбор р. Бретьерна) и на ледниковых телах, бывших ранее частью ледника Гренфьорд.

По данным снегосъемок рассчитан запас воды в снежном покрове на водосборах рек залива Гренфьорд, который напрямую зависит от количества осадков и оттепелей в зимний период. Сумма осадков на метеостанции «Баренцбург» за зимний период была больше средней за последние 20 лет на 107 мм. В среднем влагозапас исследуемых объектов оказался выше среднемноголетнего за предыдущие 5 лет на 117 мм, а средняя высота снежного больше на 9 см (табл. 2.1).

Параллельно стандартным методикам выполнения снегомерной съемки произведена методическая съемка на водосборе реки Васстак для определения репрезентативности выбранных снегомерных маршрутов. Методическая снегомерная съемка представляет собой регулярную сетку точек измерения высоты снежного покрова по всей площади водосбора, выполняемая параллельно стандартной. Измерения показали, что маршрут снегомерной съемки на водосборе реки Васстак не учитывает снежный покров на леднике Вёринг и на высотной части юго-запада водосбора. Разница в абсолютном значении составила 22 см. На основании полученных данных намечен новый снегомерный профиль для водосбора р. Васстак для будущих исследований.

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. 2.2).

В 2023 году продолжены наблюдения за испарением с поверхности снежного покрова и процессами снеготаяния. Наблюдение за испарением с поверхности снежного покрова было начато 26.04 и продлилось 25 суток. Среднесуточное испарение составило 0,44 мм/сут, что меньше среднего за предыдущие годы на 0,12 мм/сут.

Снеготаяние получено посредством прямого измерения и расчета. По результатам экспериментальных измерений дополнены методические указания при выполнении наблюдений за интенсивностью снеготаяния. В отличие от предыдущих лет, весной 2023 года жидкая фаза в снежном покрове практически отсутствовала, что вызвано плавным переходом температуры в положительную область и, отчасти, уклоном выбранной площадки для наблюдений.

Таблица 2.1. Результаты снегомерных съемок в долинах рек, на ледниках и их моренах в 2023 г.

Объект	Высота снега, см			Средняя плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Запас воды в снеге, мм в.э.
	мин	макс	ср		
Грэн	65	30	154	0,39	253+74
Гренфьорд	91	24	245	0,39	356+33+8+58
л. В. Грэнфьорд СТ	131	76	250	0,43	559
л. В. Грэнфьорд НОВ	140	84	245		600
л. З. Грэнфьорд СТ	160	32	280	0,44	704
л. З. Грэнфьорд НОВ	166	60	350		739
морена на водосборе р. Бретьерна	132	35	270	0,40	522
л. Альдегонда СТ	167	53	300	0,40	668
л. Альдегонда НОВ	154	75	300		621
морена л. Альдегонда	132	38	250	0,36	478+16
р. Брюде	94	40	175	0,39	366
р. Конгресс	86	24	193	0,39	334+8
р. Васстак	105	17	232	0,37	389

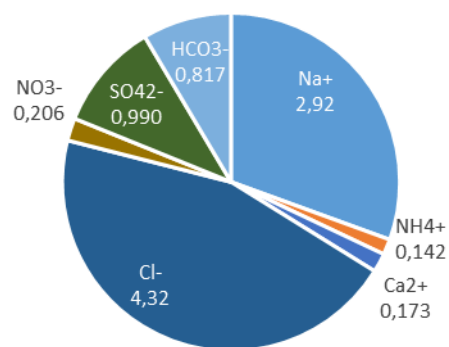


Рис. 2.2 – Среднее содержание главных ионов в снежном покрове (мг/л)

## Особенности речного режима на водосборе залива Грэнфьорд

Наблюдения за речным стоком осуществлялись с момента вскрытия рек и завершились с наступлением ледостава. Уровенные 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 2023 г.

Таблица 2.2. Максимальные и минимальные измеренные расходы воды рек залива Грэнфьорд в 2023 г.

Дата измерения	рН	УЭП, $\mu\text{S/cm}$	Расход воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	Площадь водн. сечения ( $\text{м}^2$ )	Скорость течения ( $\text{м/с}$ )		Ширина реки ( $\text{м}$ )	Глубина ( $\text{м}$ )		Мутность, $\text{г/м}^3$	Расход взвеш. веществ, $\text{кг/с}$
					Ср	Макс		Ср	Макс		
Грэн											
24.06	7,70	153,9	18,9	25,5	0,74	1,04	96,6	0,26	0,62	1491	28,2
23.09	-	-	0,420	2,92	0,14	0,452	20,8	0,14	0,25	-	-
Грэнфьорд											
28.06	7,53	116,3	10,3	10,4	0,88	1,535	28,2	0,37	0,68	665	6,84
18.09	6,85	680	0,880	1,90	0,46	0,835	20,3	0,09	0,25	36,2	0,030
Бретьерна											
08.08	6,97	67,8	13,97	12,12	1,152	1,413	30,25	0,4	0,75	16,7	0,23
22.09	-	-	0,830	2,42	0,341	0,674	25,8	0,09	0,30	-	-
Альдегонда											
28.06	8,35	68,0	3,50	2,83	1,24	1,78	7,20	0,39	0,63	212	0,740
19.09	7,43	547	0,210	0,840	0,250	0,330	4,40	0,19	0,30	2,00	0,00
Брюде											
22.06	8,00	71,3	3,69	2,82	1,309	1,827	9,38	0,30	0,45	76,0	0,280
19.09	7,60	295	0,160	0,580	0,275	0,426	6,50	0,09	0,18	0	0
Конгресс											
22.06	7,64	296	3,56	2,91	0,940	1,57	10,3	0,28	0,52	188	0,670
31.07	6,89	970	0,590	1,15	0,510	0,75	10,2	0,11	0,23	0,22	0,00
Васстак											
23.06	7,80	88,5	4,12	2,97	1,39	2,11	10,0	0,30	0,64	166	0,680
22.09	-	-	0,130	0,630	0,210	0,44	7,20	0,09	0,15	-	-

Отбор и анализ проб воды велись согласно Р 52.24.353-2012, ГОСТ 17.1.5.04-81 и ГОСТ 31861-2012. На гидрологических постах всех исследуемых рек произведена плано-высотная привязка реперов. Полученные отметки соответствуют отметкам, полученными в 2019 г. Также выполнена нивелировка сезонных уровнемерных свай с привязкой к высотной системе ГТ «Арктикуголь». Измерения расходов воды и взвешенных наносов рек Грэн, Грэнфьорд, Бретьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс и Васстак производились вблизи намеченных в предыдущие годы гидрометрических створов.

Для всех рек в 2023 г. максимальные расходы обусловлены активным июньским снеготаянием (рис. 2.3), за исключением р. Бретьерна, в которой максимальный расход пришелся на августовский паводок. Минимальные расходы для всех рек обусловлены понижением среднесуточной температуры, во время последних измерений наблюдались забереги и шуга в руслах, на реке Грэн был зафиксирован ледостав – измерения производились подо льдом.

Анализ полученных рядов гидрологических величин за летне-осенний период 2023 г. показывает схожие условия формирования стока с 2022 г. Сроки вскрытия близки к норме последних 5-10 лет, что подтверждается сравнением среднего слоя стока рек залива Грэнфьорд за последние пять лет, представленном на рис. 2.4.

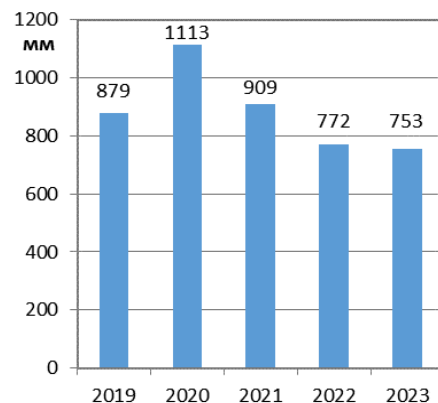


Рисунок 2.4 – Средний слой стока рек залива Грэнфьорд (мм)

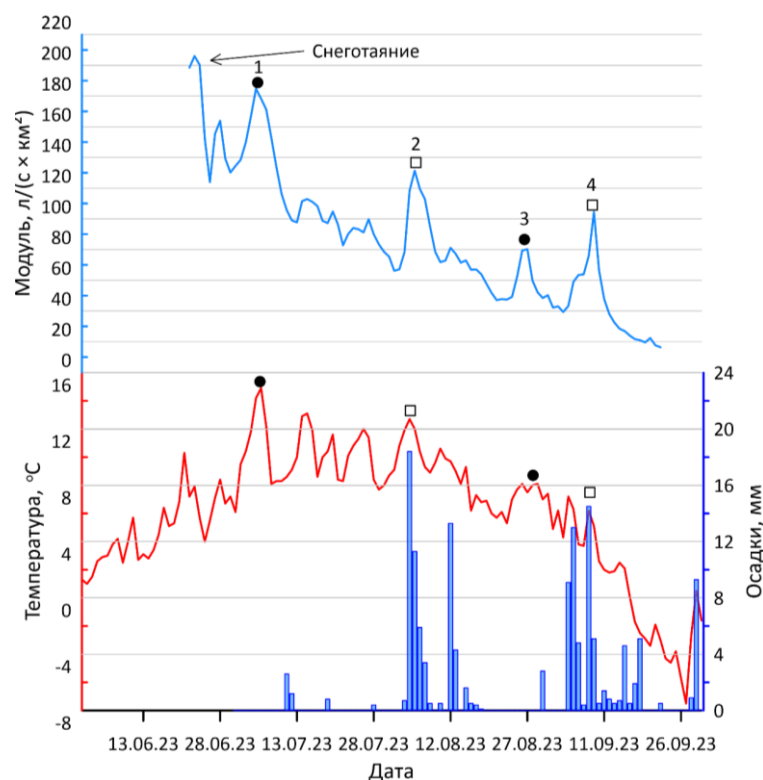


Рисунок 2.3 – Средний гидрограф рек бассейна залива Грэнфьорд в 2023 г. 1 – паводок, обусловленный повышением температуры и увеличением интенсивности таяния; 2, 4 – дождевой паводок; 3 – паводок, обусловленный повышением температуры

Зондирования и отбор проб воды озер, 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. По результатам химического анализа проб озерных вод, озера Стемме и Бретьерна относятся к гидрокарбонатному классу, группа кальция II типа, воды озера Конгресс к сульфатному классу, группа кальция II типа, что свидетельствует о большом вкладе подземных вод в его питание. Средние сезонные концентрации главных ионов соответствуют среднегодовым сезонным значениям.

По результатам исследований на архипелаге Шпицберген подготовлены статьи и доклады на конференциях:

Василевич И.И., Масловский А.С. Применение георадиолокации при производстве снегомерных работ на примере восточного побережья архипелага Шпицберген. Российские полярные исследования. 2023. № 1 (51). С. 36-37.

Василевич И.И., Штанников А.В. Некоторые аспекты применения комплексной методики определения величины испарения с поверхности снежного покрова в условиях высокоширотной Арктики. Российские полярные исследования. 2023. № 2 (52). С. 24-25.

Терехов А.В., Василевич И.И., Прохорова У.В. Оценка погрешности измерений средней высоты снежного покрова на леднике Альдегонда (Шпицберген). Лёд и Снег. 2023;63(3):357-368. DOI 10.31857/S2076673423030122

Terekhov, A., Prokhorova, U., Verkulich, S., Demidov, V., Sidorova, O., Anisimov, M., & Romashova, K. Two decades of mass-balance observations on Aldegondabreen, Spitsbergen: Interannual variability and sensitivity to climate change. *Annals of Glaciology*. 2023. 1-11. DOI 10.1017/aog.2023.40

Богородский П.В., Борисик А.Л., Кустов В.Ю., Марченко А.В., Мовчан В.В., Новиков А.Л., Ромашова К.В., Рыжов И.В., Сидорова О.Р., Фильчук К.В., Хаустов В.А. Лёд и снег озера Стемме (о. Западный Шпицберген) зимой 2019/20 г. Лёд и Снег. 2023;63(3):441-453. DOI 10.31857/S2076673423020035



Ромашова К.В., Брызгалов В.А., Третьяков М.В. Современное гидролого-экологическое состояние рек водосбора залива Гренфьорд (Шпицберген). Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в 2 томах.: Южный федеральный университет. – Новочеркасск: Лик, 2023. Том 1. С. 146-151.

Ромашова К.В., Василевич И.И., Брызгалов В.А., Третьяков М.В. Современное гидролого-экологическое состояние озер залива Гренфьорд. Сборник трудов международной научно-практической конференции V Виноградовские Чтения «Гидрология в эпоху перемен». г. Санкт-Петербург, 9-14 октября. В печати.

Василевич И.И. Различия характеристик снежного покрова западной и восточной частей архипелага Шпицберген как следствие условий его формирования. Гляциологическая конференция «Ледники и снежный покров в условиях меняющегося климата», 25-27 октября 2023 г., г. Москва.

#### Литература:

- Руководство по снегомерным работам в горах - изд.: Гидрометеоиздат, 1958.  
Кузьмин П.П. Метод контрольной (нормальной) снегосъемки// Труды ЗапНИГМИ, вып.13, 1963.  
Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. // Л., Гидрометиздат, 1985 г., 301 с.  
РД 52.08.730-2010 Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова  
Методические рекомендации по производству наблюдений за испарением с почвы и снежного покрова. Изд. 3. Гидрометеоиздат. 1991  
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 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.  
Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть II. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 266 с.  
Р 52.24.353-2012. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. – Ростов-на-Дону, 2012. 36 с.

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, о 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, выявление особенностей гидрохимического режима морских вод в заливах Исфьорд и Гренфьорд, оценка карбонатных параметров морской экосистемы.

В 2023 г. выполнялось термохалинное профилирование в заливах Грэнфьорд, Диксонфьорд и Исфьорд в весенний (март) период. В летний период (август) океанологические работы проводились только в заливах Грэнфьорд, Биллефьорд и Исфьорд.

Полевые работы выполнялись м.н.с. отдела океанологии Блошкиной Е.В., м.н.с. отдела океанологии Рыжов И.В. (профилирование), м.н.с. Алексеева Н.К. (отбор образцов и химический анализ) и зам. начальника РАЭ-Ш Никулиной А.Л. при поддержке сотрудников сезонной экспедиции и зимовочного состава РАЭ-Ш. Аналитическая обработка материалов океанографических исследований выполняется м.н.с. отдела океанологии Блошкиной Е.В.

## Динамика водных масс в заливах Грэнфьорд, Биллефьорд и Исфьорд

Регистрация термохалинных характеристик на вертикальных профилях выполнялась на акватории заливов Грэнфьорд, Исфьорд, Диксонфьорд и Биллефьорд в пунктах океанографического полигона РАЭ-Ш (рис. 3.1). Осенью 2020 г. разметка океанографического полигона РАЭ-Ш была дополнена станциями продольного разреза в южной части Исфьорда, в весенней и осенней экспедициях 2021, 2022 и 2023 г. было выполнено STD-профилирование на станциях этого разреза, что позволяет продолжить ряды наблюдений, в течение ряда лет выполнявшихся специалистами Норвежского полярного института (НПИ), которые были использованы в том числе специалистами ААНИИ в ходе аналитической обработки результатов мониторинга и при подготовке публикаций.



Рисунок 3.1 – Положение океанографических станций в заливах Исфьорд, Биллефьорд и Грэнфьорд в 2023 г.

Согласно классификации Сведсена, во фьордах Западного Шпицбергена по соотношению солёности и температуры можно выделить следующие водные массы: атлантическая водная масса (АВ), под которой понимаются воды Западно-Шпицбергенского течения, характеризующаяся высокими значениями температуры и солёности; трансформированная атлантическая водная масса (ТАВ), образующаяся в результате смешения атлантических и арктических вод; поверхностная водная масса (ПАВ), образующаяся поздней весной и летом под влиянием радиационного прогрева, увеличения объёма материкового стока, таяния морского льда; промежуточная водная масса (ПрВ), формирующаяся в результате смешения поверхностных и атлантических водных масс; локальная водная масса (ЛВ), формирующаяся в осенне-зимний период в результате охлаждения поверхностных и промежуточных водных масс; зимняя охлаждённая водная масса (ЗВ), формирующаяся в результате процессов осенне-зимней конвекции и ледообразования.

По результатам термохалинной съёмки в марте 2023 г. в районе исследований были зарегистрированы четыре водные массы: АВ, ТАВ, ЛВ и ЗВ.

Весенняя съёмка в заливе Диксонфьорда показала те же характерные особенности распределения термохалинных характеристик и водных масс, что и в предыдущие годы (апрель 2012–2014 гг., март 2020 г., апрель 2022 гг.): гомогенное распределение температуры и солёности 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 Диксонфьорда. Это в первую очередь, связано с достаточной удаленностью фьорда от района поступления вод атлантического происхождения (горло Исфьорда). Необходимо уточнить, что это предположение на данный момент актуально только для весеннего периода, так как в летний период съёмка в Диксонфьорде ни разу не выполнялась.

Также, как и в апреле 2022 г., в апреле 2023 г. в западной части разреза вдоль оси Исфьорда наблюдалась фронтальная зона, сформированная водами атлантического происхождения, поступающими сюда с шельфа арх. Шпицберген и собственными водами

фьорда, сформированными в результате процессов осенне-зимней конвекции и ледообразования (ЗВ с температурой ниже  $-1^{\circ}\text{C}$  и соленостью более  $34,3\text{‰}$ ) (рис. 3.2).

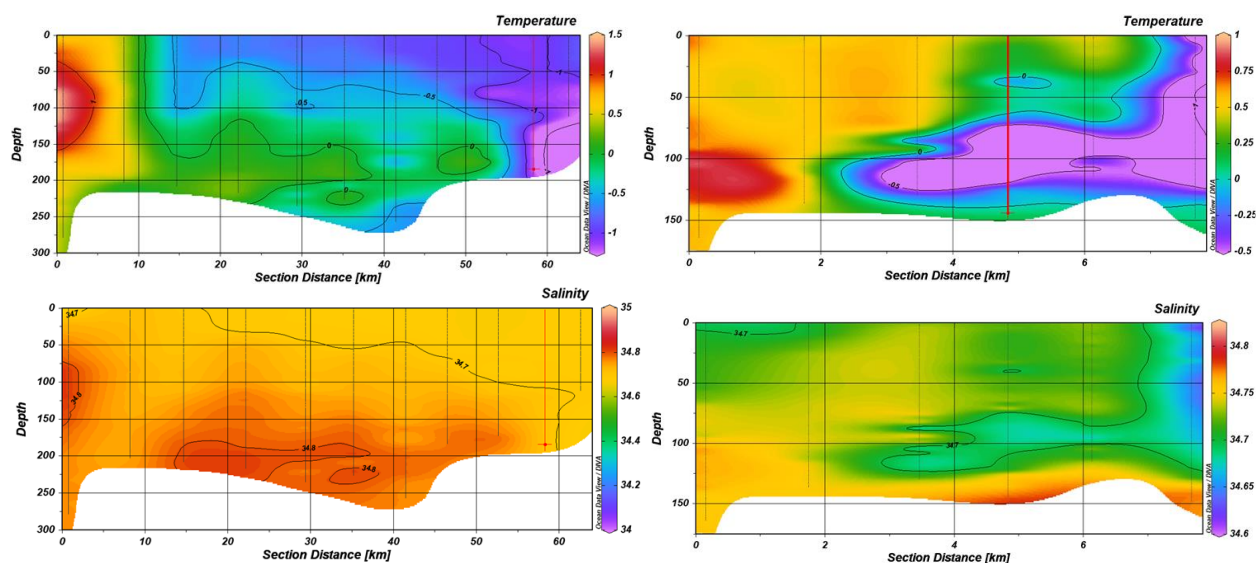


Рисунок 3.2 – Распределение термохалинных характеристик на продольном разрезе, выполненном в апреле 2023 г. в заливах Исфьорд (слева) и Гренфьорд (справа)

При этом в апреле 2023 г. фронтальная зона была смещена на несколько км восточнее и не достигала придонных горизонтов. По наблюдениям весной 2022 г. осенне-зимняя конвекция достигала дна на всех станциях, расположенных к востоку от  $14,2^{\circ}$  в.д. В апреле же 2023 г. проникновение ЗВ до дна наблюдалось только восточнее  $16^{\circ}$  в.д. В центральной части разреза глубина проникновения конвекции достигла глубин 70–100 м, а на глубинах 120–220 м был зарегистрирован слой вод атлантического происхождения с положительной температурой. Такая разница в распределении водных масс весной 2022 и 2023 гг. обусловлена межгодовой изменчивостью атмосферных процессов и связанных с ними метеорологических характеристик (температура, влажность, ветер и т.д.), влияющих на процессы формирования ледяного покрова и осенне-зимней конвекции (Skogseth et al., 2020). На большинстве станций температура поверхностного слоя была ниже  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , соленость изменялась в небольшом диапазоне от  $34,55$  до  $34,8\text{‰}$ . Особенности развития процессов осенне-зимней конвекции, результаты которых наблюдались весной 2023 г., дали возможность спрогнозировать более значительную адвекцию вод атлантического происхождения вглубь акватории Исфьорда в летний период 2022 г. (Skogseth et al., 2020), что в итоге подтвердила съемка, выполненная в августе 2023 г. (рис. 3.3).

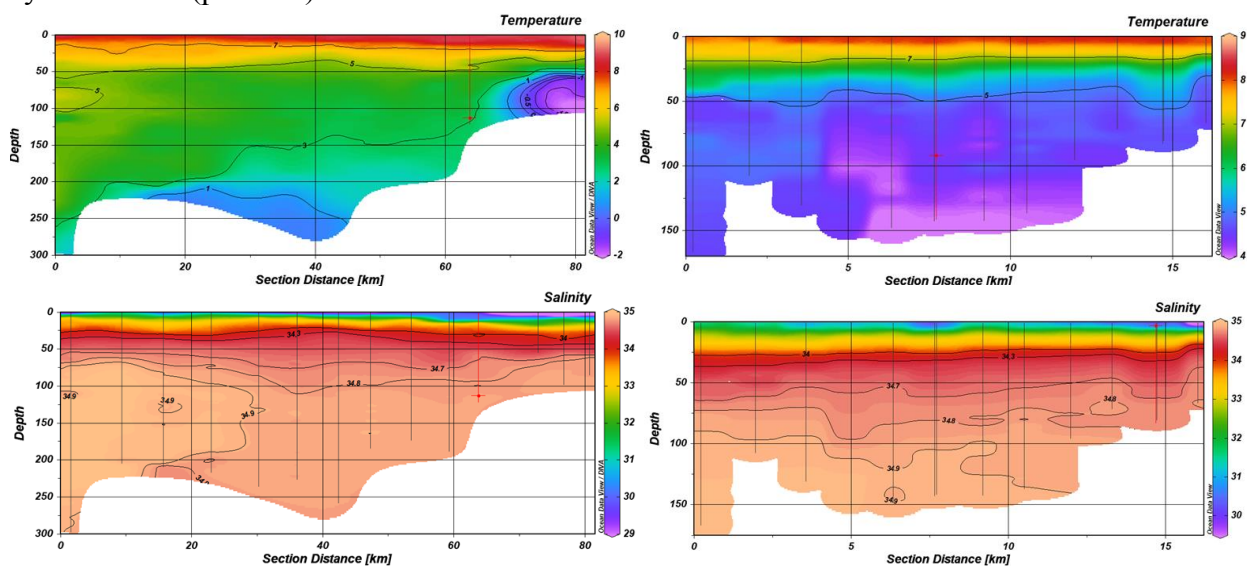


Рисунок 3.3 – Распределение термохалинных характеристик на продольном разрезе, выполненном в августе 2023 г. в заливах Исфьорд и Биллефьорд (слева) и Гренфьорд (справа)

Наличие значительного объема вод атлантического происхождения восточнее 14° в.д. в Исфьорде обусловило их нахождение и в акватории Гренфьорда (рис. 3.2). В горле Гренфьорда и прилегающих к нему районах этот слой был зафиксирован от поверхности дна, при продвижении вглубь фьорда толщина этого слоя постепенно уменьшалась от 100 до 50 м, под ним располагалась ЗВ. К югу от 78,05° с.ш. ЗВ занимала всю толщу вод.

В августе 2023 г. в Исфьорде (рис. 3.3), как и в летний период 2020–2022 гг., было зафиксировано 4 водные массы: ПВ, ПрВ, ТАВ и АВ, но их распределение в акватории фьорда значительно отличалось. В 2020–2022 гг. воды атлантического происхождения наблюдались только на станциях, расположенных недалеко от горла фьорда (к западу от 14,5° в.д.), а летом 2023 г. АВ и ТАВ распространились вглубь Исфьорда, достигнув 16° в.д. Такая ситуация не является аномальной, аналогичное распределение водных масс характеризовало 2011, 2013, 2016 гг. Максимальные значения температуры в слое АВ не превышали 5,5°C, что на 0,5–1 °C выше по сравнению с 2022 г.

Распределение термохалинных характеристик и водных масс в акватории Биллефьорда летом 2023 г. являлось типичным для этого района и времени года: в слое 0 до 50–60 м были распространены ПВ и ПрВ с температурой больше 1 °C и соленостью ниже 34,7‰ (рис. 3.3), под которыми располагались водные массы (ЛВ и ЗВ), формирующиеся здесь в осенне-зимний период.

В Гренфьорде в августе 2023 г., как и осенью 2022 г., наблюдались четыре водные массы: ПВ, ПрВ, ТАВ, АВ. При этом верхняя граница вод атлантического происхождения была зафиксирована на глубине 60–70 м, что на 30–40 м выше относительно предыдущего года и объясняется присутствием более значительного объема этих вод в акватории Исфьорда (рис. 3.3).

#### *Оценка параметров карбонатной системы морской воды в заливах Исфьорд и Грэнфьорд на границе вода-атмосфера*

В ходе летне-осеннего этапа экспедиции в августе 2023 г. проводился отбор образцов морской воды на поверхности и заданных горизонтах в заливах Исфьорд и Грэнфьорд (а также в устьях рек на гидрометрических створах) для дальнейшего химического анализа с целью уточнения гидрохимического режима заливов и оценки параметров карбонатной системы. Анализ проб был проведен в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш в п. Баренцбург: были обработаны пробы на общую щелочность методом Бруевича, определены величины рН, биогенные соединения такие как силикаты, фосфаты и нитриты проанализированы методом спектрофотометрии по стандартным методикам; также определены формы углерода (органический и неорганический) методом каталитического сжигания; хлорофилл *a* и другие пигменты – с использованием метода спектрофлуориметрии; компоненты карбонатной системы (равновесное парциальное давление углекислого газа  $p\text{CO}_2$ , гидрокарбонатный ион  $\text{HCO}_3^-$ , карбонатный ион  $\text{CO}_3^{2-}$ ), 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» от (Lewis, Wallace, Allison, 1998)». Направленность потока углекислого газа в системе «вода – атмосфера» рассчитывалась с использованием кубической параметризации Ваннинкова (Wanninkhof, 2014), в которой использовались данные о парциальном давлении углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) в воде, о скорости ветра и парциальном давлении  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

Общая щелочность морской воды в заливах изменялась в пределах 1500–1970 мкмоль/дм<sup>3</sup> и заметно отличалась своим диапазоном от открытых океанов и морей, где концентрации составляют 2000–2500 мкмоль/дм<sup>3</sup>. Так, в заливе Исфьорд средние значения общей щелочности составляли 1798 мкмоль/дм<sup>3</sup> (рис.3.4), в заливе Грэнфьорд – 1831 мкмоль/дм<sup>3</sup> (рис.3.4). Снижение щелочности, очевидно, объясняется влиянием терригенного стока речных долин и ледникового стока, что обеспечивает динамическое смешение морских и поверхностных вод. По величине рН воды исследуемых заливов относятся к щелочным, средние значения рН составляют 8,1 для обоих заливов. Парциальное давление углекислого газа в воде варьировалось от 200 до 539 ppm (рис 3.4).



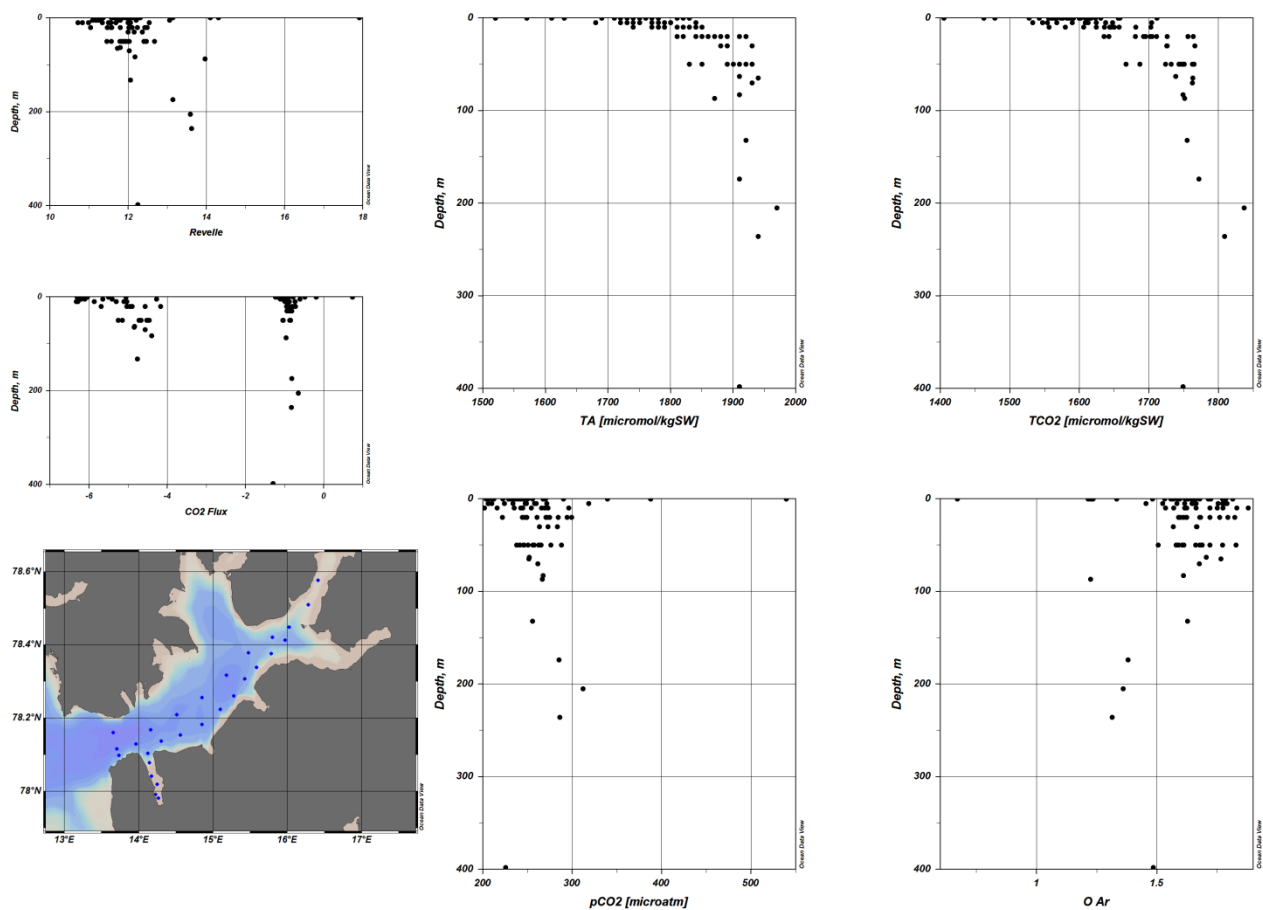


Рисунок 3.4 – Распределение параметров карбонатной системы в заливах Исфьорд и Гренфьорд, где TCO<sub>2</sub> – общий неорганический углерод; pCO<sub>2</sub> – парциальное давление CO<sub>2</sub> в воде; Revelle- фактор Ревеля; pH, CO<sub>2</sub>flux – направление потока CO<sub>2</sub>; Ω Ar – степень насыщенности вод арагонитом

Летом 2023 г. не наблюдалось значительной изменчивости параметров карбонатной системы как в заливе Исфьорд, так и в заливе Гренфьорд. Полученные данные в целом хорошо соотносится с измерениями, проведенными в сентябре 2022 г. (Таблица 3.1). В заливе Гренфьорд продукты диссоциации угольной кислоты в виде гидрокарбонатов (HCO<sup>3-</sup>) и карбонатов CO<sup>3-</sup> в среднем составляют 1533 мкмоль/дм<sup>3</sup> (HCO<sup>3-</sup>) и 106 мкмоль/дм<sup>3</sup> (CO<sup>3-</sup>). В заливе Исфьорд средние значения составляют 1534 мкмоль/дм<sup>3</sup> (HCO<sup>3-</sup>) и 101 мкмоль/дм<sup>3</sup> (CO<sup>3-</sup>). Поверхностный слой морской воды достаточно насыщен арагонитом (при ΩAr>1), такая среда благоприятно способствует образованию карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>), раковин и скелетов. Степень насыщения морских вод арагонитом (ΩAr) составляет от 1,5 (Исфьорд) и 1,6 (Грэнфьорд). Рассчитанные концентрации растворенного CO<sub>2</sub> варьируются от 11,5 мкмоль/дм<sup>3</sup> до 36 мкмоль/дм<sup>3</sup>.

Таблица 3.1. Сопоставление данных о параметрах карбонатной системы 2022 г. и 2023 г.

Год	Слой воды	ALK, мкмоль/л	TCO <sub>2</sub> , мкмоль/л	pH	pCO <sub>2</sub> мкатм	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мкмоль/л	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мкмоль/л	CO <sub>2</sub> , мкмоль/л	фактор Ревеля	ΩCa	ΩAr	CO <sub>2</sub> Flux
2022	0-30 м	1755	1652	7,99	360	1559	75	19	14	1,8	1,1	-1,09
2023	0-30 м	1779	1621	8,12	255	1503	106	12	12	2,5	1,6	-2,63
	30-400 м	1909	1749	8,12	262	1627	107	14	12	2,5	1,6	-2,68

Расчёты показали, что парциальное давление (pCO<sub>2</sub>) в воздухе выше, чем в морской воде и поток CO<sub>2</sub>flux на границе раздела вода-атмосфера в фотическом слое отрицателен со средним значением -2,63 ммоль/м<sup>3</sup>×сут. Таким образом, в 2023 году, как и в 2022 году в заливах Исфьорд и Гренфьорд отмечается поглощение углекислого газа морской водой.

По предварительной оценке, преобладающим фактором, влияющим на распределение содержания биогенных компонентов в водной толще обоих заливов (и в большей степени зал. Грэнфьорд) является их потребление фитопланктоном. В то же время приток и

пространственное распределение речных вод во многом определяет распределение биогенных компонентов в поверхностном слое заливов. Распределение концентрации силикатов по глубине характеризуется подповерхностным минимумом в слое скачка, их содержание также увеличивается в устьевой зоне рек в зал. Грэнфьорд, однако в зал. Исфьорд распределение более сложное, требующее дальнейшего анализа (рис. 3.5). Анализ воды рек, впадающих в зал. Грэнфьорд, показал минимальные содержания нитритов и фосфатов и высокие концентрации силикатов. В придонном слое зал. Грэнфьорд было обнаружено повышение концентрации нитритов, что, очевидно, указывает на процессы разложения органического вещества, поступившего туда за летний период. Анализ данных будет продолжаться в сочетании с данными об объеме речного стока, содержании пигментов и растворенного окрашенного вещества в водах заливов.

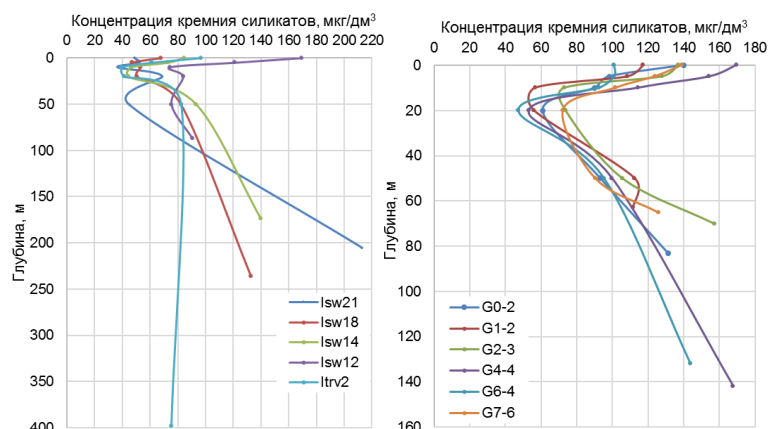


Рисунок 3.5 – Распределение содержания кремния силикатов в водной толще зал. Исфьорд (слева) и зал. Грэнфьорд (справа). Номера станций – см. рис. 3.1

По результатам работы этого года можно сделать предварительное заключение, что морские воды архипелага характеризуются достаточно равномерным распределением параметров карбонатной системы и достаточным насыщением арагонитом ( $\Omega_{Ar}$ ). Насыщение арагонитом является важным показателем для оценки морской экосистемы в условиях ацидификации, так как арагонит выступает в роли строительного материала для большого числа морских организмов: кораллов, моллюсков. В исследуемых заливах поток углекислого газа направлен вниз, т.е. морская вода поглощает  $CO_2$  из атмосферы. С точки зрения изменения pH, при прогнозируемом мировом сценарии закисления океана, морская система характеризуется достаточной буферной емкостью (ее устойчивостью к внешним изменениям), что хорошо определяется по фактору Ревеля (отношением между частичным изменением  $pCO_2$  и изменением содержания растворенного неорганического углерода, которое в исследуемых заливах составляет 12. Принятые нормальные значения для морской воды находятся между 8-20, с увеличением фактора Ревеля буферная емкость океана будет снижаться и быстрее будет изменяться  $pCO_2$  в воде. На данный момент этого не наблюдается. В дальнейшем необходимо продолжать вести наблюдения за биогеохимическим состоянием морской экосистемы, в том числе в различные сезоны, для оценки ее устойчивости и регистрации текущих изменений.

Результаты исследований представлены на конференциях с публикацией тезисов:

Алексеева Н.К., Никулина А.Л., Рыжов И.В., Корнилова Р.В., Смирнов Н.А., Федорова А.А., Новихин А.Е. Характеристики морской карбонатной системы в заливах Западного Шпицбергена по экспедиционным данным 2022 г. // Комплексные исследования Мирового океана (КИМО). Материалы VII Всероссийской научной конференции молодых учёных, г. Санкт-Петербург, 15–19 мая 2023 г. Санкт-Петербург: Своё издательство, 2023. С. 392-393.

Alekseeva N.K., Nikulina A.L., Ryzhov I.V., Novikhin A.E., Kornilova R.V., Smirnov N.A., Fedorova A.A. Marine Carbonate System Parameters of the West Spitsbergen Fjords in Late Summer 2022 // Conference Proceedings Springer Nature. Complex Investigation of the World Ocean (CIWO-2023): Proceedings of the VII International Conference of Young Scientists. SpringerLink (в печати)

#### Литература:

Lewis, E., Wallace, D., Allison, L. J. Program developed for CO<sub>2</sub> system calculations (No. ORNL/CDIAC-105). Brookhaven National Lab., Dept. of Applied Science, Upton, NY (United States); Oak Ridge National Lab., Carbon Dioxide Information Analysis Center, TN (United States). 1998.

Skogseth R., Olivier L.L.A., Nilsen F., Falck E., Fraser N., Tverberg V., Ledang A.B., Vader A., Jonassen M.O., Søreide J., Cottier F., Berge J., Ivanov B.V., Falk-Petersen S. Variability and decadal trends in the Isfjorden (Svalbard) ocean climate and circulation—an indicator for climate change in the European Arctic // *Progress in Oceanography*, 2020. 187, 102394. DOI 10.1016/j.pocean.2020.102394

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

В 2023 г. выполнялись комплексные исследования и наблюдения с целью определения балансовых характеристик и внутреннего строения ледников Западного Шпицбергена. Задачи полевых гляциологических и георадиолокационных работ заключались в: определении расходной составляющей бюджета массы ледников Альдегонда и Западный Гренфьорд и изучении мощности, термического состояния и изучении подледного ложа ледники Бертиль, Фриггкопа, Стэнсиобрин (рис. 4.1).

Полевые исследования проводились в апреле-мае (Борисик А.Л.) и июле-сентябре (Демидов В.Э.).

#### *Расходная составляющая бюджета массы ледника Альдегонда*

Измерения поверхностной абляции на леднике Альдегонда осуществлялись по сети равномерных рек, установленных в сентябре 2022 года. Для определения количества

стаявшего льда было выполнено 5 маршрутов на ледник, начиная с 19 июля и заканчивая 14 сентября. Во время каждого маршрута измерялась величина абляции и, по необходимости, перебуривались рейки. Всего наблюдения велись в 12 точках.

Для измерения общих объемов поверхностной абляции в ArcGis с использованием снимков со спутника Sentinel-2 была рассчитана общая площадь л. Альдегонда и доли площадей его различных высотных уровней (исп. А. Терехов). Высоты рек были пересчитаны исходя из данных GNSS топосъемки 2018 г. На основании данных по усредненной абляции в пределах разновысотных уровней был составлен расчет объемов поверхностной абляции (табл. 4.1).

Итоговый общий объем абляции на леднике Альдегонда в период с сентября 2022 года по сентябрь 2023 года составил 10,29 млн. м<sup>3</sup> в. э. Это несколько меньше, чем за аналогичный период прошлого года, когда суммарная абляция достигала величины в 12,55 млн. м<sup>3</sup> в. э. (рис. 4.2)

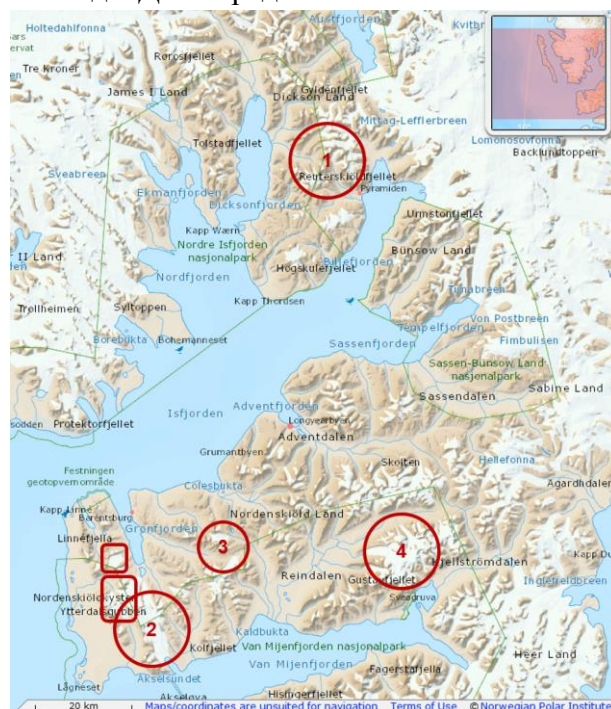


Рисунок 4.1 – Гляциологические наблюдения в 2023 г.: прямоугольники – мониторинг абляции на л.

Альдегонда и Западный Гренфьорд, круги – георадиолокационных исследования на ледниках Бертиль, Фриггкопа, Стэнсиобрин (1), Фригтьоф (2), Тагле (3), Съактбрин и Слакбрин (4)

Зона абляции занимает все высотные уровни, что говорит об активной деградации ледника Альдегонда в настоящее время.

*Расходная составляющая бюджета массы ледника Западный Гренфьорд*

Измерения поверхностной абляции на леднике Западный Гренфьорд осуществлялись по сети уровнемерных реек, установленных в сентябре 2022 года. За сезон наблюдений было выполнено 4 маршрута на ледник, начиная с 24 июля и заканчивая 16 сентября 2023 г.

Для измерения общих объемов поверхностной абляции в ArcGis с использованием снимков со спутника Sentinel-2 была рассчитана общая площадь л. Западный Гренфьорд и доли площадей его различных высотных уровней (исп. А. Терехов). Высоты реек были пересчитаны исходя из данных GNSS топосъемки 2019 г. На основании данных по усредненной абляции в пределах разновысотных уровней был составлен расчет объемов поверхностной абляции (табл. 4.2).

Суммарная абляция с сентября 2022 по сентябрь 2023 года составила 35,66 млн. м<sup>3</sup> в. э., что лишь немного уступает абляции за аналогичный период прошлого года, когда объем составил 37,06 млн. м<sup>3</sup> в. э. (рис. 4.2)

Измеренное автоматической метеостанцией НОВО U30 (установлена на л. Альдегонда на высоте 345 м. абс.) устойчивое летнее повышение температуры в сторону положительных значений в 2023 году началось в верхних частях ледников в первых числах июня (рис. 4.3). Это привело к раннему освобождению ледников от снега и увеличению длительности периода абляции. В итоге суммарно за летний сезон 2023 г. таяние оказалось значительно выше среднемноголетних значений.

*Гляциологические исследования ледников с применением георадиолокации*

Комплексное изучение состояния и динамики оледенения, морфометрических и термических характеристик ледников посредством георадиолокации проводились в апреле-мае 2023 г. (в условиях отрицательных температур воздуха и устойчивого снежного покрова) и включали:

- определение мощности, термического состояния и изучение подледного ложа ледников в районе п. Пирамида (ледники Бертиль, Фриггкопа, Стэнсиобрин);

Таблица 4.1. Расчётные объёмы поверхностной абляции

Высота, м	Средняя абляция, мм в.э.	Площадь, км <sup>2</sup> GNSS 2018	Средняя абляция, мм в.э. GNSS	Объем W 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> в.э. GNSS
100-250	2079	1,695	3,52	1,94
250-300	2023	1,994	4,03	2,83
300-350	1641	0,909	1,49	4,44
350-400	1366	0,574	0,78	1,81
400-450	1526	0,298	0,45	1,03
>450	0	0,109	0,00	0,51
Сумма		5,579		10,29

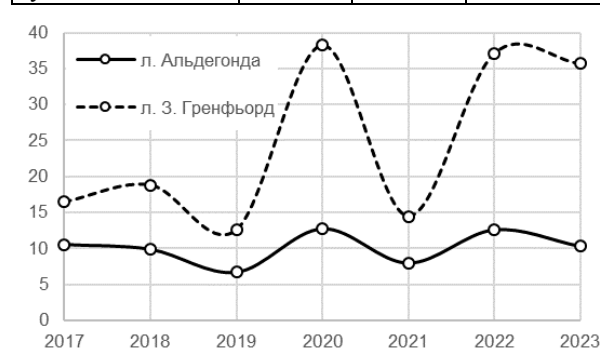


Рисунок 4.2 – Суммарная поверхностная абляция на ледниках Альдегонда и Западный Гренфьорд в 2017-2023 гг., млн. м<sup>3</sup> в. э

Таблица 4.2. Расчётные объёмы поверхностной абляции л. Западный Гренфьорд

Высота, м	Средняя абляция, мм в.э.	Площадь, км <sup>2</sup> GNSS	Объем абляции W 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> в.э.
0-100	4187	0,89	3,71
100-200	3225	1,95	6,30
200-300	2203	4,14	9,12
300-400	1722	5,24	9,02
>400	1786	4,20	7,51
сумма		16,42	35,66

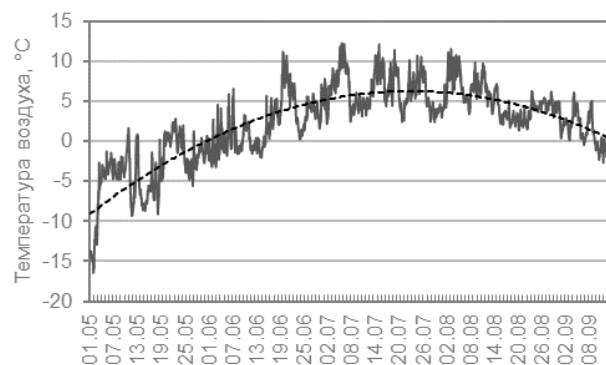


Рисунок 4.3 – Ход температуры воздуха весной-летом 2023 г. на высоте 345 м абс. по данным станции НОВО U30



- определение мощности, термического состояния и изучение подлёдного ложа ледников в районе п. Баренцбург (ледник Фритьоф);
- определение скоростей распространения электромагнитной волны в ледниках с различными гидротермическими характеристиками (ледники Фритьоф и Тавле);
- определение толщины снежно-ледяного покрова оз. Бретьерна (см. Мероприятие 1);
- анализ материалов георадиолокационной съёмки ледников Съактбрин и Слакбрин, выполненной в 2021 г.

При проведении полевых измерений использовался имеющийся комплект георадиолокационной аппаратуры включающий георадар Pulse ЕККО Pro с антеннами 50 и 500 МГц. Для привязки получаемых данных использовался комплект геодезической аппаратуры (ГНСС система) Sokkia GRX2 с внешним модемом SATELLINE-EasyPro. С целью изучения строения снежно-ледяной толщи пресноводных водоёмов были проведены радиолокационные измерения с антенной 500 МГц на озере Бретьерна. Дополнительно, в точках пересечения профилей выполнялось зондирование водной толщи, отбор и описание ледяного керна, а также измерение плотности снежного покрова. На леднике Восточный Грэнфьорд георадиолокационная снегомерная съёмка на частоте 500 МГц по сети профилей совмещалась с традиционной снегомерной съёмкой с помощью шупа в точках пересечения профилей радиозондирования для верификации данных радарной съёмки.

Основные усилия по расширению сети долговременных наблюдений за состоянием ледников были сосредоточены на ледниках Земли Диксона, где удалось выполнить измерения на ледниках Бертиль, Фриггкопа и Стэнсиобрин которые, вместе с результатами работ 2022 года на ледниках Хозльбрин и Хербибрин 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.

Сеть наблюдений на ледниках Бертиль и Фриггкопа представлены на рис. 4.4. Данные находятся на этапе обработки. Поскольку ледник Бертиль детально исследовался в 70-х годах прошлого века в рамках работ ИГ РАН, одним из планируемых результатов является сопоставление и публикация данных о его изменении более чем за 50 лет.

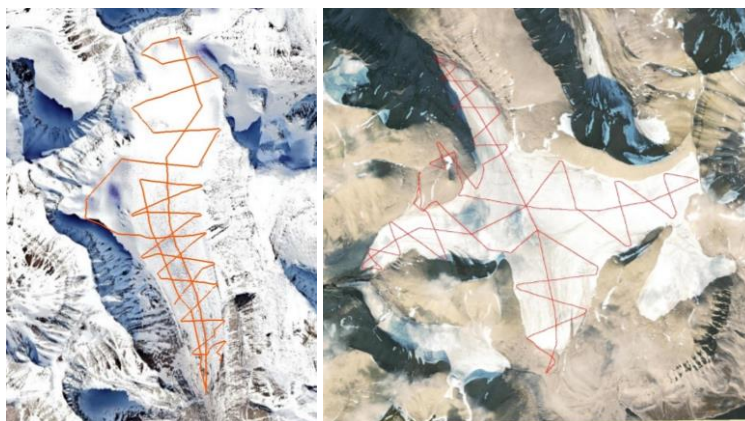


Рисунок 4.4 – Сеть наблюдений на ледниках Бертиль (слева) и Фриггкопа (справа)

В сезон 2023 года продолжены исследования скоростного строения ледников Земли Норденшельда методом ОГТ и дополнены новыми исследованиями на ледниках Тавле и Фритьоф. В результате детальной обработки данных привязанных с использованием ГНСС системы позиционирования, удалось значительно улучшить рассчитанный скоростной спектр и снизить неопределённость получаемых значений скорости электромагнитной волны во льду. Так, на леднике Восточный Грэнфьорд измерения дополнены точкой, расположенной на ледоразделе. Вместе с измерениями 2022 года, это позволяет оценить скорости во льду в трёх основных зонах ледника.

На рис. 4.5 представлены рассчитанные спектры скоростей, дающие представление не только о средней скорости на ложе ледника, но также позволяющие оценить скоростное строение вышележащих слоёв льда. В нижней холодной части ледника (CMP Line 10) эффективная скорость составляет 170,6 см/нс, в средней части (CMP Line 11), имеющей примерно одинаковое соотношение толщины холодного и тёплого льда скорость составляет 163,7 см/нс, в верховьях ледника (CMP Line b1) эффективная скорость составляет 165,7 см/нс. Полученные значения скорости позволяют значительно точнее определить диэлектрическую проницаемость льда и определить термическое состояние ледника.

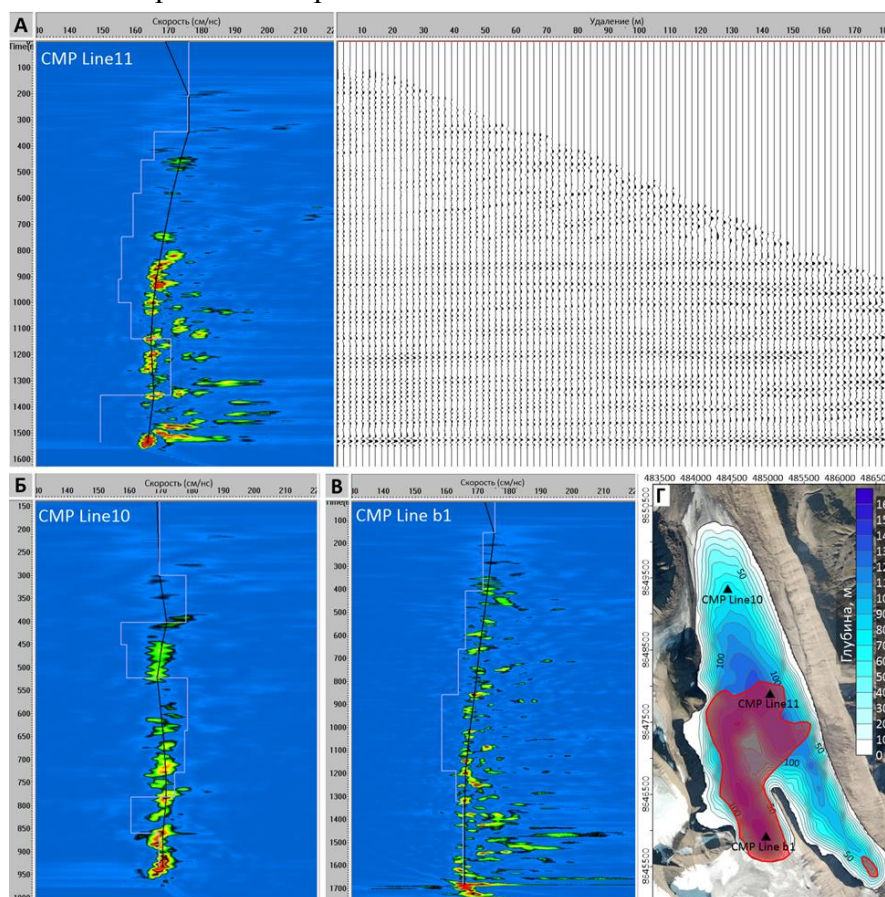


Рисунок 4.5 – Результаты определения скорости распространения электромагнитной волны в леднике Восточный Грэнфьорд методом ОГТ. А – спектр скоростей и радарограмма с введёнными кинематическими поправками в точке CMP Line11; Б – спектр скоростей в точке CMP Line10; В – спектр скоростей в точке CMP Line b1; Г – глубина ледника Восточный Грэнфьорд с нанесённым положением точек ОГТ, красный контур соответствует области распространения тёплого льда

Также, в весенний этап экспедиции, продолжено изучение методом георадиолокации строения снежно-ледяной толщи пресноводных водоёмов. С этой целью были проведены радиолокационные измерения с антенной 500 МГц на озере Бретьерна. Измерения выполнены по густой сети профилей с шагом между линиями 150 м, общий объем измерений составил более 30 пог. км. Дополнительно в точках пересечения профилей, было выполнено зондирование водной толщи, отбор и описание ледяного керна, а также измерение плотности снежного покрова. В настоящий момент данные находятся на этапе обработки. Результаты исследования схожего водоема (оз. Стемме) опубликованы Богородским и др. (2023). Для оз. Стемме показано, что методом георадиолокации возможно выделить не только границы лёд-вода, но и внутренние границы раздела разного типа пресноводного льда. Две съёмки ледяной толщи, выполненные по одинаковой сети наблюдений с разницей более месяца, позволили проследить эволюцию всех основных выделяемых слоёв и построить карты их распределения (см. рис.4.6). Использование высокоточной привязки данных также позволило выявить существенный прогиб поверхности льда в центральной части озера, форма которого соответствовала конфигурации донного рельефа.



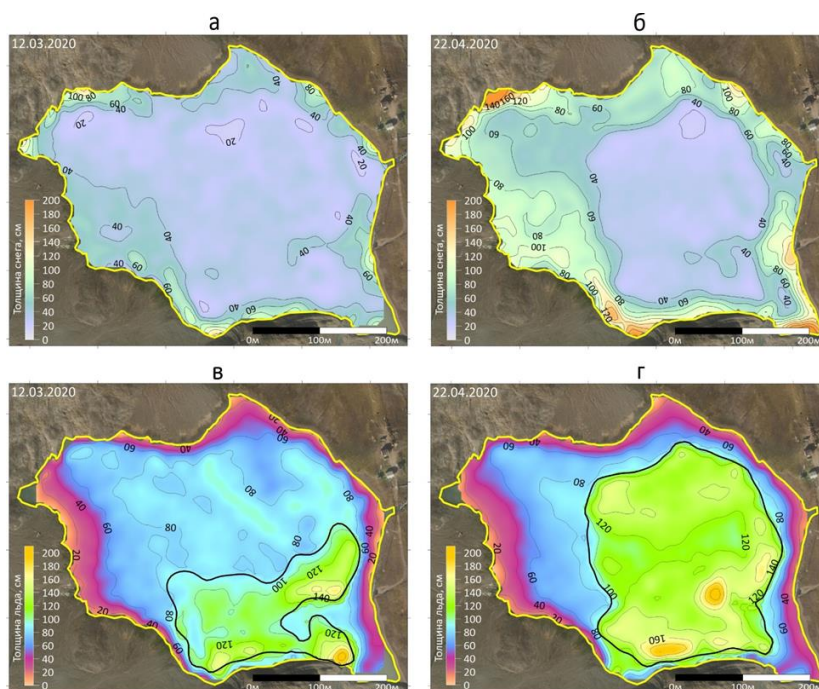


Рисунок 4.6 – Распределение толщины (см) снега (а–б) и льда (в–г) по данным георадиолокационных съёмок 12 марта (а, в) и 22 апреля 2020 г. (б, г) на оз. Стемме. Чёрная линия на рис. (в, г) – граница распространения снежно-водного льда

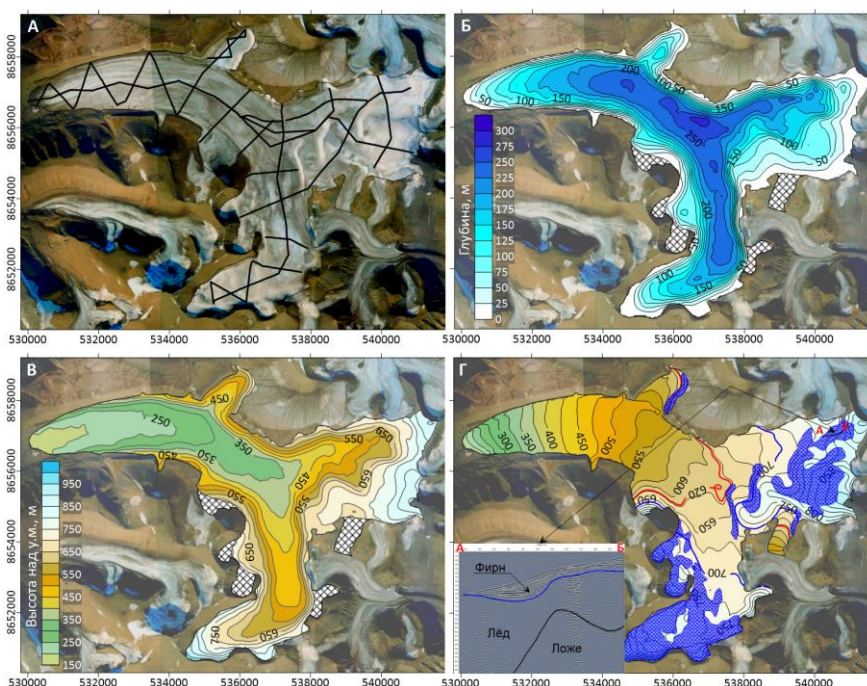


Рисунок 4.7 – Результаты георадиолокационных исследований 2021 года на ледниках Съактбрин и Слакбрин. А- сеть профилей георадиолокации нанесённая на космоснимок (08.2020); Б- глубина льда; В- рельеф ложа; Г- рельеф поверхности ледника (ArcDEM WV02\_20210412) с выделенными фирновыми областями, на врезке пример выделения фирна на георадиолокационном разрезе по линии А-Б

Одним из готовящихся к публикации результатов исследования, полевые работы по которому выполнялись весной 2021 года, являются подробные исследования единой системы ледников Съактбрин и Слакбрин (рис. 4.7), расположенных в юго-восточной части Земли Норденшельда на высотах от 180 до 950 м. Всего было выполнено более 58 пог. км профилей георадарной съёмки. Полученные данные являются первым известным площадным измерением толщины этих ледников методом георадиолокации и позволяют оценить объём ледников, определить их внутреннее строение, а также оценить мощность фирновых зон, выделенных в верховьях изучаемых ледников. Определено, что ледники занимают объём 4,18 км<sup>3</sup>, при площади 34,65 км<sup>2</sup>, максимальная толщина изученных ледников составляет 286 м при

среднем значении 120 м. Это сопоставимо с мощностями, определёнными по результатам работ ИГ РАН 2010 г., на леднике Фритьоф (266 и 106 м соответственно), одном из крупнейших ледников Земли Норденшельда. При этом, в отличие от выводного тёплого ледника Фритьоф, ледники Съактбрин и Слакбрин имеют преимущественно холодное строение с небольшим тёплым ядром в районе области питания.

Дополнительно, на профилях расположенных в верховьях ледников удалось выделить слой фирна, выделяемый на разрезах яркими протяжёнными субгоризонтальными отражениями (см. рис. 4.7 Г, врезка). Вместе с дешифрированием космоснимков, это позволяет оконтурить распространение фирновой тощи и оценить его мощность. Локальные области распространения фирна на затенённых участках ледника отмечены выше изогипс 620-630 м. Начиная с высот 690-700 м, участки распространения фирна отмечены на относительно горизонтальных поверхностях. Максимальная глубина фирновой толщи, отмеченная на георадиолокационных разрезах, составляет 25,5 м при среднем значении 6,5 м. Площадь занимаемых фирном участков ледника составляет 8,3 км<sup>2</sup>, что составляет около 24% от общей площади ледника.

Результаты гляциологических исследований опубликованы:

Богородский П.В., Борисик А.Л., Кустов В.Ю., Марченко А.В., Мовчан В.В., Новиков А.Л., Ромашова К.В., Рыжов И.В., Сидорова О.Р., Фильчук К.В., Хаустов В.А. Лёд и снег озера Стемме (о. Западный Шпицберген) зимой 2019/20 г. // Лёд и Снег. 2023;63(3):441-453. DOI 10.31857/S2076673423020035

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. DOI: 10.1080/15230430.2023.2190057

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. СС. 212–224 DOI: 10.31857/S2076673423020138

Terekhov A., Prokhorova U., Verkulich S., Demidov V., Sidorova O., Anisimov M., Romashova K. Two decades of mass-balance observations on Aldegondabreen, Spitsbergen: Interannual variability and sensitivity to climate change // Annals of Glaciology. 2023 DOI 10.1017/aog.2023.40/

И представлены на конференциях:

Лаврентьев И.И., Судакова М.С., Борисик А.Л. Строение ледников Шпицбергена по данным георадиолокационного зондирования // VI научно-практическая конференция «Георадар-2023», 22 - 24 марта 2023 г., Москва.

Борисик А.Л. Толщина льда и внутреннее строение ледников Слакбрин и Съактбрин по данным георадиолокации (Земля Норденшельда, арх. Шпицберген) // Гляциологический симпозиум «Прошлые, текущие и будущие изменения климата и гляциосферы», 25- 27 октября 2023 г., Москва.

Мероприятие 4 выполнено полностью.

## **Мероприятие 5. Палеогеографические исследования**

Основной целью полевых и аналитических работ 2023 года являлось получение новых палеогеографических данных для выполнения реконструкции хронологии, параметров и механизмов изменений климата и природной среды районов архипелага Шпицберген (Земли Принца Карла, юго-западной части Земли Оскара II и Земли Норденшельда) за последние столетия и тысячелетия. Данные исследования выполнялись в рамках проекта 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.». Полевые исследования выполнялись совместно с отделом геологического картирования ФГБУ «ВНИИОкеангеология», начальник отряда А.Н. Сироткин.

В ходе полевых исследований в июне-сентябре 2023 г. решались следующие задачи:

- изучение и детальное описание геоморфологии и покрова четвертичных отложений (с детальным отбором проб) юго-восточного побережья Земли Принца Карла, тундры Эрдмана и дополнительные исследования в юго-западной части Земли Оскара II (рис.5.1);
- аналитическое исследование проб, отобранных в ходе полевых работ 2019-2023 гг.;
- биоиндикационные исследования (отбор поверхностных проб с геоботаническим описанием в точках отбора) для создания наиболее достоверных палеоботанических реконструкций;
- продолжение аэропалинологического мониторинга в окрестностях п. Баренцбург, начатого в 2018 г.;
- отбор монолита торфяника в долине р. Колес, Земля Норденшельда;
- подробное изучение обнажения на мысе Финнесет в окрестностях поселка Баренцбург.

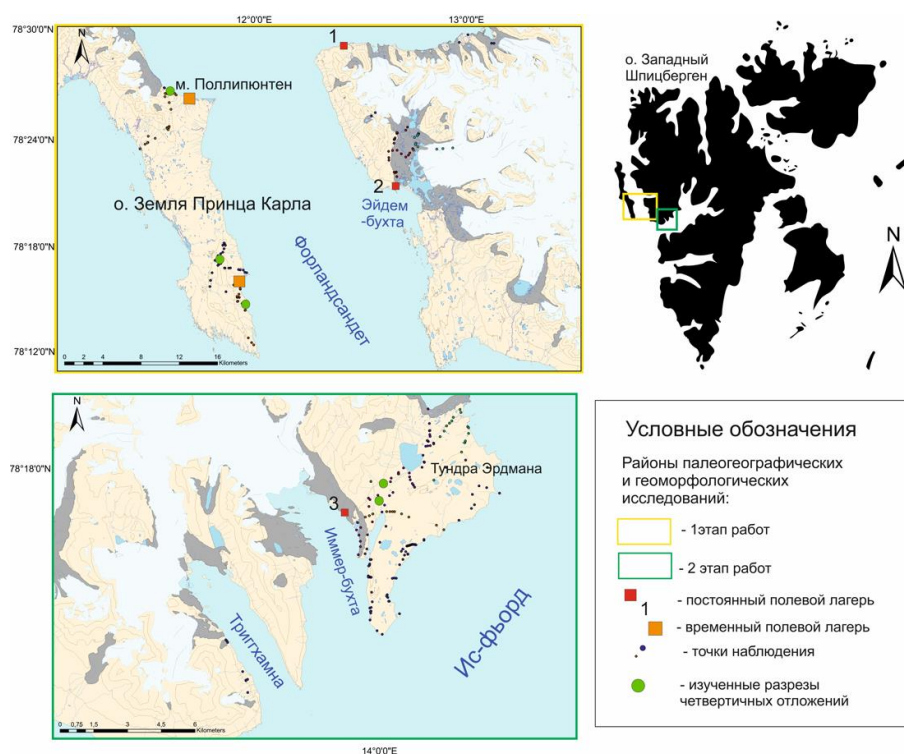


Рисунок 5.1 – Районы полевых работ, точки наблюдения и основные изученные разрезы

### *Полевые палеогеографические и геоморфологические исследования в юго-западной части Земли Оскара II и юго-восточной части Земли Принца Карла*

Исследования были направлены на сбор материала для последующего проведения реконструкций изменения окружающей среды в районах архипелага Шпицберген в плейстоцене - голоцене. Полевые работы включали в себя пешие маршруты с изучением особенностей рельефа и наземных четвертичных отложений.

Во время геоморфологической съемки с фиксацией морфологии и предположительного генезиса основных форм микро- и макрорельефа, особое внимание уделялось изучению морских террасовых уровней, которые хорошо выражены в районах исследования и представлены комплексами аккумулятивно-абразионных и абразионных террас. Так, в тундре Эрдмана выделена серия морских террасовых уровней 3–5 м, 8–10 м 22–25 м, 30–32 м.



Изучение покрова четвертичных отложений включало в себя подробное описание с детальным отбором проб на различные типы анализов. Частота отбора образцов зависела от типа отложений и целей дальнейших аналитических исследований. В ходе работ были описаны разрезы различных генетических типов четвертичных отложений (речные, морские, склоновые, водно-ледниковые, биогенные и др.).

Особое внимание уделялось изучению отложений мыса Пулепинтен на о. Земля Принца Карла. Обнажение представляет собой 800-метровый абразионный уступ, высотой 5-10 м, сложенный морскими песками и глинами эмского межледниковья, перекрытыми вислинскими ледниковыми, водно-ледниковыми и морскими осадками. В результате исследования обнаружены неописанные ранее толщи ледникового генезиса. Для получения наиболее детальных реконструкций палео-обстановок за последние 120 000 лет были отобраны образцы на фораминиферовый и геохимический анализы. Для наиболее точной геохронологической привязки планируется использование уран-ториевого и ОСЛ-датирования.

Всего за период полевых работ было выполнено 23 маршрута, описано 264 точки наблюдения, расчищено и изучено 5 разрезов отложений (рис. 5.1), отобраны пробы на радиоуглеродное (22 шт.), уран-ториевое (7 шт.) и ОСЛ-датирование (6 шт.), малакофаунистический (47 шт.), спорово-пыльцевой (9 шт.), диатомовый (79 шт.) и фораминиферовый (87 шт.) анализы и 11 поверхностных проб в рамках биоиндикационных исследований.

#### *Полевые исследования в северной части Земли Норденшельда*

Полевые палеогеографические исследования в северной части Земли Норденшельда, в том числе в окрестностях поселка Баренцбург, были направлены на уточнение полученных данных об изменении ландшафтов района в раннем и среднем голоцене.

Результаты радиоуглеродного датирования торфяника в верховьях долины Колесдален, полученные в 2018-2019 гг., показали, что формирование толщи торфа происходило в период с 11000 до 3500 кал. лет назад со скоростью осадконакопления 1 м в 7000 лет, что противоречит имеющимся представлениям о механизмах формирования биогенных образований.

Для верификации полученных данных был зачищен и отобран монолит торфа в точке исследования, мощностью 1,45 м. Отложения представлены осоковым торфом в базальной части и гипновым торфом разной степени разложения, залегающих на гравийных пролювиально-делювиальных осадках. В верхней части разреза увеличивается содержание минерального компонента. Торфяник разобран на 45 образцов. Анализ потери при прокаливании, выполненный в лаборатории РАЭ-Ш отображает общее изменение содержания углерода в толще торфа (рис 5.2).

Изучение отложений мыса Финнесет проводилось сотрудниками ФГБУ «ААНИИ» в 2017 г. В ходе исследований была выявлена перспективность данного объекта для получения локальной реконструкции изменения климата и уровня моря в раннем голоцене. Работы 2023 г. включали в себя подробное описание литологии и отбор образцов. Обнажение представляет собой абразионный уступ, где вскрываются морские отложения с перерывом и несогласием перекрытые дельтовыми осадками. Поточковые фации подстилают пляжевые галечники с субгоризонтальным залеганием.

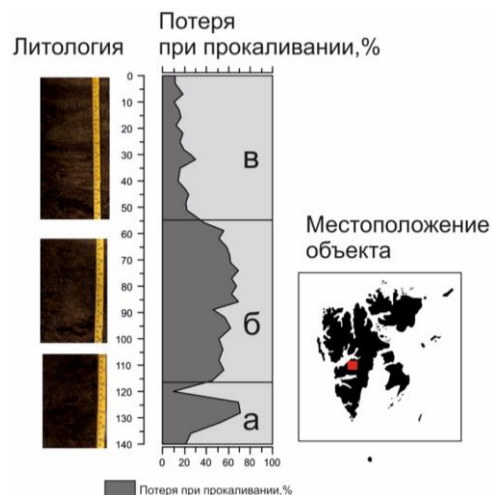


Рисунок 5.2 – Торфяник, отобранный в долине р. Колес, и результаты потери при прокаливании (а – торф осоковый с алевритом, б – гипновый торф, в – торф средней степени разложения с алевритом)

Всего было отобрано 77 образцов на различные типы анализов, в том числе на радиоуглеродное датирование (выполняется в лаборатории СПбГУ). Новые геохронологические данные позволят уточнить время раннеголоценовой регрессии.

### Аналитические исследования образцов четвертичных отложений южной части Земли Оскара II

Для получения новых данных о развитии растительности и изменении климата в прошлом в центральной части о. Западный Шпицберген был выполнен спорово-пыльцевой анализ образцов биогенных и эоловых отложений разрезов равнины Даудманс ИС22-18 (23 пробы) и тундры Богемана 53A22 (8 проб) и 73A22 (8 проб), отобранных в рамках полевых исследований 2020- 2021 года в южной части Земли Оскара II.

Обработка проб выполнялась по стандартной методике сепарационным методом Гричука (Гричук и Заклинская, 1948) с использованием тяжелой жидкости – концентрированного водного раствора метавольфрамата натрия ( $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) с удельным весом  $2,29 \text{ г/см}^3$ . Для удаления пылеватых минеральных частиц проводилась дополнительная обработка ультразвуком (Свупар, 1979). В каждом образце насчитывалось около 300 пылинок. Пыльца и споры были идентифицированы при увеличении  $400\times$  на микроскопе Zeiss Axio Imager A.2 с помощью современной эталонной коллекции пыльцы растений центральной части о. Западный Шпицберген, созданной в 2018 г. Также проводился подсчет дочетвертичных микрофоссилий и непыльцевых палиноморф (*Zygnema* type, fruit bodies, спор грибов). Используемый в качестве тяжелой жидкости раствор после проведения обработки проб подвергался фильтрованию и насыщению в роторном испарителе.

По результатам спорово-пыльцевого анализа построены диаграммы (примеры диаграммы для разрезов 53A22 и 73A22 – рис.5.3). Процентное содержание каждого таксона рассчитано от общей суммы пыльцы наземных растений. В изученных пробах присутствует пыльца как местных растений (*Betula* sect. *Nanae*, *Salix*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ranunculaceae*, *Polemonium* sp., *Rumex* sp. и др.), так и дальнезаносная (*Pinus*, *Alnus fruticosa*). По характерным изменениям в составе спорово-пыльцевых спектров и соотношению основных доминантов на диаграммах выделялись пыльцевые зоны, соответствующие этапам развития растительности и изменения условий седиментации в точках исследования.

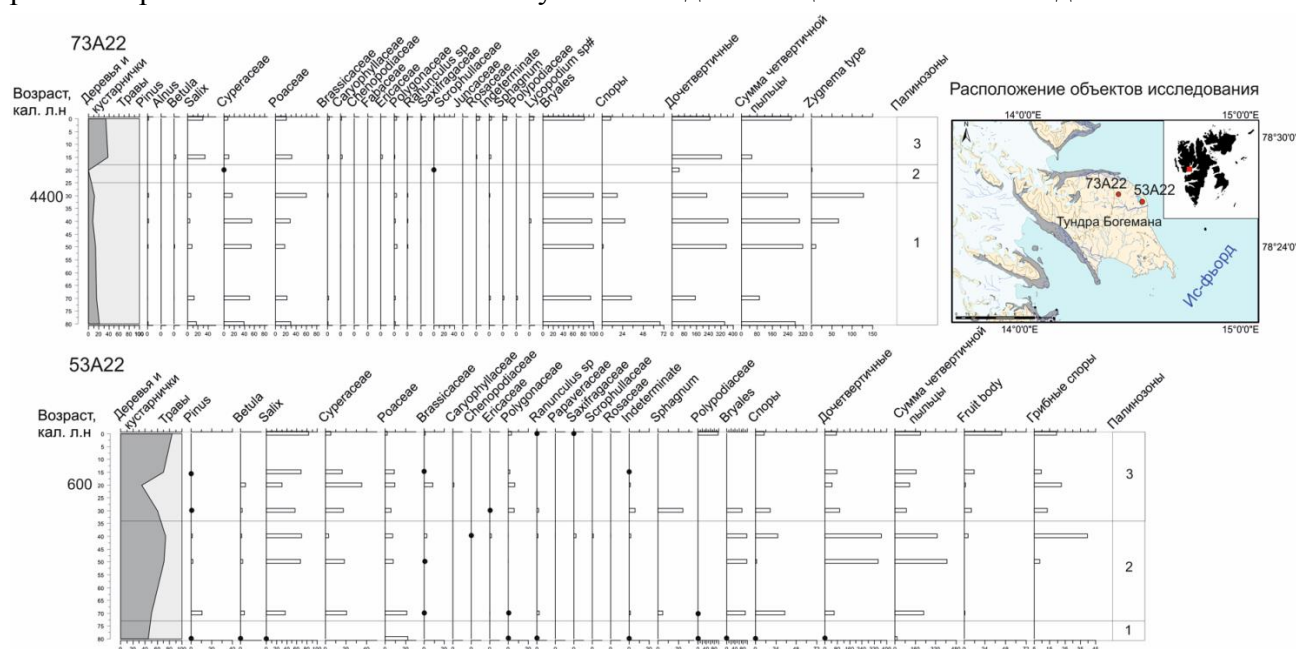


Рисунок 5.3 – Спорово-пыльцевая диаграммы и результаты радиоуглеродного датирования для разрезов 53A22 и 73A22

По результатам спорово-пыльцевого анализа было выявлено, что в восточной части тундры Богемана в среднем голоцене (точка 73A22) доминировали травы (осоковые,

злаковые), для района исследований было характерно общее переувлажнение и заболачивание, о чем также свидетельствует присутствие непыльцевых водных палиноморф (*Zygnema type*) в пробах. Для позднего голоцена (точка 53A22) характерно общее доминирование кустарничковых форм (полярной ивки), что вероятнее всего свидетельствует об уменьшении увлажнения территории.

Для выявления содержания органического вещества, карбонатов и других примесей, и косвенной оценки содержания органического и неорганического углерода в пробах четвертичных отложений был выполнен анализ потери при прокаливании для 45 проб торфа (K23-1, долина реки Колес, рис. 5.2), 21 пробы эоловых и морских отложений равнины Даудманс (разрез ИС22-18, рис. 5.4) и 27 проб голоцен-плейстоценовых осадков мыса Пулепинтен (МП23-1). В ходе обработки в образцах измерялась потеря веса в результате нагрева до 550°C по методике О. Neiri (2001). Для проверки релевантности полученных данных был проведен анализ потери при прокаливании для дубликатов проб (15 шт.). В результате были получены равные значения, что говорит о достоверности полученных данных.

По данным, полученным в ходе анализа потери при прокаливании, были построены графики (рис. 5.2, 5.4) косвенно отражающие процентное содержание и распределения органического и неорганического углерода в изученных толщах.

Дополнительно для проб разреза ИС22-18 и обнажения на мысе Финнесет сотрудником химико-аналитической лаборатории А.Д. Ужеговой был выполнен химический анализ водных вытяжек для определения ионного состава и содержания углерода, азота и гидрокарбонатов. Сопоставление полученных данных с литологическим строением разреза ИС22-18, результатами анализа потери при прокаливании, радиоуглеродного датирования и общим содержанием четвертичных пыльцы и спор приведен на рис. 5.4. На диаграмме четко выделяется смена морского осадконакопления на континентальное по увеличению содержания гидрокарбонатов, неорганического углерода в целом, кальция и сульфатов, – около 7400 кал. л.н. На равнине Даудманс в этот период, вероятно, происходило заболачивание на фоне морской регрессии с сохранением проникновения морских вод в условиях относительно теплого климата (близкого к современному).

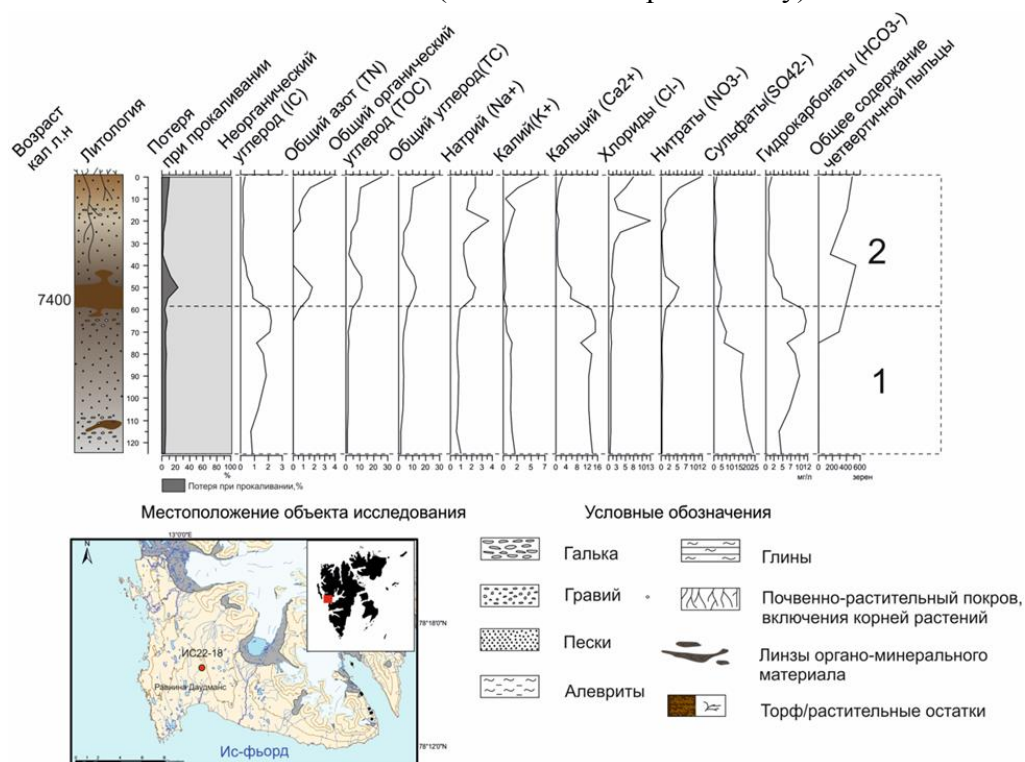


Рисунок 5.4 – Результаты анализа потери при прокаливании и геохимического анализа водных вытяжек проб разреза ИС22-18



### *Аэропалинологический мониторинг*

С целью выявления закономерностей воздушного переноса спор и пыльцы и их распределения на земной поверхности в окрестностях п. Баренцбург на разных гипсометрических уровнях устанавливались пыльцевые ловушки. Ловушки представляют собой стеклянные пластины (10x15 см), покрытые глицерин-желатиновой смесью. В выбранных точках устанавливались сменные пластины (7 дней). Наблюдения проводились в период с 6 июня по 12 сентября 2023 г. в течение всего вегетационного сезона. Подготовка материала для пыльцевых ловушек и обработка полученных материалов (52 пробы) проводились в химико-аналитической лаборатории Баренцбурга. Лабораторная подготовка проб заключалась в смыве пластин, центрифугирование полученной суспензии, обработку 10% раствором гидроксида калия и удаление крупных растительных остатков (листья и др.) с помощью сита.

Данные мониторинга помогли выявить таксономический состав и динамику изменения аэропалинологического спектра в периоды вегетации в 2018-2023 г. Для пыльцевых ловушек, установленных на земной поверхности характерно большее количественное и качественное содержание местных пыльцы и спор в сравнении с пластинами, экспонируемыми на относительной высоте 3 м. В пыльцевых спектрах встречаются континентальные виды – пыльца сосны европейской, сосны сибирской, березы и ольхи. Также фиксируется присутствие редких зерен пыльцы *Betula nana*, вероятно, заносимых с ограниченного ареала распространения вида в центральной части о. Западный Шпицберген.

Также, в рамках палинологических изысканий с целью выявления субрецентных спорово-пыльцевых спектров проводился отбор поверхностных проб (11 проб) в ходе маршрутов палеогеографического отряда, в том числе в районе п. Пирамида и на побережьях Диксонфьорда. Коллекция поверхностных проб для возможно большего количества районов архипелага Шпицберген позволит как определить релевантность получаемых палеоботанических данных, так и выявить дальность воздушного переноса современных пыльцы и спор.

По результатам исследований подготовлен манускрипт, результаты представлены на конференции:

Соловьева Д.А. Строение покрова четвертичных отложений юго-западной части Земли Оскара II по результатам полевых работ // 9-я ежегодная конференция по результатам экспедиционных исследований «Рельеф и четвертичные образования Арктике, Субарктики и Северо-Запада России». 15-16 декабря 2022 г. Санкт-Петербург.

#### Литература

Гричук В.П., Заклинская Е.А. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М., 1948. 223 с.

Swynar L.C., Burden E., McAndrews J.H. An inexpensive sieving methods for concentrating pollen and spores from fine-grained sediments//Canadian journal of Earth Sciences, 1979. Vol. 16. Pp. 1115-1120.

Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. – Journal of paleolimnology, 2001. – Т.25. – 101-110 с.

Мероприятие 5 выполнено полностью.

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

Исследования 2023 г. являются продолжением начатых в 2016 г. работ по комплексному изучению многолетней мерзлоты Шпицбергена и созданию сети долговременных наблюдений за ее динамикой. В рамках полевых работ 2023 г. начаты исследования содержания в мерзлоте Шпицбергена климатически и биологически активных веществ. Собранные материалы позволяют проверить существующее утверждение, что мерзлота является глобальным аккумулятором ртути, связанной с органическим веществом в органоминеральные комплексы. Существенно расширена сеть опробования источников

надмерзлотных, внутримерзлотных и подмерзлотных вод, что позволяет определить основные закономерности формирования сквозных и несквозных таликов и в целом гидрогеологических условий Земли Норденшельда. Выявленные законсервированные глубокие термометрические скважины советского времени позволяют определить тенденцию изменения температуры мерзлых толщ архипелага за последние 70 лет.

В соответствии с научной целью в задачи полевых работ входило:

- исследование подозерных таликов, водо- и газообмена мерзлоты, озер, озерного льда и атмосферы: керновое бурение озерного льда для изучения особенностей газовых включений, отбор воды и источников подземных вод на ионный, изотопный и микробиологический анализ, отбор проб донных грунтов, бурение скважины 21 через подозерный талик с отбором кернов;

- анализа накопления (запаса) ртути в мерзлых грунтах: отбор проб скальных грунтов, кернов из скважин 8а и 2 и химический анализ образцов из них для оценки содержания ртути и органического вещества, определение влажности в кернах из скважины 8а весовым методом;

- поиск законсервированных глубоких скважин советского времени для проведения в них в последующие сезоны термометрических наблюдений;

- мониторинг хода температур в опорных скважинах мерзлотного полигона п. Баренцбург, д. Грендален и района п. Пирамида;

- мониторинг мощности сезонно-талого слоя на площадке CALM Баренцбург и Альхорн;

- мониторинг развития криогенных процессов в окрестностях п. Баренцбург;

- поиск и опробование выходов подземных и поверхностных вод в западной части Земли Норденшельда и центральной части Земли Диксона.

Мерзлотные исследования проводились в зимний для возможности посещения удаленных районов и уменьшения воздействия на природную среду (рис. 6.1) и летний сезоны (рис. 6.2). Работы выполнялись коллективом из трех человек: Демидов Н.Э., Демидов В.Э., Гузева А.В.

Исследование содержания и накопления ртути в многолетнемерзлых грунтах и породах показали, что концентрация ртути в мерзлых четвертичных отложениях изменяется от 21 до

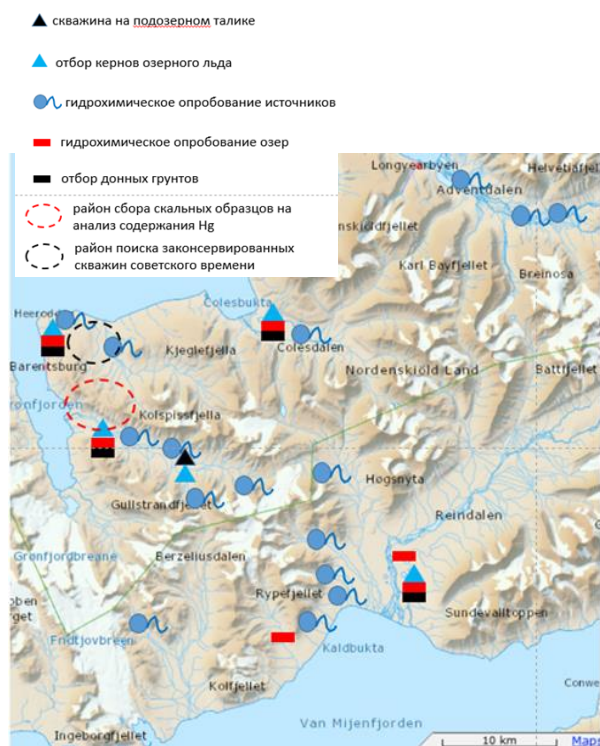


Рисунок 6.1 – Район и объекты мерзлотных исследований зимой 2023 г.



Рисунок 6.2 – Районы мерзлотных исследований и мониторинга летом 2023 г.

94 нг/г при среднем 40 нг/г. Корреляция содержания ртути с концентрацией органического углерода не выявлена. Отсутствуют закономерности аккумуляции ртути в зависимости от фациальной обстановки осадконакопления, геоморфологического положения, времени образования осадка и характера промерзания. Среднее содержание ртути в коренных породах относительно низкое – 8 нг/г, значит, она поступала в мерзлые четвертичные отложения во время осадконакопления преимущественно не из коренных пород при выветривании, а путем образования комплексов с органическим веществом или в результате сорбции на глинистых частицах. В контексте продолжающейся дискуссии о поступлении ртути в экосистемы при таянии мерзлоты полученные результаты могут рассматриваться в качестве доиндустриальных фоновых значений.

Анализ распределения минерализации и ионного состава водотоков показал, что в восточной части Земли Диксона в области распространения морских карбонатных толщ каменноугольного периода преобладающим типом вод являются сульфатно-кальциевые, с минерализацией до 0,5-0,7 г/л. В области распространения терригенных и континентальных отложений девона минерализация увеличивается до 2 г/л и преобладающим типом вод здесь являются сульфатно-натриевые. В области распространения меловых и палеогеновых терригенных осадков Земли Норденшельда зарегистрированы сульфатно-кальциевые и сульфатно-натриевые поверхностные водотоки. Выходы подмерзлотных грунтовых вод, зафиксированных в виде источников гидролакколитов в д. Грендален и Адвентдален и в виде гидрогеогенного источника д. Тродален, маркированы гидрокарбонатно-натриевым составом и минерализацией до 5 г/л. Глубинные рассольные хлоридно-натриевые подземные воды высокой минерализации (до 24 г/л) проявляют себя в виде небольших водопритоков (капежа) в шахте п. Баренцбург на глубинах от 100 до 400 м ниже уровня моря.

Мониторинг криогенных процессов в районе п. Баренцбург не показал появления свежих оползней и селей за летне-осенний период 2023 г. В долине Холлендардален обнаружено термокарстовое проседание в бортах термоцирка с образованием небольшого озера с отсутствием обнажений льда. Поглощение потока в русловых воронках, отмеченное в 2020 и 2021 гг., отсутствовало.

В летне-осенний сезон 2023 были продолжены термометрические наблюдения в скважинах №2 и №12 на мерзлотном полигоне п. Баренцбург. Температура в опорной скважине №12 на глубине затухания сезонных колебаний (14,25 м) 18.09.23 составила -2,56°C. В скважине №2 на площадке САЛМ температура на глубине 5,5 м 18.09.23 составила -2,43°C. Термометрический замер в скважине №15, пробуренной в долине Грендален для мониторинга состояния ледяного ядра бугра пучения Кили, показал 03.09.23 на глубине 14,25 м температуру -3,25°C. Термометрический замер в скважине №13, пробуренной в долине Грендален для мониторинга состояния ледяного ядра бугра пучения Нори, показал 03.09.23 на глубине 14,25 м температуру -3,06°C. В скважине 18 в дельте р. Грён на глубине 3 м среднегодовая температура составила +2°C.

Температура мерзлых пород в скважинах п. Пирамида, где в 2021 г. возобновлен термический мониторинг, показана в таблице 6.1. Возобновление термометрических наблюдений по широкой сети скважин спустя 35-40 лет после завершения бурения 1980-х гг. вместе с аналогичными данными архивных отчетов Полярно-морской геологоразведочной экспедиции предоставляют возможность получить многолетний ряд термометрических наблюдений, уникальный для Шпицбергена по длительности. Такой ряд позволит оценить влияние потепления климата на мерзлоту п. Пирамида за период несколько десятилетий.

Таблица 6.1. Температура мерзлых пород в скважинах п. Пирамида 11 августа 2023 г.

Скважина	Широта, °	Долгота, °	Глубина замера, м	T, °C
Рудник	78,65686	16,32295	9,5	-2,18
131	78,65366	16,33229	14,25	-3,5
Водозабор	78,65102	16,18005	3,4	-0,06
Лондон	78,65471	16,32869	4,25	-2,262
145	78,65595	16,35828	14,25	-2,87
110	78,65411	16,31180	14,25	-3,12

Замеры мощности сезонно-талого слоя (СТС) проведены 15 сентября 2023 г. на площадке CALM Баренцбург и 12 сентября 2023 г. на площадке Альхорн (рис. 6.3).

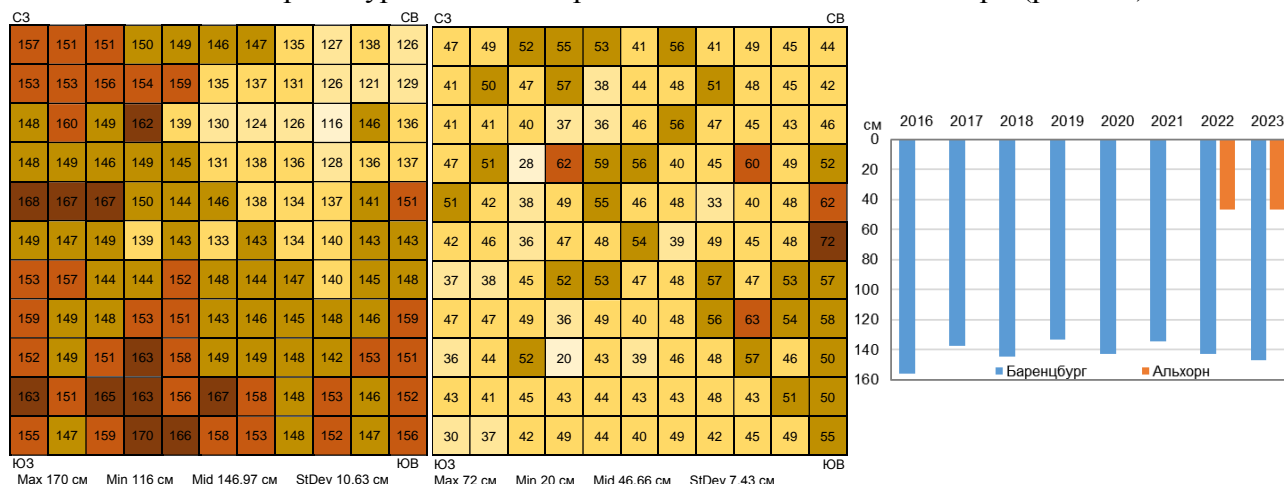


Рисунок 6.3 – Глубина сезонно-талого слоя на площадках CALM в п. Баренцбург 15.09.2023 (слева) и мысе Альхорн 12.09.2023 (центр), средняя мощность сезонно-талого слоя в 2016-2023 гг. (справа)

Измерения, проведенные на площадке CALM Баренцбург в 2023 году, показали максимальные величины с начала ведения наблюдений в 2016 г., что свидетельствует о длительном и теплом лете 2023 г. Результаты измерений на мысе Альхорн показали значительно меньшие мощности СТС в торфяниках (46,66 см в 2023 г. и 46,48 см в 2022 г.) по сравнению с суглинисто-галечными осадками, что связано с теплоизолирующими свойствами торфа.

По теме исследований опубликована работа:

Демидов Н.Э., Гузева А.В., Никулина А.Л., Веттерих С., Ширрмайстер Л. Ртуть в мерзлых четвертичных отложениях арх. Шпицберген // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22, № 2. С. 134–142. DOI: 10.21455/GPB2023.2-6

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). Также над архипелагом находится точка схождения орбит спутников дистанционного зондирования Земли, благодаря чему эти 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 2023 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	2022	2023 г.			Всего
	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	
Количество сеансов приема информации с ИСЗ	7426	7232	7472	7380	29510
Объем переданной информации, Гб	160,6	349	358	354	1222



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 обеспечивали вед. инж. Тетерин А.В. и Сарсенов Н.С.

15 июня и 14 сентября 2023 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. Экологические исследования

Экологические исследования на базе химико-аналитической лаборатории в 2023 г. велись по двум направлениям: мониторинг состояния приземного воздуха автоматической станцией контроля качества атмосферы (СККАВ) и разработка методик анализа и поиск новых загрязняющих веществ на архипелаге Шпицберген.

#### *Мониторинг состояния приземного воздуха автоматическими станциями*

С 2016 г. в п. Баренцбург работали две станции контроля качества атмосферного воздуха, непосредственно в самом поселке («Поселок») и на плато г. Улаф («Гора»). В 2022 г. в связи с выходом из строя большинства приборов станции «Гора», а также сложностью её обслуживания в осенне-зимний период, станция была закрыта. Оборудование станции «Поселок» включает оборудования 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.8.1). 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 8.1. Комплектация станции контроля качества атмосферного воздуха «Поселок», установленной в п. Баренцбург, и количество замеров, произведенных оборудованием за январь-октябрь 2023 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 AC32M + 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)	25631
CO <sub>2</sub> , CO	Анализатор содержания оксида и диоксида углерода CO12 с корреляцией по газовому фильтру CO12M	Environnement S.A. (Франция)	25631 (данные не достоверны)
O <sub>3</sub>	УФ фотометрический анализатор озона O342M	Environnement S.A. (Франция)	25631
Взвешенное вещество <10мкм	Бета-измеритель взвешенных частиц MP101M	Environnement S.A. (Франция)	16952 (до 27.05)
Hg <sup>0</sup>	Воздушный ртутный монитор RA-915 AM	Люмэкс (Россия)	25631 (данные не достоверны с 10.03.23)
Температура, давление, влажность, скорость, направление ветра, осадки	Преобразователь метеоданных WXT520	Vaisala (Финляндия)	25631

Обслуживание станций осуществляет вед. 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 на поставку научного оборудования, газоанализаторы на станции «Поселок» находятся в неудовлетворительном состоянии. Еще в 2022 г. из строя вышел анализатор оксидов азота АС32, весной 2023 г. – анализатор взвешенных частиц, не достоверны данные анализатора углекислого газа.

Снятые со станции «Гора» анализаторы оксидов азота, углекислого и угарного газов, пыли подготовлены для транспортировки и последующего ремонта и поверки, также необходима поверка генератора газовых смесей MGC101P и генератора нулевого воздуха ZAG 7001. Транспортировка оборудования в РФ или ввоз запасных частей для ремонта с октября 2022 г. возможна только с разрешения МИД Норвегии.

В связи с выходом из строя части оборудования и недостоверностью проводимых измерений, анализ данных в 2023 г. представляется проблематичным.

Наиболее стабильно и достоверно функционируют анализаторы озона и серосодержащих газов. В то время как концентрации озона подчинены сезонному колебанию – с уменьшением концентрации ранней весной и ранней осенью (рис. 8.1), что характерно для арктических регионов и сравнимо с годовым ходом в предыдущие годы измерений, колебания содержания диоксида серы практически не подчиняются сезонности. На содержание диоксида серы влияет в большей степени работа ТЭЦ Баренцбурга и недостаточная фильтрация газов и твердых частиц на выходе. Этот эффект может усиливаться в зимний период во время установления инверсий, препятствующих рассеиванию шлейфа загрязнения при более интенсивном сжигании топлива на ТЭЦ.

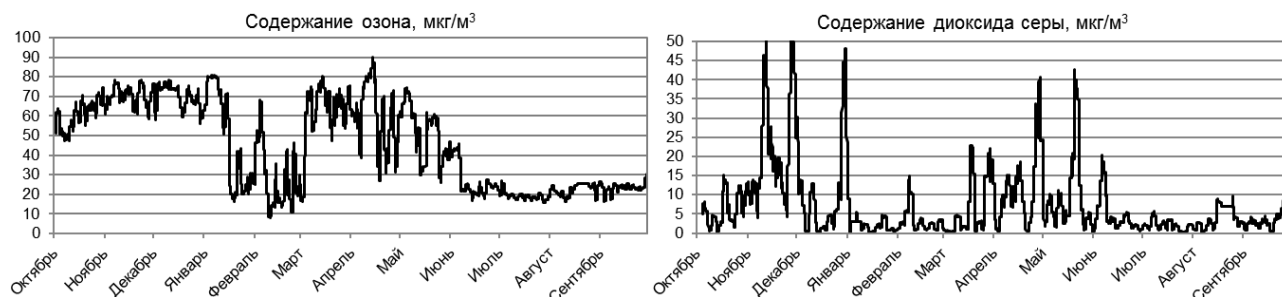


Рисунок 8.1 – Содержание озона (слева) и диоксида серы (справа) в течение года (с сентября 2022 г. по сентябрь 2023 г.) в приземном воздухе п. Баренцбург, сглаживание 1 суток и 3 суток соответственно

В годовом ходе содержания  $SO_2$  (рис. 8.1 справа) при преобладании концентраций 10-20  $мкг/м^3$ , заметны эпизоды значительного увеличения концентрации в ноябре-январе и мае-июне. Если осенне-зимний пик объясняется увеличением выбросов ТЭЦ в связи с интенсивной работой в зимний период и установлением инверсий, то весеннее увеличение концентрации не однозначно. Вероятно, недолговременные повышения содержания диоксида серы объясняются режимом работы и технического обслуживания ТЭЦ. Так, например, в августе 2023 г. при временном отключении ТЭЦ и переходе на дизельные генераторы в течение нескольких дней в воздухе поселка значительно уменьшилось содержание серосодержащих газов, взвешенного вещества и аэрозоля.

Концентрация сероводорода в течение года в целом не превышает 1,5  $мкг/м^3$ , только в отдельные кратковременные интервалы достигая 5  $мкг/м^3$ . При этом содержания сероводорода и диоксида серы не коррелируют, что указывает на другие источники поступления  $H_2S$  в атмосферу, возможно в результате естественных процессов: из сточных вод п. Баренцбург, при жизнедеятельности микроорганизмов на литорали в береговой полосе и разгрузка насыщенных сероводородом подземных вод из-под мерзлотных водоносных горизонтов на литорали и в береговой зоне, которые могут интенсифицироваться в летний период.

Содержание взвешенного вещества в воздухе поселка относительно высоки в течение всего года на уровне около 10 мкг/м<sup>3</sup>. Исключения составляют отдельные эпизодические повышения запыленности атмосферы, которые могут быть связаны с переносом пыли с открытых хранилищ угля или отвалов породы, и особенно заметны в зимний период. Однако корреляционной связи между направлением ветра и запыленностью нет, что предполагает как наличие множественных локальных источников загрязнения, так и глобальный перенос с воздушными массами. Влияние глобального переноса воздушными массами наиболее заметно отражается на концентрациях аэрозоля (см. Мероприятие 1).

Содержание газообразной ртути в приземном воздухе поселка не высока и составляет не более 3 мкг/м<sup>3</sup>. Значительных повышений концентрации или выраженного сезонного хода, присущего районам с мерзлыми грунтами, в 2023 г. не наблюдалось. Анализ качества измеренных концентраций показал, что с марта 2023 г. данные, поступающие с анализатора ртути, недостоверны.

Сбор данных газоанализаторами «Поселок» продолжается. Требуется техническое обслуживание, ремонт и метрологическое обеспечение газоанализаторов. Рекомендуется перенести оборудование станции мониторинга качества атмосферного воздуха за пределы поселка в район геофизического полигона для исключения влияния локальных источников загрязнения.

Метаданные о собираемых параметрах атмосферного загрязнения в поселке Баренцбург, включая анализаторы газов станций мониторинга качества атмосферного воздуха, аэрозольные наблюдения и ежегодные измерения, проводимые в рамках мониторинга загрязнения российских поселков СЗФ «НПО «Тайфун», внесены в публикацию:

Koziol K, Kallenborn R, Xie Zhiyong, Larose C, Spolaor A, Barbaro E, Kępski D, Nikulina A, Zawierucha K, Pearce D, Cockerton L, Nawrot A, Pawlak F, Pakszys P, Cappelletti D (2023) Harmonising Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants and Impurities in the Svalbard Atmosphere. In: Gevers M et al (eds) SESS report 2022, Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System, Longyearbyen, pp. 78-115. DOI: 10.5281/zenodo.7406842

*Разработка методик анализа и поиск новых загрязняющих веществ на архипелаге Шпицберген. Изучение факторов, влияющих на распределение и разложение сложных органических загрязняющих веществ*

В рамках Мероприятия 10 в районе посёлка Баренцбург арх. Шпицберген ежегодно проводится мониторинг содержания ряда приоритетных органических загрязняющих веществ – «традиционных» загрязняющих веществ. В последнее десятилетие внимание экологов и химиков окружающей среды привлекают «новые» загрязняющие вещества (Стокгольмская конвенция, Рамочная директива ЕС по водным ресурсам (2000/60/ЕС)). Они рекомендованы к мониторингу АМАР (Программа арктического мониторинга и оценки) и постепенно начинают включаться в стандартные списки мониторинга загрязняющих веществ. К «новым» веществам относятся устойчивые продукты метаболизма лекарственных препаратов, продукты разложения средств личной гигиены, перфторированные кислоты, силоксаны, замедлители горения, добавляемые в полимерную продукцию и строительные материалы. Их распространение происходит в основном через воздушную и водную среду с глобальным переносом из густонаселённых районов Европы, и от локальных источников – поселений на Шпицбергене. Механизмы накопления таких вещества в средах, биодоступность и биоэффекты изучены сравнительно мало в связи с отсутствием до недавнего времени аналитических средств и методов их обнаружения.

В 2019–2020 гг. в лаборатории РАЭ-Ш в п. Баренцбург были начаты экспериментальные исследования по поиску перфторированных кислот (PFAS) в природных средах арх. Шпицберген с помощью хромато-масс-спектрометрической ВЭЖХ системы LCMS-8040 Shimadzu. Перфторированные кислоты широко используются в промышленных

масштабах в качестве поверхностно-активных веществ, пенообразователей и замасливателей, поступают из глобальных и локальных источников, устойчивы к трансформации в окружающей среде и обладают способностью к биомагнификации в живых организмах. В 2023 г. исследование было направлено на обнаружение 21 перфторированного соединения с длинной цепи C4-C18: 13 перфторированных кислот PFCA (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTeDA, PFTrDA, PFHxDA, PFOcDA) и 8 перфторированных сульфокислот PFSA (PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFDoDS) в образцах почвы, растений и донных отложений п. Пирамида (отобранных в 2019 г.) и включало как методическую работу по валидации методики анализа и пробоподготовки, так и экологический анализ полученных данных.

Проверка методики и дальнейший анализ данных выявили, что основные трудности проведения анализа образцов окружающей среды для определения содержания PFAS сопряжены с многостадийностью процедур пробоподготовки и относительной легкостью загрязнения проб внутри лаборатории соединениями PFAS, которые могут содержаться в расходных материалах или на поверхности лабораторного оборудования. В результате пробоподготовка проводилась без использования твердофазной экстракции, с помощью сорбента (очищенный активированный уголь). Для определения концентрации PFAS в пробах почвы и растений, был оптимизирован и валидирован многокомпонентный метод количественного определения (Powley et al. 2008) с дополнительными модификациями на основе публикаций (Nickerson et al. 2020; Taniyasu et al. 2005).

Исследование концентраций велось в виде целевого скрининга, направленного на анализ образцов из максимально возможного числа мест отбора проб. В общей сложности из 34 точек было отобрано и проанализировано 59 образцов наземной экосистемы в виде почв горизонта А (поверхностный слой 0 м – 0,15 м) и органического слоя многолетних растений, а также незначительное количество донных отложений прибрежной и пресноводной экосистем.

В пяти, из восьми фоновых проб (рис. 8.3), были обнаружены PFAS. Репрезентативные фоновые образцы донных отложений и почв характеризовались незначительным уровнем PFPeA (максимум 0,39 мкг/кг сух. вес.), в то время как для растительной биоты были обнаружены PFPeA (максимум 18,66 мкг/кг сух. вес) и PFHxA (максимум 3,26 мкг/кг сух. вес). Анализ целевых образцов почвы (рис. 8.4) выявил концентрационную вариабельность PFAS ( $\Sigma$ PFAS = 0,12–78,94 мкг/кг сух. вес) и постоянство гомологического ряда, который был на 95% представлен PFPeA.

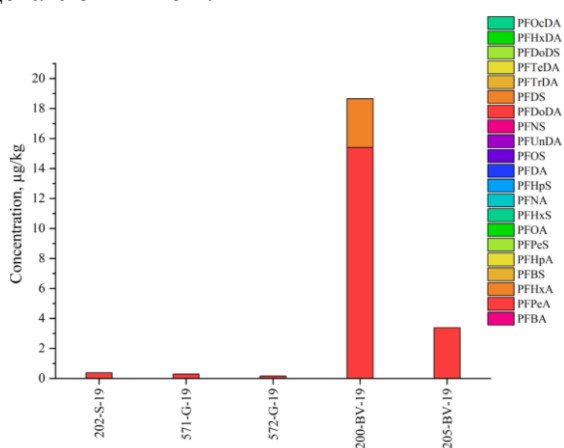


Рисунок 8.3 – Содержание PFAS в фоновых образцах почвы, растений и донных отложений (на сухой вес)

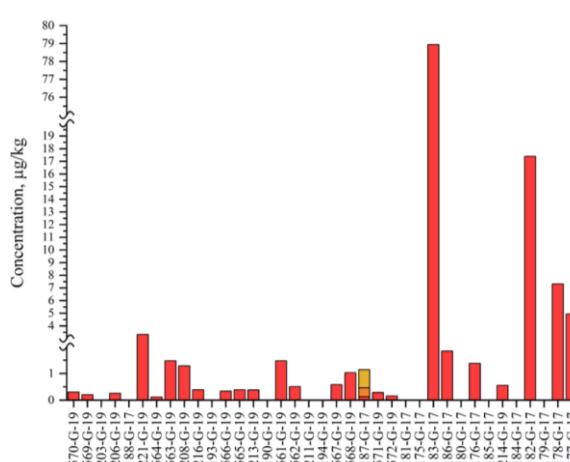


Рисунок 8.4 – Содержание PFAS в образцах почвы (на сухой вес)

В образцах донных отложений наблюдалось гомологическое однообразие, представленное низкими концентрациями PFPeA (0,16–0,52 мкг/кг сух. вес). В общем случае, у 50% образцов донных отложений подтверждено наличие PFAS (рис. 8.5). Отсутствие в

морских донных отложениях PFOS, характерного соединения для FFTS аэропорта Лонгйирбюен, можно объяснить наличием топографического барьера, препятствующего свободному водообмену Биллефьорда и Исфьорда, или разбавлением до уровня ниже предела обнаружения методики.

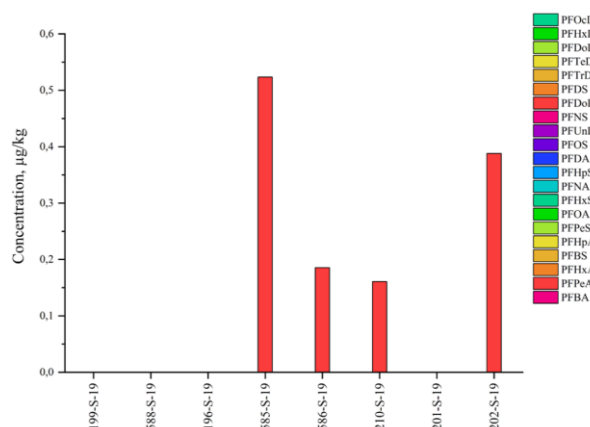


Рисунок 8.5 – Содержание PFAS в целевых образцах донных отложений (на сухой вес)

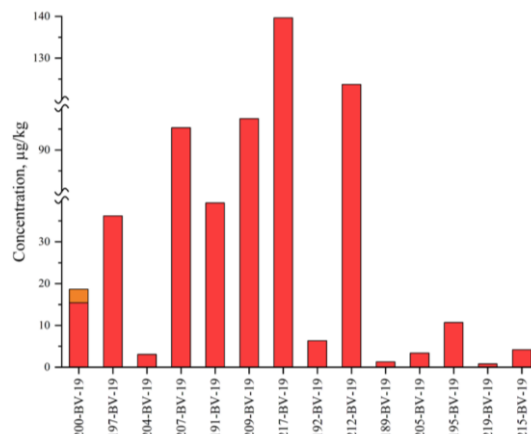


Рисунок 8.6 – Содержание PFAS в целевых образцах растительной биоты (на сухой вес)

На основании того, что PFCA с длиной алифатической цепи  $C < 7$  обладают низким адсорбционным потенциалом и высокими скоростям миграции в почве, развитость почвенного горизонта А недостаточная, а также значительный сток талых вод с близлежащих ледников и при таянии снежного покрова, ожидаемый гомологический состав перфторированных кислот в почвах должен характеризоваться отсутствием короткоцепочечных PFAS и наличием следовых количеств длинноцепочечных PFAS. Однако, наблюдается прямо противоположная ситуация.

В отличие от почв накопление PFAS в донных отложениях закрытых водоемов происходит не только за счет атмосферного переноса, но и вторичных диффузионных источников. Сток талых вод являются важными источниками воды в поверхностные озера и, вероятно, приводит к насыщению донных отложений соединениями PFAS. Доминирующие роли в накопление PFAS в морских донных отложениях прибрежной зоны играют различные типы течений, а также вынос талых вод в дельту р. Мимер.

Наличие в местах пробоотбора, рядом с поселением Пирамида, почв и донных отложений, содержащих PFPeA, а также способность многолетних растений к биоконцентрированию отражается в повышенном содержании PFPeA во всех образцах мхов (рис. 8.6). Общее содержание PFPeA в растительной биоте изменяется в диапазоне 0,80–139,6 мкг/кг.

Наличие в скрининговых образцах соединений PFAS, представленных одним гомологическим соединением PFPeA, а также отсутствие в образцах почвы и донных отложений соединений длинноцепочечных PFCA  $C \geq 7$  (или  $C \geq 6$  для PFSA), свидетельствует о наличии в п. Пирамида локального источника загрязнения. При этом суммарные концентрации перфторированных соединений скрининговых участков показывают превышение в ~5 раза для растительного слоя и ~25 раз для почв, по сравнению с фоновыми уровнями. В п. Пирамида выделяются следующие источники PFAS: склад лесоматериалов, трансформаторная подстанция и место хранения старых рыболовецких судов. Эти объекты характеризуются высоким содержанием PFAS в растительных образцах (до 139,6 мкг/кг сух. вес) и низким содержанием в почве (в среднем <1,5 мкг/кг сух. вес), что говорит о прошедшей ремедиации. Возможно, что все эти три участка являлись локальными источниками PFAS в Пирамиде и оказали прямое воздействие на загрязнение окружающей территории. Концентрационный разброс PFAS (рис. 8.7) для поселения Пирамида, за исключением этих трех районов, находится в пределах 0,3–10,0 мкг/кг, что согласуется с фоновыми данными для почв п. Нью-Олесунн (Skaar et al. 2019).



Природа выявленного загрязнения моносоединением PFCeA шахтерского города Пирамида и прилегающей территории остается неясной. В Российской Федерации до 1998 г. производство PFAS преимущественно было направлено на синтез полифторированных простых эфиров, используемых в качестве присадок для гидравлических жидкостей и жидких диэлектриков в трансформаторных устройствах. Основное число российских патентов, касающихся синтеза PFCA, PFSA, FTS и diPAF приходится на 2005–2015 гг. Поэтому можно предположить, что загрязнение территории шахтерского города Пирамида произошло после окончания его функционирования в 1998 г. источниками, которые не относятся к деятельности угольной шахты.

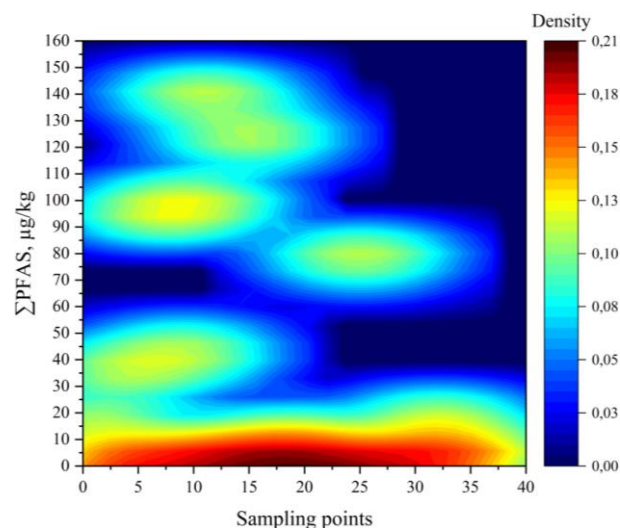


Рисунок 8.7 – Плотность концентрационного разброса PFAS для скрининговых образцов

Сравнение полученных данных для ключевой точки «пожарно-тренировочный полигон» и аэропорта Пирамида с результатами других исследований PFAS в почве Шпицбергена и материковой части Норвегии подтвердило, что обнаруженные концентрации находятся в том же порядке величин, но значительно ниже, чем выявленные для объектов пожарно-тренировочного полигона.

По результатам исследования подготовлены два манускрипта для последующей публикации.

Литература:

Nickerson, A., Maizel, A. C., Kulkarni, P. R., Adamson, D. T., Kornuc, J. J., Higgins, C. P. Enhanced extraction of AFFF-associated PFASs from source zone soils. *Environmental Science and Technology*, 2020. 54(8), 4952-4962. DOI 10.1021/acs.est.0c00792

Powley, C. R., George, S. W., Russell, M. H., Hoke, R. A., Buck, R. C. Polyfluorinated chemicals in a spatially and temporally integrated food web in the Western Arctic. *Chemosphere*, 2008. 70(4), 664-672. DOI 10.1016/j.chemosphere.2007.06.067

Skaar, JS, Ræder, EM, Lyche, JL, Ahrens, L., Kallenborn, R. Elucidation of contamination sources for poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs) on Svalbard (Norwegian Arctic) / *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. 26, 7356-7363. DOI 10.1007/s11356-018-2162-4

Taniyasu, S., Kannan, K., So, M. K., Gulkowska, A., Sinclair, E., Okazawa, T., Yamashita, N. Analysis of fluorotelomer alcohols, fluorotelomer acids, and short-and long-chain perfluorinated acids in water and biota. *Journal of Chromatography A*, 2005. 1093(1-2), 89-97. DOI 10.1016/j.chroma.2005.07.053

Мероприятие 8 выполнено полностью.

## 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 и включают круглосуточные наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды специалистами ФГБУ «Мурманское УГМС» с 01.01.2023 по 31.12.2023.

Основные результаты наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды в 2023 году:

#### 1. Метеорологические наблюдения

В 2023 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 2920 комплексных наблюдений.

*Климатические особенности 2023 года на архипелаге Шпицберген по данным ГМО «Баренцбург»:*

В рамках работы по изучению климата на архипелаге Шпицберген, специалисты ФГБУ «Мурманское УГМС» отмечают увеличение скорости повышения средней температуры воздуха в последние десятилетия как в целом за год, так и отдельно в каждом сезоне года. Для определения климатических сезонов был использован предложенный Б.А. Яковлевым способ, основным критерием которого считается средняя месячная изменчивость средней суточной температуры воздуха. По результатам анализа данных многолетних наблюдений на ГМО «Баренцбург» было определено, что в период с октября по апрель включительно, значения межсуточной изменчивости максимальны и превышают среднее годовое значение, этот период полностью был отнесен к сезону – зима; в мае значение межсуточной изменчивости резко уменьшается – этот месяц был отнесен к сезону – весна; в июне – августе – значения межсуточной изменчивости приблизительно равны и достигают минимальных за год значений, этот период был отнесен к сезону – лето; в сентябре значение межсуточной изменчивости резко возрастает, этот месяц относится к сезону – осень.

По данным метеорологических наблюдений в 2023 году отклонение средней месячной температуры воздуха за девять месяцев составило 1,9 °С (рис. 9.1), что на 1 °С выше, чем за этот же период в 2022 году.

Зима 2022-2023 (период с октября 2022 года по апрель 2023 года) была теплее климатической нормы на 2,9 °С. Положительная аномалия средней месячной температуры воздуха отмечалась во все зимние месяцы, кроме марта. Наибольшее отклонение средней месячной температуры воздуха было зафиксировано в январе и составило плюс 6,3 °С; в марте 2023 года температура воздуха была ниже климатической нормы на 1,5 °С. Весна (май 2023 года) – на 0,3 °С выше климатической нормы.

Лето 2023 года в Баренцбурге стало самым теплым за период наблюдений с 1948 года. Значение средней сезонной температуры воздуха превысило климатическую норму на 1,9 °С. Самыми теплыми по значению средней месячной температуры были июль и август, превысив предыдущие максимальные значения, которые отмечались в 2020 году, на 0,3 °С и 0,7 °С

соответственно. Осень (сентябрь) – на 1,3 °С ниже климатической нормы. За последние двадцать лет более холодным сентябрь был только 2005 г.



Рисунок 9.1 – Ход средней месячной температуры воздуха (°С) в 2023 году в сравнении с климатической нормой

За девять месяцев 2023 года количество выпавших осадков в Баренцбурге составило 91 % от своей годовой нормы (рис. 9.2).

Наименьшее месячное количество осадков в абсолютном и относительном выражении отмечалось в июле (5 мм или 17 % от климатической нормы). Наибольшее количество осадков – в апреле, когда за месяц выпало почти 120 мм осадков или более трех месячных норм.

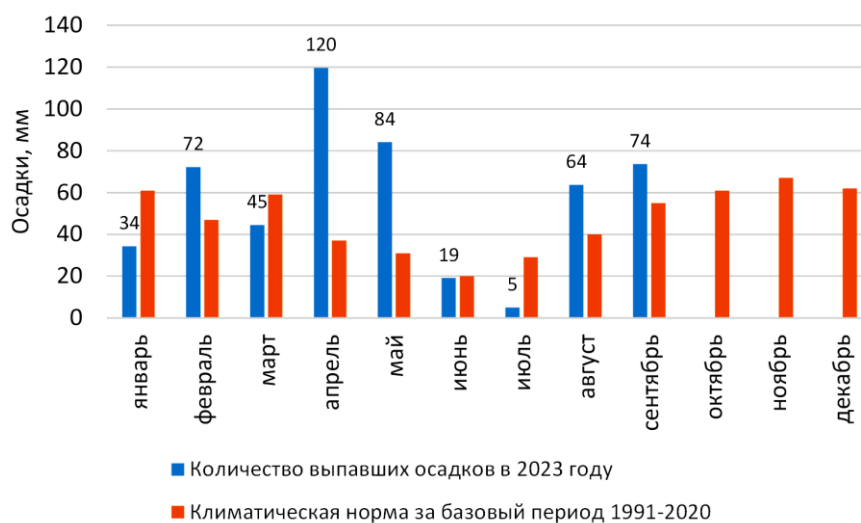


Рисунок 9.2 – Количество выпавших осадков (мм) в 2023 году в сравнении с климатической нормой

За 9 месяцев 2023 года из опасных метеорологических явлений наблюдался очень сильный ветер. В феврале отмечалось три дня с усилением ветра в порывах до 25-30 м/с.

## 2. Морские гидрометеорологические наблюдения и работы

На ГМО «Баренцбург» проводились следующие наблюдения:

- над уровнем моря по футштоку – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- над уровнем моря по мареографу – ежечасно;
- за волнением визуально – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- определение температуры морской воды – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;

– ледовые наблюдения в заливах Грэнфьорд 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 ареометрированием – 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 1095 комплексных наблюдений.

### *3. Радиационный мониторинг*

В п. Баренцбург с 1 января 2023 года были временно прекращены измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД, мкЗв/ч) в связи с отсутствием возможности провезти средства измерения (дозиметры) через границу Королевства Норвегии. Программа наблюдений на 2023 год согласована с ФГБУ «НПО «Тайфун».

После получения ГСО «Баренцбург» новых дозиметров с 08 октября 2023 года радиометрические наблюдения (МАЭД) возобновились. Измерения МАЭД проводились на расстоянии 1 метр от поверхности ежедневно.

Данные передавались в МТ АСКРО – Мурманскую территориальную автоматизированную систему контроля радиационной обстановки. По данным наблюдений ГМО «Баренцбург» радиационный фон (мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения) изменялась в пределах колебаний природного фона от 0,10 до 0,12 мкЗв/ч.

### *4. Гелиогеофизические наблюдения*

Актинометрические наблюдения производились ежедневно по пиранометру Пеленг СФ-06 с электронным измерительным блоком. Было проведено 365 наблюдений.

Измерения общего содержания озона в атмосфере выполнялись в светлое время суток при малооблачной погоде озонметром М-124. Количество телеграмм с результатами измерений 365.

Производство измерений часовой амплитуды изменения горизонтальной компоненты геомагнитного поля – 8760 часов.

Измерение трехчасового К-индекса возмущенности геомагнитного поля – 2920 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 – 8760 часов.

Определение периодов аномального поглощения радиоволн – 365 сроков.

Зарегистрировано 109 магнитных бурь (по состоянию на 16.10.2023).

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 высока.

Геофизические данные Баренцбурга входят составной частью в диагностические и прогностические материалы МЦ МГФО.

Геомагнитная и риометрическая информация оперативно передаётся в отдел геофизики ФГБУ «ААНИИ», Мурманский Центр мониторинга геофизической обстановки, Гелиогеофизический Центр Росгидромета.

### *5. Прочее*

Материалы наблюдений ГМО «Баренцбург» обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Объем полученной информации за 2023 год составил 0,1 Гб.

Осуществлялась оперативная передача метеорологических данных ГМО «Баренцбург» в прогностические организации Росгидромета.

ГМО «Баренцбург» включена в публикацию ВМО № 9 Том С1 для международного обмена.

Продолжалось 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» использовалась 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 необходимо продолжать в 2024 году проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

Мероприятие 9 выполнено полностью.



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

### 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 2023 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, в том числе на акватории и побережье залива Грэнфьорд и обследование состояния загрязнения окружающей природной среды в районе п. Пирамида. Исследования проводятся 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.

Цели работы 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.

К основным задачам относятся:

Организация и проведение отбора проб компонентов природной среды в районе п. Баренцбург и п. Пирамида с прилегающими акваториями залива Грэнфьорд и бухты Петунья, соответственно;

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

#### *Полевые исследования*

Полевые работы 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 Грэн, долина которой расположена южнее п. Баренцбург, почвенных вод, почв, растительного покрова (рис. 10.1, 10.2). На всех точках опробования выполнялись сопутствующие метеорологические наблюдения, включавшие измерение следующих метеопараметров: скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры воздуха, видимости, количества и формы облачности, наличия и количества осадков. 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. 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» в составе сезонной экспедиции «Шпицберген» АНИИ: Голяков А.М. – начальник полевого отряда; Яески Е.А. – ведущий инженер; Ким И.С. – ведущий инженер.

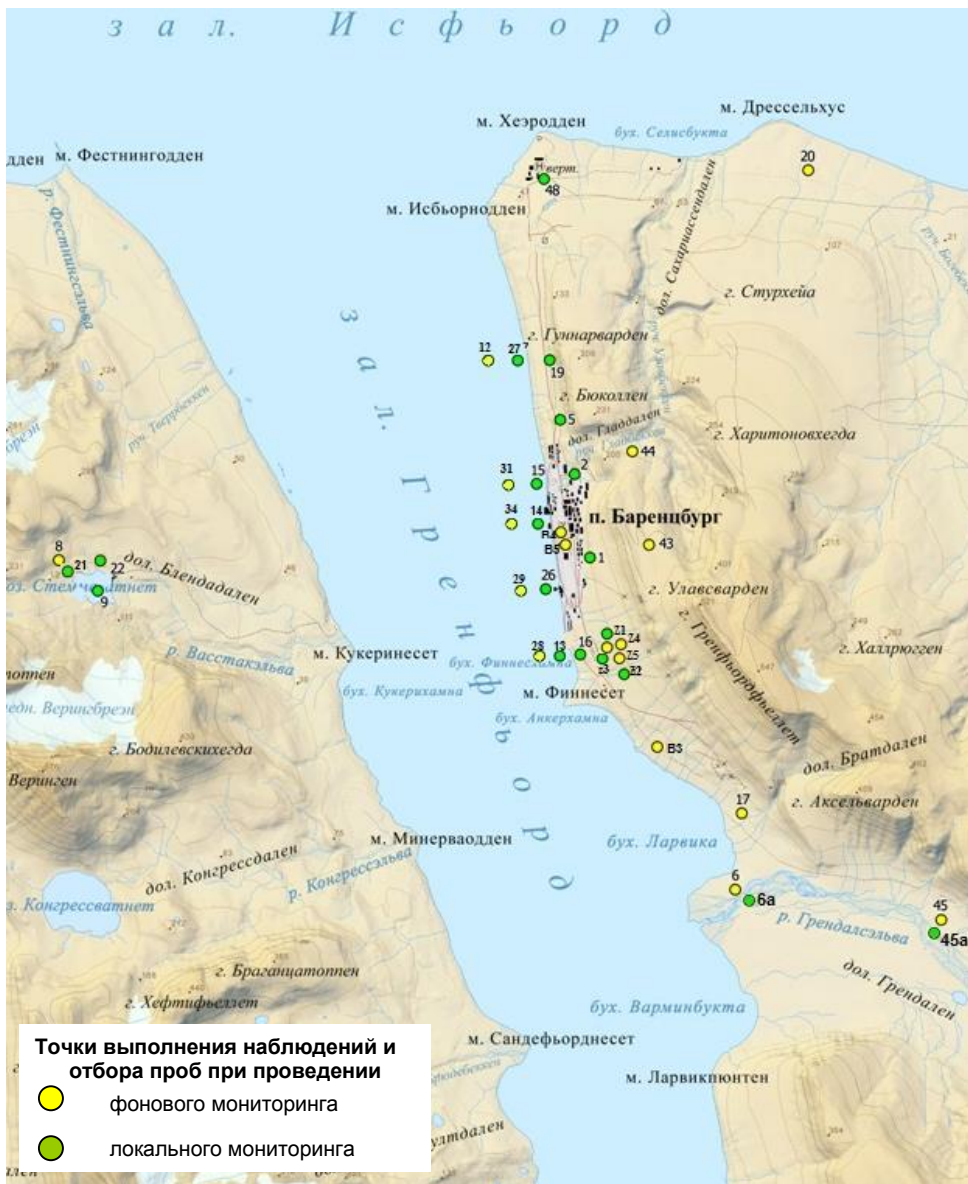


Рисунок 10.1 – Схема точек выполнения наблюдений и отбора проб в районе п. Баренцбург

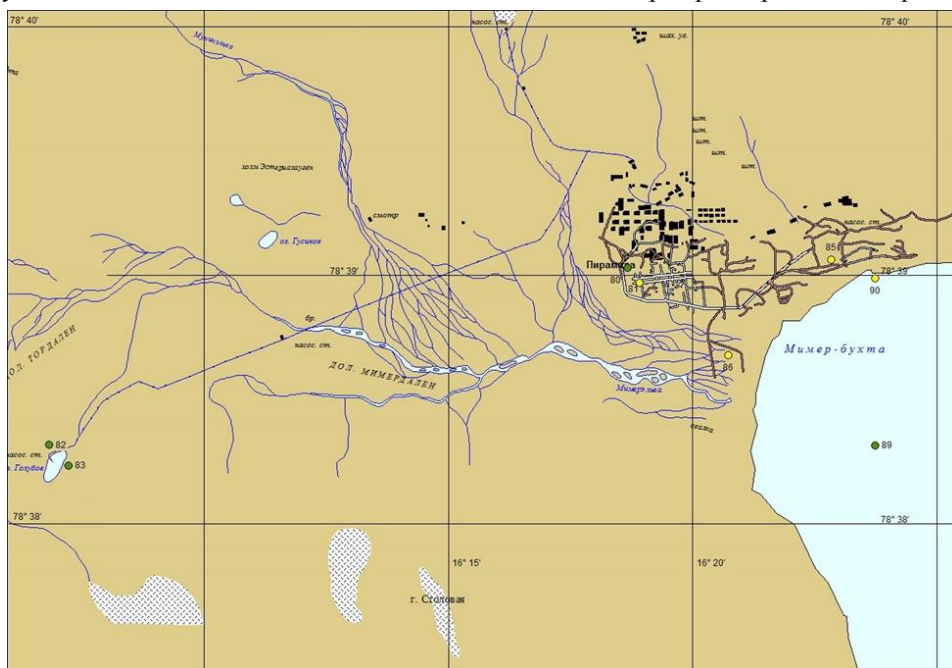


Рисунок 10.2 – Схема точек выполнения наблюдений и отбора проб в районе п. Пирамида

*Зимне-весенний этап экспедиционных работ выполнялся в период с 07 марта по 24 апреля 2023 г.* Исследования проведены на 20 наземных и 3 водных точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург и его окрестностях, в районе оз. Стемме, в районе р. Грэн, в районе мыса Дрессельхус, на восточном склоне г. Стурхеда, северо-восточном склоне г. Гренфьордфьеллет, в районе вертолетной площадки, в п. Пирамида и его окрестностях, а также дополнительно на 1 точке в п. Колсбей. На точках геоэкологического опробования произведен отбор проб (образцов) для определения содержания в них загрязняющих веществ:

- 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 экспедиционных работ выполнялся в период с 28 июля по 28 августа 2023 г.* Летние полевые работы проведены на 20 наземных и 17 водных точках геоэкологического опробования в районах п. Баренцбург, п. Пирамида, оз. Стемме, заливе Гренфьорд и Биллефьорд, где был произведен отбор проб (образцов) для определения содержания в них загрязняющих веществ:

- 40 проб почвы;
- 26 проб воды (озерной – 4, речной – 2, морской – 20);
- 8 проб донных отложений (озерных – 3, речных – 2, морских – 3);
- 38 проб наземной растительности (мха – 18, сосудистых растений – 20);
- 78 фильтров для определения содержания водных взвесей (в морской воде – 60, в озерной воде – 12, в речной воде – 6);
- 12 проб атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА.

*Аналитическая работа в химико-аналитической лаборатории РАЭ-III в п. Баренцбург:*

Подготовка проб и анализ 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 LC20D.

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 (Льюэкс) 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 (Льюэкс). 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-20D 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 выполнялось методом каталитического окисления с последующим ИК-детектированием с помощью анализатора общего углерода Shimadzu TOC- Lcsh с приставкой TNM-L (TN, TC, IC, NPOC).

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

Определение щелочность, проводимости, солености и минерализации проводилось с помощью pH-метра S220, кондуктометра S230 и автоматического титратора T70 Mettler Toledo.

Пробы почв, донных отложений и наземной растительности подвергались лиофильной сушке с последующим измельчением (ручным или механическим). Определение гранулометрического состава проводилось ситовым методом, основанном на расчете 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 арх. Шпицберген пробах:*

*Атмосферный воздух и атмосферный аэрозоль:*

- 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.

*Морские воды:*

- определение растворенного кислорода; биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>); химического потребления кислорода (ХПК); водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и щелочности.
- содержание 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 (монохлор-, дихлор-, трихлор-, пентахлор-), нитрофенолов (мононитро-, динитро-);
- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);
- биогенных элементов (кремнекислоты, нитритов, нитратов, аммония, общего азота, фосфатов, общего фосфора);
- концентрация взвеси.

*Водные взвеси:* содержание ТМ; ХОС, включая ПХБ; ПАУ.

*Вода водоемов суши:* определения растворенного кислорода; БПК<sub>5</sub>; ХПК; рН; Еh и щелочности; содержания ТМ; ХОС, включая ПХБ; ПАУ; НУ; НАУ; 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 (ЛАО): бензола, толуола, орто-, пара- и мета-ксилола; индивидуальных фенолов; СПАВ; биогенных компонентов; концентрации взвеси.

*Снежный покров:* рН; фильтрация пробы талой воды снежного покрова через мембранный фильтр 0,45 мкм для определения содержания твердых частиц; определение компонентов минерального состава; ТМ; ХОС, включая ПХБ; ПАУ; НУ; биогенных компонентов; индивидуальных фенолов.

*Донные отложения водоемов суши:* содержание ТМ и мышьяка; ХОС, включая ПХБ; ПАУ; НУ; ЛАО; индивидуальных фенолов; СПАВ; гранулометрический состав.

*Почвенные воды:* определение ТМ и мышьяка; ХОС, включая ПХБ; ПАУ; НУ; ЛАО; СПАВ; индивидуальных фенолов; сероводорода; сульфидов; БПК<sub>5</sub>; ХПК; рН; Eh и щелочности; биогенных компонентов.

*Почвы:* содержание ТМ и мышьяка; ХОС, включая ПХБ; ПАУ; НУ; ЛАО.

*Наземная растительность:* содержание ТМ и мышьяка; ХОС, включая ПХБ; ПАУ. Перед проведением химико-аналитических исследований выполняется описание видового состава образцов наземной растительности.

Таким образом в результате выполнения зимне-весенних и летних полевых работ по мониторингу загрязнения окружающей среды, проведенных в рамках реализации Программы Росгидромета по организации и развитию работ и научных исследований на архипелаге Шпицберген в 2023 году, были выполнены:

- отбор проб объектов окружающей природной среды, гидрометеорологические и гидрохимические исследования на точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург, п. Пирамида, на акваториях и побережье заливов Гренфьорд и Биллефьорд;
- химический анализ отобранных проб в лаборатории РАЭ-Ш в п. Баренцбург;
- подготовка и доставка проб в базовую лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Гайфун» (г. Санкт-Петербург) для химико-аналитических и других лабораторных исследований.

Всего за время проведения исследований проведено наблюдений: в зимне-весенний этап на 21 наземной и 17 водных станциях; в летний этап на 20 наземных и 17 водных станциях геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург, п. Пирамида, включая побережье залива Грэнфьорд, залива Биллефьорд, и район оз. Стемме.

По окончании лабораторных исследований, полученные данные будут обобщены и представлены в аналитическом обзоре о состоянии природной среды в районе деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

В 2023 год опубликованы следующие материалы:

Александрова А.Г., Демешкин А.С., Александрова Н.В. Региональная изменчивость содержания нефтяных углеводородов в заливе Грен-фьорд (Гренландское море, о-в Западный Шпицберген) // ГеоРиск. 2022. Т. 16. № 2. С. 62-71. DOI 10.25296/1997-8669-2022-16-2-62-71

Aleksandrova Alina, Natalia Chekmeneva, Nika Aleksandrova, Andrei Demeshkin. Review on hydrocarbon monitoring in Grönfjord (the Greenland Sea, Svalbard) // Water 2023, Vol. 15.

Фрумин Г. Т., Демешкин А. С. Вероятностная оценка трофического статуса озера Биенда-Стемме (Западный Шпицберген) // Российская Арктика. 2023. Т. 5. № 4. С. 05-11. DOI 10.24412/2658-4255-2023-4-05-11

Демешкин А. С. Мониторинг состояния загрязнения залива Гренфьорд архипелага Шпицберген // Моря России: от теории к практике океанологических исследований: тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 25–29 сентября 2023 г. – Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2023. – 370 с.

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**

Основная цель исследований состоит в оценке среднемасштабной геологической изученности архипелага Шпицберген, сборе материалов и подготовке к созданию комплекта актуализированных карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген.

Геологические задачи на полевой сезон 2023 года:

- составление предварительных карт геологического содержания масштаба 1:100 000 на ключевые опорные участки в пределах северного побережья Исфьорда;
- пополнение созданной ранее эталонной коллекции горных пород разновозрастных структурно-формационных и магматических комплексов Шпицбергена.

Полевая группа в составе 5 человек работала на Шпицбергене с 26 июня по 8 сентября 2023 года на объектах:

- южный берег Сент-Джонс-фьорда, включая равнину Сварт и участки близлежащих ледников
- район Эйдем-бухты;
- район Имер-бухты;
- южная часть Земли Принца Карла (рис. 11.1 и 11.2).

Доставка полевых групп к месту работ осуществлялась морским транспортом (катер «Баренцбург», ГТ «Арктикуголь»). В полевых работах принимал участие один сотрудник ФГБУ «ААНИИ». Полевыми исследованиями руководил А.Н. Сироткин [rechenga-67@yandex.ru](mailto:rechenga-67@yandex.ru).

Полевые исследования велись в виде наземных и лодочных маршрутов и включали: геологические ревизионно-уязвочные маршруты, шлиховые маршруты, специализированные геолого-геоморфологические исследования, комплекс опробования (геохимическое, минералогическое, шлиховое, палеонтологическое, геохронологическое) и пополнение предварительной эталонной коллекции образцов горных пород Шпицбергена.



Рисунок 11.1 – Район полевых работ 2023 года полевой партии ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

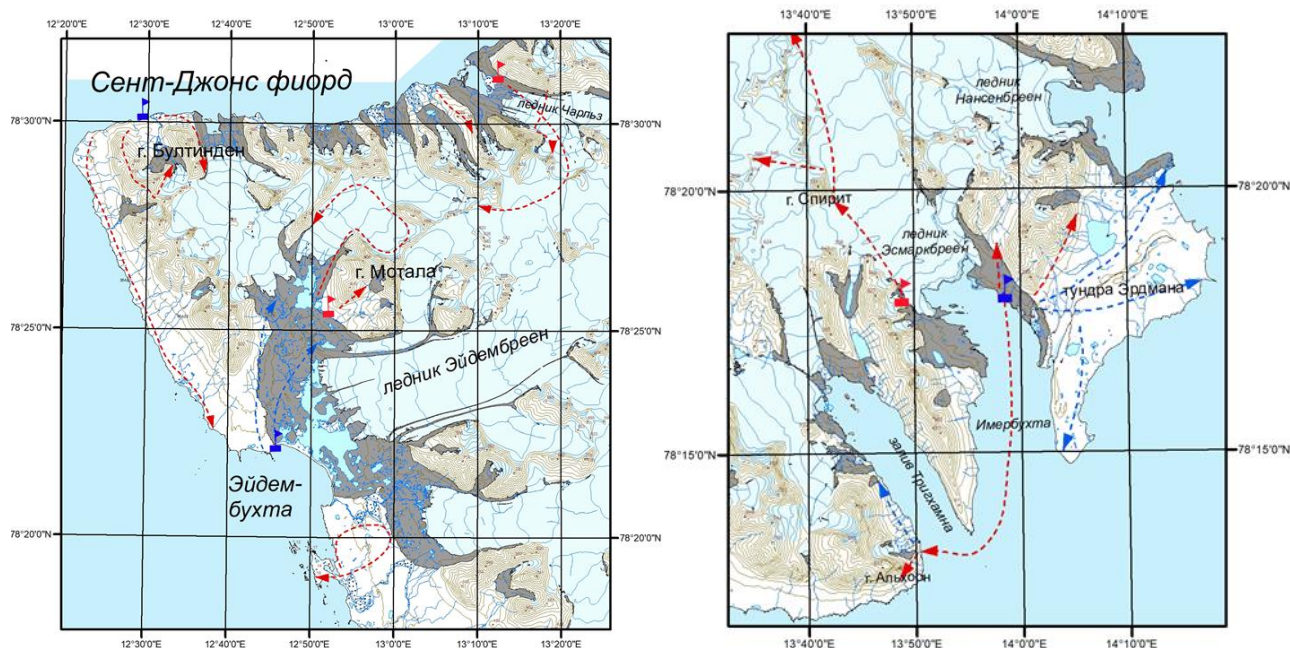


Рисунок 11.2 – Участки полевых работ: Сент-Джонс-фьорд и Эйдем-бухта (слева) и Имер-бухта (справа). Стрелками показаны основные направления маршрутов: геологических (красные) и геолого-геоморфологических (синие). Флажками указаны места постановки полевых лагерей: основных (синие) и выкидных (красные)

#### Основные полученные результаты.

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

- геологическая карта с пунктами проявлений полезных ископаемых (рис. 11.3);
- геоморфологическая карта;
- карта четвертичных отложений.

2. Собран материал для уточнения особенностей геологического строения архипелага Шпицберген, в том числе:

- реконструкции условий формирования, времени и степени метаморфизма, тектонической позиции метаморфических серий Вестготабреен и Сент-Джонс-фьорден (южная часть Земли Оскара II);

- получения петрологических характеристик и определения абсолютного возраста вулканитов (метабазальты, метаандезиты и метатUFFы) среднерифейских свит Тролльхеймен и Лёвлибрин, а также силлов позднепротерозойских метабазитов (южная часть З. Оскара II);

- генетических типов четвертичных осадков и их возраста;

- минерагенической характеристики изученного района архипелага.

3. Исследованы характер, особенности и возраст рельефообразующих процессов в пределах изученных районов.

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

Кроме полевых исследований сотрудниками ВНИИОкеангеология прочитаны три тематические лекции по геологии Шпицбергена для жителей Баренцбурга.

В 2023 году по теме работ опубликована одна статья в реферируемом издании.

Мероприятие 11 выполнено полностью.



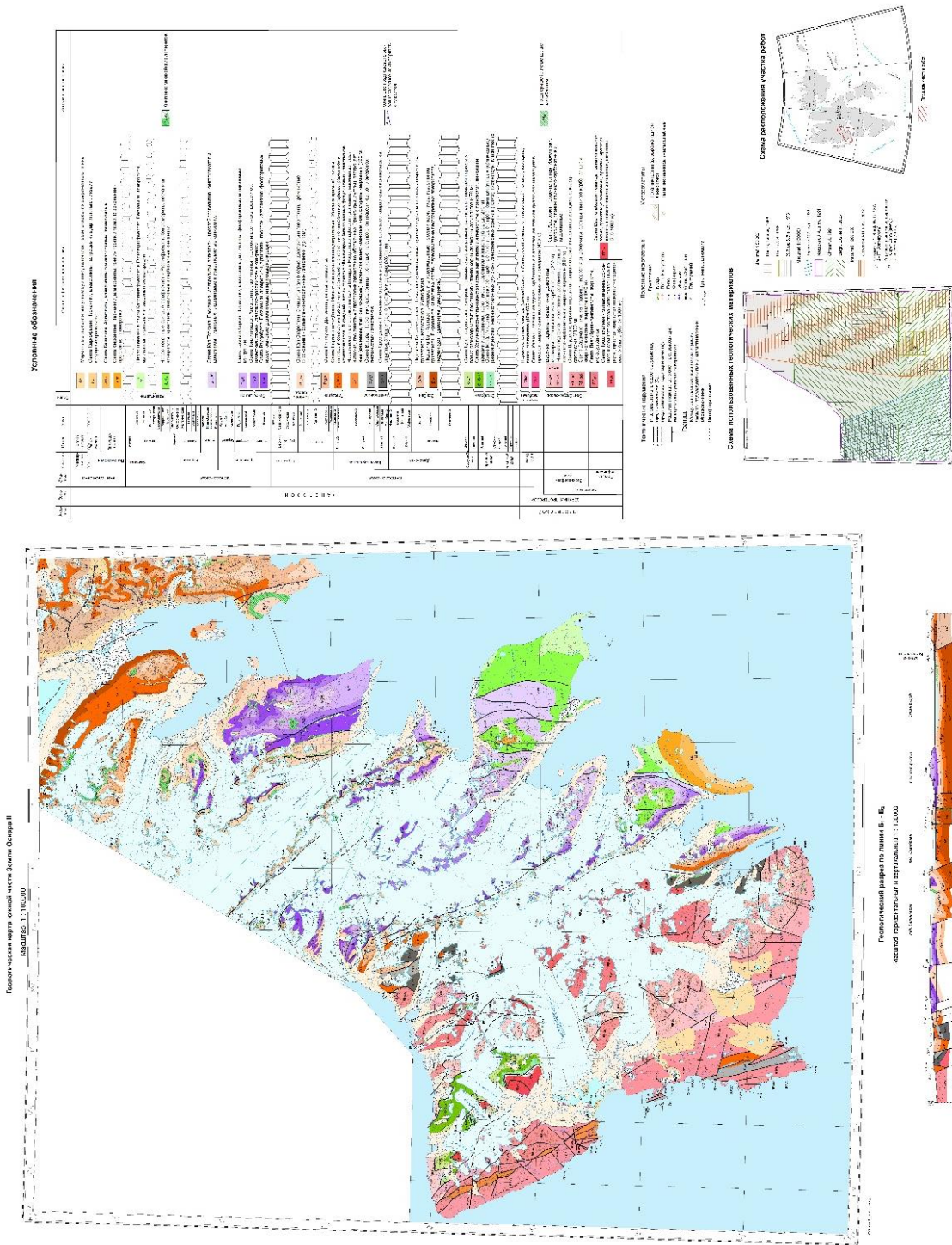


Рисунок 1.1.3 – Предварительная геологическая карта южной части Земли Оскар II, масштаб 1:100 000

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

Экспедиционные работы, проведенные в 2023 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 21 марта 2023 г. № 049-00018-23-02 на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов в рамках федерального проекта «Геология: возрождение легенды». Работы проводились по Разрешению на проведение морских научных исследований № МН-23-08/3и от 12.05.2023 г.

Целями исследования являются 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 2023 г. исследования проводились в районе с координатами углов: 80°00'00" с.ш.; 39°00'00" в.д., 80°00'00" с.ш.; 36°00'00" в.д., 76°00'00" с.ш.; 39°00'00" в.д., 76°00'00" с.ш.; 36°00'00" в.д. Общая площадь района работ 10 887 км<sup>2</sup>. Полевые работы выполнялись с борта научно-исследовательского судна «Иван Петров» (ФГБУ «Северное УГМС») (рис. 12.1). в период 06.06.2023 – 27.06.2023 и велись непрерывно: днем проводился геологический пробоотбор с помощью дночерпателя и трубки, в ночные часы – сейсмоакустическое профилирование.



Рисунок 12.1 – НИС «Иван Петров»

### Сейсмоакустическое профилирование

Проводилось с 13.06.2023 по 22.06.2023г. при глубине моря 200-300 м и в зависимости от погодных условий, скорости течения и характеристик волнения, в отсутствие припая. Работы выполнялись по системе региональных профилей при скорости судна 3,5 – 4,5 узла. Схема расположения геофизического оборудования на НИС «Иван Петров» представлена на рисунке 12.2, там же приведена информация об офсетах оборудования.

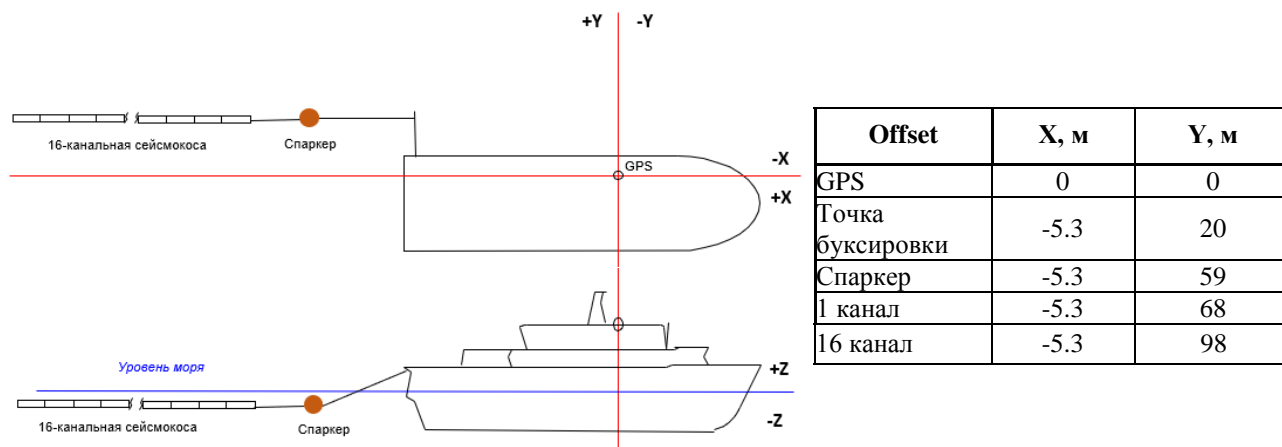


Рисунок 12.2 – Схема расположения и офсеты геофизического оборудования на НИС «Иван Петров»



Для изучения верхней части геологического разреза на глубину до 200 метров была использована методика непрерывного сейсмоакустического профилирования. Для регистрации сигнала использовалась 16-ти канальная сейсмокофа SplitMultiSeis Streamer 16ch и многоканальная система сбора сейсмоакустических данных SplitMultiSeis Station 16ch. Для синхронизации источника и приёмника использовался SplitMultiSeis SynchroBox 5.0. Для сбора данных, контроля качества и обработки данных непрерывного сейсмоакустического профилирования осуществлялась с помощью программного обеспечения ООО «Сплит».

Для возбуждения сигнала использовался электроискровой источник SplitMultiSeis Sparker 50, включающий в себя 1 рабочую секцию на 50 активных электродов, буксируемую на плавучем плотике. Работу электроискрового источника поддерживает накопитель энергии SplitMultiSeis Source 2500. Рабочая энергия в ходе опытных работ составила 2500 Дж/выстрел. Возбуждение производилось раз в 2 секунды, таким образом, шаг пунктов возбуждения (ПВ) составлял 3-4 м. Заглубление косы и источника выбиралось оптимальным для согласования зондирующего импульса и составляло 120 см.

Оборудование буксировалось с правого борта судна с поворотного выноса длиной 3 метра для уменьшения влияния кильватерной струи. В носовой части сейсмокофы располагалась упругая секция для уменьшения рывковых помех буксировки и удаления приемной расстановки от кормы судна. К хвостовой части сейсмокофы был закреплен плавучий парашют, задачей которого являлась стабилизация сейсмокофы во время буксировки и задание необходимого натяжения приемной линии.

Центральная частота сигнала изменялась в диапазоне от 250 до 350 Гц. Шаг дискретизации составлял 0,125 мс, что достаточно для оцифровки материала на используемых частотах. Длина записи составляла 1000 мс., что заведомо превышало время прихода наиболее глубоких отражений. Данные регистрировались в формате SEG-D. За время полевых работ было выполнено 625 пог. км сейсмоакустического профилирования (рис. 12.3).

#### *Донный пробоотбор*

Донный пробоотбор выполнялся ковшом VanVin объемом 30 литров (рис. 12.4). Особенности конструкции ковша позволяют получать ненарушенный блок донных отложений с глубиной охвата разреза до 30 см. На борту судна из поверхностных и подповерхностных осадков отбирались пробы на: гранулометрический, минералогический, геохимический, спорово-пыльцевой, микрофаунистический, экологический анализы. Кроме того, отобраны и заморожены пробы на содержание органического вещества, раковины морских моллюсков для датирования отложений, и пробы для анализа газов, содержащихся в осадках.

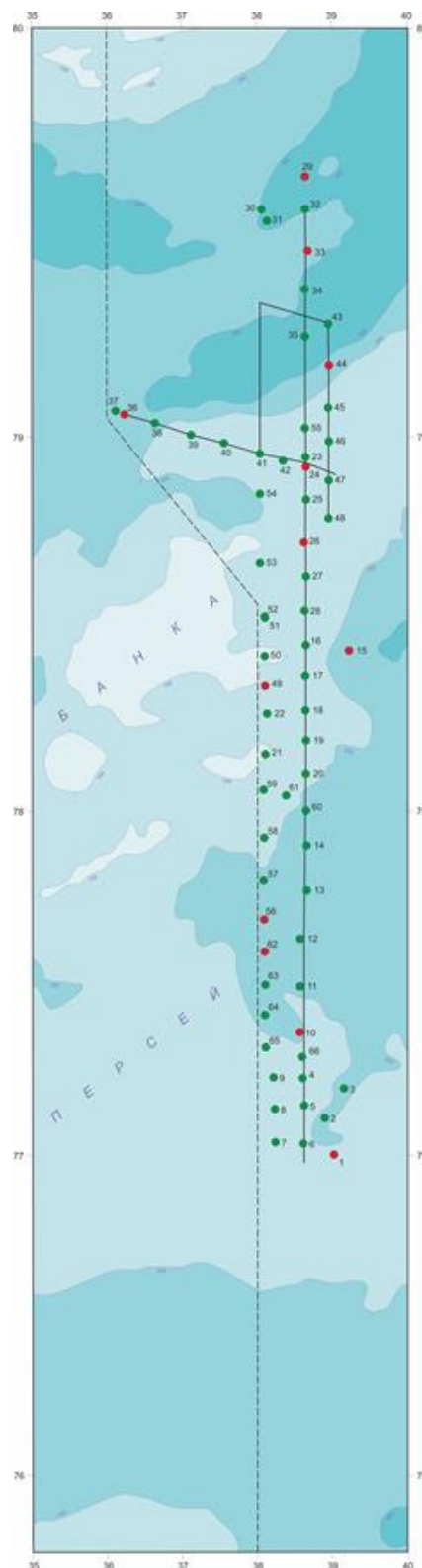


Рисунок 12.3 – Схема расположения сейсмоакустических профилей и станций донного опробования в пределах полигона исследований



Рисунок 12.4 – Работа с ковшом VanVin



а



б

Рисунок 12.5 – Перенос образца донного осадка в стеклянный флакон (а) и укупорка флакона (б) для подготовки проб газа методом хэд-спейс

Для извлечения газа из донных осадков парофазным методом (хэд-спейс) 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 30 мл 5% раствора поваренной соли. Укупорку флакона осуществляли с помощью настольного обжимного устройства ПOK-1 (рис. 12.5). Далее флакон с осадком помещали в штатив орбитального шейкера Heidolph Unimax 2010 и встряхивали в течение 12 ч при 400 об. мин. По окончании инкубации, паровую фазу, содержащую газообразные компоненты, высвобожденные из осадка, переносили в предварительно заполненную дистиллированной водой стеклянную виалу объемом 15 мл с резиновой пробкой.

В результате проведения полевых геологосъемочных исследований охарактеризованы рельеф и строение верхней части осадочного чехла пришпицбергенской части Баренцева моря. Район работ изучен с такой детальностью впервые.

В районе работ донное опробование выполнено на 66 станциях. Плейстоцен-голоценовые осадки, вскрытые дночерпателем, представлены в основном алевритопелитовыми осадками, иногда с примесью песка. На нескольких станциях донные осадки отсутствовали, зато в дночерпатель попадал обильный донно-каменный материал (рис. 12.6), а иногда и железо-марганцевые корки и конкреции.



Рисунок 12.6 – Донный каменный материал (ДКМ) с некоторых станций донного опробования, полученный в 2023 г.: слева - станция ИП-2310К, железо-марганцевые корки, справа – станция ИП-2351К, мезозойские песчаники

Журнал донных осадков переведен в цифровой формат. Составлены паспорта станций донного опробования, где указывается информация о номере станции, координатах, типе





послужить одним из корреляционных признаков в ходе дальнейшего изучения материала.

Также из колонок ИП-2315т, ИП-2326т, ИП-2329т, ИП-2333т, ИП-2336т и ИП-2362т был осуществлён отбор образцов для последующего проведения палеомагнитных измерений. Отбор образцов производился методом сплошного отбора при помощи стеклянных цилиндров диаметром от 2,1 до 2,5 см, высотой от 2 до 2,3 см и внутренним объемом около 8 см<sup>3</sup>. Цилиндры вдавливались в ненарушенный осадок по всей длине колонок. Ориентирование цилиндров в горизонтальной плоскости проводилось относительно координат колонок, а в вертикальной – по направлению вниз по колонке. После извлечения цилиндры очищались от лишнего осадка, оборачивались в полиэтиленовую плёнку и далее для предотвращения высыхания осадка до проведения измерений были отданы на хранения в холодильник при средней температуре +4-5°С. Всего из двух колонок было отобрано около 390 образцов.

#### *Закключение*

Таким образом, в результате морских геологосъемочных работ, проведенных ФГБУ ВНИИОкеангеология в восточном углу планшета картирования (Баренцево море, приграничная часть) с борта НИС «Иван Петров», были получены новые геолого-геофизические данные, которые позволят выяснить геологическое строение изученных площадей, а именно – строение самой верхней части осадочного чехла.

Сейсмоакустическое профилирование отрогов банки Персея 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.

Отобранные образцы донных осадков, донно-каменного материала, выделенные из осадков газы будут всесторонне изучены в 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.

Мероприятие 12 полностью выполнено.

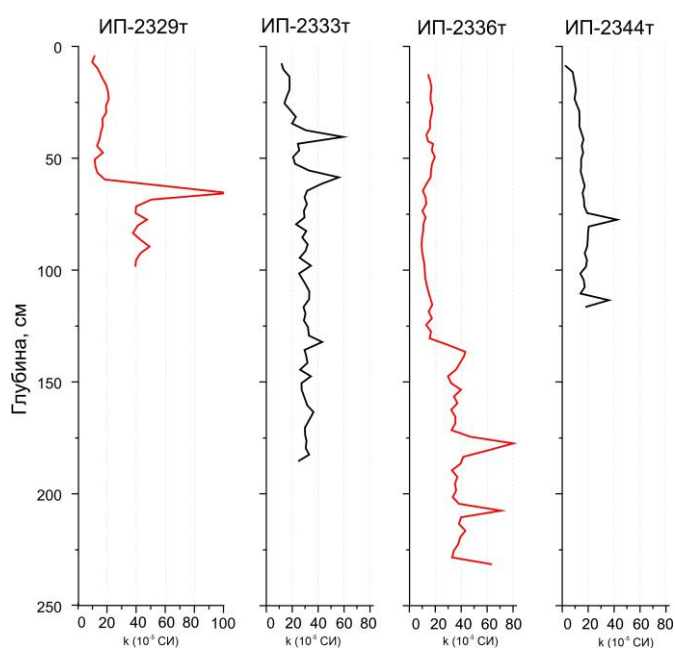


Рисунок 12.8 – Результаты измерений магнитной восприимчивости (k) по колонкам ИП-2329т, ИП-2333т, ИП-2336т и ИП-2344т

**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**

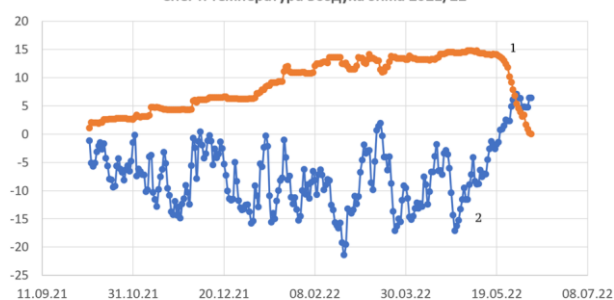
Основная цель проекта – исследование механизмов изменения криосферы, почв и парниковых газов в системе «почва-атмосфера» «ледник-атмосфера» для Западной Арктики в условиях современного климата. Научная тема соответствует приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (далее – СНТР) Ж – возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук.

Основные решаемые задачи и предварительные результаты экспедиционного сезона 2023 г., который прошел с 22 июля по 9 сентября:

1. Для количественной оценки реакции оледенения Западной Арктики на современные климатические условия проведено измерение современной поверхности на леднике Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген), были забурены новые абляционные рейки, взамен вытаявших. Выполнены измерения летнего таяния по рейкам и тросику и температуры воздуха на разных высотных уровнях (рис. 13.1). На уровне 200 м н.у.м была установлена тепло-балансовая мачта для измерения температуры воздуха у поверхности ледника. По результатам полевых исследований построена высотная зависимость летнего таяния лета 2023 года, оценен летний баланс массы ледника, его величина превысила 2000 мм в.э.



Рисунок 13.1 – Гляциологические работы на леднике Восточный Гренфьорд  
Снег и температура воздуха зима 2021/22



2. Для исследования влияния термического сопротивления снежного покрова на температурный режим сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты (СТС) и для установления региональной зависимости с целью оценки глубины сезонного промерзания грунта от температуры воздуха проводились ежечасные круглогодичные измерения профиля температуры грунта на разных высотах на склоне г. Улаф. Проанализированы данные этих профилей за 2021-2022 гг. и начато изучение данных за 2022-2023 гг. (рис. 13.2). Для изучения пространственной и межгодовой изменчивости СТС на 7 площадках мерзлотного полигона в окрестности п. Баренцбург были проведены измерения толщины СТС и температурного режима. Дополнительно были проведены измерения на северном склоне массива Улаф (плато Харитоновна) и южном склоне, обращенном в долину р. Грэн. Всего измерено 22 скважины. Предварительно отмечена значительная изменчивость глубины СТС на



Рисунок 13.2 – Толщина снега на метеостанции, дм – 1 и температура воздуха, °С – 2



склонах разной экспозиции, высотная зависимость глубины СТС отчетливо проявляется лишь на западном склоне горного массива.

3. Для дальнейшего уточнения потенциала поглощения и выделения парниковых газов почвами проведены полевые исследования этих потоков для природных и антропогенных экосистем. Для этого измерялась почвенная эмиссия  $\text{CO}_2$  в антропогенно-измененных и природных экосистемах п. Баренцбург и окрестностей, а также проведены потоковые измерения углекислого газа на леднике Альдегонда. Массив данных состоит из 84 наблюдений (12 точечных измерений на каждой из 7-ми площадках многолетнего мониторинга). В рамках мониторинга на леднике Альдегонда и прилегающих к нему моренах удалось провести 22 измерения на нескольких типичных участках. Начата камеральная обработка полученных данных.

4. Проведен отбор образцов почв, формирующихся на криоконитовом материале в перигляциальной зоне быстротающих ледников (ледник Альдегонда) для лабораторного анализа оценки вклада углерода «ледникового» происхождения в почвообразование.

5. На территории мореного комплекса ледника Западный Гренфьорд проведен поиск и обследование новых ледниковых озер. Исследовано 6 озер, измерено их высотное положение, размеры, максимальная глубина, минерализации, наличие стока, наличие контакта с ледником или мертвыми льдами. Крупнейшее озеро расположено в северной части комплекса (рис. 13.3) и имеет протяженность более 350 м. В современных границах оно сформировалось за последние 10 лет в связи с быстрым сокращением ледника. Озеро является вторым по величине ледниковым озером в бассейне залива Грэнфьорд. Всего в бассейне насчитывается 111 ледниковых озер.



Рисунок 13.3 – Новое ледниковое озеро, которое формируется в северной части ледника Западный Гренфьорд

6. В рамках изучения орнитофауны архипелага регистрировались характер пребывания, распределение, численность видов птиц и их динамика, миграционные связи. Организован мониторинг орнитофауны в районе п. Баренцбург зимой и весной с фото документацией. 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 их окрестности и др.), в долине реки, на литорали фьорда. Проведено рекогносцировочное обследование внешних участков фьорда (бухта Старостина), а также обследования вблизи Баренцбурга и бухты Старостина, ледника Грэнфьорд, и в п. Пирамида и его окрестностях (16-17 августа).

Во время пешеходных маршрутов в окрестностях п. Баренцбург более детально были обследованы побережья залива Грэнфьорд, скальные и тундровые обрывы морских террас и аккумулятивные берега западного побережья, в том числе дельта р. Грэн, прибрежная полоса литорали от мысов Феннисет до мыса Фестнинген, каменистые мелководья в кутовой части залива Грэнфьорд, приледниковые озера близ ледника Восточный Грэнфьорд, склоны гор Копань, окрестности бухты Старостина и литоральные отмели и берег у п. Пирамида и др.

Всего в Грэнфьорде зарегистрировано 32 вида морских, водоплавающих и околоводных птиц, среди которых ведущая роль принадлежит отрядам ржанкообразные *Charadriiformes* и гусеобразные *Anseriformes*. В августе 2023 г. встречено 18 видов птиц, из них гнездование доказано для 15 видов, статус еще нескольких видов уточняется. В результате сравнения сроков и успешности гнездования птиц в антропогенных и природных местообитаниях для полярной крачки, чистика, бургомистра и др. видов, удалось зарегистрировать более раннее и успешное гнездование в антропогенном ландшафте. В п.

Пирамида проведено обследование синантропной колонии моевок для оценки возможности «переселения» моевок на другое строение. Удалось собрать данные по окольцованным моевкам в синантропных колониях обоих поселков.

Установлен контакт с норвежскими коллегами, которые в течение многих лет проводят кольцевание и индивидуальное цветное мечение птиц, и получены данные по возвратам колец и миграционным связям моевок и их перераспределением на гнездовании между п. Баренцбург, Пирамида и Грумант в разные годы.

В «Современной арктической русской школе» п. Баренцбурга проведена лекция-занятие для учащихся по теме «Птицы в городской среде», подготовлен квест «Карта дикой жизни Баренцбурга» и выполнено практическое наблюдение за птицами с помощью бинокля и подзорной трубы.

Результаты исследований опубликованы в реферируемых журналах и представлены на конференциях:

Чернов Р.А. Исследование характеристик поверхностного стока ледника Восточный Гренфьорд (Западный Шпицберген) // Лёд и Снег. 2023; 63(1):48-59. DOI: 10.31857/S2076673423010040

Черняков Г.А., Чернов Р.А. Влияние льдообразования в трещинах на поле температур в холодном слое ледника // Лёд и Снег. 2022; 62(4):512-526. DOI: 10.31857/S2076673422040148

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Динамика высоты и плотности снежного покрова в Арктике при современном климате // Water Resources, 2023. (в печати)

Никитин Д.А., Лысак Л.В., Зазовская Э.П., Мергелов Н.С., Горячкин С.В. Микробиом супрагляциальных систем на ледниках Альдегонда и Бертель (о. Западный Шпицберген) // Почвоведение, 2023. (в печати)

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Высота снежного покрова в лесу и поле на равнинной территории России при современном климате // Лед и снег, 2023. 63(4). (в печати)

Международная научно-практическая конференция «Пятое Виноградовские чтения «Гидрология в эпоху перемен» 9–14 октября 2023 г., Санкт-Петербург – 1 доклад.

Гляциологическая конференция «Прошлые, текущие и будущие изменения климата и гляциосферы» 25-27 октября 2023 г., Москва – 2 доклада

«II Лавёровские чтения – Арктика: актуальные проблемы и вызовы», 13-17 ноября 2023 г., г. Архангельск – 1 доклад.

Мероприятие 13 выполнено полностью.

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

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

Фундаментальные научные и прикладные исследования на архипелаге Шпицберген в 2023 г. проводились согласно темы госзадания «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген», а также в рамках Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2023 году (мероприятие 20 «Работы по линии международного сотрудничества на арх. Шпицберген» и мероприятие 14 «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген»).

В рамках комплексных экосистемных исследований в 2023 г. ученые ММБИ проводили исследования по следующим направлениям:

1. Анализ данных о состоянии водных масс на морских акваториях архипелага;
2. Анализ сезонной изменчивости размерной структуры популяций зоопланктона *Calanus* sp. в водах Шпицбергена;
3. Исследования биоразнообразия и распределения зообентоса пролива Стур-фьорд в градиенте экологических факторов;
4. Исследования распространения, видового и химического состава макрофитов в прибрежной зоне Шпицбергена;
5. Анализ уровней радиоактивного загрязнения в среде и биоте морских и наземных экосистем архипелага;
6. Исследования хронологии осадконакопления в заливе Грэнфьорд в период времени с начала XX века по наше время, выявление изменений в темпах седиментации. Изучение особенностей осадконакопления в заливе Грэнфьорд на границе река-море (река Грэндален, река Грэнфьорд);
7. Создание 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.

Экспедиционные работы в районе архипелага Шпицберген в 2023 г. выполнялись по двум основным направлениям:

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

Полевые работы ММБИ в районе п. Баренцбург прошли в августе 2023 г. Кроме этого, запланированы морские экспедиционные исследования в районе архипелага Шпицберген на НИС «Дальние Зеленцы» в ноябре-декабре 2023 г.

#### *Исследования в районе п. Баренцбург*

С 7 по 25 августа 2023 г. на архипелаге Шпицберген полевые исследования вели 2 сотрудника ММБИ РАН, из них 1 молодой ученый. Основные задачи полевых работы были следующие:

– определение гранулометрического состава и интерпретация отложений по литотипам в осадочных горизонтах кернов, отобранных в верховье залива Грэнфьорд и устьевой зоне реки Альдегонда;

– оценка накопления природных радиоактивных изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  в донных отложениях, расчет возраста осадочных слоев кернов методом «избыточного»  $^{210}\text{Pb}$ , хронологический анализ седиментации в заливе (границы метода 100–150 лет);

Дополнительные задачи исследований

– характеристика термохалинной структуры водной толщи кутовой части залива Грэнфьорд на момент пробоотбора, определение особенностей распространения взвешенного терригенного вещества в пределах верховья залива Грэнфьорд;

– отбор проб для анализа элементного состава грунта и морских макрофитов из различных по степени загрязнения мест обитания на литорали и sublиторали залива Грэнфьорд (для лаборатории альгологии ММБИ РАН).

Для решения этих задач в районе верховья залива Грэнфьорд и устьевой зоне реки Альдегонда были отобраны керны донных отложений, из которых затем отбирались образцы для дальнейшего анализа. При пробоотборе в верховье залива Грэнфьорд основными критериями в выборе станций являлись удаление от берега и глубина моря. В районе устьевой зоны реки Альдегонда учитывалась конфигурация фронта ледника выступающего в акваторию залива Грэнфьорд и геоморфологические особенности субаквального рельефа (рис. 14.1). Отбор кернов в верховье залива (маркер РК и КЗ) сопровождался отбором проб взвеси с поверхностного слоя воды, а также термохалинным промером водной толщи от поверхности до дна.

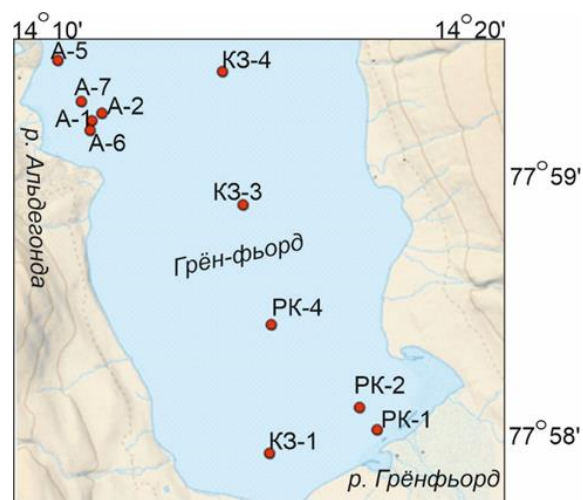


Рисунок 14.1 – Карта-схема точек отбора проб в верховье залива Грэнфьорд и устьевой зоне реки Альдегонда в августе 2023 г.

Отбор проб проводился с борта лодки *Zodiac Mark-3* с помощью трубки ГОИН 2.0 (рис. 14.2). Первичная пробоподготовка осуществлялась на Биогеостанции ММБИ РАН.



Рисунок 14.2 – Отбор и первичная обработка кернов донных отложений

Керны разрезали керамическим ножом на слои с дискретностью по 2 или 3 см (рис. 14.3) в зависимости от глубины моря и субаквального рельефа на станции, а также мощности вскрытой осадочной толщи. Полученные керны донных отложений прошли дополнительную пробоподготовку (лиофильную сушку) в химико-аналитической лаборатории ААНИИ в п. Баренцбург. Всего отобрано 12 кернов мощностью от 10 до 82 см, которые в общей сложности разделены на 224 горизонта. Отобранные и борработанные образцы, благодаря помощи



сотрудников ААНИИ, доставлены в г. Мурманск и в ближайшее время будут проанализированы в лаборатории океанографии и радиоэкологии ММБИ РАН.

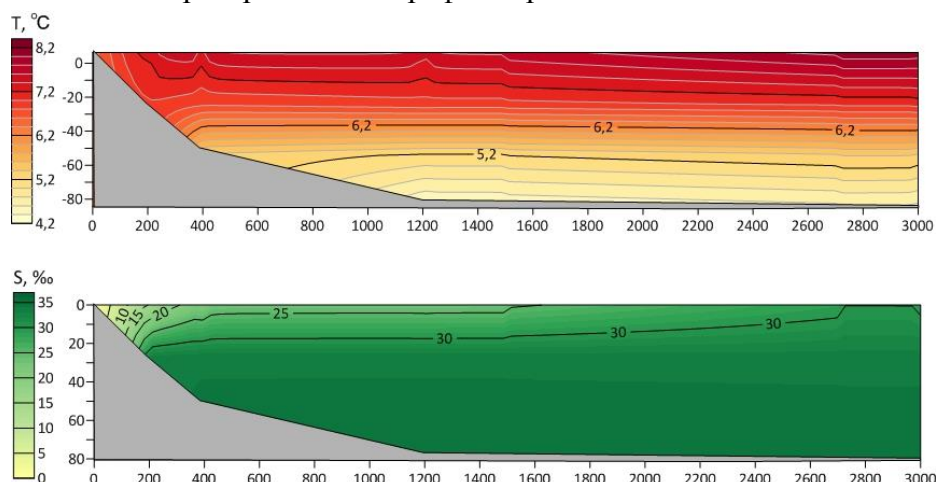


Рисунок 14.3 – Распределение температуры и солености воды на разрезе в кутовой части залива Грэнфьорд в период отбора проб взвеси

Отбор проб донных отложений в кутовой части залива сопровождался СТД-зондированиями водной толщи и отбором проб взвеси из поверхностного горизонта. В момент отбора температура воды изменялась в пределах от 4,37 до 8,16°C и, в целом, уменьшалась от поверхности до дна. Соленость варьировала в широких пределах от 0,31 до 34,83‰, увеличиваясь от кутовой части в сторону открытого моря (рис. 14.3).

Содержание взвеси в поверхностном слое воды изменялось от 62,4 до 5,8 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения взвешенных частиц наблюдались в кутовой части залива (табл. 14.1).

Отбор проб макрофитов на литорали осуществлялся вручную в период отлива, на сублиторали – водолазным методом. Пробоотбор макрофитов сопровождался отбором проб донных отложений в месте произрастания водорослей. В качестве пробоотборного полигона было выбрано 2 участка с различной степенью антропогенной нагрузки на место обитания макрофитов.

Первый участок – подверженный антропогенному воздействию восточный берег залива Грэнфьорд, район ТЭЦ п. Баренцбург. Второй участок отбора – западный берег залива Грэнфьорд, мыс Кокеринесет – градиентная точка, находящаяся на удалении 2,6 км от источника антропогенной нагрузки ТЭЦ (рис. 14.4). Отобранные пробы донных отложений и макрофитов высушены, упакованы и с помощью сотрудников ААНИИ доставлены в г. Мурманск.

В ходе экспедиции отобрано 11 кернов донных отложений, 6 проб взвеси, выполнены термохалинные измерения в верховье залива Грэнфьорд. Пробы доставлены в лабораторию океанографии и радиоэкологии ММБИ РАН и лабораторию альгологии ММБИ РАН для дальнейшего изучения.

Экспедиционная группа ММБИ РАН благодарит сотрудников РАЭ-Ш ААНИИ за помощь в проведении

Таблица 14.1. Содержание взвеси в поверхностном горизонте кутовой части залива Грэнфьорд

№ ст.	Среднее, мг/дм <sup>3</sup>	Погрешность Δ, мг/дм <sup>3</sup>
РК-1	51,4	6,2
РК-4	11,9	1,4
КЗ-3	11,4	1,4
КЗ-1	62,4	7,5
КЗ-4	5,8	0,7
РК-2	26,5	3,2

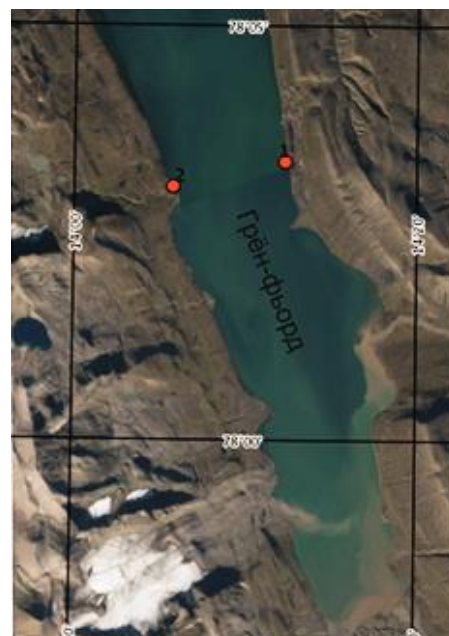


Рисунок 14.4 – Районы отбора проб макрофитов и донных отложений



экспедиционных работ, а также за решение ряда логистических задач.

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

Экспедиция на НИС «Дальние Зеленцы» запланирована на ноябрь-декабрь 2023 г. (рис. 14.5). После экспедиции в отчете будет уточнен объем морских научных работ в территориальных водах Шпицбергена. В экспедиции будут принимать участие сотрудники ММБИ и СПбФ ИО РАН. Отправлен запрос на разрешение норвежских властей для работы судна в территориальных водах архипелага и заходы в порт Баренцбурга. Экспедиционные исследования будут носить комплексный экосистемный характер и охватят акватории системы залива Исфьорд на нескольких разрезах и полигонах.

Комплекс работ будет включать СТД-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.

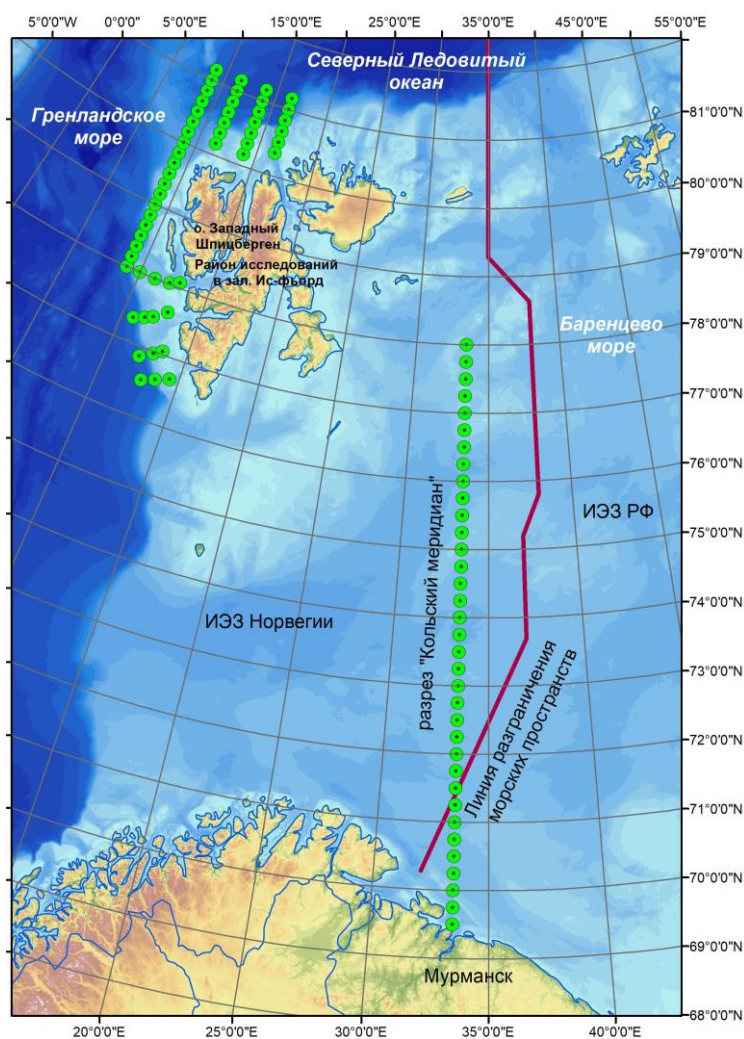


Рисунок 14.5 – Станции экспедиционных исследований ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы», запланированных на ноябрь-декабрь 2023 г.

### *Аналитическая обработка полевого материала в лабораториях ММБИ в Мурманске*

В течение января-октября 2023 г. проводилась обработка полевого материала и подготовка публикаций в лабораториях ММБИ в Мурманске.

По результатам исследований опубликованы статьи в реферируемых журналах, материалы конференций и представлены доклады на конференциях:

Берченко И.В., Дружкова Е.И. Сезонная изменчивость размерной структуры популяций *Calanus* sp. в водах Шпицбергена // Океанология. – 2023. – Т. 63, № 1. – С. 52–61. DOI:

10.31857/S003015742301001X. = Berchenko I.V., Druzhkova E.I. Seasonal Variability of the Size Structure of Calanus sp. Populations in Spitsbergen Waters // *Oceanology*. – 2023. – Vol. 63, No. 1. – P. 45–53. DOI: 10.1134/S0001437023010010

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

Дикаева Д.Р. Распределение сообществ полихет в районе Западного Шпицбергена // *Известия РАН. Серия биологическая*. – 2023. – № 5. – С. 546–556. DOI: 10.31857/S102634702110067X

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

Мещеряков Н.И., Кокин О.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Приледниковое озеро Бретъёрна (Западный Шпицберген): история формирования и современное осадконакопление // *Лёд и снег*. – 2023. – Т. 63, № 3. – С. 426–440. DOI: 10.31857/S2076673423030067

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

Лебедева Н.В., Таскаева А.А. Роль антропогенного фактора в формировании уникального сообщества почвенных беспозвоночных на Шпицбергене: случай с теплицами в п. Баренцбург // *Актуальные проблемы освоения водных биологических ресурсов Российской Федерации: материалы всероссийской конференции ученых и специалистов, посвященной 160-летию Н.М. Книповича (г. Мурманск, 27–28 октября 2022 г.) / Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича); ответственный редактор К.М. Соколов*. – Мурманск: ПИНРО им. Н. М. Книповича, 2023. – С. 293–294.

Моисеев Д.В. О разрешении на проведение морских научных исследований в районе архипелага Шпицберген // *Безопасность арктических рубежей: экология, история, образы будущего: Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Мурманск, 27–28 октября 2022 г.)*; [Отв. ред. Д.В. Моисеев]; Мурманское областное отделение Русского географического общества. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2023. – С. 81–82. DOI: 10.37614/978.5.91137.488 = Moiseev D. On the Permission to Carry out Marine Scientific Research in the Area of the Spitsbergen Archipelago // *Security of Arctic frontiers: ecology, history, images of the future: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Murmansk, October 27–28, 2022)*; [Editor-in-Chief D.V. Moiseev]; Murmansk Regional Branch of the Russian Geographical Society. – Apatity: Publ. KSC RAS, 2023. – P. 66. – DOI: 10.37614/978.5.91137.489.1

Моисеев Д.В. О заходе НИС «Дальние Зеленцы» в порт Баренцбурга // *Безопасность арктических рубежей: экология, история, образы будущего: Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Мурманск, 27–28 октября 2022 г.)*; [Отв. ред. Д.В. Моисеев]; Мурманское областное отделение Русского географического общества. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2023. – С. 82–84. DOI: 10.37614/978.5.91137.488.4 = Moiseev D. On the Research Vessel «Dalnie Zelentsy» Entering the Port of Barentsburg // *Security of Arctic frontiers: ecology, history, images of the future: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Murmansk, October 27–28, 2022)*; [Editor-in-Chief D.V. Moiseev]; Murmansk Regional Branch of the Russian Geographical Society. – Apatity: Publ. KSC RAS, 2023. – P. 67–69. DOI: 10.37614/978.5.91137.489.1

Носкович А.Э. Популяционные характеристики двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) во фьордах Шпицбергена с разным гидрологическим режимом // Труды Кольского научного центра. Серия: Естественные и гуманитарные науки. – 2023. – Т. 2, № 3. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2023. – С. 75–82. DOI: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.009

Носкович А.Э. Популяционные характеристики двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) во фьордах с разным гидрологическим режимом (Шпицберген) // Исследования экосистем морей Арктики: Программа и тезисы ХLI конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной Десятилетию науки и технологий; [отв. ред. О.П. Калинка]; Мурманский морской биологический институт РАН. – Мурманск: ММБИ РАН, 2023. – С. 25–26.

Моисеев Д.В. Научные результаты комплексных экосистемных исследований ММБИ в проливе Стур-фьорд и в системе залива Ис-фьорд в 2017–2022 гг. // Конференция «Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка» г. Москва, 13–15.03.2023

Макаревич П.Р. Структура сообществ ледовой и пелагической флоры краевой зоны льда Баренцева моря в весенний период // Конференция «Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка» г. Москва, 13–15.03.2023

Дикаева Д.Р. Популяционные характеристики двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) во фьордах с разным гидрологическим режимом // ХLI конференция молодых ученых Мурманского морского биологического института 2023 г. «Исследования экосистем морей Арктики», посвященная Десятилетию науки и технологий, г. Мурманск, 29.03.2023

Носкович А.Э. Рост и продолжительность жизни двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) во фьордах о. Западный Шпицберген // XII Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование» (MARESEDU – 2023), г. Москва, 23-27.10.2023

В целях популяризации достижений и экспедиций на Шпицбергене в СМИ в 2023 году опубликованы материалы:

Исследованиями заполярных ученых заинтересовались в Китае. ММБИ посетил консул по науке Цао Синь (Репортаж ГТРК «Мурман», 22.02.2023) <https://murman.tv/news-n-9174--issledovaniyami-zapolyarnyh-uchenyh-zainteresovalis-v-kitae-mmbi-posetil-konsul-po-nauke-cao-sin>

В Минобрнауки России подвели итоги морских научно-исследовательских экспедиций (материал на сайте Минобрнауки, 17.03.2023) [https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka/65442/?sphrase\\_id=7931051](https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka/65442/?sphrase_id=7931051)

Новые партнёры ММБИ – итоги Восточного экономического форума (материал на сайте ММБИ РАН, 13.09.2023) <https://www.mmbi.info/novosti/novye-partnery-mmbi--itogi-vostochnogo-ekonomicheskogo-foruma/>

Долгая дорога домой: в ММБИ доставили долгожданные пробы (материал на сайте ММБИ РАН, 19.10.2023) <https://www.mmbi.info/novosti/dolgaya-doroga-domoy-v-mmbi-dostavili-dolgozhdannye-proby/>

Мероприятие 14 планируется выполнить полностью к концу 2023 г.

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

**Мероприятие 15. Изучение флоры, растительности, продуктивности и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген**

Цель проекта: Исследование биоразнообразия фототрофной биоты, классификация растительности, мониторинг растительного покрова, оценка продуктивности растений в высокоширотных экосистемах Шпицбергена; морфолого-генетические, экологические и биогеохимические исследования почвенного покрова.

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. Изучение анатомо-морфологических параметров ассимилирующих органов, показателей липидного обмена широко распространенных и редких видов кустарничков (на границе ареала распространения);

– Выявление особенностей температурного режима серогумусовых почв в юго-западной части острова Западный Шпицберген; выявление влияния локальных факторов (ландшафтного положения и глубины) на распределение основных показателей температурного режима почв: среднегодовой, минимальной и максимальной среднесуточной температуры, абсолютного минимума и максимума, суммы отрицательных и положительных температур, а также продолжительности периода с положительными и отрицательными температурами; выявление связи между метеорологическими условиями и температурой почв.

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)

Экспедиционные работы на архипелаге не проводились. Камеральные работы по обработке данных, полученных в предыдущие полевые сезоны выполнялись в течение всего года. Изучались фототрофные представители биоты: цианопрокариоты, лишайники, печеночники, мхи, сосудистые растения; растительные ассоциации; почвы.

При проведении исследований применялись 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 (K, C, KC, KI, 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 (Culberson et al., 1979; Kranner et al., 2002) с использованием стандартных систем растворителей (Orange et al., 2001).

Сбор цианопрокариот проводится маршрутным методом, описание местообитаний сопровождалось измерением некоторых экологических параметров: освещенности, pH, влажности, температуры. Анализ анатомо-морфологических признаков осуществлялся с

помощью современных микроскопов, Carl 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 растений (Leitz Wetzlar Orthoplan микроскоп с камерой Nikon D90).

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 осуществляли с помощью набора реактивов DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Germany), подготовка матриц к секвенированию произведена с помощью набора реактивов Cleanup Mini Kit (Evrogen, Russia). Для печеночников были получены нуклеотидные последовательности локусов ITS1-2 яДНК и trnL-F хпДНК с помощью праймеров, предложенных в работах White et al. (1990) и Taberlet et al. (1991). Для цианопрокариот получен фрагмент гена 16S рРНК и последовательность спейсера 16-23S рРНК с использованием праймеров из работ Wilmotte et al. (1993) и Neilan et al. (1997). Реакция амплификации (ПЦР) проходила в 20 мкл реакционной смеси, подготовленной на основе коммерческого набора MasDDTaqMIX (Dialat Ltd, Russia), 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 Бейса были использованы программы RAxML v. 1.0.0 (Kozlov et al., 2019) и MrBayes v. 3.2.1 (Ronquist et al. 2012). Полученные топологии воспроизводили в программе FigTree v. 1.4.4 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>). Подсчет генетических дистанций осуществляли с помощью программы Mega 11 (Tamura et al. 2021). Полученные последовательности депонированы 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 проводится и использованием информационной системы L. (<http://krabg.ru/cris/>). Картирование распространения видов осуществляется с применением ГИС QGIS.

Оценка степени пластичности фотосинтетического аппарата и механизмов адаптации высших сосудистых растений, содержания и состава жирных кислот суммарных липидов доминирующих видов высших сосудистых растений арктических тундр выполнено с использованием спектрофотометрии, газожидкостной хроматографии, флуоресценции, световой микроскопии и гравиметрии.

Для измерения температуры почв использовались автоматические регистраторы температуры марки iButton. Температура фиксировалась 8 раз в сутки с интервалом 3 часа. Температура воздуха на высоте 2 м представлена данными ГМО «Баренцбург» (<http://www.rp5.ru>).

Основные полученные результаты и научные выводы:



### Изучение биоразнообразия фототрофной биоты

Проведен анализ видового состава флор цианопрокариот Шпицбергена в сравнении с региональными флорами евроазиатской Арктики.

Биоразнообразие цианопрокариот Шпицбергена на сегодняшний день является самым высоким среди всех флор евроазиатского сектора Арктики (табл. 15.1, рис. 15.1). Флоры Субарктики в большинстве своем также уступают Шпицбергену по числу видов. Исключением в этом ряду является флора лесной зоны Мурманской области (337 видов).

Флоры вышеназванных территорий, а также Ненецкого АО (251), Полярного Урала (179), Приполярного Урала (164) можно считать относительно хорошо изученными, а видовое богатство – репрезентативным. Средняя степень изученности у флор лесной зоны Камчатки и Магаданской области (186), лесной зоны Якутии (179), тундровой зоны Мурманской области (140), Таймыра (129). Среди недостаточно изученных флор следует отметить, что абсолютно равнинные территории, такие как Ямал (58) или с преимущественно равнинным рельефом – тундровая зона Якутии (90) вряд ли будут иметь высокое видовое богатство даже при тщательном обследовании.

Таблица 15.1. Видовое богатство флор цианопрокариот отдельных регионов Арктики и Субарктики

Арктика		Субарктика	
Район	Число видов	Район	Число видов
Арх. Шпицберген	290	Субарктическая часть Норвегии и Швеции	130
Арх. Земля Франца-Иосифа	69	Субарктическая часть Мурманской области	337
Арх. Новая Земля	63	Республика Карелия	105
Тундровая зона Мурманской области	140	Архангельская область	28
Тундровая зона Ненецкого АО	251	Субарктическая часть Республики Коми	99
Полярный Урал	179	Приполярный Урал	164
Ямал	58	Субарктическая часть п-ова Гыдан	11
Тундровая зона п-ова Гыдан	4	Субарктическая часть Красноярского Края	43
Таймыр	129	Субарктическая часть Республики Саха	179
Арх. Северная Земля	41	Субарктическая часть Камчатки и Магаданской обл.	186
Арх. Новосибирские острова	11		
Тундровая зона Республики Саха	90		
Тундровая зона Чукотки	91		

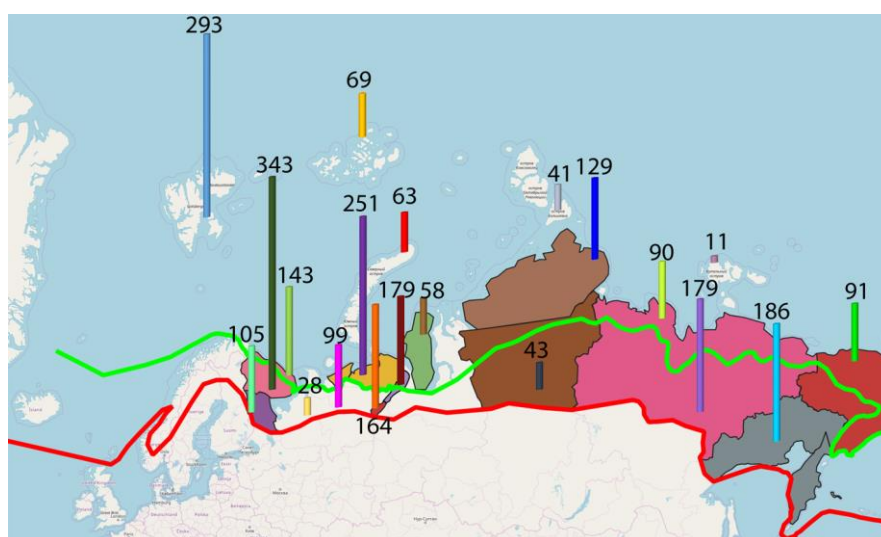
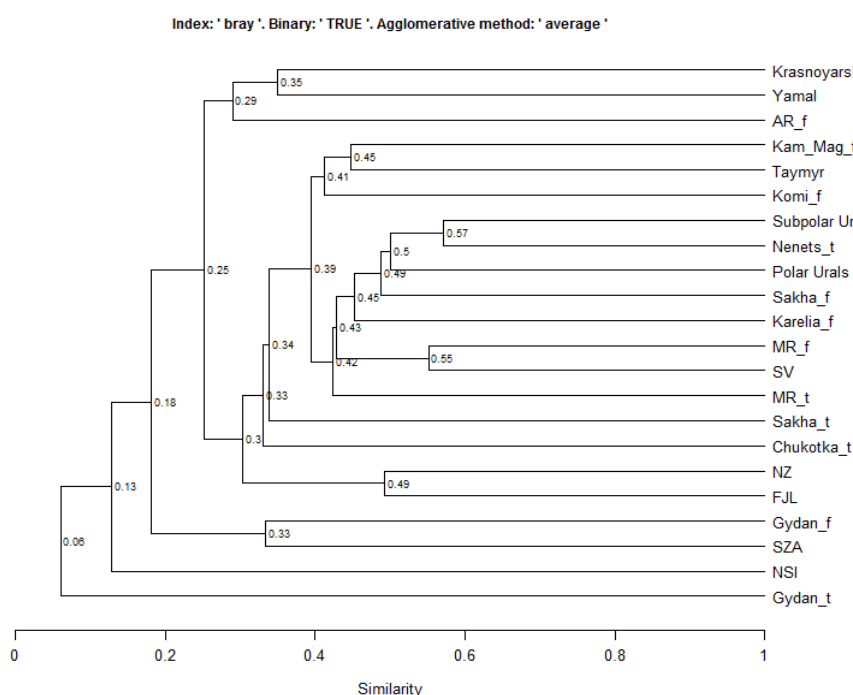


Рисунок 15.1 – Соотношение видового богатства цианопрокариот отдельных территорий Арктики и Субарктики

Сходство видового состава, сравниваемых флор, выраженное в виде кластера (рис. 15.2), довольно адекватно отражает флористические связи с поправкой на степень изученности территорий, так как наибольшее сходство видового состава выявлено в хорошо изученных флорах.



**AR\_f** – флора гипоарктической зоны Архангельской обл., **Ch\_t** – арктической зоны Чукотки, **FJL** – Земли Франца-Иосифа, **Gydan\_f** – гипоарктической зоны п-ова Гыдан, **Gydan\_t** – арктической зоны п-ова Гыдан, **Kam\_Mag\_f** – гипоарктической зоны Камчатки и Магаданской обл., **Karelia\_f** – гипоарктической зоны Карелии, **Komi\_f** – гипоарктической зоны Коми, **Krasnoyarsk\_f** – гипоарктической зоны Красноярского Края, **MR\_f** – гипоарктической зоны Мурманской обл., **MR\_t** – арктической зоны Мурманской обл., **Nenets\_t** – арктической зоны Ненецкого АО, **NSI** – Новосибирских островов, **NZ** – Новой Земли, **Polar Urals** – Полярного Урала, **Sakha\_f** – гипоарктической зоны Якутии, **Sakha\_t** – арктической зоны Якутии, **SPU** – Приполярного Урала, **SV** – Шпицбергена, **SZA** – Северной Земли, **Taymyr** – Таймыра, **Yamal** – п-ова Ямал

Рисунок 15.2 – Кластер на основе коэффициента сходства Сьеренсена:

Коэффициенты связи в парах флор приведены в таблице 15.2. Относительно высокий уровень сходства изученная флора Шпицбергена демонстрирует только с флорой субарктической части Мурманской области.

Таблица 15.2. Коэффициенты сходства Сьеренсена между парами флор отдельных регионов Арктики и Субарктики

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>1</b>	-																
<b>2</b>	0,25	-															
<b>3</b>	0,26	0,49	-														
<b>4</b>	0,38	0,29	0,35	-													
<b>5</b>	0,56	0,24	0,27	0,47	-												
<b>6</b>	0,33	0,31	0,39	0,41	0,38	-											
<b>7</b>	0,3	0,34	0,24	0,37	0,29	0,34	-										
<b>8</b>	0,44	0,28	0,28	0,47	0,53	0,44	0,44	-									
<b>9</b>	0,51	0,35	0,32	0,4	0,43	0,48	0,4	0,52	-								
<b>10</b>	0,45	0,37	0,32	0,46	0,47	0,44	0,53	0,57	0,48	-							
<b>11</b>	0,22	0,31	0,24	0,28	0,21	0,35	0,35	0,32	0,36	0,29	-						
<b>12</b>	0,33	0,35	0,32	0,38	0,35	0,32	0,43	0,47	0,47	0,43	0,4	-					
<b>13</b>	0,17	0,26	0,3	0,27	0,19	0,33	0,24	0,24	0,26	0,24	0,35	0,3	-				
<b>14</b>	0,22	0,38	0,28	0,33	0,18	0,3	0,35	0,27	0,3	0,3	0,3	0,27	0,33	-			
<b>15</b>	0,26	0,31	0,32	0,28	0,28	0,39	0,26	0,37	0,43	0,34	0,33	0,34	0,31	0,23	-		
<b>16</b>	0,39	0,24	0,3	0,36	0,42	0,45	0,33	0,53	0,47	0,46	0,29	0,4	0,28	0,23	0,46	-	
<b>17</b>	0,27	0,35	0,29	0,38	0,29	0,33	0,35	0,34	0,31	0,4	0,3	0,35	0,24	0,27	0,28	0,32	-
<b>18</b>	0,39	0,28	0,26	0,41	0,42	0,35	0,39	0,49	0,4	0,44	0,33	0,45	0,25	0,2	0,32	0,39	0,33

Примечание: **1.** флора арх. Шпицберген, **2.** арх. Земля Франца-Иосифа, **3.** арх. Новая Земля, **4.** тундровой зоны Мурманской обл., **5.** субарктической части Мурманской обл., **6.** субарктической части респ. Карелия, **7.** субарктической части Респ. Коми, **8.** тундр Ненецкого АО, **9.** Полярного Урала, **10.** Приполярного Урала, **11.** Ямала, **12.** Таймыра, **13.** субарктической части Красноярского Края, **14.** арх. Северная Земля, **15.** тундровой зоны Респ. Саха, **16.** субарктической части Респ. Саха, **17.** тундровой зоны Чукотки, субарктической части Камчатки и Магаданской обл.

Высокий коэффициент сходства демонстрируют флоры восточно-европейских тундр и Приполярного Урала (57%, 118 общих видов). К ним же примыкает флора Полярного Урала, таким образом, формируется вполне естественный кластер трех близко расположенных территорий. Очевидно, что сходство проявляется за счет лучшей выявленности интразональных видов гидрофитов, которые широко представлены во флоре тундровой зоны Ненецкого АО и Приполярного Урала. Отсутствие таких видов как *Anabaena inaequalis*, *A. oscillatoroides*, *A. sphaerica*, *Chamaesiphon incrustans*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Dolichospermum solitarium*, *Gomphosphaeria aponina*, *Hapalosiphon intricatus*, *H. pumilus*, *Nostoc*

*caeruleum*, *N. microscopicum*, *N. zetterstedtii*, *Trichormus variabilis*, *Tychonema tenue*, *Woronichinia naegelianae* и др. определяет различие флоры Полярного Урала от флор Ненецкого АО и Приполярного Урала. Большую часть этих видов, а также широко распространенных, встречающихся в более северных районах, видов (*Aphanocapsa conferta*, *A. parietina*, *Aphanothece microscopica*, *Cyanobacterium cedrorum*, *Eucapsis minor*, *Gloeocapsa alpina*, *G. rupestris*, *Gloeothece confluens*, *Gloeothece rupestris*, *Heteroleibleinia kuetzingii*, *Kamptonema animale*, *Microcoleus amoenus*, *M. favosus*, *Phormidesmis molle*, *Phormidium irriguum*, *P. kuetzingianum*, *Scytonema mirabile*, *S. ocellatum*, *Symplocastrum friesii*, *Tolypothrix saviczii*), предположительно, следует ожидать при последующих исследованиях.

К кластеру восточноевропейских тундровых флор и Урала примыкают хорошо изученные в отношении водных видов субарктические флоры Якутии и Карелии. Хотя это сходство имеет в своем основании очень небольшое число общих видов. Флоры Полярного и Приполярного Урала, тундр Ненецкого АО объединяет с флорой Якутии только 45 видов; с флорой Карелии – 38.

Флора Шпицбергена на 56% (174 общих видов) сходна с флорой субарктической части Мурманской области. Такое сходство отражает характер распространения хорошо изученных горных массивов последней, которые расположены в пределах лесной зоны. Именно большим числом монтанных видов (*Calothrix breviararticulata*, *C. fusca*, *C. parietina*, *Chroococcus cohaerens*, *C. helveticus*, *C. montanus*, *C. spelaeus*, *C. subnudus*, *C. tenax*, *C. turicensis*, *Dichothrix gypsophila*, *D. orsiniana*, *Gloeocapsa alpina*, *G. atrata*, *G. bififormis*, *G. bituminosa*, *G. compacta*, *G. decorticans*, *G. fusco-lutea*, *G. kuetzingiana*, *G. novacekii*, *G. punctata*, *G. rupicola*, *G. sanguinea*, *G. tornensis*, *G. violascea*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *G. magma*, *G. pleurocapsoides*), очевидно, определяется сходство флоры Шпицбергена и флоры субарктической части Мурманской области.

Общими являются также и ряд водных видов (*Anabaena catenula*, *Chamaesiphon incrustans*, *C. polonicus*, *C. rostafinskii*, *Clastidium setigerum*, *Coelomoron pusillum*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Dolichospermum planctonicum*, *Eucapsis prescottii*, *Gomphosphaeria aponina*, *Limnococcus limneticus*, *Lyngbya aestuarii*, *Merismopedia elegans*, *M. glauca*, *M. punctata*, *M. tenuissima*, *Rivularia beccariana*, *R. biasoletiana*, *R. borealis*, *R. dura*, *Trichormus variabilis*, *Tychonema bornetii*, *Woronichinia elorantae*, *W. karelica*, *W. naegelianae*) и видов, обитателей голых субстратов (*Aphanocapsa fusco-lutea*, *A. grevillei*, *A. hyalina*, *A. muscicola*, *Aphanothece castagnei*, *A. microscopica*, *A. saxicola*, *A. stagnina*, *Leptolyngbya foveolarum*, *L. gracillima*, *L. nostocorum*, *L. tenuis*, *L. valderiana*, *L. voronichiana*, *Microcoleus vaginatus*, *Pseudanabaena frigida*, *P. minima*, *Schizothrix facilis*, *S. heufleri*, *S. simplicior*, *Scytonema myochrous*, *S. ocellatum*, *S. subtile*, *S. tolypothrichoides*, *Symplocastrum friesii*, *S. penicillatum*).

К этому кластеру примыкает и флора тундровой зоны Мурманской области. Здесь выявлено только 18 видов, которые не встречаются на Шпицбергене и в лесной зоне Мурманской области (*Ammatoidea aegaea*, *Aphanocapsa holsatica*, *Chroococcus cumulatus*, *C. westii*, *Cylindrospermum minutissimum*, *Dichothrix compacta*, *Gloeocapsa aeruginosa*, *Gloeotrichia intermedia*, *Hapalosiphon luteolus*, *Komvophoron crassum*, *Leptolyngbya distincta*, *Microcystis smithii*, *Nostoc sphaericum*, *Oscillatoria annae*, *Planktolyngbya bipunctata*, *Pleurocapsa aurantiaca*, *Scytonematopsis fuliginosa*, *Synechocystis parvula*). При этом, во флоре тундр Мурманской области не обнаружен 101 вид, зарегистрированный во флорах Шпицбергена и субарктической части Мурманской области. Часть из отсутствующих видов вероятно будет найдена при дальнейших исследованиях, но целый ряд таксонов являются монтанными цианопрокариотами и вероятность их обнаружения невелика.

Флористические связи изученной флоры Шпицбергена наиболее выражены с флорой субарктической зоны Мурманской области, но велики они и с другими хорошо изученными флорами европейской Арктики. С флорой тундр Ненецкого АО выявлен 121 общий вид, 102

вида являются общими для флоры Шпицбергена и Приполярного Урала. Также высокий процент сходства (51%) во флорах Полярного Урала и Шпицбергена. Если рассматривать все пять упомянутых флор, то общими являются 46 видов. Таким образом, можно отметить, что общность флор наблюдается среди, преимущественно, горных районов.

При сравнении флоры Шпицбергена с флорами районов Арктики, расположенными по долготному градиенту, наиболее схожей (по числу общих видов) территорией оказывается тундровая зона Ненецкого АО и Полярный Урал (рис. 15.3).

В большей степени данный факт отражает не природные закономерности, а степень изученности, в то же время, возможная общность флорогенеза Шпицбергена и Гренландии (Шпицберген отделился от Гренландии примерно 200 млн. лет назад) не прослеживается. Коэффициент сходства между флорами Шпицбергена и Гренландии 31%. Вероятно, что существовавшая реликтовая флора была уничтожена сплошным оледенением и заселение территории архипелага после отступления ледника происходило с юга – со стороны Скандинавского полуострова и Мурманской области. В пользу этого предположения говорят значения флористического сходства флоры Шпицбергена с другими континентальными районами (рис. 15.4). Наблюдается значительная флористическая общность флоры архипелага с флорой Мурманской области, с флорой Ненецкого АО, Полярного Урала, Швеции.

Отдельный обособленный кластер объединяет флоры арктических архипелагов: Земля Франца-Иосифа, Новая Земля (схожи друг с другом на 49%) и Северная Земля. Пару флор Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (36 общих видов) характеризует примерно равная изученность, которая явно недостаточна и не позволяет делать адекватные выводы о флористических связях. Следует ожидать по крайней мере трехкратного увеличения числа видов при дальнейших исследованиях. Очевидно, из-за недоизученности флор Земли Франца-Иосифа и Новой Земли флористическое сходство флоры Шпицбергена и флор указанных архипелагов невысоко. В паре Шпицберген – Земля Франца-Иосифа оно составляет 25%, в паре Шпицберген – Новая Земля 26%.

Архипелаг Северная Земля имеет низкую изученность (41 вид), соответственно, сходство его флоры с флорой Шпицбергена минимально (22%), чуть выше они в парах флор Северная Земля – Новая Земля (28%) и Северная Земля – Земля Франца-Иосифа (38%). Более высокий коэффициент сходств получен при сравнении не общей флоры Шпицбергена, а только территории, относящейся к полярным пустыням – о-ва Северо-Восточная Земля с флорами других районов этой зоны (рис. 15.5).

Построенный на основе коэффициента сходства Сьеренсена дендрит (рис. 15.6) также позволяет проследить некоторые закономерности – флора Шпицбергена кластеризуется вместе с

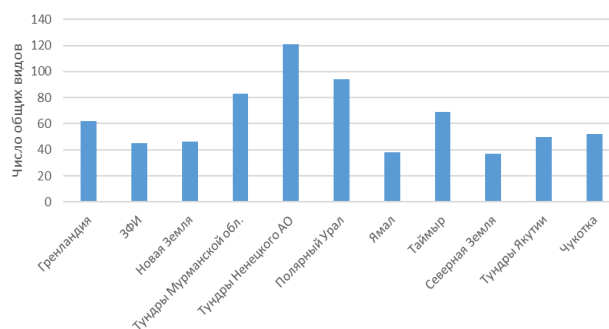


Рисунок 15.3 – Изменение количества общих видов в районах евроазиатской Арктики и Гренландии по сравнению с флорой Шпицбергена по долготному градиенту



Рисунок 15.4 – Коэффициенты сходства Сьеренсена между флорой Шпицбергена и флорами близлежащих районов: **FJL** – арх. Земля Франца-Иосифа, **G** – Гренландии, **MR** – Мурманской обл., **NT** – Ненецкого АО, **NZ** – арх. Новая Земля, **PU** – Полярного Урала, **SV** – арх. Шпицберген, **SZA** – арх. Северная Земля, **SW** – Швеции

флорами тундр и лесов Мурманской области, это наиболее западные и хорошо изученные территории, довольно схожи флоры лесной зоны Мурманской области и тундр Ненецкого АО, флора которого в свою очередь демонстрирует связи с Приполярным Уралом, Полярным Уралом и флорами Якутии. Видимо, сказывается общность видов равнинных тундр и хорошая выявленность гидрофитов.

Таким образом, можно отметить, что несмотря на значительную разницу в изученности отдельных территорий, проведенный флористический анализ позволяет утверждать, что флора цианопрокариот Шпицбергена демонстрирует относительно высокое сходство с флорами тундровой зоны и субарктической части Мурманской области. В свою очередь флора Мурманской области демонстрирует единство и явные флористические связи с флорой Ненецкого АО. Данная флора является связующей для ряда территорий – Полярный и Приполярный Урал, Якутия. Четкий и обособленный кластер объединяет флоры Полярного Урала с расположенными восточнее Ямалом, Таймыром, Красноярским Краем. Флоры арктических архипелагов также имеют сходство и объединяются в одну группу: Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Гренландия. Отсутствие в этом кластере Шпицбергена свидетельствует о его специфике, отражает более мягкий климат (больше число видов, наличие видов характерных для южных флор). Эти особенности подчеркивают, что флора Шпицбергена в зональном отношении отражает всю евроазиатскую Арктику, а не только суровые высокоширотные районы.

Как было показано (Давыдов, 2010; Nabout et al., 2013) географический анализ видов цианопрокариот разработан довольно слабо. Проблемы выявления географических элементов связаны с широкими ареалами большинства таксонов цианопрокариот, что обусловлено 1) древним возрастом происхождения, а также 2) обитанием большого числа видов в водных экосистемах, что приводит к интразональному характеру распространения. Многие амфибиальные виды также могут встречаться как в наземных, так и в водных экотопах, это сказывается на величине их ареалов, охватывающих обширные пространства по всему Земному шару или на значительной его территории. Ареалы видов наземных местообитаний имеют более конкретные очертания, но такие цианопрокариоты уступают по

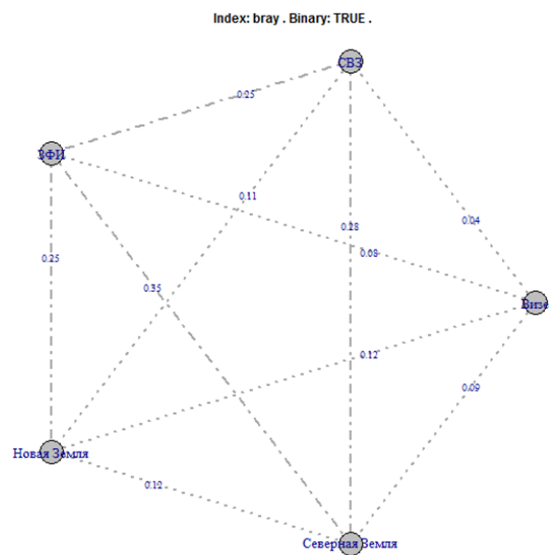


Рисунок 15.5 – Сравнение флор зоны полярных пустынь на основе коэффициента сходства Сьеренсена: **ЗФИ** – флора арх. Земля Франца-Иосифа, **СВЗ** – флора о-ва Северо-Восточная Земля (арх. Шпицберген)

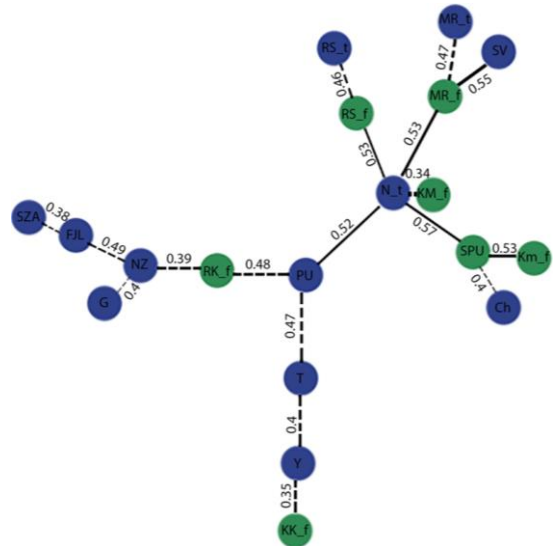


Рисунок 15.4 – Дендрит сходства флор отдельных территорий, построенный на основе коэффициента Сьеренсена. Флоры Арктики выделены синим, флоры Субарктики – зеленым; **Ch** – тундровой зоны Чукотки, **FJL** – арх. Земля Франца-Иосифа, **G** – Гренландии, **KM\_f** – субарктической части Камчатки и Магаданской обл., **KK\_f** – субарктической части Красноярского Края, **Km\_f** – лесной зоны Респ. Коми, **MR\_f** – субарктической части Мурманской обл., **MR\_t** – тундровой зоны Мурманской обл., **N\_t** – тундровой зоны Ненецкого АО, **NZ** – арх. Новая Земля, **PU** – Полярного Урала, **RK** – Респ. Карелия, **RS\_f** – субарктической части Респ. Саха, **RS\_t** – тундровой зоны Респ. Саха, **SPU** – Приполярного Урала, **SV** – арх. Шпицберген, **SZA** – арх. Северная Земля, **T** – Таймыра, **Y** – Ямала



численности гидрофитам и водно-наземным цианеям. 3) Цианопрокариоты (особенно наземные и водно-наземные виды) приурочены к микронишам, в которых поясно-географические условия нивелируются, а решающее значение имеют узкоэкологические факторы среды. 4) Потенциальное генетическое разнообразие видов выше, чем наблюдаемое морфологическое разнообразие (Nabout et al., 2013; Dvorak et al., 2015; Pushkareva et al., 2015). Велико число потенциальных «криптических» видов (Komárek, 2010), которые выделены на данный момент во многих родах: *Microcoleus* (Siegesmund et al., 2008), *Oculatella* (Osorio-Santos et al., 2014), *Trichocoleus* (Mühlsteinová et al., 2014), *Phormidium* (Casamatta et al. 2003; Hašler et al. 2012), *Scytonema* (Sendall, McGregor, 2018) и др.

Для прокариот характерно превышение генотипического разнообразия над фенотипическим, поэтому многие морфотипы имеют ареалы, охватывающие обширные пространства по всему Земному шару или на значительной его территории. Молекулярно-генетические исследования морфологически идентичных таксонов из различных географических областей демонстрируют наличие дивергенции генотипов в удаленных популяциях (Rudi et al., 1998, цит. по: Komárek, Anagnostidis, 1998). Это подтверждает гипотезу Н.Н. Воронихина (1950), который считал, что в континентальных водоемах различных регионов один и тот же «макротип» водорослей отличается по составу внутривидовых таксонов, а с позиций современной систематики и различных «узких» видов. В иностранной литературе при географическом анализе зачастую используется подход с выделением «морфофидов» (Komárek, Zapomělová, 2007, 2008; Komárková et al., 2010; Aguilera et al., 2016).

В настоящий момент проблема достоверной идентификации таксонов подразумевает всестороннее изучение организма с учетом его морфологических особенностей, внутриклеточной анатомии, получения молекулярно-генетической информации о последовательностях пригодных для построения филогении генов, экологии местообитаний, физиологических параметров. Большая часть этой информации в работах современных исследователей, и все данные, приводимые в литературных источниках не учитывается, так как идентификация в подавляющем большинстве случаев проводилась только на основе морфологии талломов, колоний, трихомов и / или отдельных клеток, типов ветвлений и т.д. Ряд из этих признаков являются экологически пластичными и не могут использоваться для филогении (Dvořák et al., 2015). Такой традиционный подход обусловлен возможностью использовать нативные образцы, для определения которых необходим только световой микроскоп, а также богатым опытом анатомо-морфологической классификации, отраженной в ключах определителей видов.

Морфологические признаки многих родов цианобактерий очевидно недостаточны и это ограничивает их применение для филогении и идентификации (Boyer et al., 2001; Casamatta et al., 2003; Johansen, Casamatta, 2005; Siegesmund et al., 2008; Hašler et al., 2012; Dvořák et al., 2015; Sendall, McGregor, 2018 и др.). Простая морфология обладает низкой разрешающей способностью, и выделенные на ее основе роды, семейства и высшие таксоны являются полифилетичными (Komárek et al., 2014).

Достоверная идентификация цианопрокариот, выявленных в различных арктических местообитаниях только на основе морфологических признаков, зачастую невозможна. Применение анализа последовательностей отдельных генов возможно только при наличии моновидовых культур или в ряде случаев при секвенировании отдельных клеток (Mareš et al., 2015). Представители широко распространенных таксонов, таких как *Dichothrix*, *Petalonema*, *Stigonema*, являются устойчивыми к культивированию и для них сложно получить данные о последовательностях генов. Очень ограничено количество изученных генотипов типичных наземных цианобактерий, таких как *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeocapsopsis*. В целом из всего видового разнообразия цианопрокариот генетическая информация известна только для трети видов (Mai et al., 2018). Секвенирование следующего поколения (NGS), сможет раскрыть цианобактериальное разнообразие природных сообществ. В настоящее время результаты NGS предоставляют большое количество абстрактных организационных

таксономических единиц (Strunecky et al., 2019). прежде всего из-за низкой разрешающей способности и ограниченного числа таксонов с известной генетической информацией. Неопознанные единицы не могут использоваться для экологических или географических исследований. Возможно, в текущий переходный период использование «морфологических видов» в качестве суррогатных единиц будет полезно при изучении биоразнообразия.

Ситуация составления адекватных представлений об ареалах видов остается на сегодняшний день неразрешимой, но не следует отказываться от географического критерия разграничения видов (Johansen, 2016).

Несмотря на все оговорки, понимание подавляющего большинства таксонов на сегодняшний день остается неизменным и обобщение данных о распространении видов в виде единой базы данных необходимо. Такая база данных будет способствовать в том числе и вычленению криптологических видов или анализа местообитаний, выбивающихся из ареала вида, что, в конечном итоге, будет побуждать

исследователей пересматривать видовую принадлежность таксонов в таких местообитаниях и способствовать составлению карт ареалов, точно отражающих реальность.

Выявление географических закономерностей в распределении прокариот необходимо для понимания глобальных трендов, так как микроорганизмы наиболее многочисленная и разнообразная группа, ключевая во всех биомах (Hug et al., 2016; Locey, Lennon, 2016).

Анализируя характер распространения видов Шпицбергена в мире, можно констатировать, что подавляющее большинство из них (43%), так же, как и в любой флоре цианопрокариот относится к представителям космополитного географического элемента (рис. 15.7).

Во флоре значительно проявляются бореальные черты (11%), прежде всего за счет гидрофитных видов (*Anabaena aequalis*, *A. catenula*, *A. jonssonii*, *Dolichospermum planctonicum*, *Gomphosphaeria cordiformis*, *G. natans*, *Tolypothrix limbata*, *Tychonema bornetii*, *Woronichinia compacta*, *W. delicatula*, *W. elorantae*, *W. karelica*, *W. naegeliana*, *W. tenera* и др.). Арктическая специфика подчеркивается как видами непосредственно арктического географического элемента (3%) (*Anagnostidinema deflexum*, *Clastidium cylindricum*, *Komvophoron groenlandicum*, *Leptolyngbya antarctica*, *L. glacialis*, *L. sieminskae*, *Pseudanabaena biceps*, *P. frigida*) так и арктобореальными видами (3%) (*Aphanocapsa fusco-lutea*, *Aphanocapsa parietina*, *Jaaginema pseudogeminatum*, *Petalonema incrustans*, *Phormidiochaete nordstedtii*, *Phormidium ingricum*, *Rivularia biasolettiana*, *Stigonema mamillosum*). Характерной чертой флоры Шпицбергена является и высокий процент монтанных видов (9%) (*Aphanocapsa rivularis*, *A. testacea*, *Chamaesiphon fuscus*, *C. polonicus*, *Chroococcus montanus*, *C. spelaeus*, *C. tenax*, *Gloeocapsa biformis*, *G. novacekii*, *G. ralfsii*, *G. rupicola*, *G. tornensis*, *G. violascea*, *Gloeocapsopsis pleurocapsoides*, *Schizothrix facilis*, *Siphononema polonicum*, *Stigonema informe*, *Tolypothrix penicillata* и др.), а также арктомонтанных видов (5%) (*Ammatoidea normanii*, *Aphanocapsa hyalina*, *Calothrix elenkinii*, *Chamaesiphon rostafinskii*, *Chlorogloea microcystoides*, *Chroococcus turicensis*, *Gloeocapsa alpina*, *G. bituminosa*, *G. compacta*, *G. fusco-lutea*, *G. kuetzingiana*, *G. punctata*, *G. rupestris*, *G. sanguinea*, *Schizothrix simplicior*). Группа видов характеризуется преимущественно бореально-монтанным распространением или арктобореально-монтанным (2%) (*Chroococcus cohaerens*, *Clastidium setigerum*, *Gloeocapsa atrata*, *Gloeothece confluens*, *Leptolyngbya notata*, *Rhabdoderma irregulare*).

Значительное число видов не удалось отнести к какому-либо географическому элементу (23%).

Распределение видов цианопрокариот по типам ареалов (рис. 15.8) свидетельствует о преобладании таксонов с широким распределением по долготным секторам – наряду с космополитными преобладают циркумполярные (12%) и евроазиатские (9%) виды.

В результате изучения коллекций лишайников, собранных в 2016 г. на о. Земля Принца Карла, был выявлен 61 вид лишайников и четыре лишенофильных гриба (*Catillaria stereocaulorum*, *Cercidospora stereocaulorum*, *Endococcus macrosporus*, *E. propinquus*), новых

для острова. Среди них *Xylographa trunciseda* является новым видом для Арктики, *Rhizocarpon cinereonigrum* впервые обнаружен на архипелаге Шпицберген.

Для редких таксонов выявлены отличия от близких видов и особенности распространения. Всего к настоящему времени для о. Земля Принца Карла известно 216 видов лишайников и 4 лихенофильных гриба.

В результате идентификации образцов печеночников с побережья залива Инвика составлен предварительный аннотированный список видов, насчитывающий 34 вида. В их числе два вида, ранее не указывавшихся для Северо-Восточной Земли (*Nardia geoscyphus* (De Not.) Lindb, и *Gymnocolea inflata* (Huds.) Dumort.). Этикетки всех идентифицированных образцов внесены в ИС L. (CRIS). Завершение определения коллекции и публикация материала планируются на 2024 год.

Проведено интегративное исследование мало изученного арктического рода *Cryptocoea*, в выборке изученных образцов которого использовались образцы со Шпицбергена. Этот монотипный род предварительно помещался ранее в семейство *Solestomataceae*. В результате проведенной работы уточнено положение рода в системе. В частности, на основе большой выборки образцов из разных регионов показано, что род, филогенетически далек от *Solestomataceae*, а близок с родами семейства *Southbyaceae*. На построенных по трем локусам (ITS1-2, *trnL-F* and *rbcL*) филогенетических деревьях *Cryptocoea* расположена в кладе с двумя родами (*Gongylanthus* и *Southbya*) из семейства *Southbyaceae*. Положение рода в *Southbiaceae* обосновано как на молекулярном, так и на морфологическом уровнях. Выполнено подробное описание рода, рассмотрена варибельность морфологических признаков и трех локусов ДНК, уточнены экология распространение в мире. Подготовленная статья с анализом молекулярно-генетических и морфологических особенностей рода, должна быть опубликована в конце года в *Arctoa*.

На второй Всероссийской конференции «Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов», посвященная 200-летию указа об именовании Ботанического сада на Аптекарском острове Императорским, проходившей в рамках Второго научного форума «Генетические ресурсы России» в июне 2024 года был сделан доклад «Гербарий ПАБСИ КНЦ РАН как основа таксономических исследований». В докладе было показано, что в гербарии ПАБСИ (КРАВГ) хранится, очевидно, крупнейшая в России коллекция печеночников с архипелага Шпицберген. Был дан краткий анализ этой коллекции и показаны ее преимущества перед другими, в том числе более крупными коллекциями. Эти преимущества заключаются прежде всего в точной документации местонахождений (координаты определялись с помощью GPS), относительно подробном описании микроусловий, в которых вид был найден, а также в том, что это современная коллекция, в которой возраст образцов не превышает 25 лет, что позволяет использовать ее в молекулярно-генетических исследованиях.

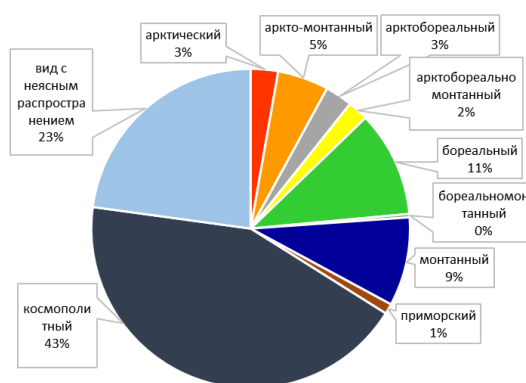


Рисунок 15.7 – Распределение видов цианопрокариот флоры Шпицбергена по географическим элементам

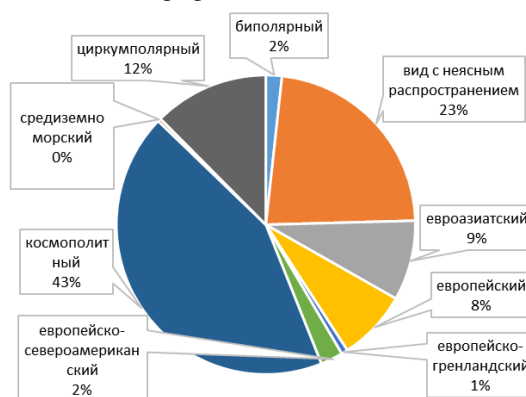


Рисунок 15.8 – Распределение видов цианопрокариот по типам ареалов во флоре Шпицбергена

*Изучение особенностей адаптации высших сосудистых растений Западного Шпицбергена на уровне изменений фотосинтетического аппарата и метаболической активности. Изучение анатомо-морфологических параметров ассимилирующих органов, показателей липидного обмена широко распространенных и редких видов*

Целью физиологических исследований была оценка степени пластичности фотосинтетического аппарата и механизмов адаптации высших сосудистых растений Западного Шпицбергена при прогнозировании изменения климата.

Исследованы мезоструктура и липидный состав листьев трех видов листопадных кустарничков (*Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *Salix polaris*) флоры Западного Шпицбергена.

Показано, что все виды имеют сходные характеристики анатомии листа: мелколиственность, дорсовентральное строение листа с четкой дифференцировкой на палисадный и губчатый мезофилл. Для *Salix polaris* выявлено увеличение объема устьичного аппарата за счет амфистоматического типа листовой пластинки, высокий коэффициент палисадности и наибольшее содержание ненасыщенных жирных кислот (ННЖК). Все это обеспечивает более высокую функциональную активность этого вида и его широкое распространение. У *Betula nana* и *Vaccinium uliginosum* отмечено большее разнообразие жирных кислот благодаря «второстепенным» ННЖК, что можно рассматривать как дополнительный стратегический путь регуляции и поддержания текучести мембран растений. Для *Salix polaris* отмечено увеличение механической ткани листа. Мы предполагаем, что большие объемы устьичного аппарата, увеличение прочности тканей листьев у *Salix polaris* могут стимулировать транспирацию и активацию минерального питания. Условия Западного Шпицбергена с точки зрения соотношения жирных кислот - C18:3/C18:2 вполне благоприятны для вегетативного развития всех изученных карликовых кустарничков. Однако специфика репродуктивного развития отмечена только у *Salix polaris*. Выявленные структурные особенности листа и жирнокислотного состава липидов листьев могут частично объяснить различия в онтогенезе растений. Контрастный результат в жизнедеятельности древесных видов связан с высоким уровнем гетерогенности ландшафтно-климатических условий и различным географическим ареалом видов, что является особенностью флоры арктических тундр Западного Шпицбергена.

Проведенные исследования показали, что исследованные виды кустарничков адаптированы к экстремальным условиям Западного Шпицбергена, но имеют разные стратегии. Для *Salix polaris* – это активное взаимодействие с факторами среды за счет стандартных структурно-функциональных изменений, в том числе и поддержания текучести мембранных систем за счет их ненасыщенности. Для *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum* поддержание функциональной активности происходит в результате частичной изоляции от факторов среды, в том числе и на уровне мембранных систем клеток листа. С этими различиями, по-видимому, связаны и онтогенетические особенности *Betula nana* и *Vaccinium uliginosum*, которые обусловлены коротким вегетационным периодом данных видов, оказавшихся на краю ареала распространения, и их поддержание происходит за счет только вегетативного размножения в условиях локальных экотопов. *Salix polaris*, как эврибионтный вид, за короткий вегетационный период успешно проходит все этапы вегетативного, генеративного развития и успешно плодоносит. Б.А. Тихомиров (1963) считает, что «не может быть единого типа арктических растений», поскольку в гетерогенной полярной среде встречаются виды, часть из которых успешно адаптировалась, а другие не смогли освоить широкий диапазон условий, но остаются в составе флоры Арктики. Их местообитания ограничены локальными экотопами, специфические условия которых позволяют поддерживать функциональную активность только в процессе вегетативного развития.

*Выявление особенностей температурного режима серогумусовых почв в юго-западной части острова Западный Шпицберген.*

Целью части почвенных исследований было выявить особенности температурного режима серогумусовых грубогумусовых почв Юго-Западного побережья острова Западный Шпицберген. В задачи входило:

– оценить основные статистические показатели температурного режима основных генетических горизонтов почв: среднегодовую, минимальную и максимальную среднесуточную температуру; абсолютную минимальную и максимальную температуру; сумму отрицательных, положительных и температур  $>5^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность периода с положительными, отрицательными температурами и температурой  $>5^{\circ}\text{C}$ .

– выявить особенности распределения основных показателей температурного режима по профилю почвы в годовом цикле;

– выявить влияния локальных факторов (абсолютной отметки, экспозиции и крутизны склона) на распределение основных показателей температурного режима верхнего органогенного горизонта (глубина 2 см) в годовом цикле;

– выявить зависимость температуры основных горизонтов почв от температуры воздуха.

Серогумусовые грубогумусовые почвы формируются под сплошным мохово-кустарничковым покровом на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген. Профиль серогумусовых почв представлен следующим набором горизонтов: O(AO) - AYao – AYaoC (рис. 15.9). Характерными особенностями почв являются:

- высокая и глубокая (до 90 см и более) гумусированность профиля;

- относительно высокие для такой широты содержания Сорг в диагностическом серогумусовом грубогумусовом горизонте: варьируют от 1.5 до 13.5% (медиана 3.1%, N=25);

- отсутствие дифференциации цвета и химического состава в минеральной части профиля.

Стационарные площадки, где проводились исследования, были расположены на высоте 92, 141, 252 и 244 м н.у.м. на склоне горного хребта Грэнфьорд около поселка Баренцбург, Шпицберген (рис. 15.10, табл. 15.3). Номер площадки соответствует абсолютной отметке н.у.м. Распределение температурных показателей по профилю серогумусовых почв изучали на двух площадках (пл. 92 и 141). Измерения температуры проводили с 14 июля 2018 по 28 августа 2019 года в середине горизонта O на глубине 2 см, в середине дернового горизонта AYao на глубине 8-10 см, в переходном AYaoC горизонте на глубинах 20, 40 и 60 см. Зависимость температурных показателей верхнего органогенного горизонта O (глубина 2 см) от ландшафтных условий изучали на 4-ех стационарных площадках (пл. 92, 141, 244 и 252) с 20 июля 2016 по 2 августа 2017 года.

Средние за год температуры воздуха и гор. O серогумусовых почв в геопрофиле в сезон 2016/2017 были характерны отрицательные средние за год температуры. Продолжительность периода с положительными температурами составила 173 дня. В гор. O она была на 15-20 дней меньше. Сумма положительных температур в воздухе за этот период составила  $700^{\circ}\text{C}$ , в горизонте O она была на  $170-200^{\circ}\text{C}$  меньше. Распределение основных температурных показателей гор. O в геопрофиле не имело регулярного характера и зависело от сезона. Причем, для каждой площадки было свойственно свое сочетание усредненных за год температурных показателей. Если по продолжительности периодов с отрицательными и

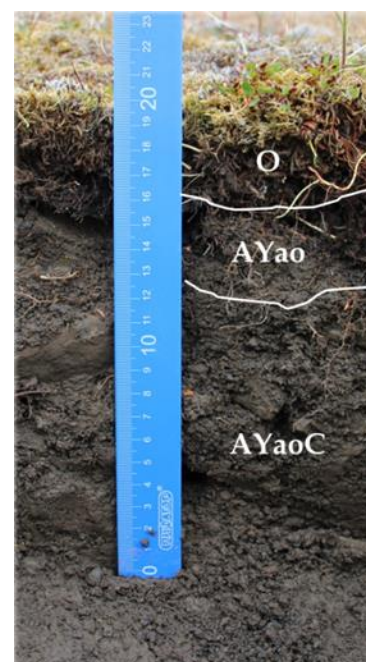


Рисунок 15.9 – Профиль серогумусовых почв Шпицбергена



положительными среднесуточными температурами площадки, незначительно различаются друг от друга, то по суммам положительных и отрицательных температур различия между площадками были уже более очевидны, при этом их распределение не всегда соответствовало их распределению по абсолютной отметке. Так, самая высокая сумма и отрицательных и положительных среднесуточных температур была обнаружена на пл. 252, расположенной на вершине хребта. Наибольшее количество дней с температурой  $>5^{\circ}\text{C}$  и сумма среднесуточных температур  $>5^{\circ}\text{C}$  была приурочена к площадкам, занимающим самые верхние позиции ландшафта - пл. 252 и 244. Наименьшие значения этих показателей были свойственны пл. 141, расположенной в средней части геопрофиля на второй морской террасе с небольшим уклоном поверхности.

Распределение среднемесячных температур по площадкам (рис. 15.11) объясняет неоднозначность распределения температурных показателей, рассчитанных за год: каждая площадка имеет свои особенности годового цикла, и распределение между площадками среднемесячной температуры различно в разные месяцы. Так в июле 2016 и 2017 гг. самыми теплыми были площадки, занимающие самое высокое положение в ландшафте: пл. 244 (крутой восточный склон хребта) и пл. 252 (вершина хребта, не экранирована рельефом). Наоборот, самой холодной была пл. 141 (вторая морская терраса, наименьший наклон поверхности). В августе при небольшом снижении температуры воздуха, различия между площадками по температуре почв сглаживались. В сентябре и октябре при небольшой продолжительности дня, наоборот, почва на пл. 141 была наиболее теплой, а пл. 252 и 244 – самыми холодными. В течение 7-ми месяцев (с ноября по май) среднемесячные температуры, и воздуха, и почв находились в отрицательной области. При этом, именно в эти зимние месяцы наблюдаются самые высокие различия между площадками по температуре. В этот период, значительно более холодной площадкой является пл. 252 на вершине хребта. Скорее всего, это обусловлено тем, что снег сдувается с выпуклой поверхности на этом месте и температура верхнего слоя почвы здесь четко следует за температурой воздуха. Сдуванием снега (свидетельства очевидцев) объясняются и низкие температуры почвы на пл. 92 в зимний период. В то же время при отсутствии снега почва на пл. 252 и 92, начинает быстрее прогреваться весной. Наименее холодными в зимний период были почвы на пл. 141 и 244 с постоянным и достаточно мощным снежным покровом. Однако весной почва на этих площадках начинала прогреваться позднее, особенно на пл. 244, где снег лежал до 20 июня.

Распределение среднесуточных температур гор. О в годовом цикле достоверно (при  $p \leq 0.01$ ) коррелировало с температурой воздуха:  $r = 0,98$  (пл. 252),  $r = 0,97$  (пл. 92),  $r = 0,96$  (пл. 141),  $r = 0,94$  (пл. 244). Средние значения различий температуры гор. О серогумусовых почв от температуры воздуха для летних месяцев (июль, август) 2016 и 2017 гг. составили 0,4, 0,7, 0,3 и 0,1 $^{\circ}\text{C}$  для площадок 92, 141, 252 и 244, соответственно. Максимальные отличия температуры гор. О от воздуха в летние месяцы составили 2,6 $^{\circ}\text{C}$  (пл. 92 и 252), 3,4 $^{\circ}\text{C}$  (пл. 141)



Рисунок 15.10 – Расположение стационарных площадок для изучения серогумусовых почв Шпицбергена

Таблица 15.3. Ландшафтная характеристика стационарных площадок

Площадка	Координаты	Рельеф	Уклон, °
Пл. 92	N: 78°03'30,5" E: 14°13'23,4"	Пологий солифлюкционный склон, западная экспозиция	15
Пл. 141	N: 78°03'33,4" E: 14°13'50,8"	Вторая морская терраса, западная экспозиция	5
Пл. 252	N: 78°03'41,8" E: 14°14'25,6"	Вершина горного хребта, западная экспозиция	2-3
Пл. 244	N: 78°03'40,4" E: 14°14'41,2"	Противоположный крутой склон, восточная экспозиция	45

и 2,1 °С (пл. 244). Для 75 (пл. 92), 62 (пл. 141), 70 (пл. 252) и 60% (пл. 244) летних дней отличия температуры гор. О от воздуха не превышали 1 °С.

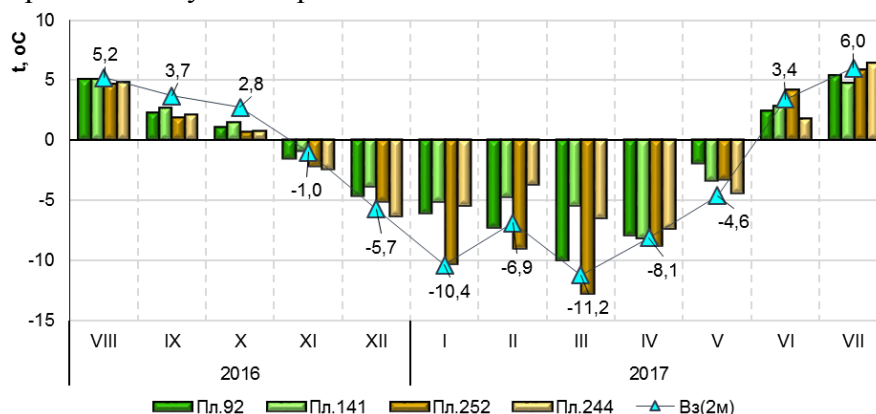


Рисунок 15.11 – Распределение среднемесячных температур гор. О серогумусовых почв на стационарных площадках в геопрофиле склона горного хребта Гренфьорд и воздуха на высоте 2 м (данные метеостанции «Баренцбург», www.rp5.ru). Август 2016 – июль 2017 г.

Связь между температурой гор. О (y) и температурой воздуха (x) описывалась следующими эмпирическими уравнениями:

$$\text{Пл. 92: } y=0,81x + 0,78 \text{ (достоверность аппроксимации, } R^2 = 0,75)$$

$$\text{Пл.141: } y=0,67x + 1,28 \text{ (достоверность аппроксимации, } R^2 = 0,65)$$

$$\text{Пл.252: } y=0,98x - 0,1 \text{ (достоверность аппроксимации, } R^2 = 0,70)$$

$$\text{Пл.244: } y=1,0x + 0,05 \text{ (достоверность аппроксимации, } R^2 = 0,65)$$

Т.е. температура верхнего органогенного горизонта серогумусовых почв в летний период может быть оценена на основе данных температуры воздуха. В зимний период на соотношение температуры гор. О и воздуха значительное влияние оказывает наличие и мощность снежного покрова. При наличии снежного покрова (пл. 141 и 244) в январе 2017 г эти различия достигали 10 и более °С.

Для воздуха и всех горизонтов серогумусовых почв на пл. 92 и 141 в сезон 2018/2019 гг. были характерны отрицательные средние за год температуры. На пл. 92 (снег сдувается) средняя за год температура в большинстве горизонтов почвы была ниже, чем в воздухе. Самая низкая средняя за год температура была свойственна верхнему органогенному горизонту О, наименее низкая – на глубине 20 см. Градиент средних температур на пл. 92 составил 0,5°С. На пл. 141 (наличие снежного покрова), наоборот, температура большинства горизонтов была выше по сравнению с воздухом. Самая низкая средняя температура была приурочена к глубине 40 см, наименее низкая – в верхнем органогенном горизонте О. Градиент средних температур в профиле почвы на пл. 141 составил 0,4°С.

Продолжительность периода с положительными температурами воздуха составила 145 дней. В профиле почвы на пл. 92 она варьировала от 125 дней в гор. О до 149 дней на глубине 60 см. На пл. 141 наименьшее количество дней с положительной температурой пришлось на глубину 40 см -123 дня. Несмотря на наличие вечной мерзлоты (на пл. 92 она находится на глубине 2 м), продолжительность периода с положительными температурами даже на глубине 60 см в обоих разрезах составила около 150 дней.

Суммы и положительных, и отрицательных температур в основных горизонтах почв на обеих площадках были существенно ниже по сравнению с воздухом. Самый высокие суммы и отрицательных, и положительных температур в почвах на обеих площадках были свойственны верхнему гор. О. С глубиной они постепенно снижались, достигая минимума на глубине 60 см. Градиент по сумме положительных температур на пл. 92 составил 170°С, на пл. 141 он был выше – более 160°С. Суммы температур более 5 оС более резко снижались с глубиной: с 230 в верхнем гор. О до 0 на глубине 60 см на пл. 92 и с 460 в гор. О до около 50 на глубине 60 см. Т.е., как оказалось, локальные условия (например, наличие или отсутствие

снежного покрова) может оказать существенное влияние на профильное распределение основных температурных показателей в серогумусовых почвах.

Градиент температур и положение минимальных и максимальных средних за месяц температур в профиле зависели от сезона (рис. 15.12). В июле 2019 г. температура почвы постепенно снижалась с глубиной, а разница между верхним и самым нижним слоем составила 2,7°C на пл. 92 и 4,4°C на пл. 141.

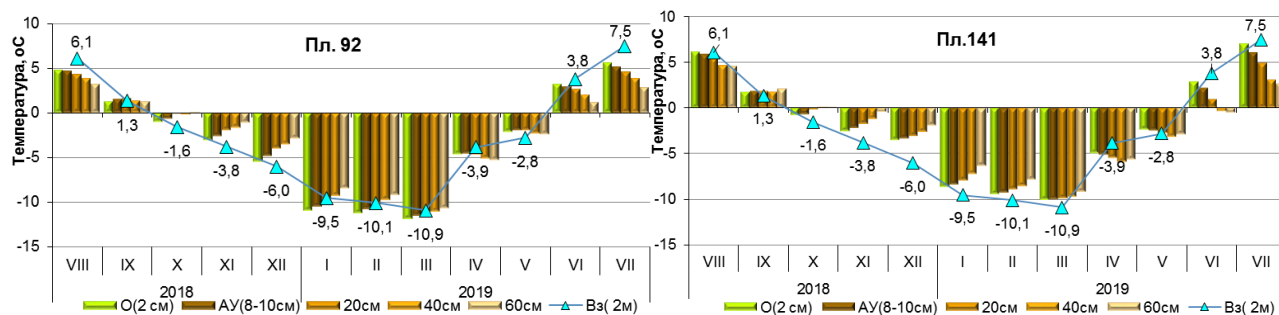


Рисунок 15.12 – Распределение среднемесячных температур основных горизонтов серогумусовых почв на площадках 92 и 141 и воздуха на высоте 2 м (данные метеостанции «Баренцбург», www.rp5.ru) в годовом цикле. Август 2018 – июль 2019 г.

В сентябре температура почв стала значительно ниже, но осталась в положительной области. При этом различия между слоями почвы стали ниже: всего 0,3°C на пл. 92 и 0,7°C на пл. 141. В октябре ниже 0°C температура опустилась только в двух верхних горизонтах. С ноября 2018 по май 2019г. среднемесячные температуры были ниже 0°C и постепенно снижались одновременно с температурой воздуха. Самым холодным месяцем и для воздуха и для всех горизонтов почв был март. С декабря 2018 по март 2019 г. температура в почве, наоборот, повышалась с глубиной. Максимальный градиент в профиле почв в зимний период пришелся на декабрь и составил 3,2°C на пл.92 и 4,1°C на пл. 141. К марту различия между слоями почв по средней за месяц температуре значительно снизился: до 0,3°C на пл. 92 и до 1,8°C на пл. 141. д, а градиент в декабре составил 2,6°C. В апреле и мае 2019 г. температура и воздуха, и всех горизонтов почв повысилась, но осталась в отрицательной области. При этом наименее низкая температура пришлось на верхние горизонты. В июне 2019 г. температура всех горизонтов на пл. 92 стала положительной, а на пл. 141 – только верхние. Характерным и для июня, и для июля 2019 г. являлось постепенное снижение температуры почвы с глубиной.

Благодаря влиянию теплого Атлантического течения Гольфстрим для почв юго-западного побережья острова Западный Шпицберген характерно специфичное для высокой Арктики сочетание температурных показателей: отрицательные среднегодовые температуры (-2, -3°C), небольшая сумма положительных температур (200-500°C), глубокое проникновение положительных температур летом и большая продолжительность периода с положительными температурами (4-5 месяцев) всего профиля, несмотря на наличие вечной мерзлоты. Такой температурный режим оказался достаточно благоприятным для формирования в условиях высокой Арктики хорошо развитых серогумусовых почв.

Таким образом:

– Сумма и отрицательных и положительных температур основных горизонтов серогумусовых почв существенно ниже по сравнению с воздухом. При этом сумма отрицательных температур основных горизонтов серогумусовых почв значительно превосходит сумму положительных температур: отрицательная температура верхних горизонтов составляет -1300 – -1500°C, положительных – около 500°C. С глубиной суммы и отрицательных, и положительных температур снижаются. Градиент для обоих показателей в пределах 60 см составляет около 200°C.

– Продолжительность периода с положительными температурами варьировал от 120 до 150 дней, причем максимальное их количество в профиле приходилось на нижние слои.

– Среднесуточные температуры более 10°C были зафиксированы в единичных случаях. По сумме температур более 5°C и продолжительности этого периода были выявлены значительные различия между площадками: на пл. 92 сумма резко снижалась от 230 в верхнем горизонте до 0°C на глубине 60 см, на пл. 141 - от 440 до около 50°C.

– Положительные средние за месяц температуры держались в течение 5-ти месяцев. Самые высокие средние за месяц температуры во всех горизонтах были отмечены в июле 2019 года, самые низкие – в марте 2019 года. Градиент температур и положение минимальных и максимальных средних за месяц температур в профиле зависели от сезона: летом максимальные температуры были характерны для верхних горизонтов, в зимний – для нижних.

– Как показали результаты исследований, абсолютная отметка в диапазоне от 92 до 252 м н.у.м. не оказала ощутимого влияния температурный режим верхнего органогенного горизонта серогумусовых грубогумусовых почв. Вместе с тем, такие характеристики ландшафта, как экспозиция и крутизна склона, а также форма поверхности оказывают существенное влияние на температурный режим почв, не только определяя приход солнечной радиации в летний период, но и перераспределяя снег в зимний период. Каждая площадка, в зависимости от сочетания ее ландшафтных характеристик, имеет свои характерные особенности годового цикла температуры почв.

Результаты исследований представлены в публикациях в реферируемых журналах и на научных конференциях:

Davydov D., Vilnet A., Novakovskaya I., Patova E. Terrestrial Species of *Drouetiella* (Cyanobacteria, Osculatellaceae) from the Russian Arctic and Subarctic Regions and Description of *Drouetiella ramosa* sp. nov. // Diversity, 2023. Vol. 15. 132. DOI: 10.3390/d15020132

Konstantinova N.A., Vilnet A.A., Mamontov Yu.S. On phylogeny, distribution and variability of *Cryptocolea imbricata* R.M.Schust. // Arctoa, 2023. Vol. 32(2).

Конорева Л.А., Чесноков С.В. Дополнение к лишенобиоте острова Земля Принца Карла (архипелаг Шпицберген) // Новости систематики низших растений, 2023. Т. 57(2): L7–L14. DOI: 10.31111/nsnr/2023.57.2.L7

Савельева А.А. Температурный режим серогумусовых грубогумусовых почв юго-западного побережья Шпицбергена // Материалы Международной научной конференции XXVI Докучаевские молодежные чтения «Матрица почвоведения» / Под ред. Б.Ф. Апарина. СПб., 2023. С. 66-67.

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. 2023.

Константинова Н.А., Вильнет А.А. Гербарий ПАБСИ КНЦ РАН как основа таксономических исследований // Вторая Всероссийская конференция «Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов», посвящённая 200-летию указа об именовании Ботанического сада на Аптекарском острове Императорским, в рамках Второго научного форума «Генетические ресурсы России», 26–28 июня 2023 г. Санкт-Петербург.

Давыдов Д., Вильнет А., Новаковская И., Патова Е. Виды *Drouetiella* (Cyanobacteria, Osculatellaceae) в российской Арктике и Субарктике // V Международная научная школа-конференция «Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение, использование в биотехнологии», г. Москва. Пленарный доклад.

Савельева А.А. Температурный режим серогумусовых грубогумусовых почв юго-западного побережья Шпицбергена // Международная научная конференция XXVI Докучаевские молодежные чтения «Матрица почвоведения». 1-3 марта 2022 г. Санкт-Петербург.

Литература:

- Воронихин, Н. Н. Принципы флористических исследований в области альгологии водоемов континента. Проблемы ботаники. М, 1950, No. 1, с. 184-208.
- Давыдов Д.А. Особенности географического распределения и анализа цианопрокариот (Cyanoprokaryota/Cyanobacteria) на примере биоты Мурманской области. Бюл. МОИП. Отдел биологический, 2010. 115(4), 43-54.
- Мелехин, А. В., Давыдов, Д. А., Шалыгин, 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).
- Aguilera, A., Komárek, J., Echenique, R. O. *Anabaenopsis morphospecies* (Cyanobacteria, Nostocales) from Los Patos shallow lake (Province of Buenos Aires, Argentina). *Phytotaxa*, 2016. 272(3), 173-183.
- Casamatta, DA, Vis, ML, Sheath, RG Cryptic species in cyanobacterial systematics: a case study of *Phormidium retzii* (Oscillatoriales) using RAPD molecular markers and 16S rDNA sequence data. *Aquatic Botany*, 2003. 77 (4), 295-309.
- Culberson, C. F., Ammann, K. Standardmethode zur dünn-schichtchromatographie von flechtensubstanzen. *Herzogia*, 1979. p. 1-24.
- Dvořák, P., Pouličková, A., Hašler, P., Belli, M., Casamatta, D. A., Papini, A. Species concepts and speciation factors in cyanobacteria, with connection to the problems of diversity and classification. *Biodiversity and Conservation*, 2015. 24, 739-757.
- 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.
- Hašler, P., Dvořák, P., Johansen, J. R., Kitner, M., Ondřej, V., Pouličková, A. Morphological and molecular study of epipellic filamentous genera *Phormidium*, *Microcoleus* and *Geitlerinema* (Oscillatoriales, Cyanophyta/Cyanobacteria). *Fottea*, 2012. 12(2), 341-356.
- Hug, L. A., Baker, B. J., Anantharaman, K., Brown, C. T., Probst, A. J., Castelle, C. J., Banfield, J. F. A new view of the tree of life. *Nature microbiology*, 2016. 1(5), 1-6.
- Johansen, J.R., Casamatta, D.A. Recognizing cyanobacterial diversity through adoption of a new species paradigm. *Algological studies*, 2005. 117 (1), 71-93.
- Komárek, J. Recent changes (2008) in cyanobacteria taxonomy based on a combination of molecular background with phenotype and ecological consequences (genus and species concept). *Hydrobiologia*, 2010. 639(1), 245-259.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl, H., Gartner, G., Heynig, H., Mollenhauer, D. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1*, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm, 548 pp.
- Komárek, J., Zapomělová, E. 2007. Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena*= subg. *Dolichospermum*-1. part: coiled types. *Fottea*, 7(1), 1-31.
- Komárek, J., Zapomělová, E. 2008. Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena*= subg. *Dolichospermum*-2. part: straight types. -*Fottea* 8: 1-14.
- Komárková, J., Jezberová, J., Komárek, O., Zapomělová, E. Variability of *Chroococcus* (Cyanobacteria) morphospecies with regard to phylogenetic relationships. *Hydrobiologia*, 2010. 639, 69-83.
- Kozlov, A. M., Darriba, D., Flouri, T., Morel, B., Stamatakis, A. RAXML-NG: a fast, scalable and user-friendly tool for maximum likelihood phylogenetic inference. *Bioinformatics*, 2019. 35(21), 4453-4455.
- Kranner, I., Beckett, R. P., Varma, A. (Eds.) *Protocols in lichenology: culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring*. Berlin: Springer, 2002.
- Locey, K. J., & Lennon, J. T. Scaling laws predict global microbial diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016. 113(21), 5970-5975.
- Melekhin, A.V., Davydov, D.A., Bоровичев, 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.
- Mühlsteinová, R., Johansen, J. R., Pietrasiak, N., Martin, M. P. Polyphasic characterization of *Kastovskya adunca* gen. nov. et comb. nov. (Cyanobacteria: Oscillatoriales), from desert soils of the Atacama Desert, Chile. *Phytotaxa*, 2014. 163(4), 216-228.
- Nabout, J.C., da Silva Rocha, B., Carneiro, F.M., & Sant'Anna, C.L. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. *Biodiversity and conservation*, 2013. 22, 2907-2918.
- Neilan, B. A., Jacobs, D., Blackall, L. L., Hawkins, P. R., Cox, P. T., Goodman, A. E. rRNA sequences and evolutionary relationships among toxic and nontoxic cyanobacteria of the genus *Microcystis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1997. 47(3), 693-697.
- Orange et al., 2001 Orange, A., James, P. W., White, F. J. *Microchemical methods for the identification of lichens* // *British Lichen Society*, 2001.



Osorio-Santos, K., Pietrasiak, N., Bohunická, M., Miscoe, L.H., Kováčik, L., Martin, M.P., Johansen, J.R. Seven new species of *Oculatella* (Pseudanabaenales, Cyanobacteria): taxonomically recognizing cryptic diversification. *European journal of phycology*, 2014. 49 (4), 450-470.

Pushkareva, E., Pessi, I. S., Wilmotte, A., Elster, J. Cyanobacterial community composition in Arctic soil crusts at different stages of development. *FEMS microbiology ecology*, 2015. 91(12), fiv143.

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.

Sendall, B. C., McGregor, G. B. Cryptic diversity within the *Scytonema* complex: Characterization of the paralytic shellfish toxin producer *Heteroscytonema crispum*, and the establishment of the family *Heteroscytonemataceae* (Cyanobacteria/Nostocales). *Harmful algae*, 2018. 80, 158-170.

Siegesmund, M. A., Johansen, J. R., Karsten, U., & Friedl, T. *Coleofasciculus* gen. nov. (Cyanobacteria): Morphological and Molecular Criteria for Revision of the Genus *microcoleus* gomont 1. *Journal of Phycology*, 2008. 44(6), 1572-1585.

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.

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.

Wilmotte, A., Van der Auwera, G., & De Wachter, R. Structure of the 16 S ribosomal RNA of the thermophilic cyanobacterium *Chlorogloeopsis* HTF (*Mastigocladus laminosus* HTF) strain PCC7518, and phylogenetic analysis. *FEBS letters*, 1993. 317(1-2), 96-100.

Мероприятие 15 выполнено полностью. Полевые работы не проводились.

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

**Мероприятие 16. Сейсмо-инфразвуковой мониторинг процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений 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;

– изучение и оценка текущего состояния геодинамической опасности на локальном и региональном уровне, включая контроль сейсмичности районов размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь», путем проведения непрерывного мониторинга сейсмического и инфразвукового полей на архипелаге Шпицберген;

– накопление базы данных непрерывных наблюдений за динамическими процессами деструкции арктической криосферы, для изучения закономерностей реакции окружающей среды арктического региона на происходящие климатические изменения.

Задачи, поставленные на 2023 год:

1. Поддержание работоспособности сети станций сейсмического и инфразвукового мониторинга на архипелаге Шпицберген для обеспечения непрерывной регистрации сейсмических и инфразвуковых проявлений опасных природных и техногенных явлений.

2. Сбор, накопление и обработка данных сети сейсмического мониторинга на архипелаге Шпицберген, включая данные станций зарубежных агентств;

3. Оперативная автоматическая и ручная обработка поступающих в региональный информационно-обрабатывающий центр (РИОЦ) в г. Апатиты данных Шпицбергенской сети мониторинга: обнаружение сейсмических событий и информирование о произошедших землетрясениях;

4. Выполнение оперативной оценки уровня геодинамического риска и районирование опасных зон по данным сейсмического мониторинга;

5. Проведение комплексных измерений годовых вариаций волновых полей в литосфере, атмосфере и криосфере на архипелаге Шпицберген с использованием двух сейсмо-инфразвуковых групп КоФ ФИЦ ЕГС РАН;

6. Развитие методологических основ дистанционного геофизического контроля проявлений деструктивных процессов в арктической криосфере, разработка способов распознавания наиболее опасных типов процессов (отколы айсбергов, подвижки ледников, обрушения и оползни, взрывные выбросы метана при нарушении стабильности газогидратных резервуаров) по данным сейсмологического и акустического (инфразвукового) мониторинга;

7. Проведение экспедиции для регламентного обслуживания станций постоянной сети мониторинга, проведения полевых измерений временными сетями.

В выполнении исследований участвовали тринадцать 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 2023 году Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» продолжал выполнять 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 «Сейсмо-инфразвуковой мониторинг процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений 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 и Пирамида, а также данные станций зарубежных сейсмологических организаций: Университет Бергена (Норвегия), NORSAR (Норвегия), Институт геофизики Польской академии наук. Карта сети использованных станций приведена на рисунке 16.1.

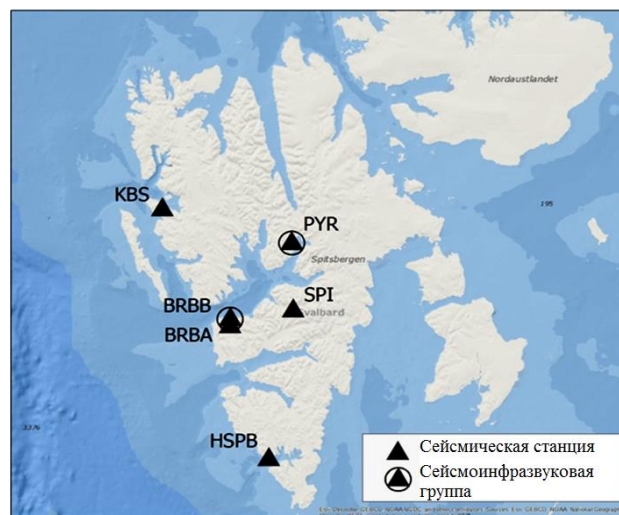


Рисунок 16.1 – Карта сейсмических и инфразвуковых станций международной сети сейсмического и инфразвукового мониторинга на арх. Шпицберген

В 2023 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.

По данным наблюдений в 2023 году (октябрь) зарегистрировано и обработано более 10 000 записей сейсмических событий различной энергии. Подавляющее большинство зарегистрированных сейсмических событий имели малые энергии и ассоциируются с процессами разрушения ледников Шпицбергена. На рисунке 16.2 представлена карта эпицентров, умеренных и относительно сильных сейсмических событий, зарегистрированных в 2023 году, с магнитудой более 1,5.

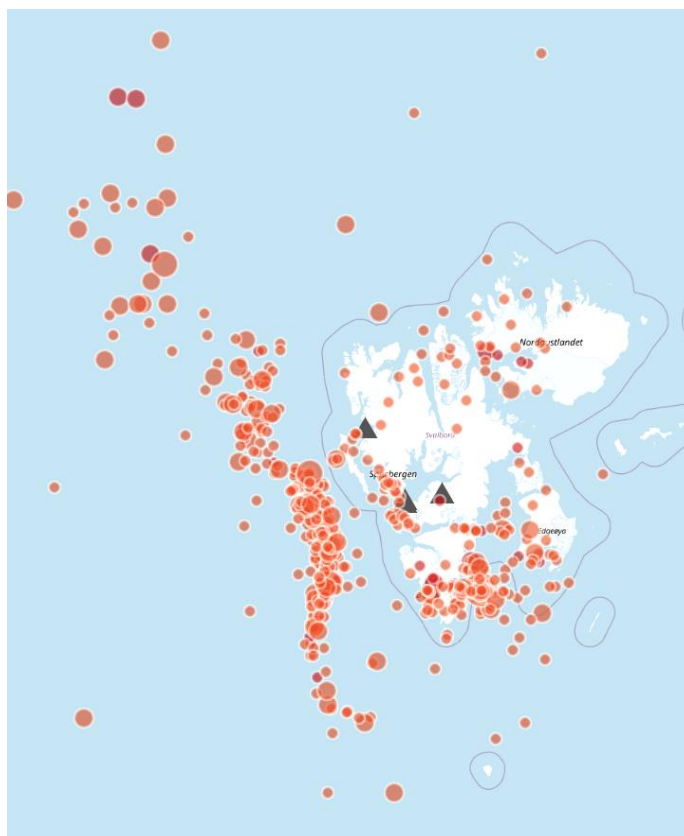


Рисунок 16.2 – Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген в 2023 г.,  $m_l > 1,5$  (по состоянию на 01.10.2023)

Традиционно наиболее сейсмоактивной зоной в 2023 году являлась область спрединга 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.

Сильнейшее зарегистрированное за отчетный период землетрясение произошло 17.05.2023 в 21:22:02 (UTC) в проливе Стур-фьорд и имело магнитуду 4,5 ед. Эпицентр подземного толчка был приурочен к зоне сейсмического процесса, активизированного сильнейшим внутриплитовым землетрясением региона с  $M_w = 6$  в 2008 году. Гипоцентр данного землетрясения находился на глубине 10 км, расстояние от эпицентра до ближайших населенных пунктов (п. Баренцбург и Лонгйирбюен) порядка 150 км. К ощутимым сотрясениям в указанных населенных пунктах данное событие не привело.

Также в отчетный период продолжались наблюдения за сейсмическими проявлениями деструкции ледников архипелага Шпицберген. На рисунке 16.3 представлена карта плотности эпицентров слабых сейсмических событий, ассоциируемых с процессами деструкции ледников. Наибольшая интенсивность таких процессов отмечается в двух областях: район Хорнсунн-фьорда на юге и район залива Кингсбэй на северо-западе о. Западный Шпицберген. Эти две области выглядят наиболее активными во многом благодаря тому, что в указанных местах крупные активные ледники находятся в непосредственной близости от двух сейсмических станций HSPB (Хорнсунн) и KBS (Кингсбэй). Близкое расположение сейсмических станций обеспечивает регистрацию даже самых слабых сейсмических событий, порожденных активностью местных ледников.

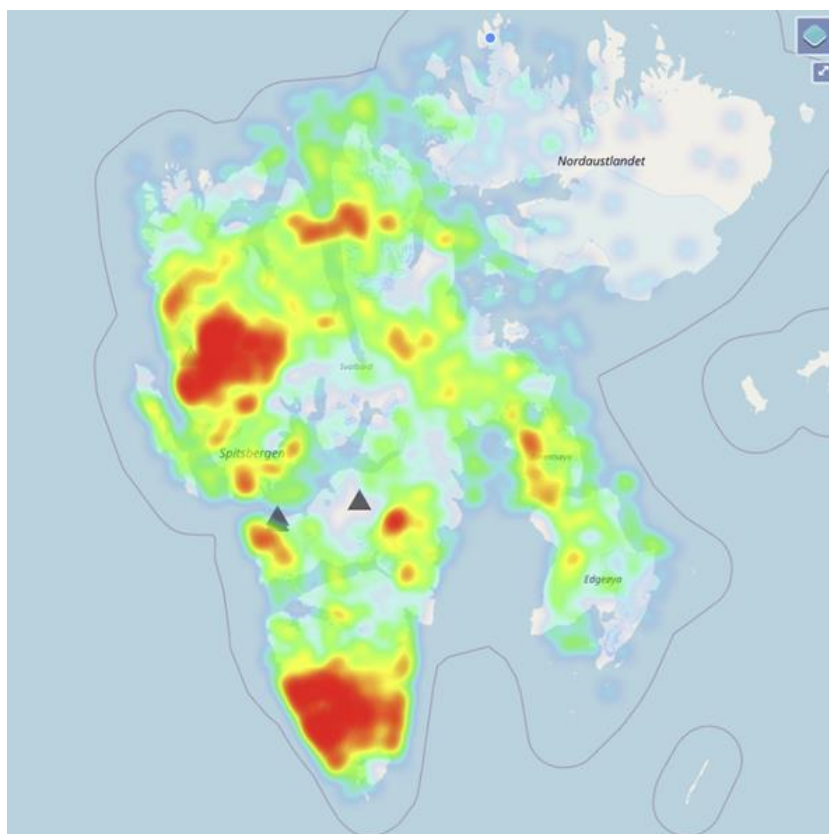


Рисунок 16.3 – Карта распределения плотности эпицентров слабых сейсмических событий, ассоциируемых с активностью ледников Шпицбергена

Также отмечены более локальные области проявления ледниковой сейсмичности, приуроченные к крупным выводным ледникам Шпицбергена.

По результатам проведенных в 2023 году наблюдений будут пополнены многолетние ряды данных и дана оценка динамики изменений интенсивности сейсмических проявлений деструкции ледникового покрова в свете изменения современных климатических условий.

## 1.2. Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»

В 2023 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения российского поселка Баренцбург и одноименного угольного рудника Государственного треста «Арктикуголь». Мониторинг района выполнялся по данным двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН (BRBA и BRBB), установленных вблизи шахты. За 10 месяцев 2023 года в районе размещения угольного рудника «Баренцбург» зарегистрировано 401 сейсмическое событие. Годом ранее за аналогичный период времени количество таких событий составило 324.

Распределение количества зарегистрированных вблизи шахты «Баренцбург» сейсмических событий по месяцам 2023 года показывает традиционный прирост числа событий в летне-осенний период (рис. 16.4), что возможно обусловлено ростом обводненности массива горных пород в результате увеличения и накопления жидких осадков.

Стоит отметить, что магнитуды подавляющего числа упомянутых сейсмических событий были крайне малы ( $m_l < 1$ ), и они не представляли опасности для инфраструктуры шахты или объектов поселка.

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.

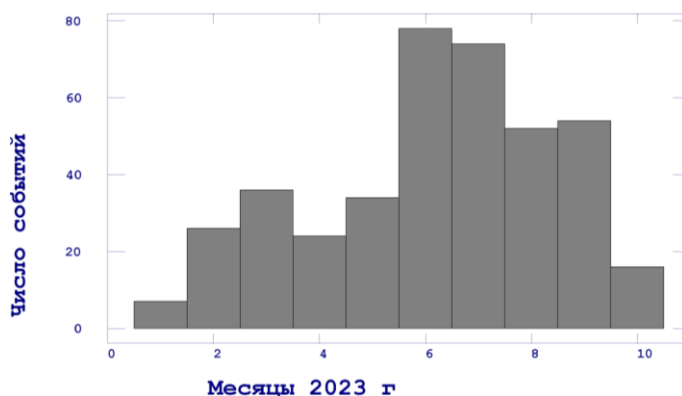


Рисунок 16.4 – Распределение количества сейсмических событий, зарегистрированных в районе размещения шахты «Баренцбург», по месяцам 2023 года

## 2. Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген

В отчетный период на архипелаге Шпицберген Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН продолжались наблюдения за инфразвуковыми сигналами, распространяющимися в атмосфере. Наблюдения производились на сейсмо-инфразвуковой группе «Баренцбург Б» (BRBB). Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» расположена в 3 км к северу от п. Баренцбург и состоит из трех разнесенных в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции. Расстановка элементов группы показана на рисунке 16.5.

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

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

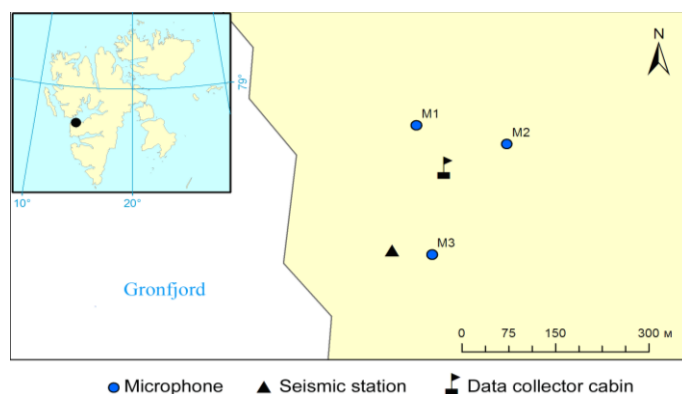


Рисунок 16.5 – Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург Б» на местности



За отчетный период инфразвуковой группой BRBB было обнаружено 1161 инфразвуковое событие. Распределение количества акустических инфразвуковых событий по месяцам отчетного периода показано на рисунке 16.6.

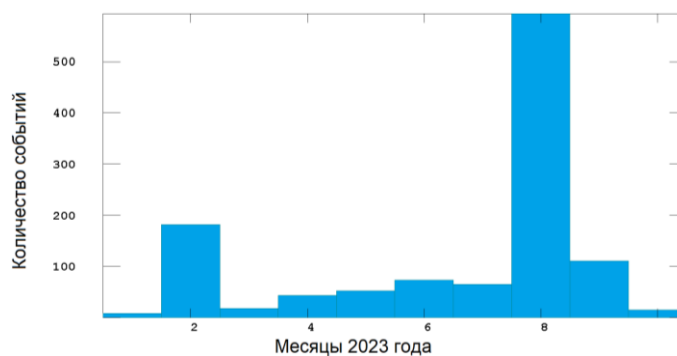


Рисунок 16.6 – Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых событий по месяцам 2023 года

Анализ распределения количества инфразвуковых событий по месяцам года показывает наличие двух пиков в распределении – в феврале и августе. При этом количество событий августа превышает показатели предыдущего и следующего месяцев более чем в 5 раз. Детальный анализ показал, что подавляющее число инфразвуковых событий, зарегистрированных в августе произошло в два коротких периода: 10 – 13 и 21 – 24 числа месяца. Доминирующие направления прихода сигналов – север и восток.

По-видимому, всплеск регистрируемых инфразвуковых событий в августе обусловлен краткосрочными активизациями ближайших к инфразвуковому комплексу ледников.

В феврале большая часть событий была зарегистрирована в один день – 13 февраля. Азимуты на источник этих событий указывают на северо-запад и, по-видимому, имеют отношение к проявлению штормовой активности в северной Атлантике.

Более подробно результаты инфразвукового мониторинга в 2023 году будут проанализированы позднее. Анализ распределения направлений прихода инфразвуковых событий, зарегистрированных комплексом BRBB в 2023 году, показано на рисунке 16.7.



Рисунок 16.7 – График количественного распределения зарегистрированных в 2023 году группой «Баренцбург Б» инфразвуковых событий по азимутам на источник

### Заключение

В ходе работ в 2023 году в рамках реализации Мероприятия 17 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, дана оценка сейсмической опасности региона с учетом современного геодинамического режима тектонических линеаментов. Основными зонами проявления сильной сейсмической активности, как и в предыдущие годы, остаются районы Срединно-

Атлантического хребта (хребет Мона, хребет Книповича), а также зона пролива Стур-Фиорд, активизированная сильным внутриплитовым землетрясением 2008 года.

В районе поселка Баренцбург уровень сейсмической активности оставался на низком уровне, ощутимых землетрясений в 2023 году не зарегистрировано.

По результатам исследований опубликовано три статьи в реферируемых журналах, а также материалы в сборниках:

Морозов А.Н., Асминг В.Э., Ваганова Н.В., Евтюгина З.А. Вероятностная локация раннеинструментальных землетрясений на основе макросейсмических и инструментальных данных // Физика Земли. 2024. – № 1 (в печати)

Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Перетокин С.А., Алешин И.М. Сейсмичность западного сектора Российской Арктики // Физика Земли, 2023, №2, С. 115-148. DOI: 10.31857/S0002333723020096, EDN: LIGGSU.

Morozov A.N., Vaganova N.V., Asming V.E., Peretokin S.A., Aleshin I.M. Seismicity of the Western Sector of the Russian Arctic // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2023. Vol. 59. № 2, pp. 209-241. doi.org/10.1134/S106935132302009X (переводная версия)

Виноградов А.Н., Кузнецов Ю.И., Никитин А.А. Опыт использования научных журналов при обучении студентов-геофизиков (на примере Мурманского ГТУ, Университета «Дубна» и МГУ имени М. В. Ломоносова) // Каротажник. – 2023. – №1(321). – С. 14-22. – EDN PORZBC.

Асминг В.Э., Баранов С.В., Асминг С.В. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2021 году. Ежегодник. Обнинск, 2023. С. 120-122.

Баранов С.В. (отв. сост.); Асминг В.Э., Ковалева И.С., Асминг С.В. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2021 году. Ежегодник. Обнинск, 2023. С. 190.

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., Федоров И.С., Шибяев С.В. Арктика // Землетрясения России в 2021 году. Ежегодник. Обнинск, 2023. С. 34-37.

Морозов А.Н., Болдырева Н.В. (отв. сост.); Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Баранов С.В., Старкова Н.Н. Арктика // Землетрясения России в 2021 году. Ежегодник. Обнинск, 2023. С. 150-151.

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**

Целью исследования является изучение геофизических процессов и явлений, солнечно-земных связей, а также электромагнитных полей в широком частотном диапазоне. Объектом исследований является высокоширотная ионосфера и атмосфера Арктической зоны (арх. Шпицберген). Современное научное оборудование для регистрации высокоэнергичных частиц, входящее в состав уникальной научной установки «Российская национальная наземная сеть нейтронных мониторов» (Сеть СКЛ), позволяет проводить регулярные наблюдения космических лучей. Результаты этих наблюдений играют важную роль в фундаментальных исследованиях.

В 2023 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 являются:

- 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 2023 году были проведены в полном объеме.

Кроме того, сотрудниками института в п.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. Проведен комплекс мероприятий и работ по подготовке объектов инфраструктуры обсерватории ПГИ «Баренцбург» к их эксплуатации в осенне-зимнем периоде 2023/2024 г.

Научный руководитель темы: заместитель директора по научной работе, к.ф.-м.н. Орлов Константин Геннадьевич, e-mail.: orlov@pgia.ru.

#### *Научные исследования*

В статье Ю.В. Балабин и др. Связанные с осадками события возрастания электромагнитной компоненты вторичных космических лучей: спектральные измерения и анализ // Солнечно-земная физика, Т.9, № 2, 2023, стр.41-51. DOI: 10.12737/szf-92202305 представлены результаты измерений дифференциальных спектров электромагнитного излучения в диапазоне 0,1–4 МэВ, возникающего в атмосфере как компонента вторичных космических лучей.

Мониторинг спектров выполнялся в 2022–2023 гг. с помощью спектрометра на основе кристалла NaI(Tl). Основной целью измерений являлось определение спектральных характеристики электромагнитного излучения во время событий возрастания, когда поток электромагнитного излучения из атмосферы увеличивается на десятки процентов по отношению к среднему уровню. На основе тщательного анализа спектров многих десятков событий делается вывод: хотя линии естественных радионуклидов присутствуют в спектрах и

вносят свою долю, их суммарный вклад в события возрастания составляет  $\sim 0,1$  от полной энергии, принесенной при возрастании. Делается однозначный вывод, что эффект возрастания электромагнитного излучения при осадках не обусловлен наличием радионуклидов в осадках. На рис.17.1 показано одно из событий возрастания гамма-излучения во время дождя в Баренцбурге. Это типичное возрастание с крутым фронтом и пологим спадом. В анализе использовались данные, полученные на ст. Баренцбург.

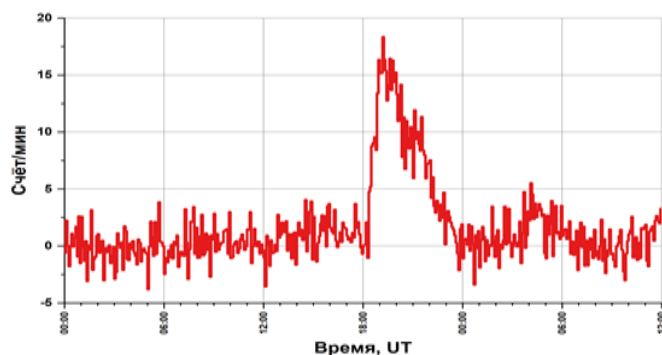


Рисунок 17.1 – Пример события возрастания гамма-излучения при осадках, зарегистрированного 11-12 августа 2023 г.

Статья Ю.В. Балабина Анализ аномального события GLE66 29.10.2003 // Изв.РАН, Серия физическая, Т.87, №2, с.262, 2023. DOI: 10.31857/S0367676522700466 исследует наземное возрастание солнечных космических лучей вследствие серии вспышек на Солнце.

В октябре-ноябре 2003 г. произошла серия вспышек на Солнце, вызвавших наземные возрастания (событие GLE). Два события GLE65 и GLE67 (28.10.03 и 02.11.03) за прошедшее время были не раз изучены различными группами с целью определения спектра солнечных космических лучей (СКЛ) и анизотропии потока СКЛ. Событие GLE66 (29.10.03) выделяется в ряду относительно малым участием в анализах GLE. Причина в том, что указанное событие GLE66 случилось в момент сильнейшей магнитной бури и глубокого форбуш-понижения, что затрудняет применение методики прямого решения обратной задачи и определения спектров СКЛ. В итоге решение обратной задачи оказывается неустойчивым. К настоящему времени имеется «буревая» модель магнитосферы T03, которая была использована для расчета конусов приема, и которая удовлетворительно описывает сильные возмущения магнитосферы. В данной работе представлены результаты подробного изучения события GLE66, получены энергетические спектры СКЛ, показана их динамика в течение события.

Особенности события GLE73 рассмотрены в статье Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский. Событие GLE73 (28.10.2021) в солнечных космических лучах. Изв.РАН, Серия физическая, Т.86, №12, с.1812, 2022. DOI: 10.31857/S0367676522120067.

На фазе роста солнечной активности нового 25-го цикла произошло событие GLE. 28.10.2021 г. Событие было зарегистрировано многими станциями нейтронных мониторов несмотря на то, что максимальная амплитуда составила всего 6%. Нейтронные мониторы в Апатитах и Баренцбурге (Шпицберген) отметили амплитуду в 2-4% (рис.17.2) Событию присвоено обозначение GLE73, оно произошло от активной области A2887 типа Beta-Gamma с координатами S26E04, тип вспышки II/VI. Начало события в 16:20 UT. Вспышка имела класс X1.0, максимум рентгеновского излучения был достигнут в 15:35 UT. Событие GLE73 вызвало возрастание потока космических лучей на 2-6 % на полярных станциях мировой сети НМ, а среднеширотные и приэкваториальные станции возрастания не отметили, что четко указывает: спектр солнечных космических лучей был мягким.

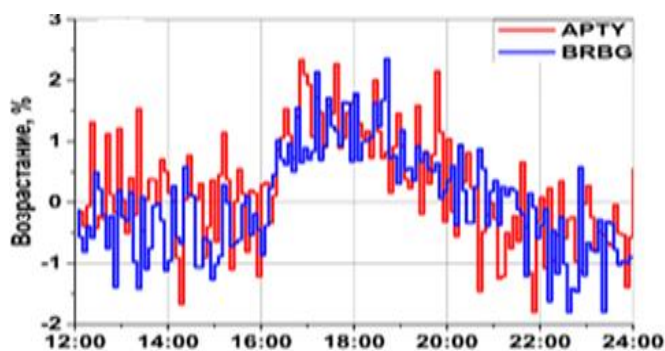


Рисунок 17.2 – Профили возрастания на ст. НМ во время события GLE73. Международные обозначения НМ: Apty – Апатиты, Brbg – Баренцбург

По разработанной методике выполнено решение обратной задачи, получены энергетические спектры солнечных космических лучей на границе магнитосферы и питч-угловое распределение. Указанное событие GLE73 оказалось типичным в части энергетических спектров.

### *Техническое обслуживание аппаратурного комплекса обсерватории ПГИ «Баренцбург»*

Техническое обслуживание (ТО) выполнялось сотрудниками ПГИ в период с 17.08.2023г. по 13.09.2023г.

#### *1. Станция космических лучей*

Проведена очередная калибровка счетчиков СМН-15, составляющих основу нейтронного монитора (НМ). В НМ работают 18 СМН-15. Определение счетных характеристик СМН-15 и подача высоковольтного питания согласно этим характеристикам обеспечивают стабильную и надежную работу НМ. Для повышения точности результатов калибровки разработана методика, учитывающая изменение атмосферного давления во время калибровки. Поскольку калибровка одной секции занимает 12-15 часов, учет изменения давления за это время необходим. На рис.17.3 для примера приведены счетные характеристики СМН-15 в третьей секции НМ. В соответствии с результатами калибровки рабочее напряжение счетчиков СМН-15 в третьей секции поднято до 2500 В.

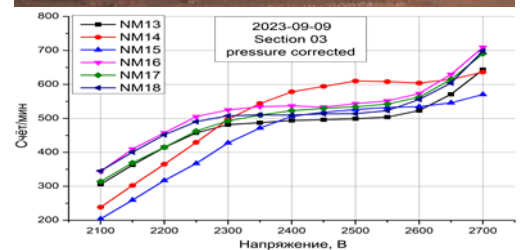


Рисунок 17.3 – Внешний вид помещений нейтронного монитора и счетные характеристики трубок (СМН-15) в третьей секции НМ. Оптимальной рабочей точкой выбрано напряжение 2500 В

#### *2. Контейнер оптический многофункциональный (КОМ)*

Выполнено ТО контейнера оптического, многофункционального (КОМ), обеспечивающего размещение и функционирование оптической аппаратуры обсерватории ВАВ (обсерватория ПГИ «Баренцбург»). Проведено обследование конструкции КОМ, бетонных опор, лестниц, кабельной сети, блистеров, кронштейнов блендирующих экранов.

Обследование показало удовлетворительное состояние конструкции и поверхностей КОМ, после нанесения в 2022 г. антикоррозионного покрытия на его крышу. Продолжающееся 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. Состояние деревянной лестницы, ведущей на крышу КОМ признано неудовлетворительным, лестница демонтирована, персоналу рекомендовано использование временной металлической лестницы из комплекта обсерватории ПГИ. 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;



- заменен источник бесперебойного питания (ИБП) в связи с его нештатной работой, как резерв для этого использован ИБП из установки КУ;
- проверено состояние осветительных приборов, их шумовые характеристики в частотном диапазоне 36-40 МГц (в связи с близким расположением КОМ к развертываемому в 2023 г. риометрическому приемнику);
- проверена работоспособность вентиляторов обдува блистеров, заменена смазка подшипников вентиляторов;
- проверена работоспособность 2-ух используемых теплоконвекторов, очищены электрические контакты, поверхности тепловыделяющих элементов;
- заменён маршрутизатор Ethernet на обладающий большей пропускной способностью и обеспечивающий Wi-Fi в КОМ (в связи с новыми требованиями к коммуникационным возможностям КОМа), проверено состояние внутренней кабельной разводки;
- вымыты блистеры;
- подтверждена необходимость ремонта входной двери КОМа из-за её осадки.

Отмеченные летние температурные аномалии 2018 и 2020 гг. выявили необходимость окраски поверхностей КОМ в белый цвет для поддержания требуемого теплового режима в КОМ летом (температуры в нем достигали, соответственно, +30 и +50°C, что приближалось или превосходило критические паспортные параметры размещенной в КОМе аппаратуры). Запланированная на текущий год окраска КОМ в белый цвет была предварена очередной аномалией 2023 г., подтвердившей срочность окраски (рис.17.4). В условиях повторяющегося в районе обсерватории превышения 20-ти градусных температур, рекомендовано вторичное окрашивание КОМ, оснащение его системами удаленного контроля температуры, автоматической вентиляции.



Рисунок 17.4 – КОМ в белой окраске

### 3. Камера всего неба (КВН)

Фотоприёмник камеры всего неба был поврежден летом 2023г., предположительно воздействием внешней температуры, превышающей паспортные значения. Фотоприемник был заменен (на изъятый из комплекта камеры узкоугольной), т.к. работа КВН признана более актуальной. Применена иная оптическая система прибора. КВН заново смонтирована, установлена, настроена, оттестирована, интегрирована в обсерваторскую систему сбора данных (рис. 17.5). Сняты технологические

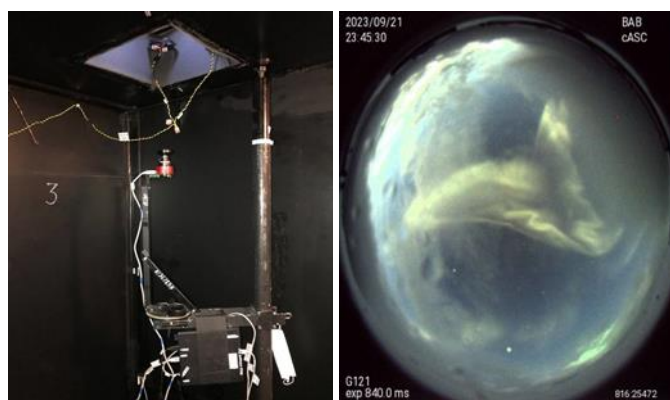


Рисунок 17.5 – Общий вид КВН и кадр КВН

параметры камеры: 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». Для проверки работоспособности прибор запущен в патрульный режим наблюдений с 10.09.2023 г. Технические характеристики КВН указаны в таблице 17.1.

Таблица 17.1. Технические характеристики КВН

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	180°	
Формат матрицы	512 x 512 пикс	возможно 1024×1024 пикс
Угловое разрешение	0,36°	возможно 0,18 °
Рабочий спектральный диапазон	400-800 нм	
Динамический диапазон	14 бит	зависит от усиления
Скорость следования кадров	1 кадр/сек	до 2 кадров/сек
Тип данных	RGB	панхром. возможен
Порог чувствительности	200 рэлей	для 557,7 нм
Информац. поток	0,5 Мбайт/сек	для 1 кадр/сек
Интервалы работы	10 сент – 30 мар	при Солнце ниже -7 град

#### 4. Меридиональный авроральный спектрометр общего назначения (МАСОН)

МАСОН (рис. 17.6, табл. 17.2), отработавший сезон 2022-2023 гг. демонтирован, проведена чистка оптики, электрических контактов, очистка и смазка вентиляторов. МАСОН заново смонтирован, установлен, настроен, оттестирован, прибор интегрирован в обсерваторскую систему сбора данных. Из-за роста паразитной антропогенной подсветки от п. Баренцбург, увеличена спектральная дисперсия прибора. 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. Для проверки работоспособности прибор запущен в патрульный режим наблюдений.

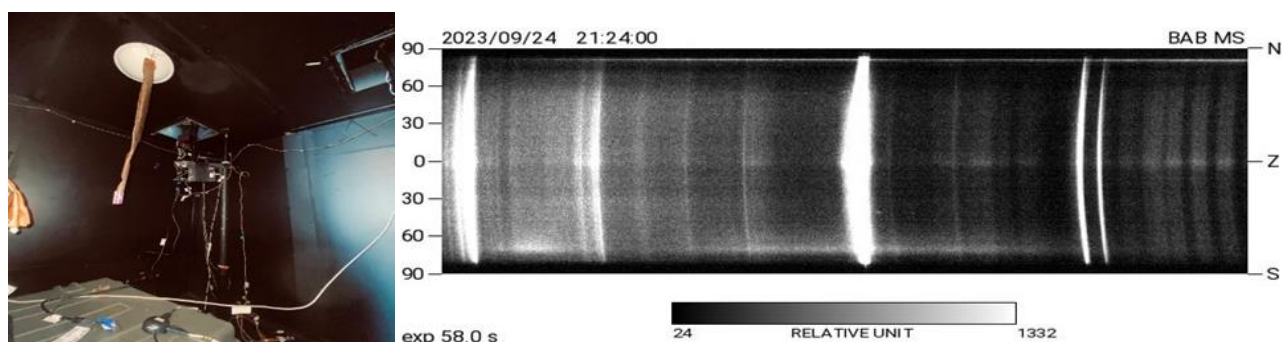


Рисунок 17.6 – МАСОН под блистером (слева) и кадр МАСОН (справа)

Таблица 17.2. Технические характеристики МАСОН.

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	180 x 0.5°	180° вдоль меридиана
Формат матрицы	346 x 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/сек	для 1 кадр/мин
Интервалы работы	10 сент – 30 мар	при Солнце ниже -7 град

#### 5. 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. Патрульная работа системы начата с 10.09.2023, работа СИОН представлена на рис. 17.7.

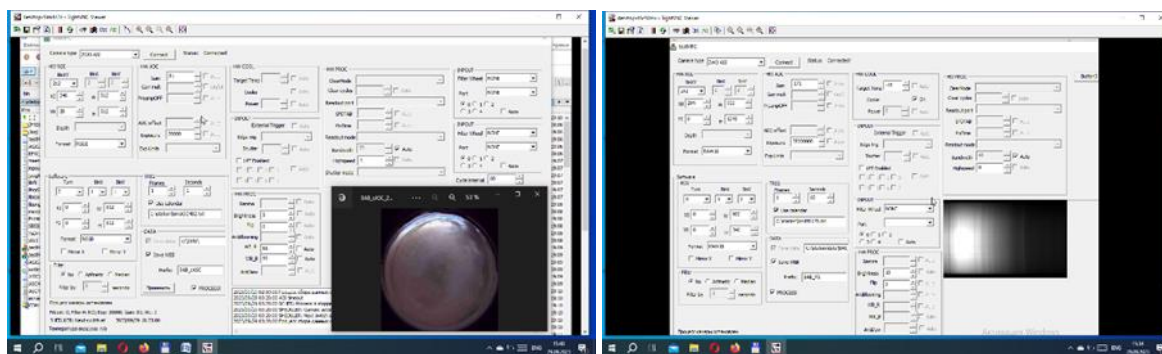


Рисунок 17.7 – СИОН КВН (слева) и СИОН МАСОН (справа)

### 6. Камера узкоугольная (КУ)

В связи с изъятием (для ремонта поврежденной камеры всего неба) из комплекта КУ фотоприемника, являющегося центральным элементом прибора, для возобновления функционирования КУ необходимо приобретение фотоприемника, желательно унифицированного с фотоприемником КВН (цифровая камера ASI482MC). Технические характеристики КУ предполагаются неизменными. Рекомендована замена компьютера системы сбора КУ на мини-PC с параметрами, отвечающими в т.ч. требованиям: работоспособность при температурах до  $-10^{\circ}\text{C}$ , питание от  $+12\text{В}$ , наличие USB3.0 и Wi-Fi, выхода WGA. Размещение КУ может быть произведено на высоте п.270 над п. Баренцбург, на площадке антенных постов спутниковой связи.

### 7. ОНЧ приемник MMBR

Произведено восстановление работоспособности основного предусилителя вертикальной электрической антенны ОНЧ приемника путем замены вышедшей из строя микросхемы операционного усилителя входного каскада. Восстановленный основной предусилитель помещен в место хранения запасных частей систем сбора электромагнитных данных (рис. 17.8). Ревизия заземлений антенной системы показала удовлетворительное состояние контактов кабелей и труб заземлителей. Соединение, выполненное в прошлом году из нержавеющей стали (рис. 17.8), осталось практически без изменений.

Проведены профилактические работы на антенной мачте ОНЧ приемника. Все крепления оттяжек магнитных рамочных антенн в хорошем состоянии (рис. 17.9). Устранено незначительное провисание кабеля магнитных рамочных антенн путем подтяжки нижних креплений. Видимые участки кабельной прокладки прикрыты грунтом и камнями.



Рисунок 17.8 – Демонтаж блока предусилителей ОНЧ приемника (слева) и точка заземления вертикальной электрической антенны (справа)



Рисунок 17.9 – Состояние креплений магнитных рамочных антенн



Традиционную ежегодную калибровку измерительных каналов провести не удалось из-за ужесточения таможенных правил Евросоюза и невозможности провезти устройство для калибровки (рис. 17.10) через границу. Разработанное в ПГИ автономное калибровочное устройство представляет собой низкочастотный генератор с высокой стабильностью и высокоточной синхронизацией фазы выходного гармонического сигнала с универсальным координированным временем, предоставляемым приемником GPS/ГЛОНАСС.

Однако учитывая многолетний опыт, характеристики измерительных каналов за год практически не изменяются. Калибровка запасных предусилителей вертикальной электрической антенны была сделана в прошлом году, поэтому после замены предусилителя, проведение калибровки не требуется. В результате анализа качества данных ОНЧ приемника в функционировании аналогового тракта нарушений не выявлено.



ОНЧ приемник подготовлен к эксплуатации в новом наблюдательном сезоне 2023-2024, общее техническое состояние удовлетворительное.

Рисунок 17.10 – Автономное калибровочное устройство

### 8. КНЧ приемник BRB6

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. Обнаружено, что грунт, которым присыпаны крышки оказывает негативное влияние на их состояние. Под грунтом скапливается влага, отчего происходит процесс гниения деревянной конструкции. С другой стороны, грунт препятствует воздействию ветровой нагрузки на крышку и снижает ее колебания, передаваемые магнитно-индукционному датчику, что приводит к помехам в сигнале. При выборе между данными факторами преимущество отдано качеству данных, поэтому присыпание грунтом оголенных участков является необходимым при каждом ТО. При этом состояние крышек близко к неудовлетворительному и потребует ремонта в ближайшее время.

Качество данных контролируется удаленно, и за истекший сезон 2022-2023 не изменилось. Поэтому дополнительных мер для улучшения качества данных не производилось.

### 9. Риометрический приемник

В 2023 г. принято решение изготовить и установить на территории обсерватории Баренцбург опытный образец риометрического приемника с широкой диаграммой направленности. Создана антенна типа трехэлементный волновой канал (рис. 17.11) с центральной частотой 38,5 МГц и усилением 6 дБ. Петлевой вибратор Пистолькорса выполнен из доски с закрепленным на ней по наибольшему периметру геофизическим кабелем. Для согласования выходного сопротивления антенны (~200 Ом) с коаксиальной

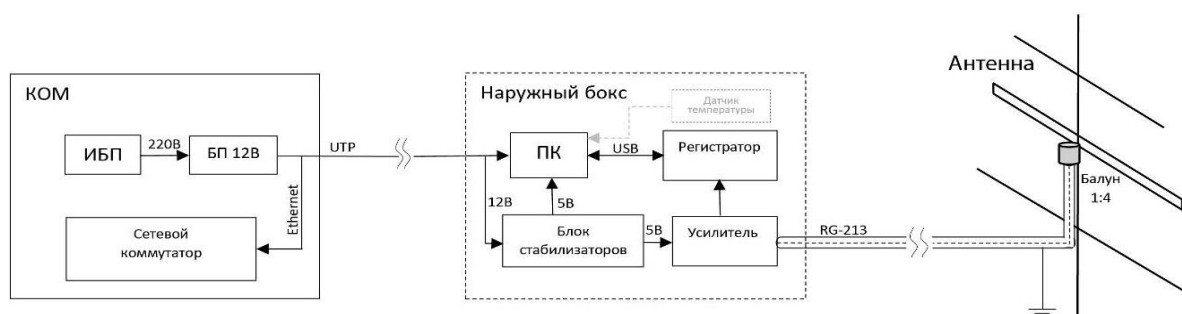


Рисунок 17.11 – Блок-схема опытного образца риометрического приемника

линией (50 Ом), выполненной из кабеля RG-213, использовано согласующее устройство трансформаторного типа («балун») с коэффициентом трансформации 1:4. Для повышения надежности выводы вибратора соединены с согласующим устройством посредством пайки.

В состав приемника входят: нестабилизированный блок питания 12 В (постоянного тока), блок стабилизаторов с выходным стабилизированным напряжением 5 В, кабель UTP (~50 м), мини ПК, регистратор, усилитель, кабель RG-213 (~50 м), согласующее устройство («Балун») с коэффициентом трансформации 1:4, антенна (трехэлементный волновой канал).

Блок питания (БП) приемника расположен в КОМ и включен в электрическую сеть через ИБП. 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.

Место установки антенны было выбрано исходя из условий максимальной удаленности от источников помех при использовании доступного количества кабеля.

Этапы создания и развертывания антенно-фидерной системы приведены на рис. 17.12. В качестве траверсы антенны использован деревянный столб, на котором были закреплены элементы антенны: вибратор, рефлектор и директор. Для установки столба была выкопана яма глубиной ~0,7 м. Столб установлен в яму, вкопан, грунт вокруг основания столба тщательно утрамбован.

Заземление антенны риометрического приемника выполнено на металлический каркас фундамента разрушенного здания (рис.17.13) при помощи кабеля П-274. Соединение кабеля с общим проводом приемника (экраном кабеля RG-213) выполнено через зажим на разъеме UHF в месте соединения сигнального кабеля и «балуна».

Бокс с усилителем и регистратором представляет собой ящик, утепленный пенопластом. Для устранения влияния атмосферных осадков бокс перевернут вверх дном. В месте соединения с крышкой изготовлена брезентовая ветрозащитная юбка. Бокс приподнят над поверхностью земли для исключения затекания внутрь поверхностных вод. Коммуникационные кабели утоплены под грунт. Процесс установки наружного бокса с аппаратурой риометрического приемника приведен на рис. 17.14.



Рисунок 17.12 – Этапы создания и установки антенны риометрического приемника



Рисунок 17.13 – Точка подключения заземления антенны риометрического приемника, согласующее устройство («балун») в разобранном и собранном виде



Рисунок 17.14 – Процесс установки бокса с приемной аппаратурой



Технические параметры установленного на территории обсерватории ПГИ «Баренцбург» опытного образца риометрического приемника указаны в Таблице 17.3.

Для примера на рис. 17.15 приведена суточная запись регистрации космического радиошума от 12.09.2023 в период невозмущенной ионосферы. Сверху приведена усредненная амплитуда сигнала, снизу спектр сигнала. Из рисунка видно, что в период невозмущенной ионосферы изменения амплитуды в течение дня монотонны, без резких скачков. Плавные изменения амплитуды регистрируемого сигнала обусловлены суточными вариациями мощности регистрируемого космического шума, связанными с вращением Земли.

Периодические суточные вариации хорошо наблюдаются при рассмотрении более длинного интервала записи космического радиошума. Для примера на рис. 17.16 приведен участок записи с 12/09 по 18/09/2023. Как в спектре, так и в данных усредненной амплитуды зарегистрированного сигнала хорошо видны вариации с периодом звездных суток.

На рис. 17.17 приведено сравнение невозмущенного (16/09/2023) и возмущенного (18/09/2023) дней. Как видно из рисунка 18/09/2023 в период с 05:00 по 07:00 UT наблюдается слабое ионосферное поглощение космического радиошума величиной  $<0,3$  дБ.

Приведенные примеры данных регистрации космического радиошума установленным на территории обс. ПГИ «Баренцбург» риометрическим приемником подтверждают его пригодность для измерения поглощения космического радиошума в ионосфере.

#### 10. Системы сбора данных ОНЧ и КНЧ приемников

Проведена профилактика компьютерной техники со снятием защитных кожухов и внешним осмотром электронных компонентов на предмет их выхода из строя. Для ускорения процесса переноса данных с систем сбора данных в сетевое хранилище в здании обсерватории было модернизировано сетевое оборудование. Заменен сетевой коммутатор. Скорость передачи данных возросла в 10 раз со 100 Мбит/с до 1 Гбит/с. Все кабели, соединяющие компьютеры и коммутатор, переобжаты по стандарту 1000BASE-T, IEEE 802.3ab. С целью обеспечения совместимости и поддержки актуальной защиты проведено обновление операционных систем OpenSuSE на системах сбора данных.

Таблица 17.3. Основные характеристики риометрического приемника

Центральная частота антенны	38,5 МГц
Усиление антенны	6 дБ
Ширина главного луча антенны по уровню -3дБ	60°
Диапазон частот регистрации	37,5 – 39,5 МГц
Уровень собственных шумов приемника	3,67e-11 мВт
Отношение сигнал/шум в спокойных условиях	>10 дБ

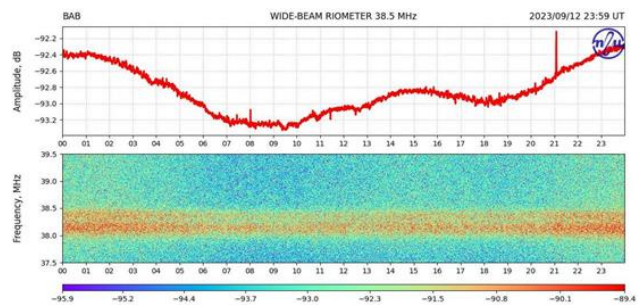


Рисунок 17.15 – Усредненная амплитуда и спектр космического радиошума

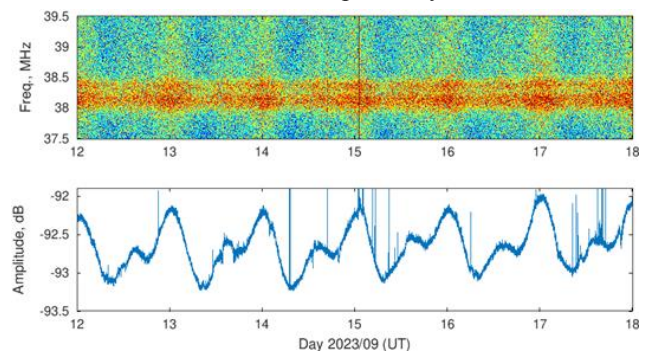


Рисунок 17.16 – Спектр и усредненная амплитуда сигнала космического радиошума с 12/09 по 18/09/2023

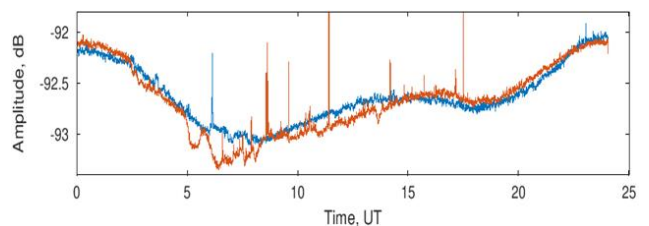


Рисунок 17.17 – Усредненная амплитуда в спокойный (синяя кривая) и возмущенный дни (красная кривая)

## 11. 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. 17.18).

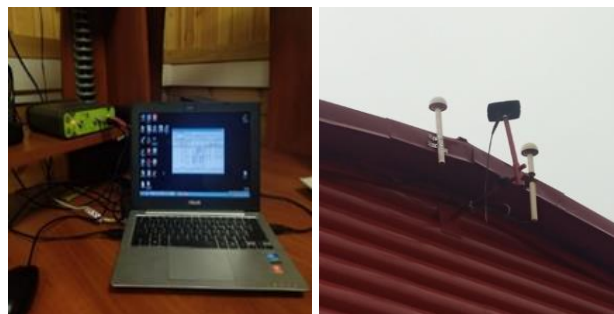


Рисунок 17.18 – GNSS комплекс, обслуживание и проверка

## 12. Система резервного энергоснабжения

Проверена система автоматического запуска ДГУ; проведена проверка работы ДГУ в ручном режиме (рис. 17.19).



Рисунок 17.19 – Система резервного энергоснабжения

Таким образом в результате работ на научной станции ПГИ «Баренцбург», арх. Шпицберген, была произведена подготовка станции космических лучей, электромагнитной и оптической аппаратуры к наблюдательному сезону 2023-2024. Изготовлен и введен в опытную эксплуатацию риометрический приемник. Проведена очередная калибровка счетчиков СНМ-15, составляющих основу нейтронного монитора, профилактика антенно-фидерных систем электромагнитной аппаратуры, обновлены операционные системы, произведена чистка и модернизирована сетевая инфраструктура компьютерного парка обсерватории.

Несмотря на санкции и таможенные ограничения, удалось провести большую часть запланированных работ.

Мероприятие 17 выполнено полностью. Полевые работы не проводились.

## Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)

### Мероприятие 18. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген

Проведение полевого археологического сезона 2023 г. на архипелаге Шпицберген запланировано в соответствии с госзаданием по теме НИР «Мониторинговое исследование и сохранение памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген». Цель научных исследований – пополнение сведений об истории освоения архипелага Шпицберген русскими поморами в XVI–XIX вв. и российскими экспедициями XVIII – начала XX в.; спасение, выявление и сохранение объектов историко-культурного наследия, разрушающихся под воздействием природных и антропогенных процессов.

Планируется решать задачи:

- мониторинг археологических памятников Шпицбергена;
- получение новых археологических материалов, связанных с русским освоением архипелага;
- определение геоморфологических особенностей расположения на архипелаге поморских памятников;
- поиск и выявление остатков русских судов XVI – XIX вв.;
- исследование объектов на Шпицбергене, связанных с русским и зарубежным угледобывающим производством конца XIX – первой трети XX в.
- обработка музейных археологических коллекций, полученных в результате раскопок поморских памятников Шпицбергена.

В 2023 г. осуществлены полевые исследования, в рамках которых проводились натурные обследования, геодезическая съемка уже известных памятников. Их целью являлось более точная и тщательная фиксация этих объектов, выявление диагностирующих признаков, в том числе и тех, которые ранее ускользнули от внимания исследователей. В течение первого этапа во время проведения пеших разведок по берегам фьордов осуществлялся также поиск и фиксация остатков поморских судов с последующей точной gps-привязкой.

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 шахматных фигурок и досок, что связано с написанием курсовой работы привлеченного для работы в экспедиции студента 3 курса ГАУГН (Гос. академический университет гуманитарных наук) В.В. Гагарина.

Районы работ экспедиции 2023 года охватывали три региона острова Западный Шпицберген (рис. 18.1). Первый – Земля Норденшельда. Здесь, полевыми исследованиями произведен детальный мониторинг комплекса археологических памятников, расположенных на берегу бухты Руссекейла на первой и второй морских террасах, по правую и левую сторону от реки Линней. Следует отметить, что именно наличие достаточно полноводной и чистой реки, куда к тому же в достаточном количестве заходит красная рыба (арктический голец), а также возможность удобной швартовки судов различных размеров, явились теми обстоятельствами, что данный участок освоен начиная с начала 17 в. и по настоящее время.

Второй регион – земля Оскара II. В этом месте, в районе бухты Фарнхамна произведен мониторинг одноименного поморского становища.

Третий регион, ранее не посещавшийся экспедицией ИА РАН, – земля Бюнсва – полуостров, расположенный на побережье внутренней части Исфьорда. Здесь на мысу Госодден произведено обследование и подтверждена поморская принадлежность жилищно-хозяйственного комплекса.





Рисунок 18.1 – Памятники русского историко-культурного наследия, обследованные на архипелаге Шпицберген в 2023 году. I – бухта Руссекейла, II – бухта Фарнхамна, III – мыс Госодден

### *I Бухта Руссекейла (Земля Норденшельда)*

#### *Становище Руссекейла II.*

Координаты UTM: 33X E470725 N8667489. Становище было открыто и раскопано экспедицией ИА АН СССР в 1978 г. под руководством В.Ф. Старкова (рис. 18.2). К тому времени от сруба, находившегося на первой морской террасе, сохранились два бревна, северное и восточное, положение остальных определялось остатками тлена и местами перерубов (замков). Размеры сруба 4,6 × 4,7 м. Дом срублен в обло с остатком, внутри обнаружено три столба, вкопанных в грунт на 40-45 см, общая их длина около 65 см. Внутри сруба было выявлено большое количество обломков печного кирпича красного цвета (Старков, 1978, С. 5-8, рис. 10-12).



Рисунок 18.2 – Археологические памятники на берегу бухты Руссекейла: 1–поморское становище Руссекейла II; 2–жилище английских китобоев; 3–поморское становище Руссекейла I; 4–поморское кладбище (слева) и Становище Руссекейла II, фото 1978 г., вид с юго-востока (справа)

Обнаружено 102 находки, среди которых одна монета–денга 1749 года, которая и определяет дату строительства дома серединой-второй четвертью 18 в. Из других находок наиболее выразительны кожаные ножны с ремешком, деревянный киот со стилизованным изображением трехкупольного храма и деревянная планка-календарь (Державин, Колесников, 2020, С. 45, 112, 117, рис. 34, 161, 167).

Обследование 2023 года показало, что памятник за прошедшее с 1978 г. время в результате береговой абразии подвергся значительному разрушению. Сопоставление его современного состояния с фотографией 1978 года показывает, что берег осыпался приблизительно на 4,5 м и от строительных остатков сохранились лишь два восточных вкопанных столба сруба и нижний венец его южной стены (рис.18.3). Таким образом, можно считать, что величина годовой абразии на данном участке архипелага составляет около 10 см.

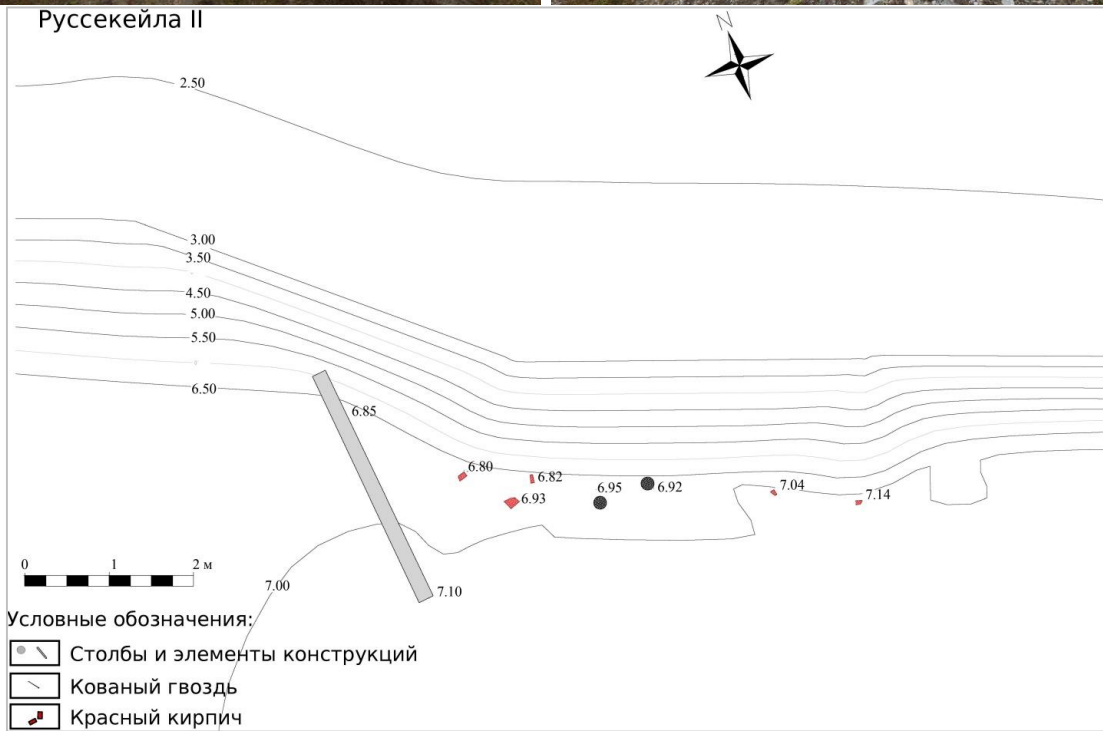


Рисунок 18.3 – Становище Руссейла II, фото 2023 г.: вид с юго-запада (верх слева), вид с запада (верх справа), план (снизу)

Осыпавшиеся фрагменты деревянных конструкций и фрагменты печного кирпича хорошо видны на береговом склоне (рис. 18.4). К тому же следует добавить, что в результате ветровой эрозии само дерево подвергается сильной деградации (рис. 18.4). К сожалению, в ближайшие 5-15 лет становище Руссейла II будет полностью уничтожено природными процессами.



Рисунок 18.4 – Становище Руссейла II: разрушение памятника в результате береговой абразии, вид с севера (слева), современное состояние нижнего венца южной стены дома (справа)



### *Дом английских китобоев*

Координаты: UTM: 33X E470915 N8667538. На правом берегу реки Линней в 2023 году был обнаружен интересный археологический объект – остатки нижних частей каменных стен дома, который, несмотря, на достаточно хорошую степень археологической изученности данного района, ускользнул от внимания исследователей, соответственно не зафиксирован он и на норвежском сайте Kulturminnesøk. По внешнему обводу стен длина постройки 8,8 м, ширина 3,5-3,6 м, толщина стен 60-75 см. Ширина входа 60 см, камни сохранились в высоту на 20-30 см. Постройка ориентирована длинной стороной по линии ССЗ-ЮЮВ, вход находится с запада (рис. 18.2, 18.5).



Рисунок 18.5 – Дом английских китобоев: вид с запада (слева), вид с юга (справа)

Культурно-историческая и хронологическая принадлежность объекта определяется по его типологической близости аналогичным постройкам 17 в., находящимся в районе Robert River на восточном берегу залива Решерш (См. Jasinski M.E., Pękala K., 1994, P. 21-23, Photo 1-5, 12, 17-19) которые в свою очередь на основании исторических данных с большой долей вероятности атрибутированы как английские. Отметим, что этот поселок китобоев был детально осмотрен и зафиксирован Шпицбергенской экспедицией ИА РАН в 2010 году.

Строительные остатки дома китобоев на р. Линней достаточно хорошо задренованы и в ближайшем будущем их сохранности ничего не угрожает.

### *Становище Руссекейла*

Координаты UTM: 33X E470960 N8667548. Памятник раскопан в 1955 г. скандинавской экспедицией, исследования проведены в 1978 и 1990 гг. Шпицбергенской экспедицией ИА РАН. Жилищный комплекс, состоящий из шести построек, располагался на террасе в 20 м. от моря (рис. 18.2, 18.6). Датируется памятник 18-19 вв. Именно здесь в течение многих лет жил знаменитый помор Иван Старостин (см. Старков и др., 2005, С. 45, 46).



Рисунок 18.6 – Становище Руссекейла (слева), строительные остатки становища Руссекейла с признаками интенсивного разрушения (справа)



Строительные остатки памятника расположены достаточно высоко и подвержены влиянию сильных ветров, под воздействием которых они постепенно разрушаются. Остановить процесс разрушения могла бы только консервация оставшихся деревянных конструкций. Желательно было бы поставить пояснительную табличку, поскольку это место достаточно активно посещают туристы.

С поселением Руссекейла связаны находящиеся приблизительно в 5-15 м к западу от него нижние части от семи поморских крестов. Сохранилась каменная обкладка на большинстве оснований крестов. О крестах лишь кратко и без иллюстраций упоминается в коллективной монографии (см. Старков и др., 2005, С. 46 – «Обнаружены остатки не менее семи крестов»). Сохранность дерева этих объектов достаточно хорошая (рис. 18.7).



Рисунок 18.7 – Площадка с основаниями крестов у поселения Руссекейла (слева), основания крестов с каменной обкладкой (справа)

### *Поморское кладбище*

Координаты UTM: 33X E 471114 N8667495 Погост, местоположение и соответственно координаты которого удалось установить в полевом сезоне 2023 года, находится приблизительно в 150-170 м к юго-востоку от поселения Руссекейла (рис. 18.2, 18.8). На окружающей местности он выделяется небольшими локальными понижениями и более ярким моховым покровом. Раскопки памятника проводила Скандинавская экспедиция в 1960 г. Всего было вскрыто 20 погребений.



Рисунок 18.8 – Руссекейла, погост: квадрокоптерная съемка 2018 года (слева), вид с севера (справа)

### *II Бухта Фарнхамна (Земля Оскара II)*

#### *Становище Фарнхамна*

Координаты UTM: 33X E452185 N8694673 Становище Фарнхамна, исследованное Шпицбергенской экспедицией ИА РАН в 1982 г., расположено на узком перешейке,



разделяющем бухту Фарнхамна и бухту Дюнекилен. В текущем сезоне удалось более точно определить местоположение памятника по сравнению с данными сайта Kulturminnesøk. Разница около 110 м. (рис.18.9).



Рисунок 18.9 – Поселение Фарнхамна: 1 – местоположение по данным натурных обследований 2023 г.; 2 – местоположение по данным сайта Kulturminnesøk (слева) и фото 1982 г.: вид с юга (справа)

Поселение состояло из двух жилищ и креста. Первый дом представлял собой трехчастную постройку, состоящую из теплого помещения сеней и бани (рис. 18.10). Изба была срублена в обло с остатком из крупных затесанных с обеих сторон бревен диаметром около 15 см, размер клетки 4,8×4,6 м. Сени примыкали к северной стене теплого помещения, а баня в свою очередь располагалась к северу от сеней. Практически все пространство бани занимал развал печи-каменки. Вторая постройка, от которой сохранилось лишь одно бревно западной стены (длина 4,5 м), находилась в 10 м. к северо-западу от первой. По данным дендрохронологии первый дом датируется 1756 г., а второй 1747г. (Старков и др., 2007, С. 52).



Рисунок 18.10 – Поселение Фарнхамна: вид с востока (слева), вид с севера (справа)

Сопоставление архивного фото 1982 года (рис. 18.9) с современным состоянием памятника свидетельствует о том, что становище в значительной степени разрушено в результате целенаправленного человеческого вмешательства. Особенно показательны полностью вывороченные доски пола. Возможно, в какой-то степени здесь, а также и в других местах в плане сохранения историко-культурных объектов могли бы помочь разъяснительные таблички.

### *III Становище Госодден (земля Бюнсова)*

Координаты UTM: 33X E529168 N8709536 Поселение Госодден было раскопано в 1896 г. Г. де Геером (Старков и др., 2005, С. 16). Оно находится на первой террасе на 6 м выше уровня моря, расстояние до берега около 80 м (рис. 18.11).

Двучастная постройка была возведена в технике каркасно-столбовой конструкции. Для ее сооружения были использованы вкопанные вертикально в землю шесть столбов. В столбах были вырезаны пазы, в которые вставлялись бревна либо тёсанные плахи или толстые доски и таким образом формировались стены дома (рис. 18.12). Отметим, что обследованное в 2022 г. в 6 км к западу становище Гипсвика было сооружено в такой же технике.





Рисунок 18.11 – Местоположение становища Госодден (слева), становище Госодден (справа)

Ранее использование досок при строительстве поморских домов на Шпицбергене было зафиксировано только один раз на поселении Логнедален, но упоминания о таких стенах имеются в письменных источниках. В целом подобная техника характерна для последнего этапа присутствия поморов на Шпицбергене (Старков и др., 2007, С. 67, 125, табл. XI). Следует отметить, что данная техника строительства применялась в Двинском уезде для возведения хозяйственных построек – сараев и прослеживается по крестьянским порядным грамотам еще середины XVII в. (Копанёв, 1988).

На поверхности памятника обнаружены фрагменты типичных поморских сосудов (рис. 18.12) и кости животных.



Рисунок 18.12 – Поселение Госодден: детали конструкции (слева), фрагменты поморских сосудов (справа)

### *Заключение*

Мониторинг памятников на архипелаге экспедицией ИА РАН в 2023 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 Контору Губернатора Свальбарда. 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 проблематичными.

Проведенные в 2023 году обследования различных поморских памятников в регионе Исфьорда дали новую важную информацию о памятниках российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

Результаты исследований опубликованы:

Колесников А.Б., Шаврин С.А., Державин В.Л. Археологические открытия 2022. Работы на Шпицбергене в 2022 г. (в печати).

Державин В.Л., 2023. Драма в заливе Ис-фьорд. Московская Русь: археология, история, архитектура. К 75-летию Леонида Андреевича Беляева / Отв. ред. И.И. Елкина; сост. О.Н. Глазунова, Д.Г. Давиденко. М.: ИА РАН. С. 479-483.

Шумкин В.Я., Державин В.Л., Колесников А.Б. Староверы Амос Корнилов и Иван Рогачёв на промыслах в Арктике (остров Медвежий архипелага Шпицберген и другие острова Арктики) // Археология Арктики (в печати)

Также результаты представлены на конференциях:

Шаврин С.А. Работы Шпицбергенского археологического отряда Института археологии РАН на территории архипелага Шпицберген в 2022 году // Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка (Минобрнауки России), март 2023 г., Москва

Державин В.Л. Первая неудачная попытка Р.Л. Самойловича попасть на Шпицберген //Полярные чтения, 1-2 ноября 2023, Санкт-Петербург

Литература:

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

Державин В.Л. 2009. Раскопки поселения Кокеринесет в 2007-2008 гг. // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений. Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген. Выпуск 9. Москва. «Геос». С. 229-241.

Копанёв А.И. 1988. Двор крестьянина в Подвинье в XVII в. //Культура Русского Севера. Л. 220 с.

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

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

Старков В.Ф. 1982. Отчет по Шпицбергену 1982 г. Архив ИА РАН, Р-1, № 9387.

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

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

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

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

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

Christiansen H., 1961. The russian Settlement at Russekeila and land Rise in Spitsbergen - In: Arctic-Journal of the Arctic Institute of North America P.P. 112-118.

Norberg H.L., Om Spitsbergens kolonisation i aeldre tider. - Tromso Museums Aarshefter, N 38 - 39, 1915-16. Tromso.

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 проекта разработать параметризации 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.

Выполнялись следующие задачи:

- Измерения характеристик приземного слоя атмосферы над открытой поверхностью и над ледником: исследование трансформации воздушного потока на границе берег-море;
- Исследование структуры и динамики атмосферного пограничного слоя, а также структуры подстилающей поверхности.
- Исследование влияния заселенных территорий на климат окружающих регионов в полярных районах.

Работы шли по двум направлениям: экспериментальные исследования в п. Баренцбург в августе-сентябре и моделирование природных процессов на архипелаге Шпицберген. В 2022 г. исследования выполняли Репина И.А., Чечин Д.Г., Шестакова А.А., Мамонтов А.Е.

Для исследования структуры и динамики АПС и структуры подстилающей поверхности использовались инструментальные наблюдения альbedo, температуры поверхности и метеоинформация. Для моделирования использовались региональные негидростатические и аналитические модели, в частности негидростатическая модель NH3D и прогностическая модель WRF.

В рамках экспедиционных работ ИФА РАН на архипелаге Шпицберген в 2023 г. проводились исследования влияния структуры подстилающей поверхности на динамику пограничного слоя атмосферы. Измерения проводились на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд совместно с сотрудниками ААНИИ. Основной целью являлось исследование особенностей теплового баланса снежно-ледниковых покровов архипелага Шпицберген в период абляции. Работа производилась в следующих направлениях:

- Исследование отражательных способностей поверхностей ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд, зависящих от их загрязненности и особенностей рельефа;
- Исследование радиационного баланса поверхности ледника Альдегонда;
- Исследование распределения температур внутри ледника;
- Исследование микроклиматических особенностей ледника Альдегонда.

В рамках экспедиции были решены следующие задачи:

1. Проведены подспутниковые маршрутные съемки альbedo на двух ледниках – Альдегонда и Западный Грэнфьорд (4 маршрутных съемки на леднике Альдегонда и 2 на леднике Западный Грэнфьорд). (рис. 19.1).

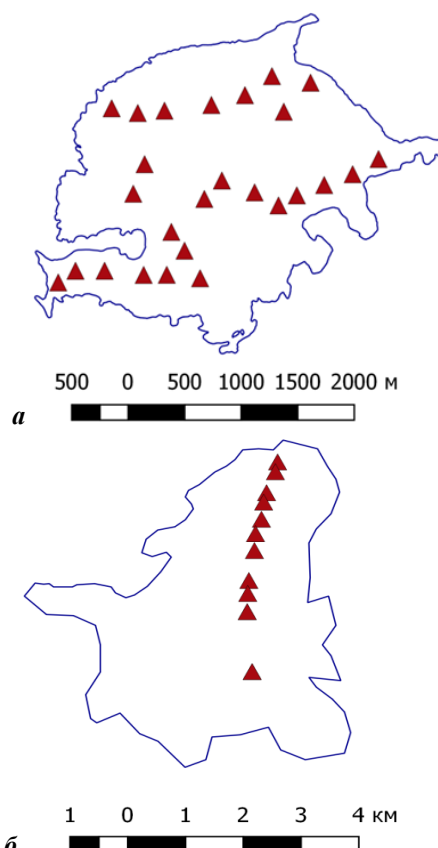


Рисунок 19.1 – Примеры маршрутных съемок альbedo на ледниках Альдегонда (а) и Западный Грэнфьорд (б)

Частота проведения съемок обусловлена необходимостью отслеживать временную изменчивость поверхности ледников в период абляции. Ледниковая поверхность в период абляции меняется достаточно динамично: в начале совместных наблюдений 2023 г. поверхность представляла собой плотный лёд, который обычно наблюдается в конце периода абляции, однако к началу сентября практически вся поверхность ледника за исключением его нижней части была покрыта снегом. Это способствовало значительной изменчивости альбедо. Маршрут съемки выбирался из следующих критериев: однородность поверхности, т.е. поверхность должна являться наиболее характерной и репрезентативной для данной части ледника; Точки маршрута соответствовали точкам проведения гляциологического мониторинга для дальнейшего сравнения величин абляции, полученным по рейкам и по результатам теплосбалансового моделирования. Маршрут также учитывал экспозицию ледников: на леднике Альдегонда маршрут включал 2 профиля вдоль бортов ледника, а на леднике Западный Грэнфьорд был проложен 1 центральный профиль. Измерения приходящей и отраженной солнечной радиации для оценки альбедо производились с помощью фотометра LI190-SA и регистратора светового потока LI-189. В период измерений фиксировалось фактическое состояние погоды (тип облачности и количество в баллах общей и нижней облачности, состояние диска Солнца), а также географические координаты точки наблюдения и тип поверхности.

2. Были проведены исследования изменчивости параметра шероховатости на различных участках ледника в зависимости от степени таяния. Результаты были использованы при расчете турбулентных потоков по данным 2022 г. и для сравнения с микрометеорологическими измерениями. На рисунке 19.2 приведены результаты сравнения двух методов с использованием новых параметров шероховатости. Видно, что расчеты хорошо соответствуют данным измерений.



Рисунок 19.2 – Сравнение данных измерений и расчетов потока явного тепла на леднике Альдегонда

3. Заменены элементы питания, проведена профилактика, контроль, ремонт и считывание данных с автоматических метеостанций НОВО, расположенных на леднике Альдегонда (установленных на морене (нижняя АМС) и ригеле (верхняя АМС)) (рис. 19.3).



Рисунок 19.3 – Вид автоматической метеостанции на морене в нижней части ледника (а) и ригеле в верхней (б)

4. Полученная метеорологическая информация была использована для валидации мезомасштабного моделирования атмосферных процессов над Шпицбергом. Для оценки чувствительности результатов мезомасштабного моделирования к способу задания полей сплоченности морского льда была проведена серия численных экспериментов для случая холодного вторжения к северу от Шпицберга. Для проведения численных экспериментов использовалась модель WRF-ARW версии 4.1.2. Область моделирования, состоящая из двух вложенных друг в друга сеток с горизонтальным шагом 5 и 1 км, была выбрана таким образом, чтобы воспроизвести трансформацию пограничного слоя атмосферы при переходе от льда к открытой воде.

Верификация результатов моделирования показала, что при учете морского льда с высоким разрешением модель оказывается наиболее близка к наблюдениям (рис. 19.4).

Чувствительность результатов мезомасштабного моделирования проявилась явным образом в температуре воздуха в пограничном слое атмосферы надо льдом, а также в полях облачности.

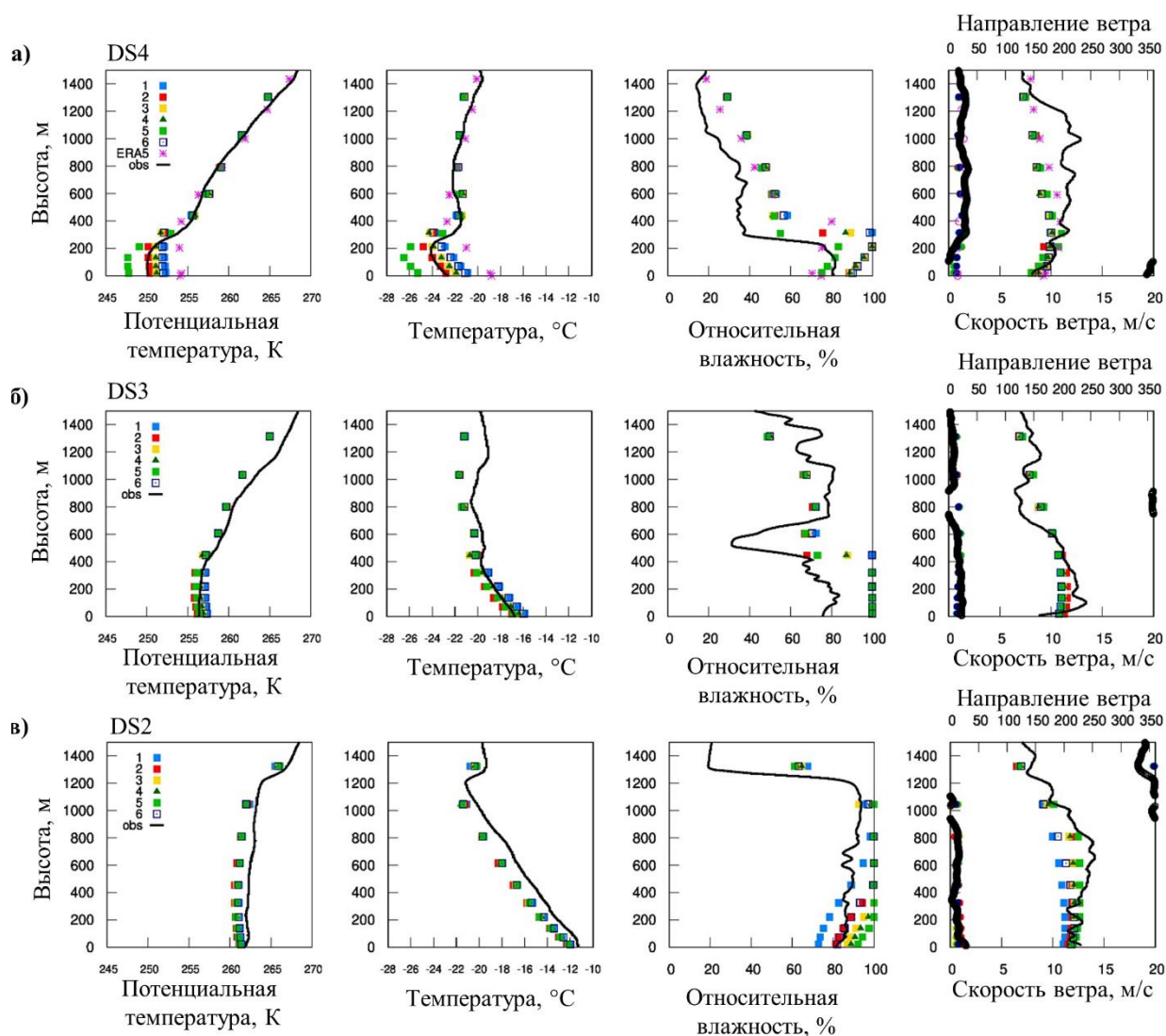


Рисунок 19.4 – Вертикальные профили потенциальной температуры, температуры воздуха, относительной влажности и скорости и направления ветра по данным наблюдений, реанализа ERA5 и результатам моделирования в экспериментах с различным заданием сплоченности и температуры льда

Наибольшая чувствительность температуры воздуха обнаружена к способу задания льда в модели – в виде бинарного поля (лед или вода) или в виде поля сплоченности. В первом случае температура оказывается намного ниже, чем во втором. Меньшая чувствительность проявляется к источнику данных о морском льде, еще меньшая – к разрешению этих данных (около 1 К в точке наблюдений). Чувствительность модели к способу задания температуры

поверхности в случае мозаичного подхода незначима. Также малы различия в температуре между всеми экспериментами над морем.

5. Обобщение результатов численных экспериментов с сопряженной моделью атмосферы, океана и морского волнения COAWST (Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport) для трех зимних случаев сильной боры на западном побережье Шпицбергена позволило подтвердить, что изменчивость в количественных оценках аномалий турбулентных потоков тепла и импульса и вклада эффекта орографии в процессы в океане между эпизодами есть, но небольшая. Было показано, что полученные ранее выводы относительно чувствительности турбулентных потоков к сопряжению моделей и роли орографии в турбулентном теплообмене океана и атмосферы и в основных процессах в этой части Баренцева моря устойчивы к выбору начальных данных для модели океана. Также в совместную модель была добавлена возможность обмена данными между моделью морского льда и моделями атмосферы и волнения, что позволит в дальнейшем проводить долгосрочные численные эксперименты с этой моделью в полярных областях.

Основные выводы исследований 2023 года:

– Установлено, что альbedo (отражательная способность) поверхности ледника существенно зависит от степени таяния и расстояния от кромки. Альbedo ледника испытывает значительную пространственную и временную изменчивость. Результаты измерений используются для валидации спутниковых данных.

– Показано, что на точность балансовых расчетов турбулентных потоков над поверхностью ледника существенным образом влияет задание параметра шероховатости. Использование полученных из эксперимента значений параметров шероховатости для импульса и температуры на различных участках ледника позволило улучшить точность расчета потоков. Установлена зависимость шероховатости от степени протаивания ледника и расстояния от кромки.

– Верификация результатов мезомасштабного моделирования по воспроизведению холодного вторжения на Шпицбергене показала, что при учете морского льда с высоким разрешением модель оказывается наиболее близка к наблюдениям. Чувствительность результатов мезомасштабного моделирования проявилась явным образом в температуре воздуха в пограничном слое атмосферы над льдом, а также в полях облачности.

– Обобщение результатов численных экспериментов с сопряженной моделью атмосферы, океана и морского волнения COAWST для трех зимних случаев сильной боры на западном побережье Шпицбергена позволило установить вклад эффекта орографии в изменчивость потоков тепла и импульса в Баренцевом море. Этот вклад сопоставим с ролью прикромочной зоны.

По результатам исследований опубликованы работы:

Chylik, J., Chechin, D., Dupuy R., Kulla, B. S., Lüpkes, C., Mertes, S., ... Neggers, R. A. Aerosol impacts on the entrainment efficiency of arctic mixed-phase convection in a simulated air mass over open water // *Atmospheric Chemistry and Physics*. — 2023. — Vol. 23, no. 8. — P. 4903–4929.

Chechin, D. G., Lüpkes, C., Hartmann, J., Ehrlich, A., Wendisch, M. Turbulent structure of the arctic boundary layer in early summer driven by stability, wind shear and cloud-top radiative cooling: ACLOUD airborne observations // *Atmospheric Chemistry and Physics*. — 2023. — Vol. 23, no. 8. — P. 4685–4707.

Результаты также представлены на конференциях:

Шестакова А.А. Оценка значимости взаимодействия океана и атмосферы при орографических ветрах Новой Земли и Шпицбергена на основе результатов моделирования.



Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде «СITES 2023», 13-23 июня 2023г., Москва.

Репина И.А., Варенцов М.И., Барсков К.В., Мамонтов А.Е., Шишов Е.А., Шестакова А.А. Исследование структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена. Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка, 13-15 марта 2023 г., Москва.

Repina I.A., Varentsov M.I., Artamonov A.Yu., Shishov E.D., Barskov K.V., Mamontov A.E., Shestakova A.A., Chechin D.G. Structure and dynamics of the atmospheric surface layer in the heterogeneous relief of the Svalbard coastal regions. 15th Conference of Atmospheric Physics, Climate and Environment. 11-16 September 2023, Moscow-Khanty-Mansiysk.

Мероприятие 19 выполнено полностью.

## Мероприятие 20. 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 в международные базы CALM и GTN-P.

В 2023 г. стало активно развиваться научное сотрудничество с КНР. После предварительных переговоров в рамках Восточного экономического форума – 2023 в г. Владивостоке 12 сентября 2023 г. состоялось торжественное подписание Соглашения о сотрудничестве между Мурманским морским биологическим институтом РАН и Институтом полярных исследований Китая (ИПИК, г. Шанхай).

Соглашение подразумевает продвижение российско-китайского сотрудничества в области полярных исследований в Северном Ледовитом океане и на Шпицбергене, в том числе, через совместные наблюдения и исследования в морских экспедициях и на арктических станциях, обмен опытом на конференциях и симпозиумах, организацию учебных курсов, создание совместных лабораторий, обмен информацией, данными и технологиями исследований в наиболее значимых областях.



Рисунок 20.1 – Представители делегаций ММБИ РАН и ИПИК после проведения переговоров в выставочной зоне Минобрнауки России



Рисунок 20.2 – Торжественная церемония подписания Соглашения о сотрудничестве

В рамках российско-китайской рабочей группы по исследованию динамики климата и атмосферы, которая проходила в Москве и Ханты-Мансийске 9-13 сентября 2023 г. было подписано соглашение между Институтом физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН и Институтом физики атмосферы Китайской академии наук о сотрудничестве в полярных исследованиях. В частности, предполагаются совместные работы по исследованию динамики пограничного слоя атмосферы на базе РНЦШ. Работы будут включать сезонные исследования и мониторинг характеристик энергообмена.

Участники Турецкой арктической научной экспедиции (TASE) на борту норвежского НИС PolarXplorer во главе с начальником экспедиции Озгюн Октап (Özgün Oktar) посетили РНЦШ 30 июля 2023 г. Сотрудники ААНИИ рассказали турецким коллегам о деятельности РНЦШ и провели экскурсию в химико-аналитической лаборатории ААНИИ.

Посол Королевства Таиланд в Норвегии В. Раксакиет 16 августа посетила РНЦШ в рамках организованного Генеральным консульством России на Шпицбергене при поддержке ФГУП «ГТ «Арктикуголь» ознакомительного визита делегации Таиланда в поселки российского присутствия Баренцбург и Пирамида. Г-же Послу была представлена краткая презентация о деятельности РНЦШ.

**Институт физико-химических и биологических проблем Российской академии наук (ИФХиБПП РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН)**

**Мероприятие 21. Комплексные исследования ископаемых почв палеозоя, современного почвенного покрова и многолетнемерзлых отложений архипелага Шпицберген с целью изучения эволюции биосферы в различные геологические и исторические эпохи**

Одна из ключевых задач проекта состоит в получении новых знаний об эволюции биосферы и почвенном покрове, климате и климатической зональности Земли в прошлые эпохи. Исследование дочетвертичных палеопочв на архипелаге Шпицберген представляет большой научный интерес, учитывая полноту геологического разреза девона (D1-D3) и обилие палеоботанических находок.

Недавние находки флор на архипелаге Шпицберген свидетельствуют об ее уникальности. Показано, что первые деревья появились на этой территории в верхах эмского яруса; такие группы древесных растений как птеридофиты и прогимноспермовые (Archaeopteridales) появились здесь в раннем живете, в то время как на территории Северной Америки и Европы их появление известно только со среднего-позднего живета. Последняя находка ликопсидового леса раннефранского возраста (серия Мимердален) на северном побережье залива Хорнсунн меняет существующее мнение, что такие леса появились на Земле только в карбоне. При этом наличие палеопочв палеозоя на территории архипелага Шпицбергена фиксировалось, но детальных исследований не проводилось. Основной целью проекта заключается в проведении реконструкции наземных экосистем и климата, базирующейся на свойствах ископаемых почв и растительного покрова в девоне на архипелаге Шпицберген, а также оценка классификационного положения ископаемых почв и обзор современных процессов почвообразования на участках развития аккумулятивных берегов.

В задачи работ 2023 года входила рекогносцировка и поиск палеопочв в девонских отложениях архипелага Шпицберген, выбор ключевых участков для почвенных исследований, а также уточнение логистических возможностей по организации полномасштабных работ в сезоне 2024 года. В работах принимали участие сотрудники ИФХиБПП РАН Абрамов А.А., Александрин М.Ю. (16.08-01.09.2023) и АНИИ Демидов В.Э. (07.08-20.09).

В ходе экспедиционных пешеходных рекогносцировочных маршрутов были проведены обследования основных обнажений пород девонского возраста в районе рудника Пирамида и долине Хугиндален. Общая протяженность пешеходных маршрутов составила 112 км. В районе рудника Пирамида выполнено 6 маршрутов в долины р. Эльза, Муниэльва, Торэльва, Одинэльва и Нидедалсэльва (мыс Бримерпинтен), общей протяженностью 86 км (рис. 21.1).

В ходе маршрутных исследований в районе рудника Пирамида выявлены места потенциального распространения горизонтов погребенных почв в девонских отложениях. Посещены места описанных в литературе находок остатков девонской растительности (рис.21.2) в районе долины Мунидален, зоны с обнажениями искомым горизонтов занесены в базу данных.

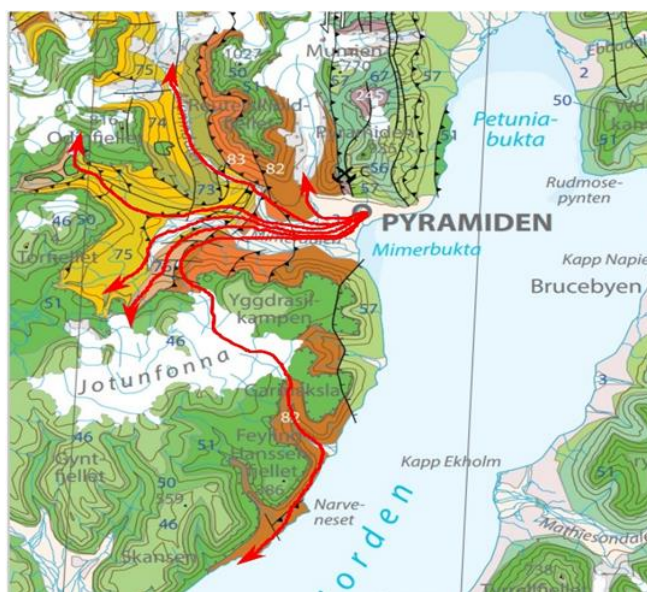


Рисунок 21.1 – Пешеходные маршруты в районе п. Пирамида. Геологическая основа НПИ масштаба 1:100000 <https://geokart.npolar.no/geologi/GeoSvalbard/#10/78.6529/16.3658>)



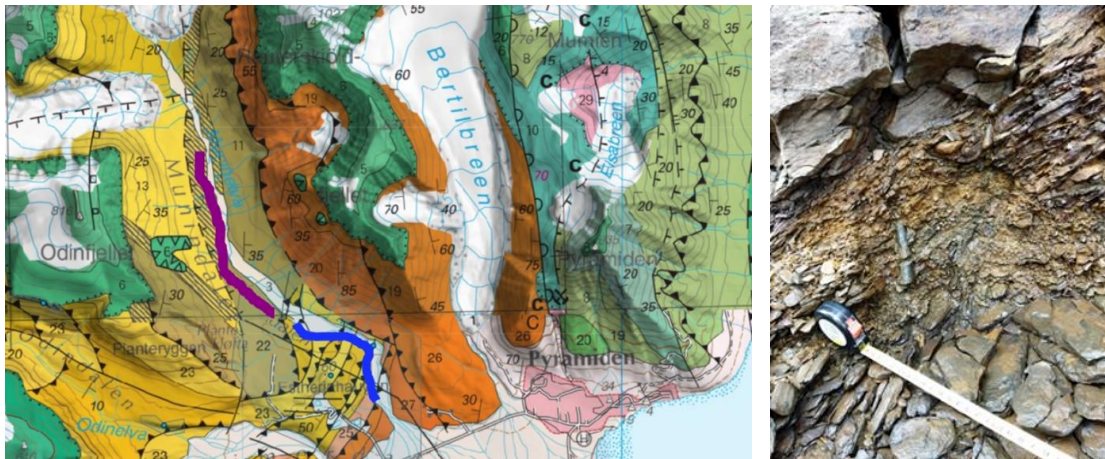


Рисунок 21.2 – (слева) Обнажение с периодически встречающимися остатками древесной растительности в долине Мунидален (фиолетовым цветом). Синим цветом отмечено обнажение, осмотренное в ходе маршрута недостаточно подробно. (справа) Фрагменты растительности (ликопсиды) в девонских отложениях, долина Мунидален

В береговых скальных обнажениях были осмотрены отложения нижнего, среднего и верхнего девона (всех ярусов начиная с пражского). Палеопочвы с остатками растительности обнаружены в долинах рек Муниэльва и Торэльва. В долине р. Муниэльва в отложениях фаменского яруса (формации Planteryggen и Planteklofta) обнаружено протяженное обнажение песчаников, алевролитов и аргиллитов с периодическим присутствием в нижней части обнажения окаменелых стволов и фоссилизированных корней в вертикальном положении (рис. 21.2).

В долине реки Торэльва и ее притоков в песчаниках и алевролитах в отложениях живетского (формация Tordalen подсвита Estheriahaugen) и франского (формация Tordalen подсвита Fiskeklofta) яруса обнаружены палеопочвы в лессовидных и скальных породах с нитевидными отпечатками растительности, выделяющимися по темным примазкам (рис. 21.3). В отложениях нижнего девона выходов палеопочв маршрутными наблюдениями не обнаружено. Перспективным представляется дальнейшее обследование каньонов р. Торэльва и ее притоков, а также обнажений в среднем и нижнем течении р. Муниэльва.

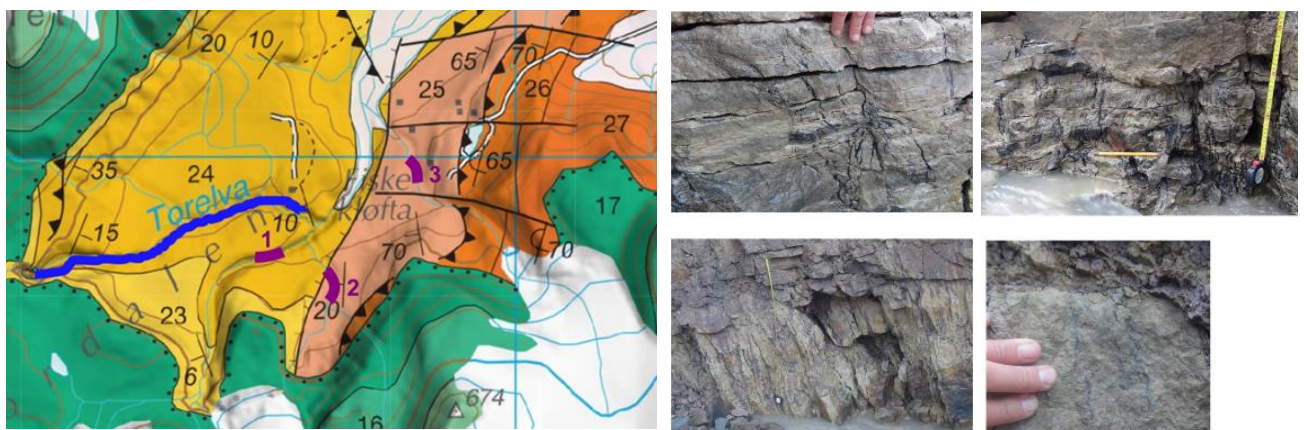


Рисунок 21.3 – Обнажения палеопочв в долине Торэльва и фото палеопочвенных профилей. 1 – палеопочва мощностью до 0,4 м в каньоне правого притока р. Торэльва в отложениях франского яруса (Обнажение 1, фото слева); 2 – серия палеопочв в ущелье правого притока р. Торэльва в отложениях живетского яруса (Обнажение 2, фото справа); 3 – необследованная ввиду паводка серия лессовидных палеопочв (аналогичных по внешнему облику почвам в обнажении 2)

Проведен также рекогносцировочный маршрут в д. Хугиндален (от устья р. Хугинэльва до ее верховий) протяженностью 26 км. В береговых скальных обнажениях были осмотрены породы нижнего (пражский и эмский ярусы) и среднего девона (франский ярус). В трех обнажениях (X1, X2, X3 – рис. 21.4) выявлены прослои алевролитов и аргиллитов, схожие по внешнему облику с палеопочвами д. Тордален. В обнажении X3 зафиксированы остатки



растительности. Дополнительно в абразионных клифах кутовой части залива Диксонфьорд были осмотрены породы пражского и эмского ярусов. Признаков палеопочв в данной локации обнаружено не было.

Произведен отбор образцов палеопочвенных профилей в долине р. Торэльва для детальных геохимических и минералогических и морфологических исследований. Отобранные образцы доставлены в конце сентября в лабораторию геохимии и минералогии почв ИФХиБПП РАН. В настоящее время начаты работы по подготовке проб для анализов с использованием комплекса инструментальных методов изучения почвенных компонентов (микро морфологические – электронная микроскопия с микро-геохимией, минералогические XRD, геохимические XRF, магнитные, изотопные  $^{13}\text{C}$ , FTIR-, ЯГРС- спектроскопии). Минеральный состав образцов палеопочв будет изучен методом рентгеновской дифрактометрии (D2-Phase Bruker, Германия). Структурное состояние соединений железа – дополнительно методом Мессбауэровской спектроскопии (MS-1104 Em-спектрометр, Россия).

Для оценки степени преобразованности материала под воздействием выветривания и почвообразования будут использованы отношения химических элементов (геохимические индексы). Элементный состав образцов будет изучен рентген-флюоресцентным методом (Bruker Jaguar S6, Германия). Магнитная восприимчивость будет определена на приборе KLY-2 Kappabridge (Чехословакия). Цветовые индексы образцов будут описаны по шкале Манселла. Субмикроскопическое исследование морфологии минеральных зерен и строение растительных остатков будет изучено методом сканирующей электронной микроскопии с микрозондом для микро геохимических задач (SEM-EDX Tescan Vega 3, Чехия).

Исследование состояния органического вещества палеопочв будет выполнено с использованием комплекса инструментальных физико-химических методов его исследования, включая NCNS анализатор (ELEMENTAR VARIO EL CUBE, Germany), Фурье ИК-спектроскопию (FTIR Nicoleta 6700 Thermo Scientific, США), изотопный анализ. Состав стабильных изотопов углерода растительных остатков будет изучен с помощью метода IRMS (масс-спектрометр Thermo Scientific Delta V Isotope Ratio Mass Spectrometer, США).

Полученные аналитические результаты должны позволить провести реконструкции наземных экосистем и климата, сравнить полученные результаты с накопленными за последнее десятилетие палеопочвенными данными для Центрального девонского поля (Европейская часть РФ), продолжить наполнения данными карты-схемы почвенного покрова Земли в девоне, базируясь на палеопочвенных находках участников исследования и обзоре литературных данных.

По результатам исследований в 2023 году планируется подача публикации в журнал. Ответственные исполнители: д.б.н. Алексеев А.О., д.г.-м.н. Алексеева Т.В. (alekseev@issp.psn.ru; alekseeva@issp.serpukhov.su).

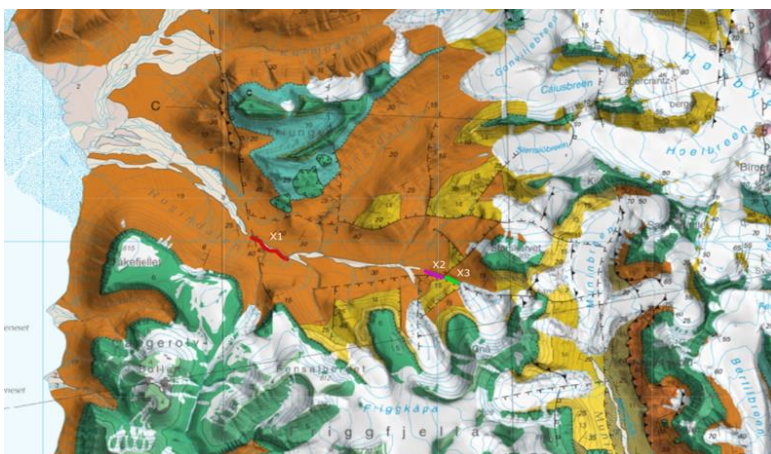


Рисунок 21.1 – Маршрут в долине Хугиндален. Геологическая основа НПИ масштаба 1:100000.

<https://geokart.npolar.no/geologi/GeoSvalbard/#10/78.6529/16.3658>.

X1 – Столбчатые аргиллиты и алевролиты мощностью до 0,7 м в береговых обрывах среднего течения р. Хугинэльва в породах пражского и эмского ярусов; X2 – Столбчатые аргиллиты и алевролиты мощностью до 3 м в ущелье верхнего течения р. Хугинэльва в породах пражского и эмского ярусов ; X3 –

Алевролиты и аргиллиты с остатками растительности в ущелье верхнего течения р. Хугинэльва в породах франского яруса

В районах распространения аккумулятивных берегов в бухтах Петунья, Мимер и Адольф выбраны ключевые участки для исследования содержания и профильного распределения органического вещества, биогенных элементов, локальных и глобальных поллютантов в почвенно-мерзлотных комплексах прибрежной зоны. Ответственный исполнитель по этому направлению – к.г.-м.н. А.А. Абрамов (forestpro@gmail.com).

Запланированные исследования по комплексному метагеномному анализу образцов мерзлотных почв и выходов термальных вод в южной и северной частях архипелага перенесены на последующие годы в связи с депортацией капитана яхты «Альтер Эго» из Норвегии при подготовке экспедиции.

Продолжаются работы по совместному проекту AMP'D (Arctic Microbial Permafrost Degradation) с коллегами из университета Теннесси (США). Проект посвящен 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, также продолжается эксперименты по длительной инкубации мерзлых образцов.

По результатам метагеномного анализа образцов деятельного слоя, отобранных в осеннее (в талом виде) и весеннее время (в мерзлом виде) подготовлена статья *Fine-scale depth distributions of metagenome-assembled genomes, liquid water availability, and seasonal bacterial abundance in the permafrost active layer of Ny Ålesund, Svalbard (79°N)*, которая находится на рецензии.

Также по этому направлению исследований был представлен доклад на международной конференции: Karen G Lloyd, Katie Sipes, Joy Buongiorno, Andrew Steen, Andrey Abramov, Samantha Peters, Richard Giannone, Robert L Hettich, Julia Boike, Sarahi Garcia, Tatiana Vishnivetskaya *Subsurface persistence of carbon degrading microbes as thawing permafrost moves between the terrestrial and marine environments // Goldschmidt 2023 Conference, Lyon* (<https://conf.goldschmidt.info/goldschmidt/2023/meetingapp.cgi/Paper/15920>)

Рекогносцировка в ходе первого полевого сезона и отбор образцов для исследования палеопочв палеозоя на архипелаге Шпицберген в долинах Муиндален, Тордален, Хугиндален (Земля Диксона) выполнены успешно, выявлены обнажения, перспективные для дальнейших исследований палеопочв. Получено представление о логистических возможностях ГТ «Арктикуголь» в плане организации полномасштабных полевых работ в следующем сезоне. Отобраны образцы нескольких профилей палеопочв для детального лабораторного анализа. Результаты аналитических исследований будут представлены позже.

Несмотря на трудности при организации экспедиционных полевых работ в 2023 г, благодаря информационной поддержке РНЦШ и логистической поддержке ГТ «Арктикуголь» запланированные работы по мероприятию 21 выполнены.

## Заключение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на арх. Шпицберген 2023 года включала 21 мероприятие, которые выполнялись 11 организациями Консорциума и одной организацией, не входящей в консорциум (ИФХиБПП РАН). Продолжающиеся ограничительные меры, связанные с введенными против России санкциями, усложнили выполнение некоторых Мероприятий за счет трудностей, связанных с проездом научных сотрудников и провозом научного оборудования и запасных частей на архипелаг Шпицберген.

В 2023 г. получены новые данные по гидрометеорологическому режиму, океанологии, гидрологии, гляциологии, геофизики, геологии, биологии и экологии, исследованы новые археологические памятники. В полном объеме проведен сбор натуральных данных, получаемых постоянным (зимовочным) составом или автоматизированными автономными системами наблюдений. Круглогодичные программы мониторинга проводят ААНИИ и Мурманское УГМС Росгидромета. Сбор информации и наблюдения в дистанционном режиме продолжает 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.

ГМО «Баренцбург» Мурманского УГМС полностью выполнило программу работ. Материалы наблюдений обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Средняя температуры зимы 2022-2023 была выше климатической нормы на 2,9°C, лета – на 1,9°C. Лето 2023 года в Баренцбурге стало самым теплым за период наблюдений с 1948 г. При этом количество осадков в течение года было сравнимо или ниже климатической нормы, за исключением апреля, когда за месяц выпало почти 120 мм осадков или более трех месячных норм.

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.

В рамках океанологического мониторинга проведено термохалинное профилирование заливов Исфьорда и оценка параметров карбонатной системы. В весенний период в Исфьорде и Грэнфьорде регистрировался фронт вод атлантического происхождения в мористой части. В летний период наблюдалась значительная адвекция атлантической водной массы как в Исфьорд, так и в Грэнфьорд, который во внешней части с поверхности до дна был заполнен водами атлантического происхождения. Изменчивость параметров карбонатного цикла на поверхности и по глубине в заливах не значительная, поток углекислого газа направлен из атмосферы в океан, а поверхностный слой обогащен арагонитом. Расчеты показали, что заливы характеризуются высокой буферной емкостью и устойчивы к внешним изменениям.

Гидрологический мониторинг на водосборах рек и ледниках в 2023 г. выявил увеличение запасов влаги в снеге на водосборах рек залива Грэнфьорд на 117 мм в. э. по сравнению с предыдущими 5 годами, при средней высоте снежного покрова на 9 см выше среднемноголетней. Однако средний слой стока рек составил 753 мм, что ниже измерений 2019-2021 гг. Максимальные расходы рек пришлось на период активного снеготаяния в июле и августовские паводки. Несмотря на теплое лето, установление льда на реках произошло уже во второй декаде сентября.

Комплексное изучение ледников включало снегомерную съемку, масс-балансовые наблюдения, изучение структуры и мощности ледников геофизическими методами (совместно с ИГ РАН), актинометрические, микроклиматические и спутниковые наблюдения с целью оценки компонентов теплового баланса и турбулентных потоков тепла. Измерение вертикального распределения проникающей в снег радиации показали, что коэффициент

ослабления фотосинтетически активной радиации определяется в основном плотностью снега на леднике, и загрязнением поверхности снега в поселке Баренцбург. Суммарная поверхностная абляция ледников Альдегонда и Западный Шпицберген незначительно снизилась по сравнению с 2022 г. при увеличении длительности сезона абляции. Полный радиационный баланс на поверхности ледников был положительным практически в течение всего летнего периода с максимумом в начале сезона и снижением к середине сентября, длинноволновой баланс был преимущественно отрицательным за счет сплошного облачного покрова большую часть лета. Сеть долговременных наблюдений расширилась данными георадиолокационных измерений мощности и структуры ледников Земли Диксона.

Изучение мерзлоты дополнилось исследованиями содержания в мерзлоте Шпицбергена климатически и биологически активных веществ, а также накопления в мерзлых грунтах ртути. Данные мониторинга термического состояния мерзлоты в районе Баренцбурга передавались в международные системы наблюдений CALM и GTN-P. Было продолжено изучение криогенных процессов в районе п. Баренцбург и генезиса подземных вод, выходящих на поверхность, в том числе в районе таликов в зимний период.

Палеогеографические, геоморфологические и биомониторинговые исследования выполнялись совместно с ВНИИОкеангеология в южной части Земли Оскара II и на Земле Принца Карла, изучались закономерности воздушного переноса спор и пыльцы и их распределения на земной поверхности в окрестностях п. Баренцбург. Полученные данные спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования послужили основой реконструкции развития ландшафта тундры Богемана в среднем голоцене.

Мониторинг загрязнения в районах хозяйственной деятельности российских предприятий был выполнен СЗФ НПО «Тайфун» совместно с ААНИИ в полном объеме, включая подготовку и частичный анализ образцов в химико-аналитической лаборатории в п. Баренцбург. Доставленные в Санкт-Петербург образцы анализируются.

Сотрудники ВНИИОкеангеология успешно провели полевые исследования, составили предварительные карты геологического содержания для южной части Земли Оскара II, собрали материал для уточнения геологического строения района, исследовали характер, особенности и возраст рельефообразующих процессов, дополнили эталонную коллекцию горных пород архипелага. Морская экспедиция по исследованию Шпицбергенского шельфа проведена на НИС «Иван Петров». С помощью сейсмоакустического профилирования были получены новые геолого-геофизические данные, которые позволят выяснить геологическое строение изученного района, строение самой верхней части осадочного чехла. Отобранные образцы донных осадков, донно-каменного материала, выделенные из осадков газы будут изучаться в лабораториях.

Для подробного изучения процессов седиментации и накопления природных радионуклидов в донных отложениях в заливе Грэнфьорд сотрудниками ММБИ были отобраны керны донных отложений, проведены термохалинные измерения в водной толще, собраны образцы макрофитов в различных районах залива для оценки накопления загрязняющих веществ. Морская комплексная экспедиция на борту НИС «Дальние Зеленцы» по изучению экосистем фьордов Шпицбергена запланирована на ноябрь-декабрь 2023 г.

Специалисты Полярного арктического ботанического сада-института КНЦ РАН не проводили полевые изыскания, анализировали и обобщали собранные ранее образцы и данные. Закончен масштабный анализ видового состава флор цианопрокариот Шпицбергена в сравнении с региональными флорами евроазиатской Арктики, при изучении коллекции лишайников Земли Принца Карла выделены 61 вид лишайников и четыре лишенофильных гриба, продолжалась идентификация печеночников побережья залива Инвика, проведено интегративное исследование мало изученного арктического рода *Cryptocoea*, исследованы мезоструктура и липидный состав листьев трех видов листопадных кустарничков, выявлены особенности температурного режима серогумусовых почв юго-запада Шпицбергена.



Сотрудники Института географии РАН провели измерение современной поверхности ледника Восточный Грэнфьорд, оценили высотную зависимость летнего таяния и летний баланс массы ледника. Продолжалось изучение влияния термического сопротивления снежного покрова на сезонно-талый слой, анализ пространственной и межгодовой изменчивости СТС и температурного режима на данных из 22 скважин. Для оценки баланса парниковых газов измерялась почвенная эмиссия углекислого газа в различных экосистемах, а также проведены потоковые измерения на леднике Альдегонда и его морене. На морене ледника Западный Грэнфьорд изучались ледниковые озера, закономерности и скорость их формирования. В п. Баренцбург и Пирамида, на побережье Грэнфьорда и на ледниках изучались характер пребывания, распределение, численность видов птиц и их динамика. Для полярной крачки, чистика, бургомистра и др. видов отмечено более раннее и успешное гнездование в антропогенном ландшафте.

Учеными ИА РАН задокументировано состояние различных археологических объектов, находящихся на берегу бухты Руссекейла. Здесь выявлен новый памятник – жилище английских китобоев 17 в., который не зарегистрирован на норвежском сайте Kulturminnesøk. В целях сохранения памятника будут подготовлены и направлены в администрацию Губернатора Шпицбергена материалы, необходимые для постановки объекта на государственный учет в норвежском директорате культурного наследия. В районе бухты Фарнхамна (Земля Оскара II) и на мысе Госодден (Земля Бюнсва) произведено обследование поморских становищ, а также продолжена компьютерная обработка цифровых фотографий.

Анализ данных мониторинга сейсмической обстановки и инфразвуковых сигналов в районе Шпицбергена сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН показал, что большинство зарегистрированных сейсмических событий имели малые энергии и ассоциировались с процессами разрушения ледников Шпицбергена в заливах Хорнсунн и Конгсфьорд. В районе поселка Баренцбург уровень сейсмической активности оставался на низком уровне, ощутимых землетрясений в 2023 году не зарегистрировано. В августе зафиксирован всплеск регистрируемых инфразвуковых событий, очевидно, обусловленных краткосрочными активизациями ледников на севере и востоке.

На основе данных, полученных комплексом оборудования геофизической обсерватории «Баренцбург» сотрудниками ПГИ изучили связанные с осадками события возрастания электромагнитной компоненты вторичных космических лучей, проанализировали особенности событий наземного возрастания солнечных космических лучей вследствие серии вспышек на Солнце GLE66 (2003 г.) и GLE73 (2021 г.). В сентябре проведено полное техническое обслуживание оборудования геофизической обсерватории в п. Баренцбург, в обсерватории установлен опытный образец риометрического приемника с широкой диаграммой направленности для исследования космического радиошума.

Изучая влияние структуры подстилающей поверхности на динамику пограничного слоя атмосферы исследователи ИФА им. А.М. Обухова РАН установили, что на точность балансовых расчетов турбулентных потоков над поверхностью ледника значительно влияет задание параметра шероховатости, а также выявили зависимость шероховатости от степени протаивания ледника и расстояния от его кромки. Верификация результатов мезомасштабного моделирования по воспроизведению холодного вторжения на Шпицбергене показала, что при учете морского льда с высоким разрешением модель оказывается наиболее близка к наблюдениям. Обобщение результатов численных экспериментов с сопряженной моделью атмосферы, океана и морского волнения COAWST для трех зимних случаев сильной боры на западном побережье Шпицбергена позволило установить вклад эффекта орографии в изменчивость потоков тепла и импульса в Баренцевом море, который сопоставим с ролью прикромочной зоны.

В рамках Межведомственной программы впервые проведены полевые исследования палеопочв в девонских отложениях архипелага Шпицберген сотрудниками ИФХиБПП РАН (не является членом Консорциума РНЦШ). Рекогносцировка в ходе первого полевого сезона

и отбор образцов для исследования палеопочв палеозоя на архипелаге Шпицберген в долинах Муниндален, Тордален, Хугиндален (Земля Диксона) выполнены успешно, выявлены обнажения, перспективные для дальнейших исследований палеопочв. Запланированные исследования по комплексному метагеномному анализу образцов мерзлотных почв и выходов термальных вод в южной и северной частях архипелага перенесены на последующие годы в связи с логистическими трудностями.

Международное сотрудничество приостановлено со стороны европейских партнеров, однако стало активно развиваться научное сотрудничество с азиатскими партнерами. Так, после предварительных переговоров в рамках Восточного экономического форума – 2023 в г. Владивостоке 12 сентября 2023 г. состоялось торжественное подписание Соглашения о сотрудничестве между Мурманским морским биологическим институтом РАН и Институтом полярных исследований Китая (ИПИК, г. Шанхай). Кроме того, с официальным визитом п. Баренцбург и РНЦШ посетила посол Таиланда, а также представители Турецкой арктической научной экспедиции.

Несмотря на продолжающиеся в 2023 г. сложности при организации экспедиционных полевых работ, невозможности провезти на архипелаг научное оборудование, благодаря взаимной информационной и логистической поддержке, организации-партнеры по РНЦШ выполнили программу исследований и наблюдений. Целевые показатели программы достигнуты.

**Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2023 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)	34	35
2	Прирост объема информации о природной среде арх. Шпицберген (гигабайт), в том числе данные постоянных метеорологических, геофизических и спутниковых наблюдений	17350	18705
3	Количество молодых ученых (специалистов) ВУЗов, студентов и аспирантов, привлеченных к выполнению НИОКР в рамках проекта	17	22
4	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности, в том числе направленных на государственную регистрацию	1	1