

**УТВЕРЖДЕНО**  
протоколом Наблюдательного совета  
по координации деятельности  
Российского научного центра на  
архипелаге Шпицберген  
от 15 декабря 2022 г. № 15

**ОТЧЕТ**  
**о выполнении**  
**Межведомственной программы**  
**научных исследований и наблюдений на архипелаге**  
**Шпицберген в 2022 году**

Москва 2022

## Содержание

Введение.....	4
Организации Росгидромета .....	5
Организации Роснедр .....	5
Организации Минобрнауки России .....	5
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 .....	16
Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген.....	20
Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена.....	26
Мероприятие 5. Палеогеографические исследования.....	29
Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты.....	34
Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей .....	37
Мероприятие 8. Экологические исследования .....	39
Мероприятие 9. Работы по линии международного сотрудничества на арх. Шпицберген ...	43
ФГБУ «Мурманское УГМС» .....	44
Мероприятие 10. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» .....	44
ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ».....	48
Мероприятие 11. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген .....	48
Мероприятия Роснедр.....	53
ФГБУ «ВНИИОкеангеология» .....	53
Мероприятие 12. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген.....	53
Мероприятие 13. Региональные геолого-геоморфологические исследования Шпицбергенского шельфа .....	56
Мероприятия организаций Минобрнауки России .....	61
Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН) .....	61
Мероприятие 14. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.....	61
Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН) ...	63
Мероприятие 15. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген .....	63
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН) .....	67
Мероприятие 16. Изучение флоры, растительности, продуктивности и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген .....	67
Кольский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН .....	79

(КоФ ФИЦ ЕГС РАН) .....	79
Мероприятие 17. Сейсмо-инфразвуковой мониторинг процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген.....	79
Полярный геофизический институт (ПГИ) .....	84
Мероприятие 18. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.....	84
Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН).....	95
Мероприятие 19. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген .....	95
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН).....	104
Мероприятие 20. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена .....	104
Заключение .....	109
Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2022 г. ....	112

## Введение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2022 г. (далее – Межведомственная программа) была утверждена Наблюдательным советом РНЦШ с изменениями 23 мая 2022 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, поставленные перед организациями – участниками РНЦШ:

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 влияния атлантических вод на океанологические условия в регионе.
4. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.
5. Мониторинг температурного состояния многолетней мерзлоты, глубины распространения сезонно-талого слоя и оценка энерго- и массо-обмена подстилающей поверхности с атмосферой.
6. Исследование межгодовой изменчивости параметров снежного покрова и многолетней мерзлоты, оценка тепловых потоков.
7. Разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах.
8. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген, оценка пространственной изменчивости характеристик ледников, снега и фирна.
9. Изучение флоры, растительности, продуктивности и процессов почвообразования в арктических экосистемах.
10. Исследование динамики углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген в условиях меняющегося климата.
11. Исследование свойств почв, формирующихся на криоконитовом материале в перигляциальной зоне быстротающих ледников, оценка вклада углерода «ледникового» происхождения в почвообразование.
12. Дендрохронологические исследования образцов плавника и дерева историко-культурных памятников.
13. Геоэкологический мониторинг различных районов архипелага Шпицберген, в частности законсервированных и действующих поселков.
14. Изучение четвертичных отложений архипелага с целью палеогеографического анализа, реконструкции ландшафтов и прогноза их формирования и развития.

15. Комплексное геолого-геофизическое изучение недр отдельных районов архипелага Шпицберген для уточнения их геологического строения и минерально-сырьевого потенциала, в том числе на шельфе архипелага.

16. Изучение геоморфологического строения и основных рельефообразующих процессов, оказывающих разрушительное воздействие на действующие и законсервированные посёлки и другие объекты архипелага Шпицберген.

17. Исследование уровня геодинамического риска в природно-технических системах районов угледобычи на архипелаге Шпицберген.

18. Развитие методов и аппаратных средств интегрированного сейсмоинфразвукового комплекса на острове Западный Шпицберген для контроля опасных геодинамических процессов в литосфере и криосфере Западной Арктики.

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

20. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

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

Эти задачи вошли в 20 Мероприятий Межведомственной программы, распределенных между 12 исполнителями – участниками Консорциума РНЦШ.

### **Организации Росгидромета**

ФГБУ «ААНИИ» – Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы. Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген. Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген. Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса 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. Мероприятие 9. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене.

ФГБУ «Мурманское УГМС – Мероприятие 10. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

ФГБУ «НПО «Тайфун» – Мероприятие 11. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

### **Организации Роснедр**

ФГБУ «ВНИИОкеангеология» – Мероприятие 12. Региональные геолого-геофизические исследования с целью изучения геологического строения и минерально-сырьевого потенциала территории архипелага Шпицберген. Мероприятие 13. Региональные геолого-геофизические исследования Шпицбергенского шельфа для изучения строения осадочного чехла

### **Организации Минобрнауки России**

ИГ РАН – Мероприятие 14. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.

ММБИ РАН – Мероприятие 15. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.

ПАБСИ КНЦ РАН – Мероприятие 16. Изучение флоры, растительности, продуктивности и процессов почвообразования в арктических экосистемах архипелага Шпицберген.

КоФ ФИЦ ЕГС РАН – Мероприятие 17. Сейсмо-инфразвуковой мониторинг процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген.

ПГИ – Мероприятие 18. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.

ИА РАН – Мероприятие 19. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

ИФА им. А.М. Обухова РАН – Мероприятие 20. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена.

При выполнении Межведомственной программы организации РНЦШ по-прежнему сталкивались с логистическими проблемами, связанными как с пандемией новой коронавирусной инфекции, так и санкциями ЕС, введенными против Российской Федерации после начала специальной военной операции в Украине, которые еще больше ограничили возможности по организации работ на Шпицбергене и увеличили расходы на проезд на территорию архипелага. Тем не менее большинство организаций смогли провести полевые исследования, хотя и в скорректированном виде. Особое значение имела взаимная помощь партнеров по РНЦШ – логистическая поддержка и информационное обеспечение.

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

## Мероприятия Росгидромета ФГБУ «АНИИ»

### Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы

Исследования параметров приземной атмосферы включают 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*

Измерения характеристик атмосферного аэрозоля на архипелаге Шпицберген ведутся ААНИИ совместно с Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА СО РАН) в соответствии с соглашением об организации Совместной межведомственной «Лаборатории полярного аэрозоля». Исследования выполнялись также в рамках Программы Президиума РАН №32 «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» (проект «Комплексные исследования аэрозоля и сажи в атмосфере Российской Арктики»). 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 Гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» (ГМО Баренцбург) сотрудниками зимовочного состава РАЭ-Ш. Аэрозольная станция обеспечивает круглосуточные наблюдения вариаций микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое воздуха и состоит из приборов: четырехволнового дифференциального аэталометра МДА-02 (ИОА СО РАН); аэталометра АЕ-33 (ААНИИ); оптического счетчика частиц AZ-10 (ИОА СО РАН); аспиратора аэрозольных частиц на серию фильтров (табл. 1.1). Вследствие неисправности счетчик Grimm 1.109 не работал в летне-осенний период.

Солнечный фотометр SP9 использовался для измерений аэрозольной оптической толщины и общего влагосодержания атмосферы (Сакерин и др., 2010). В связи с нарушением автоматического механического наведения на солнце фотометром SP9 в 2022 г. выполнен 7409 замеров с 24.03 по 28.08. Обработка результатов осуществляется в ИОА СО РАН по соответствующим методикам: Сакерин и др. 2010; Кабанов и др., 2001; Кабанов и др., 2009. Важная роль при обработке исходных данных

Таблица 1.1 – Количество измерений аэрозольным комплексом (2021-2022 гг.)

Прибор	Количество	
	Среднечасовых значений	Измерительных дней
Счетчик AZ-10	7702	332
Аэталометр МДА-02	7300	313
Аэталометр АЕ-33	>450000 (1раз/мин)	331

отводится выбраковке данных, подверженных влиянию локальных источников аэрозоля и неблагоприятных метеорологических условий (низкая облачность, туман, осадки). В некоторых случаях при соответствующем направлении ветра проявлялось воздействие дымовых выбросов трубы ТЭЦ, расположенной на расстоянии около 1 км в Ю-ЮЗ направлении от пункта наблюдений. Максимумы концентраций аэрозоля и сажи, возникающие в таких случаях, исключались из дальнейшей обработки.

В ходе исследований измерялись: интегральные (по все толще атмосферы) характеристики – аэрозольная оптическая толщина (АОТ); в приземном слое атмосферы – счетная концентрация частиц аэрозоля  $N_A$  [ $\text{см}^{-3}$ ]; массовая концентрация аэрозоля  $M_A$  [ $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ ] и поглощающего вещества в эквиваленте черного углерода  $eBC$  [ $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ ].

Сопоставление среднемесячных значений АОТ в 2022 г. со средней сезонной изменчивостью за 2011-2021 гг. выявило их существенные отличия. Особенность сезонного хода АОТ в 2022 г. проявилась в повышенных значениях в весенние месяцы (в апреле-мае  $\bar{\tau}_{0,5}^a = 0,074 \pm 0,011$ , что на 30% выше среднего за 2011-2021 гг.) и низким уровнем замутнения летом (в июле-августе  $\bar{\tau}_{0,5}^a = 0,058 \pm 0,018$ , что более чем на 40% ниже среднего за предыдущие 10 лет) (рис. 1.1). Рост атмосферного замутнения происходил преимущественно в коротковолновой части спектра, то есть был обусловлен увеличением содержания мелкодисперсного аэрозоля, по-видимому, пирогенного.

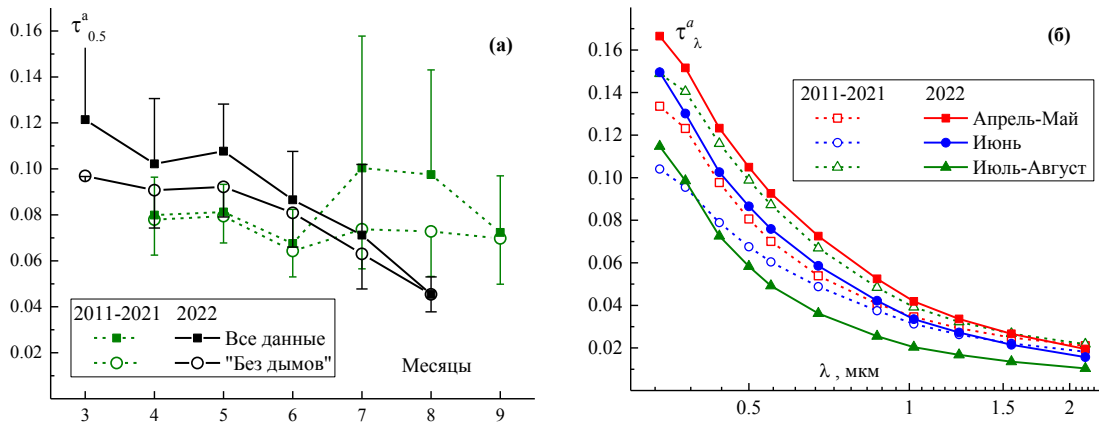


Рисунок 1.1 – Сопоставление результатов 2022 г. с средними значениями за предыдущие годы (2011-2021 гг.): сезонный ход  $\tau_{0,5}^a$  (а), спектральные зависимости АОТ в разные периоды (б)

Годовой ход характеристик аэрозоля в приземном слое содержит зимне-весенние максимумы, а минимумы всех характеристик отмечаются в летний период. При этом в целом отмечено более чем двукратное превышение средних значений концентраций поглощающего вещества в течение полярной ночи над значениями в период полярного дня. Для счетной ( $N_A$ ) и массовой ( $M_A$ ) концентраций отмечается такая же динамика: для  $N_A$  – в 1,37;  $M_A$  – в 1,63 раза.

Летние (с июня по август) значения массовых концентраций поглощающего вещества ( $eBC$ ) были минимальными за все предшествующие годы измерений (рис. 1.2).

По результатам исследований подготовлена статья:

Kabanov D.M., Maslovsky A.S, Radionov V.F., Sakerin S.M, Sidorova O.R., Chernov D.G. Estimate of contribution from different variability scales to variations in aerosol characteristic on

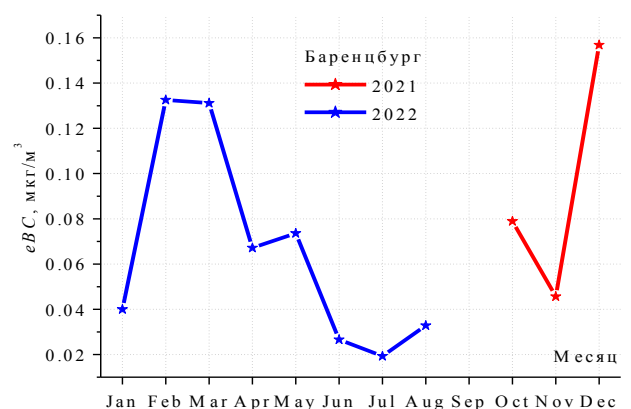


Рисунок 1.2 – Среднемесячные значения массовых концентраций  $eBC$  в Баренцбурге в 2021-2022 гг.



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

Исследования проводились на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд в весенний и летний период в апреле-мае и августе-сентябре 2022 г. научными сотрудниками лаборатории процессов взаимодействия океана и атмосферы Безгрешновым А.М. и Прохоровой У.В. и инженером отдела подготовки кадров Руденко Н.О.

Основной целью исследований является изучение микроклиматических и теплбалансовых особенностей системы «поверхность ледника – атмосфера». Задачи включали:

- 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 (весенний этап).

В ходе выполнения экспедиционных работ выполнялись:

- маршрутные, подспутниковые измерения проходящей и отраженной солнечной радиации над различными типами поверхности ледников;
- непрерывная регистрация составляющих радиационного баланса;
- получение данных о микроклимате ледника стационарными автоматическими метеостанциями (АМС) НОВО;
- проведение специальных метеорологических наблюдений температуры и влажности воздуха переносными АМС Нобо для оценки влияния поверхности на показания стационарных АМС (летний этап);
- отбор образцов снега на леднике Альдегонда для последующего анализа химического состава загрязнений (весенний этап).

Для оценки компонентов теплового баланса на леднике Альдегонда устанавливалась теплбалансовая мачта (ТБМ), на которой непрерывно регистрировались проходящий и отраженный потоки коротковолновой и длинноволновой радиации. Для оценки турбулентных потоков тепла были использованы данные двух автоматических метеорологических станций (АМС), расположенных на ригелях в нижней и верхней части ледника. Оценка влияния подстилающей поверхности на показания АМС производилась двумя временными АМС, установленными на тех же высотах, что и стационарные, но непосредственно на поверхности ледника.

Для дальнейшего перехода от измерений в точке к пространственно распределенным значениям величин баланса, были произведены маршрутные съемки альбеда. В весенний период съемка альбеда производилась по профилю, расположенному по центральной оси ледника. В точках измерений выполнялся также отбор проб снега для определения количества загрязняющих веществ, и измерения проникающей в слой снега солнечной радиации диапазона 400-700 нм (ФАР). Полученные результаты дают представление о величинах и распределении альбеда снежного покрова ледника в момент максимального снегонакопления, перед началом периода абляции.

В летний период маршрутная съемка выполнялась несколько раз. Частота проведения съемок обусловлена необходимостью отслеживать временную изменчивость поверхности ледников в период абляции. Ледниковая поверхность в период абляции меняется достаточно динамично: в начале наблюдений 2022 года поверхность представляла собой плотный лёд, который обычно наблюдается в конце периода абляции, однако ближе к началу сентября практически вся поверхность ледника за исключением его нижней части представляла собой

пористый лёд. Даты проведения маршрутных съемок альbedo близки к датам получения снимков со спутников Landsat-8 и Sentinel-2, что позволяет верифицировать данные получаемые со спутников.

Оценка потока тепла вглубь ледника по двухслойной модели основана на данных, получаемых с термокосы, забуренной в толщу ледника на глубину 4,5 м (на момент начала летнего сезона).

Оценка скорости испарения 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 фиксировалась. Также фиксировалось 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.

Проведенные в период максимального снегонакопления измерения альbedo по маршруту на леднике Альдегонда показали некоторое снижение значений к нижнему и верхнему краю ледника, в средней части ледник имеет альbedo 84%, что соответствует оценкам 2018 г. (85%), но несколько выше значений, зафиксированных в 2016-2017 гг. (80%) и 2019 г. (83%). Однако необходимо отметить, что 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 120 до 330 Вт/м<sup>2</sup>. С увеличением полуденной высоты Солнца, максимальные значения в полуденные часы достигали 700 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>. С конца последней декады апреля наблюдался устойчивый прогрев приповерхностного слоя воздуха, с кратковременными периодами похолодания. Поток тепла в снежном покрове на глубине 10 и 20 см имел слабую тенденцию к повышению, выразившуюся к переходу его отрицательных значений к положительным. В 2022 г., к моменту снятия оборудования (17.05.2022), прогрев верхних слоев снега на леднике Альдегонда только начался (положительные значения потока). По результатам измерения особенностей вертикального распределения проникающей в снег солнечной радиации был рассчитан коэффициент ослабления ФАР для верхнего слоя снежного покрова ледника Альдегонда. Среднее значение составило 15 м<sup>-1</sup>.

Анализ проб растопленного снега показал, что в среднем количество взвешенного вещества (0,924 мг в одном литре талого снега) в пробах собранных в ходе полевых работ 2022 г. оказалось немного ниже, чем в 2019 г. В таблице 1.2 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.

В ходе полевых исследований во время весеннего этапа была проведена серия прямых измерений скорости испарения с поверхности снежного покрова, продолжительностью 14 дней (рис. 1.3).

Таблица 1.2. Средняя концентрация взвешенного вещества в пробах снега ледника Альдегонда

Год	Концентрация, мг/л талой воды
2013	4,269
2016	3,936
2017	3,566
2018	2,134
2019	1,187
2022	0,924

Суммарное испарение за период наблюдений 4-18.05.22 составило 3,2 мм в.э. (водного эквивалента) ( $3,223 \text{ кг/м}^2$ ). Среднее за сутки – 0,29 мм в.э. ( $0,292 \text{ кг/м}^2$ ). Несколько не логичная зависимость скорости испарения от ветра объясняется тем, что при усилении ветра возникает и усиливается горизонтальный перенос свежевыпавшего снега, который вносит существенные искажения в измеряемые значения испарения. Именно этим объясняется пропуск в данных 09.05.22. Ветровой перенос был настолько сильным, что вес образца за сутки увеличился. Тем не менее нужно отметить, что погодные условия в сезоне 2022 г. были достаточно благоприятными для проведения работ по оценке скорости испарения и позволили провести серию достаточно корректных измерений.

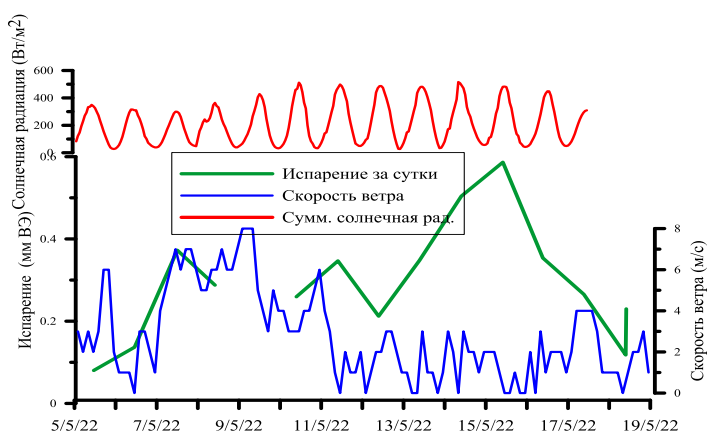


Рисунок 1.3 – Суточное испарение в мм в.э., скорость ветра (м/с) и суммарная солнечная радиация ( $\text{Вт/м}^2$ )

В период проведения летних сезонных полевых работ ТБ установка также непрерывно регистрировала составляющие радиационного баланса в точке установки. Поток приходящей коротковолновой солнечной радиации (КВР) изменялся в пределах  $50\text{-}150 \text{ Вт/м}^2$  по среднесуточным данным. Максимумы приходились на начало сезона – период полярного дня и дни с безоблачным состоянием неба; минимумы соответствовали окончанию сезона наблюдений, когда солнце уже достаточно низко, и дням с пасмурным состоянием неба.

Поток длинноволнового излучения земной поверхности и длинноволновое противоизлучение атмосферы (нисходящая длинноволновая радиация - НДВР) менялись в зависимости от наличия или отсутствия облачного покрова. Минимальные значения НДВР соответствуют максимумам КВР, что соответствует безоблачному состоянию неба, а максимальные значения НДВР соотносятся с минимумами в потоке КВР и соответствуют пасмурному состоянию неба с облачностью более 8 баллов. Большую часть сезона значения длинноволнового баланса – разницы восходящего и нисходящего потока длинноволнового излучения атмосферы и поверхности, близки к нулю, т.е. практически вся излучаемая энергия удерживается облачностью.

Полный радиационный баланс (ПРБ) был положительным практически весь период наблюдений с максимумом в начале сезона и переходом через ноль к отрицательным значениям в конце наблюдений - после 13 сентября. ПРБ менялся практически линейно и локальные максимумы в потоке приходящей коротковолновой радиации компенсировались минимумом в длинноволновом балансе.

Маршрутные съемки альбедо по одним и тем же маршрутам (4 – ледника Западный Грэнфьорд и 6 – ледника Альдегонда) позволили оценить временную изменчивость отражательной способности ледника в период абляции (рис. 1.4), а также осуществить привязку спутникового изображения с целью внесения поправки на реальные условия. Основные расхождения обусловлены затенением ледника южным склоном и существенным занижением значений, что в дальнейшем будет учтено при работе со спутниковыми снимками.

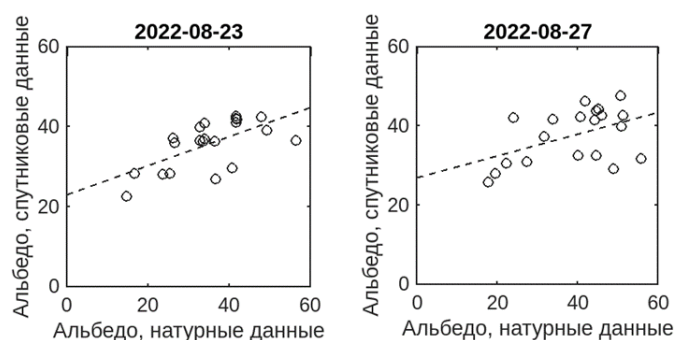


Рисунок 1.4 – Сравнение значений альбедо, полученных по натурным данным маршрутных съемок и рассчитанным по спутниковым изображениям Sentinel-2

Минимальные значения альбедо приходились на первые две недели проведения наблюдений при максимальном таянии поверхности ледника, наибольшей обводнённости и обилии обломочного материала на поверхности ледника. Подстилающая поверхность несколько раз менялась за счёт возникновения и разрушения коры таяния, установления и таяния снежного покрова. Все эти изменения учитывались при планировании дат проведения съёмок.

В 2022 году таяние поверхности ледников было аномальным. Влияние коротковолновой радиации на внутрисезонную изменчивость таяния было заметно ниже, чем в предыдущие годы мониторинга (табл. 1.3), что может быть обусловлено возросшим влиянием турбулентных потоков.

Таблица 1.3. Коэффициенты корреляции между данными гляциологического мониторинга (1), приземной температурой воздуха (2) и приходящим потоком солнечной радиации (3)

№ рейки	1-2	1-3
14	0,76	0,30
15	0,89	0,26

Среднесуточные значения основных метеорологических параметров приведены на рисунке 1.5. По данным установленных на ригелях метеостанций за летний сезон было два температурных максимума – в конце мая-начале июня и середине июля. Показания нижней АМС на несколько градусов выше, чем среднесуточные температуры АМС, установленной на верхнем ригеле, что объясняется её расположением относительно ледника и высотным градиентом температуры, а также рядом микроклиматических особенностей. В суточном ходе суммарной радиации можно выделить три максимума – в конце мая-начале июня, который соответствует одному из температурных максимумов, в конце июня и в завершении первой недели июля.



Рисунок 1.5 – Среднесуточные данные АМС, расположенных на ригелях в верхней (красный) и нижней (синий) части ледника

Повторяемость глубоких циклонов в среднем составила 2 циклона в месяц. Показания, связанные со скоростью ветра, имели «пикообразный» ход. Скорости ветра, регистрируемые верхней АМС, как правило, были ниже по абсолютному значению, а также сопровождалась периодами штилей, в то время, как наблюдения на другой АМС всегда имели ненулевые значения. Порывы ветра более 10 м/с встречались на протяжении летнего сезона 4 раза и связаны с прохождением глубоких циклонов и фронтов (18-19.08 и 11-13.09) или со сменой синоптической ситуации на периферии антициклонов (24-25.08 и 03-04.09). Наиболее надёжная корреляционная зависимость установлена между влажностью воздуха и приходящей солнечной радиацией  $r = -0,5$ . Это объясняется повышением влажности при осадках и, соответственно, увеличением рассеянной солнечной радиации, ведущее к уменьшению значений потока суммарной радиации при уменьшении прямой. Связь

приземной температуры воздуха и потока солнечной радиации ( $r = 0,4$ ) показывает вклад коротковолновой радиации в поверхностное таяние. В свою очередь коэффициент корреляции температуры и влажности воздуха ( $r = 0,3$ ) обуславливает вклад в таяние турбулентных потоков и длинноволнового баланса.

Данные сезонных наблюдений после критического контроля будут загружены на Геопортал АНИИ, а метаданные опубликованы на портале Research in Svalbard (RiS) в соответствии с действующим проектом №1083 «Organization and conducting of microclimatic observation on the glacier of Aldegonda 2015-2021».

Результаты исследований представлены на конференциях:

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В. Вклад турбулентных потоков в таяние поверхности ледников архипелага Шпицберген, расположенных ниже современной снеговой линии. Международная конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата», Москва, ИФА РАН. 22-24 ноября 2022.

Ильющенко И.А., Коржиков А.Я., Иванов Б.В. Формирование экстремальных температур воздуха в районе Шпицбергена в холодный период года. Международная конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата», Москва, ИФА РАН. 22-24 ноября 2022.

Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M., Aaboe S., Gjelten H., Mezghani A., Eastwood S., Førland E., Benestad R., Hanssen-Bauer I., Brækkan R., Sviashchennikov P., Demin V., Revina A., Karandasheva T. Exceptional warming over the Barents area. CRYOSPHERE Conference 2022 (Island, Reykjavík, 21st - 26th August 2022)

Ivanov B., Karandasheva T., Demin V., Revina A., Isaksen K. Natural climatic and hydrological seasons in the West Spitsbergen area according to instrumental observations in the XX - XXI centuries. CRYOSPHERE Conference 2022, №63189 (Island, Reykjavík, 21st - 26th August 2022)

Опубликованы статьи:

Весман А.В., Иванов Б.В. Характерные типы ледовых условий к северу от архипелага Шпицберген // Проблемы Арктики и Антарктики, 2022. Т. 68(2). С. 118-132 DOI: 10.30758/0555-2648-2022-68-2-118-132

Терехов А.В., Прохорова У.В., Демидов В.Э., Борисик А.Л., Веркулич С.Р. Изменения объема и геометрии ледника Восточный Дальфонна (Шпицберген) в 2008–2019 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 71(4). (принято в печать)

Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M., Aaboe S., Gjelten H., Mezghani A., Eastwood S., Førland E., Benestad R., Hanssen-Bauer I., Brækkan R., Sviashchennikov P., Demin V., Revina A., Karandasheva T. Exceptional warming over the Barents area // Nature. Scientific Reports, 2022. 12:9371 DOI: 10.1038/s41598-022-13568-5

Ivanov B. V., Zhuravskiy D.M., Prokhorova U.V., Bezgreshnov A.M., Terekhov A.V., Kurapov M.V., Paramzin A.S., Kashkova V.S. The studies of the Svalbard glacial surfaces albedo by an unmanned aerial vehicle // IOP Conference Series: Earth Environ. Sci., 2022. V1040(1), 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/1040/1/012002

Zotova E., Schmitt A., Ivanov B., Svyaschennikov P. Seasonal and annual variability of Svalbard cloud cover. Russian Arctic. 2022. №3(18). PP. 30-43. DOI: 10.24412/2658-4255-2022-3-30-43

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

Целью работ на Западном Шпицбергене в 2022 г. являлось продолжение начатых в 2017 г. исследований процессов энерго- и массообмена пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью, определяющих сезонное протаивание многолетней мерзлоты.

Наблюдательская часть работ проводилась с помощью градиентного метеорологического комплекса Campbell Scientific (США), размещённого на метеоплощадке РНЦШ на высоте около 100 м над у.м. на побережье залива Грэнфьорд в 3,5 км к югу от п. Баренцбург. В состав оборудования комплекса входят также датчики для термометрических измерений в растительном и снежном покрове, и две термокосы GP5W Shell GeoPrecision (Германия) с 20 датчиками для измерения температуры слоя грунта до глубины 1,1 м.

Задача исследований состояла в оценке влияния метеорологических и ландшафтных факторов на глубину сезонного протаивания почво-грунтов архипелага Шпицберген для их последующего анализа совместно с данными аналогичных измерений на стационарах ААНИИ на арх. Северная Земля и бухте Тикси.

Помимо наблюдений, влияние ландшафтных факторов на протаивание грунта рассчитывалось с помощью варианта известной модели Л.С. Лейбензона (Каркашадзе и Бельченко 1999). Задача теплопроводности формулируется для полубесконечной одномерной области, состоящей из слоёв растительности, талого и мёрзлого грунта, разделённых подвижной границей раздела (фронта протаивания)  $\xi(t)$ . Граничные условия устанавливают равенство температур и тепловых потоков на границе растительного и талого слоёв, а также учитывают теплоту фазового перехода на границе талого и мёрзлого слоёв грунта. Распределение температур задаётся линейным для растительности и талого грунта и гауссовым для мёрзлого, что сводит задачу к единственному дифференциальному уравнению, которое решается численно. Атмосферный форсинг модели задаётся данными измерений температуры воздуха комплексом Campbell Scientific. Теплофизические коэффициенты сред, представляемых мохообразными (бриофитами) и суглинистыми щербнистыми грунтами, рассчитываются по известным полуэмпирическим зависимостям.

Судя по данным наблюдений 4-х последних лет (табл. 1.4), сроки начала и окончания сезонного протаивания и его продолжительность в целом достаточно близки друг к другу. Наиболее тёплым оказался 2022 год, наименее – 2021. Даже такой короткий период наблюдений улавливает тенденцию к росту летних температур, прогнозируемых региональными моделями изменения климата архипелага. Как следствие, индексы протаивания (суммы градусо-дней тепла) оказались для 2022 и 2021 гг. самыми высокими и самыми низкими.

Термодинамическая модель интегрировалась для периода положительных среднесуточных температур воздуха этих же лет. При расчётах варьировалась высота и влажность растительности, а также температура мерзлоты. Расчёты проводились для толщин слоя бриофитов 0, 1, 3 и 5 см и их влажности 1,5 и 3,0 (табл. 1.5).

Как и ожидалось, глубина протаивания определяется преимущественно его индексом. Обращают на себя внимание также её довольно близкие друг к другу значения. Быстрый рост оттаивания грунта в первые 10 суток можно объяснить снижением аккумуляции зимнего холода в грунте за счёт повышения зимних температур воздуха и увеличения глубины снежного покрова на архипелаге (Котляков и др. 2020). Наибольшее влияние на неё оказывает толщина мохового яруса, увеличение которой на 1 см влечёт за собой приращение глубины протаивания в зависимости от влажности на 10-15 см. При этом рост толщины мха задерживает модельные сроки начала протаивания грунта (с ростом от 0 до 5 см около 11

Таблица 1.4. Динамика положительных температур воздуха по данным комплекса Campbell Scientific

Год	Период положительных температур воздуха	Продолжительность, сут.	Индекс протаивания
2019	30.05 – 26.09	120	529
2020	23.05 – 22.09	123	610
2021	16.06 – 07.10	113	454
2022	21.05 – 10.10	143	681

Таблица 1.5. Максимальная глубина протаивания грунта по данным расчётов для различной высоты и влажности бриофитов 1,5 и 3

Высота растительности, м	Год			
	2019	2020	2021	2022
0	1,39	1,52	1,27	1,57
0,01	1,23/1,27	1,36/1,41	1,11/1,15	1,41/1,46
0,03	0,93/1,05	1,06/1,18	0,82/0,93	1,11/1,23
0,05	0,68/0,85	0,80/0,98	0,57/0,73	0,85/1,03

сут.), хотя в реальности его слой в достаточной степени разрежен, а его общее проективное покрытие не превышает 50% (Сосновский и Осокин 2018). В настоящее время деградации мерзлоты на Шпицбергене препятствует распространение мохового покрова, который служит важным фактором сохранения многолетней мерзлоты при современном климате, а его отсутствие в ландшафтах является индикатором мёрзлой толщи под подстилающей поверхностью (Сосновский и Осокин 2018, Котляков и др. 2020).

Аналогичный эффект оказывает увеличение влажности мха и повышение температуры мерзлоты. Глубины протаивания указывают на прямую и достаточно существенную зависимость от влажности бриофитов, связанную с повышением их теплопроводности при увеличении влагосодержания. Для принятых параметризациях теплоизолирующих свойств растительности основные изменения толщины сезонно-талого слоя соответствуют изменениям влажности от 0 до 3, после чего её увеличение практически прекращается. Влияние температуры толщи мерзлоты несколько меньше, однако её росту на 1°C соответствует рост протаивания примерно на 4,5 см.

С учётом сложности подстилающей поверхности и отсутствия достоверных данных о теплообменных свойствах грунтов и растительности результаты расчётов можно признать вполне удовлетворительными. Полученные оценки влияния основных ландшафтных факторов на динамику толщины сезонно-талого слоя, соответствуют как имеющимся оценкам наблюдений и моделирования их многолетней изменчивости, так и интуитивным представлениям о процессе (Котляков и др. 2020). Результаты этих исследований используются при выполнении плановой темы Лаборатория экспериментальной Арктики 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»), а также ряда проектов, выполняемых в лаборатории и представляются в научной периодике и на конференциях гидрометеорологического и геокриологического профиля.

В 2022 г. подготовлена и находится на рецензировании 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. Лед и снег озера Стемме (о. Западный Шпицберген) зимой 2019-2020 гг.

Литература:

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

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

Каркашадзе Г.Г., Бельченко Е.Л. Определение глубины сезонного промерзания грунтов при наличии многослойного утепления на поверхности. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).1999. №1. С. 24-26.

Котляков В.М., Осокин Н.И., Сосновский А.В. Динамика сезонно-талого слоя на Шпицбергене и Антарктическом полуострове в XXI в. по результатам моделирования. // Лед и снег. 2020. 60 (2): 201–212. DOI: 10.31857/S2076673420020034.

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

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние мохового и снежного покровов на устойчивость многолетней мерзлоты на Западном Шпицбергене при климатических изменениях // Вестник Кольского научного центра. 2018. № 3 (10). С. 179–185. DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.179-185.

Мероприятие 1 выполнено полностью.



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

Гидрологические исследования водных объектов о-ва Западный Шпицберген продолжили экспедиционные наблюдения ААНИИ, начатые в 2001 году. Полевые экспедиционные работы выполнялись группой в составе Ромашовой К.В., Василевича И.И., Масловского А.С., Секисова Н.Л. с 17.04.2022 по 26.09.2022. Химический анализ образцов выполнялся сотрудником химико-аналитической лаборатории РАЭ-III Корниловой Р.В.

Основные районы работ – это бассейны рек Грен, Гренфьорд, Бретьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс и Васстак, а также исследования проводились на ледниках Восточный и Западный Гренфьорд, Альдегонда и озерах Конгресс, Стемме, Бретьерна (рис. 2.1А). В весенний период снегомерные наблюдения дополнительно проводились на восточной части архипелага – бассейне реки Агард (рис. 2.1Б).

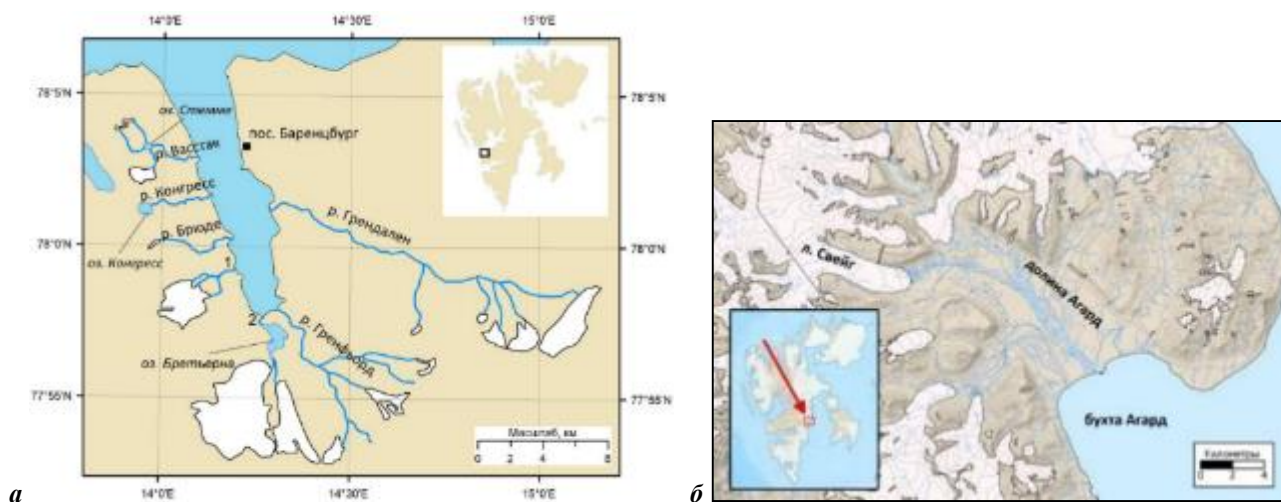


Рисунок 2.1 – Объекты исследований в 2022 г. А: Водосбор залива Гренфьорд 1 – р. Альдегонда, 2 – р. Бретьерна. Б: восточный берег острова Западный Шпицберген

Исследования осуществлялись в три этапа:

– На весеннем этапе основными целями гидрологических работ являлись получение новых данных о распределении снеготаяния на водосборах исследуемых рек и химическом составе снега в рамках изучения изменений гидрометеорологического режима и состояния природной среды архипелага Шпицберген, исследования характера структуры и текстуры залегания снежно-ледяного покрова на водосборах.

– На переходном этапе (весенне-летнем) проводились наблюдения за интенсивностью снеготаяния, испарением с поверхности снега, мониторинг состояния пресноводных объектов в период схода основной массы снеготаяний, а также подготовка оборудования к летнему этапу.

– Целью летнего этапа гидрологических экспедиционных исследований являлся комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, проведение специализированных лимнологических наблюдений, включая наблюдения гидрохимических характеристик и элементов водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген.

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

Выполнение снегомерных работ и гидролого-гидрохимических наблюдений на озерах о. Западный Шпицберген и обработка полевых материалов производилась в соответствии с общепринятыми методиками (Руководство 1958, Кузьмин 1963, Наставления 1985, Пикор-Лед 2018). Однако 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 сокращения состава



гидрологической группы вследствие логистических ограничений. 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). Контактные измерения высоты снежного покрова дублировались при помощи георадара «Пикор-Лед» в режиме непрерывной записи профиля в движении со снегохода с записью GPS координат, маршрут профиля измерения прибором совпадал со снегомерным профилем каждого отдельного исследуемого объекта.

По итогам весенних гидрологических работ рассчитан запас воды в снежном покрове на водосборах рек залива Гренфьорд, который напрямую зависит от количества осадков и оттепелей в зимний период. По данным метеостанции «Баренцбург» сумма осадков за зимний период была ниже средней за последние 20 лет на 96 мм. В среднем влагозапас в снежном покрове исследуемых объектов оказался ниже среднемноголетнего на 56 мм, а средняя высота снежного меньше на 9 см (табл. 2.1).

Параллельно стандартным методикам выполнения снегомерной съемки произведены методические работы для определения репрезентативности выбранных снегомерных маршрутов и рекогносцировочные работы, целью которых было изучение эффективной возможности более обширного покрытия исследуемых водосборов точками измерения высоты и плотности снежного покрова. Данные показали, что маршруты снегомерных съемок репрезентативны. Результаты рекогносцировочных исследований содержат описания и рекомендации по расширению покрываемых снегомерными съемками районов водосборов, которые будут учтены в последующих полевых исследованиях.

Контактные (стандартные) измерения высоты снежного покрова дублировалась при помощи георадара «Пикор-Лед», позволяющего получать меньшими усилиями больший объем данных о высоте и стратификации снежного покрова на водосборах рек. Георадарный способ измерений дает большую изменчивость высоты снежного покрова по водосборам в сравнении со стандартной методикой. Наибольшую изменчивость снежный покров имел на водосборах рек Васстак ( $C_v=0,79$ ) и Гренфьорд ( $C_v=0,66$ ). Ледники имели низкую изменчивость снежного покрова, что также показали результаты измерений обоими способами. Работы по внедрению георадиолокационной методики в снегомерные работы планируется продолжить.

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.

С целью изучения особенностей снегонакопления восточной части архипелага Шпицберген впервые была проведена снегомерная съемка долины Агард, которая показала, что снежный покров исследованного водосбора формируется преимущественно под влиянием сильных ветров. Это выражается в его повышенной плотности и твердости в сравнении со снежным покровом западной части архипелага. Влагозапас долины эквивалентен влагозапасу долин крупных долинных рек бассейна залива Гренфьорд.

В 2022 году продолжены экспериментальные наблюдения за испарением с поверхности снежного покрова и процессами снеготаяния. Испарение с поверхности

Таблица 2.1. Результаты снегомерной съемки в долинах рек и на ледниках включая морену в 2022 г.

Объект	Высота снега, см			Средняя плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Запас воды в снеге, мм в.э.
	мин	макс	ср		
р. Грэн	6	162	44	0,27	384
р. Грэнфьорд	13	185	76	0,29	279
л. В. Грэнфьорд	50	189	115	0,37	419
л. З. Грэнфьорд	70	209	133	0,36	473
л. Альдегонда	41	233	141	0,36	506
морена л. Альдегонда	18	200	86	0,27	232
р. Брюде	12	116	67	0,31	207
р. Конгресс	17	177	72	0,31	220
р. Васстак	7	216	78	0,34	265
р. Агард	8	426	74	0,36	282

снежного покрова составило в среднем 0,56 мм/сут. Снеготаяние рассчитано посредством прямого измерения и расчета. По результатам экспериментальных измерений дополнены методические указания при выполнении наблюдений за интенсивностью снеготаяния.

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

Во время выполнения летнего этапа гидрологических работ наблюдения за речным стоком осуществлялись с момента вскрытия рек и завершились с окончанием сезона навигации. Проведение исследований и обработка полученных полевых материалов соответствовали Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам (1972). 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 выполнена нивелировка сезонных уровнемерных свай с привязкой к высотной системе ГТ «Арктикуголь». Измерения расходов воды и взвешенных наносов рек Грэн, Грэнфьорд, Бретъерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс и Васстак производились вблизи намеченных в предыдущие годы гидрометрических створов. Применялся сокращенный способ измерения расходов воды методом скорость–площадь. В таблице 2.2 представлены максимальные и минимальные измеренные расходы воды в 2022 году.

Таблица 2.2. Максимальные и минимальные измеренные расходы воды рек залива Грэнфьорд в 2022 г.

Дата измерения	рН	УЭП, $\mu\text{S/cm}$	Расход воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	Площадь водн. сечения ( $\text{м}^2$ )	Скорость течения ( $\text{м}/\text{с}$ )		Шир. реки (м)	Глубина (м)		Мутность, $\text{г}/\text{м}^3$	Расход взвеш. в-в., $\text{кг}/\text{с}$
					Ср	Макс		Ср	Макс		
<b>Грэн</b>											
30.08	7,88	738,0	1,19	4,0	0,298	0,665	49,9	0,08	0,24	7,06	0,008
31.05	7,6	133,7	28,58	30,9	0,925	1,200	100,6	0,31	0,52	2462	70,4
<b>Грэнфьорд</b>											
31.08	7,52	633,0	0,88	2,0	0,440	0,569	21	0,10	0,22	2,86	0,00
26.09	7,35	602,0	5,71	7,24	0,789	1,352	23,85	0,30	0,45	541	3,09
<b>Бретъерна</b>											
15.09	7,34	134,7	1,94	3,66	0,530	0,765	27	0,14	0,25	3,04	0,006
14.07	8,37	123,2	14,9	13,0	1,146	1,452	28,9	0,45	0,77	16,9	0,252
<b>Альдегонда</b>											
15.09	7,35	472,0	0,3	0,81	0,370	0,647	5,5	0,15	0,26	1,78	0,001
14.07	8,65	94,0	4,61	3,26	1,414	2	7,4	0,44	0,76	1225	5,650
<b>Брюде</b>											
15.09	7,75	254,0	0,32	0,81	0,395	0,538	6	0,14	0,2	6,36	0,002
01.06	7,16	91,6	2,44	1,81	1,35	2,481	12,15	0,15	0,28	24,7	0,060
<b>Конгресс</b>											
22.07	7,9	1037	0,63	1,04	0,606	0,813	9,5	0,11	0,2	1,57	0,001
01.06	7,19	340,0	3,00	2,07	1,45	2,145	7,9	0,26	0,67	274	0,823
<b>Васстак</b>											
15.09	7,77	458,0	0,24	0,65	0,369	0,619	5,1	0,13	0,22	0,65	0,000
01.06	7,27	108,5	2,89	3,36	0,863	1,131	10,4	0,32	0,44	77,2	0,223

Сроки вскрытия рек в 2022 году близки к норме последних 5-10 лет. Спад волны половодья регистрировался 13.06. В середине августа 2022 г. наблюдался дождевой паводок, спровоцировавший увеличение среднесуточного стока рек в среднем в 3 раза. Осенние обильные осадки вследствие заморозков (15-20.09) задерживались на водосборах рек в виде снега, который полностью сошел во время последующего потепления (21-26.09). Водность рек в целом сопоставима с 2021 г. Замерзание до конца экспедиционных работ зарегистрировано не было, из-за чего вычисленные объемы стока могут иметь значительную погрешность.



Рисунок 2.2 – Средний гидрограф стока рек залива Грэнфьорд в 2022 г.

По результатам химического анализа проб речных вод реки Грэн, Грэнфьорд, Бретьерна, Альдегонда и Конгресс относятся к классу сульфатных вод, группа кальция второго типа. Реки Брюде и Васстак относятся к классу гидрокарбонатных вод, группы кальция второго типа.

Углубленное изучение дренажной системы ледника Альдегонда и исследование источников питания одноименной реки не дало достоверных количественных оценок по причине потери уровнемера в одном из притоков после прохождения паводка. Суммарно за 51 сутки наблюдений через два дополнительных створа измерений прошло 7,74 млн. м<sup>3</sup> пресного стока или около 75% от стока основного створа измерений – 10,2 млн м<sup>3</sup>. Таким образом происходит существенная недооценка стока реки при проведении измерений только в основном створе.

Зондирования и отбор образцов в озерах, выполненные дважды в течение полевого сезона, показали, что минерализация исследуемых озер стабильно уменьшается в летний период по причине распреснения вод талым снегом. 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.

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

Чернов Р.А., Ромашова К.В. Современное состояние приледниковых озер архипелага Шпицберген // Криосфера Земли. 2022. Т. 26. №1. С.36-45. DOI: 10.15372/KZ20220104

Ромашова К.В., Чернов Р.А. О формировании новых приледниковых озёр в бассейне залива Грэнфьорд (Шпицберген) в 1938–2010 гг. // Лёд и Снег, 2022. 62(2), с. 193-202. DOI: 10.31857/S2076673422020125

Vasilevich I. Ground Penetrating Radar validation of seasonal snow depth on Grønfjorden glaciers and river valleys, Svalbard. Svalbard Science Conference 2021. 2-3 November 2021, Oslo.

Vasilevich I., Shtannikov A. Evaporation from the snow cover surface in Svalbard. 51st International Arctic Workshop 2022, Longyearbyen.

Ромашова К.В., Чернов Р.А. Крупнейшие приледниковые озера архипелага Шпицберген по состоянию на 2008-2019 гг. XI Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование (MARESEDU-2022)». Москва, 24-28 октября 2022 г.

Литература:

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

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

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

Многофункциональный контрольно-измерительный прибор Пикор-Лед: Руководство по эксплуатации. URL: <http://uwbs.ru/texpodderzhka/> (дата обращения 08.01.2018).

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.: Гидрометеиздат, 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-ва 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. В 2022 г. работы выполнялись по трём направлениям:

- Термохалинное профилирование заливов Грэнфьорд и Исфьорд в весенний (май) и летний (сентябрь) периоды.
- Поднятие притопленных буйковых станций в заливе Исфьорд.
- Контроль функционирования и верификация данных автономного уровнемерного регистрирующего комплекса.

Полевые работы выполняли в.н.с. зав. отделом океанологии К.В. Фильчук, м.н.с. отдела океанологии Рыжов И.В. (профилирование, подъем буйковых станций) и м.н.с. Алексеева Н.К. (отбор образцов и химический анализ) 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 и Исфьорд*

Регистрация термохалинных характеристик на вертикальных профилях выполнялась на акватории заливов Грэнфьорд, Исфьорд и Биллефьорд в пунктах океанографического полигона РАЭ-Ш (рис. 3.1). Осенью 2020 г. разметка океанографического полигона РАЭ-Ш была дополнена станциями продольного



Рисунок 3.1 – Положение океанографических станций в заливах Исфьорд, Биллефьорд и Грэнфьорд в 2022 г. Зеленым цветом отмечены точки постановки притопленных буйковых станций

разреза в южной части Исфьорда, в весенней и

осенней экспедициях 2021 и 2022 г. было выполнено STD-профилирование на станциях этого разреза, что позволяет продолжить ряды наблюдений, в течение ряда лет выполнявшихся специалистами Норвежского полярного института (NPI), которые были использованы в том числе специалистами ААНИИ в ходе аналитической обработки результатов мониторинга и при подготовке публикаций.

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; трансформированная атлантическая водная масса (ТАВ), образующаяся в результате смешения атлантических и арктических вод; поверхностная водная масса, образующаяся поздней весной и летом под влиянием увеличения объёма материкового стока, таяния морского льда и радиационного прогрева; 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 апреле 2022 г. в районе исследований были зарегистрированы четыре водные массы: АВ, ТАВ, ЛВ и ЗВ. В западной части разреза вдоль оси Исфьорда наблюдалась фронтальная зона, сформированная водами атланти-ческого происхождения, посту-пающими сюда с шельфа архипелага Шпицберген и собственными водами фьорда, сформированными в результате процессов осенне-зимней конвекции и ледообразования (ЗВ с температурой ниже  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и солёностью более  $34,3\text{‰}$ ). При этом вертикальное распределение термо-халинных характеристик здесь было квазиоднородным по вертикали.

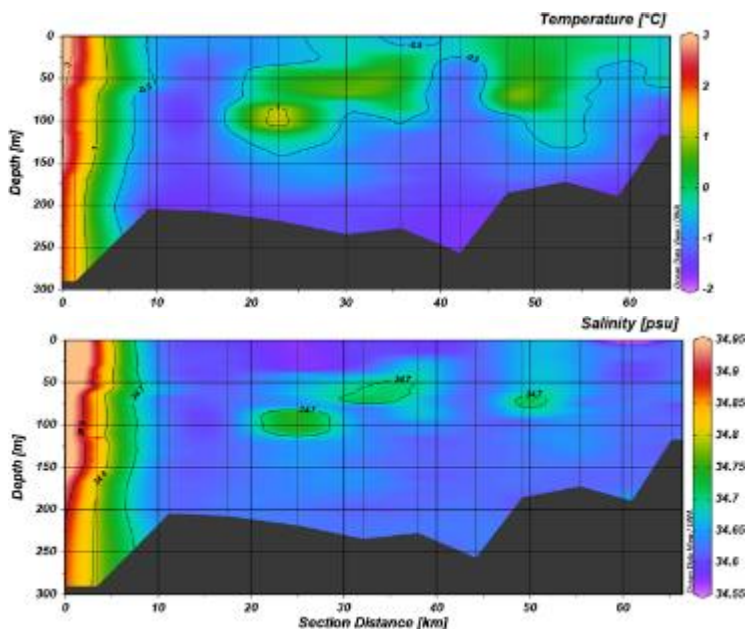


Рисунок 3.2 – Распределение термохалинных характеристики на продольном разрезе, выполненном весной 2022 г. в Исфьорде

В центральном и восточном районах акватории Исфьорда от поверхности до глубин 100-140 м наблюдались ЛВ, под которыми до дна залегала зимняя водная масса. Также в центральной части разреза вдоль южного берега Исфьорда на нескольких станциях на глубинах 50-120 м были обнаружены линзы ТАВ с температурой выше  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На большинстве станций температура поверхностного слоя была отрицательной, значения солёности изменялись в небольшом диапазоне от  $34,55$  до  $34,7\text{‰}$ .

Распределение водных масс в Исфьорде осенью 2022 г. было схоже с результатами съёмок осенью 2020 и 2021 гг.: в Исфьорде были зарегистрированы четыре водные массы: ПВ, ПрВ, ТАВ и АВ. При этом АВ наблюдались только на станциях расположенных недалеко от горла фьорда, вглубь фьорда они не проникали. Максимальные значения температуры в слое АВ не превышали  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что на  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже по сравнению с 2020 и 2021 гг. Максимальные значения температуры в поверхностном слое достигали  $6-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что на  $1-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше относительно предыдущих двух лет (рис. 3.3).



В Гренфьорде осенью 2022 г. наблюдались четыре водные массы: ПВ, ПрВ, ТАВ, АВ, что не совсем типично для последних лет. В последний раз наличие вод атлантического происхождения наблюдалось в Гренфьорде в сентябре 2018 г. Осенью 2022 г. АВ были зарегистрированы в горле фьорда на глубинах более 150 м. Максимальные значения температуры в слое АВ не превышали 4°C. ТАВ наблюдались на разрезе вдоль оси фьорда на глубинах более 100 м. Во внутренней части фьорда они зафиксированы не были. Как и в Исфьорде, максимальные значения температуры поверхностного слоя достигали 6-6,2°C, что что на 1-2°C выше относительного предыдущих двух лет (рис. 3.4).

В целях оценки гидрохимических характеристик, углеродного цикла и продуктивности морских вод в ходе осеннего профилирования водной толщи залива Исфьорд на центральном трансекте и Гренфьорд на трансектах вдоль залива и поперек на входе в залив на двух горизонтах (поверхность и 50 м) отобраны пробы морской воды для последующего химического анализа. Образцы на содержание биогенных элементов и щелочность анализировались незамедлительно в химико-аналитической лаборатории Баренцбурга, образцы для анализа растворенного углерода были законсервированы и проанализированы в октябре 2022 г. сотрудниками лаборатории.

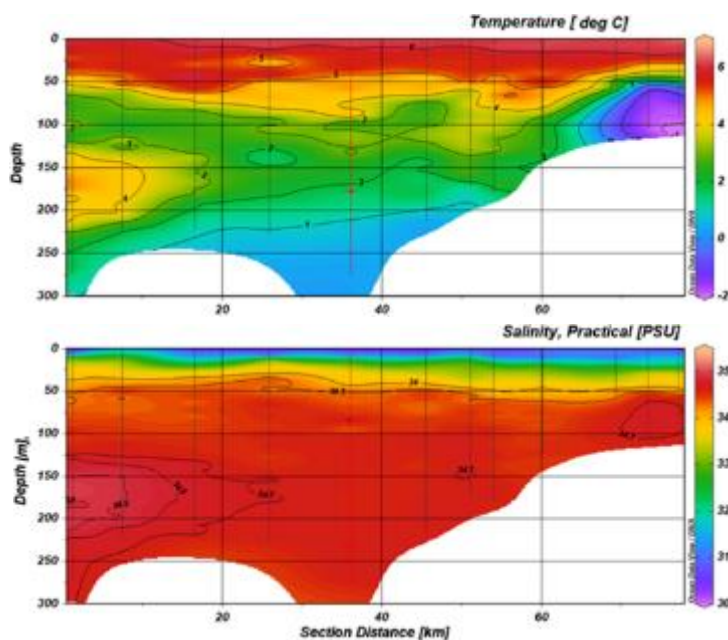


Рисунок 3.3 – Распределение термохалинных характеристики на продольном разрезе, выполненном осенью 2022 г. в Исфьорде

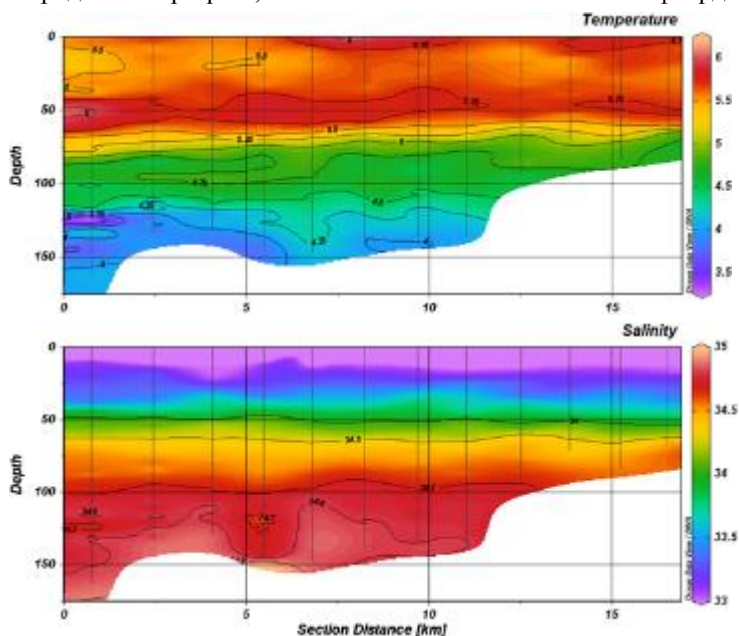


Рисунок 3.4 – Распределение термохалинных характеристики на продольном разрезе, выполненном осенью 2022 г. в Гренфьорде

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

Оценка параметров карбонатной системы проводилась на основе аналитических исследований, проведенных в лаборатории и расчете параметров карбонатной системы в программе CO2calc v.3.0.1. В поверхностных образцах воды, отобранных в Исфьорде и Гренфьорде проводились измерения общей щелочности (потенциометрическое титрование); рН (рН-метрия), содержания силикатов, фосфатов и нитритов (спектрометрический анализ); растворенного органического углерода (метод каталитического сжигания); хлорофилла *a* и других пигментов (спектрофотометрия). Концентрации компонентов карбонатной системы (равновесное парциальное давление углекислого газа  $p\text{CO}_2$ , гидрокарбонатный ион  $\text{HCO}_3^-$ ,

растворенный диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , карбонатный ион  $\text{CO}_3^{2-}$ ), а также степень насыщенности воды арагонитом  $\Omega_{\text{Ar}}$  и кальцитом  $\Omega_{\text{Ca}}$  были рассчитаны в программе CO2calc v.3.0.1 (Robbins et al. 2010). Расчеты потоков углекислого газа в системе океан – атмосфера производились с использованием кубической параметризации Ваннинкова (Wanninkhof 2014), для расчетов использовались парциальное давление углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) в поверхностном слое (до 2 метров) и скорость ветра и парциального давления  $\text{CO}_2$  в атмосфере полученные по данным метеостанции Campbell Scientific (мерзлотный полигон) и газоанализатора Environnement SA (станция «Поселок») соответственно.

Поверхностное распределение общей щелочности в исследуемых заливах находится в пределах 1436-2099 мкмоль/дм<sup>3</sup> (рис. 3.5а) и заметно отличается своим диапазоном от открытых океанов и морей, где концентрации составляют 2000-2500 мкмоль/дм<sup>3</sup>, что 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, значения рН находятся в диапазоне 7,7 – 8,12. Парциальное давление углекислого газа в воде варьировалось от 219 до 693 млн<sup>-1</sup>.

Распределение величин параметров карбонатной системы характеризуется не значительными изменениями (рис. 3.5б,г). В заливе Грэнфьорд продукты диссоциации угольной кислоты в виде гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ) и карбонатов  $\text{CO}_3^{2-}$  в среднем составляют 1667 мкмоль/дм<sup>3</sup> ( $\text{HCO}_3^-$ ) и 83,5 мкмоль/дм<sup>3</sup> ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). В заливе Исфьорд средние значения составляют 1472 мкмоль/дм<sup>3</sup> ( $\text{HCO}_3^-$ ) и 68 мкмоль/дм<sup>3</sup> ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Рассчитанные концентрации растворенного  $\text{CO}_2$  изменяются от 11,5 мкмоль/дм<sup>3</sup> до 36 мкмоль/дм<sup>3</sup>.

Поверхностный слой морской воды достаточно насыщен арагонитом ( $\Omega_{\text{Ar}} > 1$ ) от 1,04 в Исфьорде до 1,27 в Грэнфьорде (рис. 3.6а), такая среда способствует образованию карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), раковин и скелетов. Расчет потока  $\text{CO}_2$ flux на границе раздела вода – атмосфера показал распределение отрицательных значений в заливах Исфьорд (-0,4) и Грэнфьорд (-2,9). Данные величины характеризуют процесс инвазии  $\text{CO}_2$  в морскую толщу (рис. 3.6б).

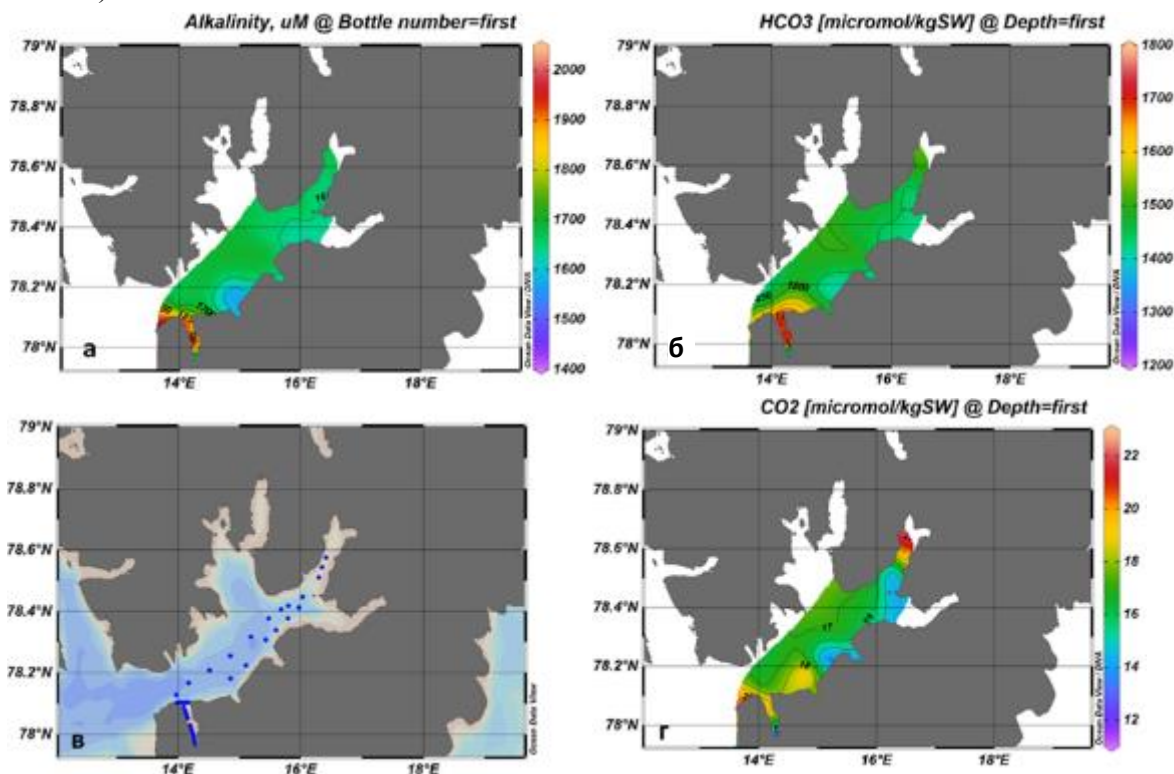


Рисунок 3.5 – Поверхностное распределение общей щелочности (а), гидрокарбонатов  $\text{HCO}_3^-$  (б), диоксида углерода  $\text{CO}_2$  (г), схема океанографических станций (в) в заливах Исфьорд и Грэнфьорд

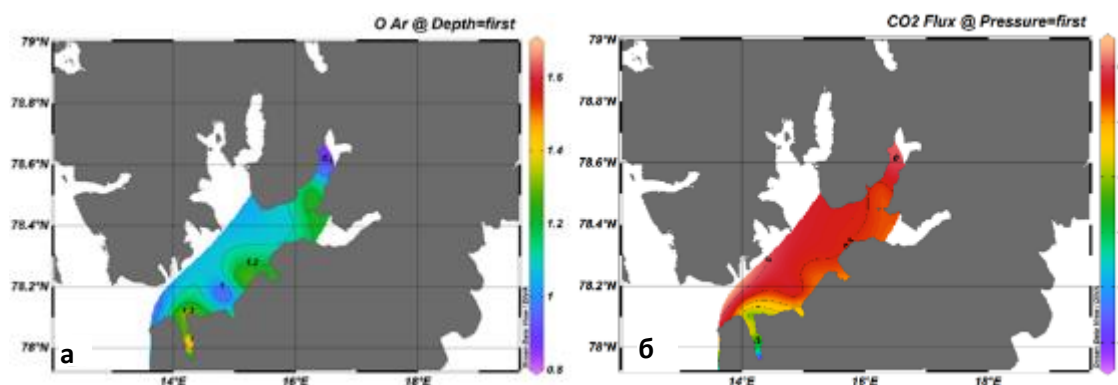


Рисунок 3.6 – Распределение степени насыщения арагонитом,  $\Omega_{Ar}$  или ( $\Omega_{Ar}$ ) (а) и потока  $CO_{2flux}$  на границе вода-атмосфера (б) в залива Гренфьорд и Исфьорд

Морские воды архипелага характеризуются достаточно равномерным распределением параметров карбонатной системы в поверхностном слое. Залив Грэнфьорд несколько отличается от залива Исфьорд тем, что он в большей степени находится под влиянием речного и ледникового стока, что можно видеть по распределению концентраций общей щелочности и гидрокарбонатов. Поверхностные воды архипелага отмечаются достаточным насыщением арагонитом ( $\Omega_{Ar}$ ), данный показатель является важным для оценки морской экосистемы в условиях асидификации, так как арагонит выступает в роли строительного материала для большого числа морских организмов: кораллов, моллюсков, фораминифер. В исследуемых заливах зарегистрирована инвазия атмосферного углекислого газа в поверхностные воды.

Поскольку в 2022 году такого типа оценки проводились впервые для заливов Исфьорд и Гренфьорд по полученным данным можно составить лишь общее представление о карбонатной системе заливов. В связи с ограниченными техническими возможностями исследования были проведены только в поверхностном слое и информативны только в отношении процессов потока углекислого газа на границе вода-атмосфера. Не менее важен и тот факт, что экспедиционные исследования проводились осенью, когда активность фитопланктона и продукция вещества заметно ниже. Однако несмотря на это полученные данные вместе с данными о распределении биогенных компонентов, хлорофилла и различных форм углерода будут полезны для оценки сезонной динамики в будущем.

#### *Подъем притопленных буйковых станций в заливе Исфьорд*

Для более точного описания условий возникновения, развития и затухания процесса заполнения фьордов АВ в октябре 2021 г. были установлены притопленные автономные буйковые станции (ПАБС), несущие регистраторы температуры, давления, электропроводности и профилографы течений, в двух репрезентативных точках Исфьорда, что дало возможность зафиксировать начало процесса поступления АВ во фьорд.

В сентябре 2022 г. одна из станций была поднята, вторая была частично потеряна по неизвестным причинам (оторван буй, приборы станции лежат на дне). Данные одной станции и одного прибора второй станции считаны и будут обрабатываться.

#### *Сравнительные испытания автоматизированных средств измерений (совместно с Мурманским УГМС)*

В целях отработки методик выбора, установки и эксплуатации автоматизированных средств измерений совместно с ФГБУ «Мурманское УГМС» поддерживалось функционирование испытательного полигона на базе морского поста Гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

В ходе выполнения запланированных экспедиционных работ был проведен контроль функционирования и верификация данных автономного регистратора гидростатического давления и температуры Solinst 3001 LT Levelogger Edge M10/F30, установленного в 2019 г.



на уровне поста ГМО «Баренцбург» в колодце мареографа и передающего данные гидростатического давления и температуры в онлайн режиме. (рис. 3.7)

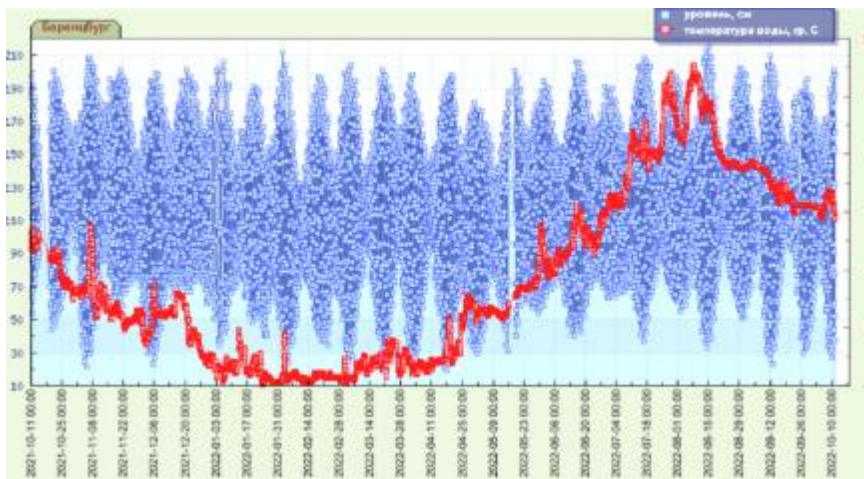


Рисунок 3.7 – Ряд значений гидростатического давления, зарегистрированный прибором НОВО® U20 Water Level Logger в период с октября 2021 г. по октябрь 2022 г.

Регистрируемые автономным уровнемерным комплексом Solinst данные передаются в режиме реального времени с использованием специально разработанного программного обеспечения, реализующего функции автоматического опроса датчиков, трансляции по спутниковому каналу связи и ассимиляции информации об уровне моря в пункте установки комплекса. В отчётный период данные в целом стабильно передавались в ААНИИ посредством блока связи автономного комплекса по спутниковому каналу, за исключением периодов перебоев в энергообеспечении уровнемерного поста.

Данные, полученные уровнемером Solinst (2019-2022), регистратором НОВО® U20 Water Level Logger (2021) и мареографа СУМ, а также атмосферного давления с АМК ГМО «Баренцбург», необходимых для введения барокомпенсации, обрабатываются для сравнительного анализа.

По теме исследований опубликован статья:

Morozov E., Marchenko, A., Filchuk, K. Freezing of tidal current under ice in shallow channel. Russian Journal of Earth Sciences, 2022. 22(2), ES2003. DOI: 10.2205/2022ES000793

Литература:

Robbins LL, Hansen ME, Kleypas JA, Meylan SC (2010) CO2calc—a user-friendly seawater carbon calculator for Windows, Mac OS X and iOS (iPhone). US Geological Survey Open-File Report 2010–1280.

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 2022 г. сотрудниками ФГБУ «АНИИ» 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,
- определении мощности, термического состояния и изучении подлёдного ложа ледников Хоэльбрин, Хорбибрин, Свейгбрин, Восточный Гренфьорд, Фричьоф и Пасфель (рис. 4.1).

Исследования выполнялись в ходе весеннего этапа в апреле-мае (Борисик А.Л., Лаврентьев И.И., Бакланов А.В.) и летне-осеннего этапа (Демидов В.Э., Прохорова У.В.) экспедиционных работ.



Рисунок 4.1 – Гляциологические наблюдения в 2022 г.: прямоугольники – мониторинг абляции на л. Западный Гренфьорд и Альдегонда, круги – георадиолокационных исследования вблизи п. Баренцбург (1), Пирамида (2), в долине Агард (3)

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

Измерения поверхностной абляции на леднике Альдегонда осуществлялись по сети равномерных рек, установленных в сентябре 2021 г., в ходе 8 маршрутов на ледник с 02 августа по 15 сентября 2022 г. В каждом маршруте измерялась величина абляции и при необходимости перебуривались рейки.

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. Высоты рек были пересчитаны исходя из данных GNSS топосъемки 2018 г. На основании данных по усредненной абляции в пределах разновысотных уровней была составлен расчет объемов поверхностной абляции (табл. 4.1).

Итоговый общий объем абляции на леднике Альдегонда в период с сентября 2021 года по сентябрь 2022 года составил 12,55 млн кубометров в. э. Это значительно больше, чем за аналогичный период прошлого года, когда суммарная абляция достигала величины в 7,98 млн кубометров в.э. При этом 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 также осуществлялись по сети равномерных рек, установленных в сентябре 2021 года. За сезон наблюдений было выполнено 4 маршрута на ледник, начиная с 04 августа и заканчивая 13 сентября 2022 г. Всего измерения абляции велись по 6 рейкам.

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
100-200	2292	0,591	3282	1,94
200-250	3059	1,104	2561	2,83
250-300	2287	1,994	2225	4,44
300-350	2044	0,909	1994	1,81
350-400	1797	0,574	1797	1,03
400-450	1769	0,298	1700	0,51
>450	1632	0,109	0	0,00
Сумма		5,579		12,55

Расчет общего объема абляции проводился аналогично расчету объема абляции для ледника Альдегонда и показал потерю льда с поверхности на пяти высотных уровнях (табл. 4.2).

Суммарная абляция с сентября 2021 по сентябрь 2022 года составила 37,06 млн. кубометров в.э., что почти в два раза больше, чем за аналогичный период прошлого года, когда объем абляции составил 14,46 млн кубометров в.э.

Для оценки метеорологических условий, определяющих интенсивность поверхностной абляции, были использованы данные двух метеостанций НОВО U30, расположенных на морене в нижней части ледника Альдегонда на высоте 183 м н.у.м. и на морене в верхней части ледника на высоте 345 м н.у.м. весной-летом 2022 г. (рис. 4.2).

Летнее повышение температуры и увеличение потока солнечной радиации в 2022 году началось раньше обычного (с последних чисел мая). Это привело к раннему освобождению ледников от снега и увеличению длительности периода абляции. Основные объемы таяния пришлось на ненаблюдаемый период до начала августа. В итоге суммарно за летний сезон 2022 г. таяние оказалось сравнимо по объему с рекордным 2020 г. (рис. 4.2).

#### *Гляциологические исследования ледников с применением георадиолокации*

Комплексное изучение состояния и динамики оледенения, морфометрических и термических характеристик ледников посредством георадиолокации продолжилось совместно с ИГ РАН. Основные задачи исследований с апреля-мая 2022 г. (в условиях отрицательных температур воздуха и устойчивого снежного покрова) включали:

- определение мощности, термического состояния и изучение подледного ложа ледников в районе п. Пирамида (ледники Хоэльбрин, Хербибрин);
- определение мощности, термического состояния и изучение подледного ложа ледников в районе долины Агардален (ледник Свейгбрин);
- определение скоростей распространения электромагнитной волны в ледниках с различными гидротермическими характеристиками (ледники Восточный Грэнфьорд, Фритьоф, Пасфель) (рис. 4.1).

При проведении полевых измерений использовался имеющийся комплект георадиолокационной аппаратуры включающий георадар Pulse Ekkо Pro с антеннами 50, 200 и 500 МГц. Дополнительно был использован радиолокатор VІRL-7 с антенной 20 МГц. Для привязки получаемых данных использовался комплект геодезической аппаратуры (ГНСС система) Sokkia GRX2 с внешним модемом SATELLINE-EasyPro.

Для увеличения репрезентативности получаемой информации об изменениях структуры ледников, а также с целью расширения географии исследований были проведены радиолокационные измерения на ледниках Хоэльбрин и Хербибрин, имеющих общий язык и стекающих в долину Хербидален выходящей к бухте Петунья. За три дня работ было выполнено зондирование ледников по густой сети профилей общей протяженностью 62,6 км, покрывающих всю доступную площадь ледников. По данным предварительной обработки полученных данных, максимальная измеренная толщина льда здесь достигает 150-160 м и ледники имеют частично политермическое строение (рис. 4.3). Дальнейшая обработка

Таблица 4.2. Расчётные объёмы поверхностной абляции л. Западный Грэнфьорд

Высота, м	Средняя абляция, мм в.э.	Площадь, км <sup>2</sup> GNSS	Объем абляции W
0-100	3738	0,89	3,31
100-200	3069	1,95	6,00
200-300	2588	4,14	10,71
300-400	1841	5,24	9,65
>400	1759	4,20	7,39
сумма		16,42	37,06

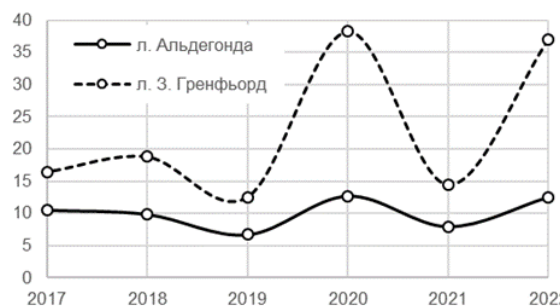


Рисунок 4.2 – Суммарная абляция за период с сентября по сентябрь последующего года, 10<sup>6</sup> м<sup>3</sup> в.э



данных и сопоставление с ранее проведенными исследованиями, позволит проследить динамику изменений ледников на Земле Диксона и сравнить с изменениями ледников происходящими на Земле Норденшельда.



Рисунок 4.3 – Георадиолокационный разрез по профилю LINE 18 вдоль центральной части л. Хоэльбрин с выделенной областью распространения тёплого льда (красная линия)

На леднике Свейгбрин измерения выполнялись георадаром VIRT-7 с антенной 20 МГц, по профилям, повторяющим измерения, выполненные сотрудниками ИГ РАН в 2014 году. По результатам выполненной обработки георадиолокационных данных отмечено его политермическое строение и построена карта толщины льда. Дополнительно выполнено сопоставление двух разновременных съёмок ледника, показавшее значительное (более чем на 25 м) уменьшение его толщины в центральной, наиболее глубокой части ледника, произошедшее за последние восемь лет (рис. 4.4).

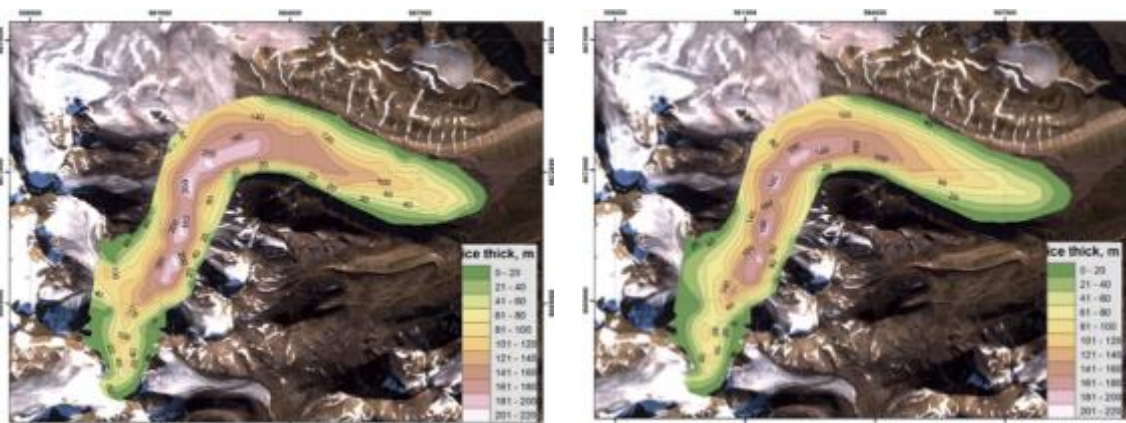


Рисунок 4.4 – Сопоставление толщин ледника Свейгбрин, полученных по результатам георадиолокационных исследований в 2014 (сверху, ИГ РАН) и 2022 годов (снизу, ААНИИ)

Одним из основных параметров, влияющих на точность определения толщины ледников при использовании георадиолокации, является скорость электромагнитной волны во льду. Для более точного определения скоростей распространения электромагнитной волны в ледниковых толщах с различными гидротермическими характеристиками, выполнены исследования методом ОГТ на ледниках Восточный Грэнфьорд, Пасфель и Фритьоф (западный цирк). В результате обработки полученных данных, определено что средняя скорость распространения электромагнитной волны в холодной части ледников составляет  $0,170 \pm 2$  м/нс, в тёплой части ледников –  $0,160 \pm 2$  м/нс. Таким образом, было уточнено скоростное строение ледников и внесены поправки в рассчитанные значения глубин ледников.

Дополнительно, было выполнено сопоставление повторных георадиолокационных съёмок 2010/12 и 2020/21 годов, чтобы определить возможные изменения теплового режима двух политермических ледников Фриттьоф и Эрдман в западной части Земли Норденшельда. Эти изменения выявлялись путём сравнения изменений глубины горизонта внутренних отражений, который соответствует поверхности перехода от холодного к тёплому льду в политермических ледниках (рис. 4.5).

Сравнение данных радиолокационного зондирования, полученных на одних и тех же поперечных и продольных разрезах, показывает, что за последнее десятилетие наиболее заметные изменения границы холодного и тёплого льда произошли в верхнем западном цирке ледника Фриттьоф, где средняя общая толщина льда уменьшалась со скоростью: 0,76 м/год (со 151 до 144 м за 9 лет), при этом толщина слоя тёплого льда уменьшилась со скоростью  $-2,52$  м/год (со 115 до 92 м). В результате, при общем уменьшении толщины ледника, его верхний холодный слой увеличился с 36 до 52 м. Эти изменения вероятно связаны с уменьшением площади фирна в этом бассейне, что привело к снижению теплоизоляции и задержке воды в толще. Последующее повторное внутреннее промерзание приводит к быстрому проникновению холодного фронта в тело ледника со скоростью более чем в 3 раза превышающей истончение ледника.

Результаты гляциологических исследований представлены на конференциях:

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

Борисик А.Л., Новиков А.Л., Глазовский А.Ф., Лаврентьев И.И.: Георадиолокационные исследования ледников архипелага Шпицберген. Основные результаты работ 2018-2021 гг. Итоги экспедиционных исследований в 2021 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Москва, 14-15 марта 2022 г.

Подготовлена к публикации следующие статьи:

Terekhov A., Verkulich S., Borisik A., Demidov V., Romashova K., Anisimov M., Sidorova O., Tarasov G. Mass balance, ice volume, and flow velocity of Western Grønfjord glacier (Nordenskiöld land, Spitsbergen) in 2013/14–2019/20 // Arctic, Antarctic and Alpine Research. (на рецензировании)

Терехов А.В., Прохорова У.В., Борисик А.Л., Демидов В.Э., Веркулич С.Р. Изменения объёма и геометрии ледника Восточная Дальфонна (Шпицберген) в 2008–2019 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. (в печати)

Мероприятие 4 выполнено полностью.

## Мероприятие 5. Палеогеографические исследования

Предварительные результаты исследований рельефа и анализ образцов четвертичных отложений, собранных на Земле Норденшельда и Земле Веделя Ярлсберга в 2015-2020 г. показали высокую палеогеографическую информативность отобранного материала. На

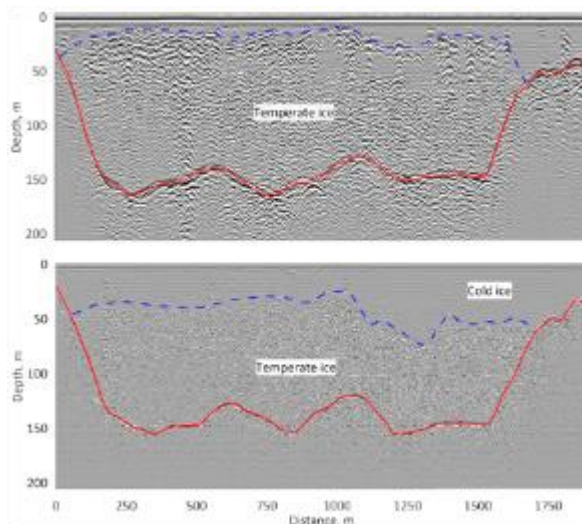


Рисунок 4.5 – Радарограммы 2010 и 2020 гг. через ледник Фриттьоф показывают увеличение толщины слоя холодного льда

основе результатов были выявлены этапы развития природной среды в районах исследования за последние тысячелетия. Основной целью полевых и аналитических работ 2022 года являлось получение новых палеогеографических данных для выполнения реконструкции хронологии, параметров и механизмов изменений климата и природной среды районов архипелага Шпицберген (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 Сироткин А.Н.

В ходе весеннего этапа полевых работ были отобраны керны донных отложений озер различного генезиса (Грёндален, Тендаммен, Бретьорна, Стемме и Линне) для дальнейшей реконструкции изменения природной среды.

В ходе полевых исследований в мае-сентябре 2022 г. решались следующие задачи:

- изучение и детальное описание геоморфологии и четвертичных отложений юго-западной части Земли Оскара II с составлением полевых карто-схем и литологических колонок;

- изучение четвертичных отложений района исследований с детальным отбором образцов на различные типы анализов;

- проведение биоиндикационных исследований (отбор поверхностных проб с геоботаническим описанием в точках отбора) для создания наиболее достоверных реконструкций;

- выполнение лабораторных исследований (спорово-пыльцевой анализ и анализ потери при прокаливании проб четвертичных отложений);

- продолжение наблюдений в рамках аэропалинологического мониторинга и обработка полученных материалов.

*Полевые палеогеографические, геоморфологические и биоиндикационные исследования в юго-западной части Земли Оскара II*

Для получения новых данных об эволюции природной среды Земли Оскара II и локальных особенностей послеледникового развития ландшафтов долин архипелага были проведены работы по изучению рельефа и четвертичных отложений южного побережья Сэинт-Джонс фьорда, равнин Свартфеллстранда и Даудманнсойра и северо-западного побережья Исфьорда (рис. 5.1). Во время работ проводилась геоморфологическая съемка с фиксацией морфологии и предположительного генезиса



Рисунок 5.1 – Расположение изученных разрезов (с обозначением наиболее перспективных объектов) на Земле Оскара II

основных форм микро и макрорельефа. Особое внимание уделялось изучению морских террасовых уровней, которые хорошо выражены в районе исследования и представлены комплексами аккумулятивно-абразионных, реже – абразионно-аккумулятивных и



абразионных террас. За время исследований также было описано большое количество абразионных форм, таких как клифы, гроты, арки, абразионные ниши и кекуры (рис. 5.2).

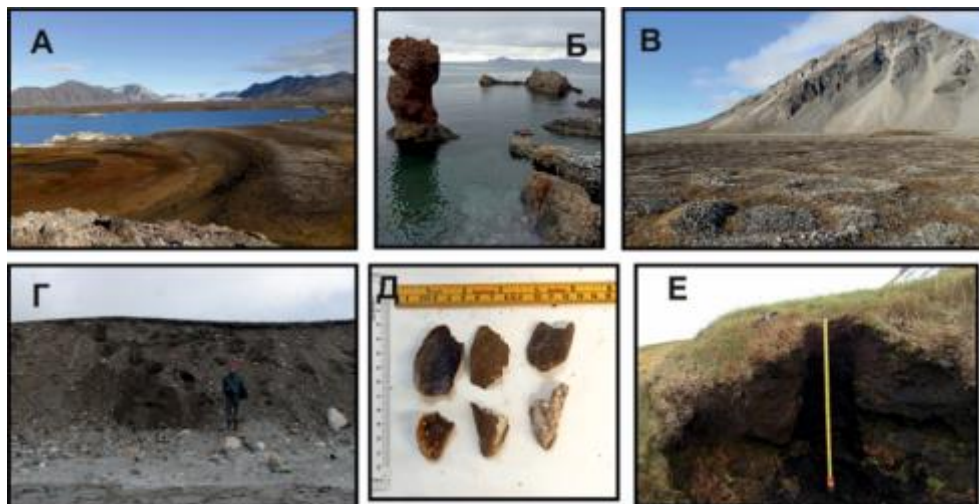


Рисунок 5.2 – Объекты исследования: А – В – формы рельефа (А – морская абразионно-аккумулятивная терраса; Б – формы абразионного берега – клифы, останцы – кекуры; В – сортировка грунтов); Г – Е – разрезы четвертичных отложений и их включения (Г – разрез морских отложений; Д – образец включений раковин моллюсков; Е – торфяник в районе г. Альхорн)

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.).

В долинах южной части Земли Оскара II особое внимание уделялось изучению болотных отложений, как источника детальной информации о локальных и региональных изменениях условий природной среды в голоцене. В результате были подробно изучены торфяники на равнине Даудманнсойра и в подножье г. Альхорн (рис. 5.2). Данные объекты представляют большой интерес для дальнейших аналитических исследований, вследствие насыщенности органическим материалом.

В долине р. Веттернэльвы и на равнине Даудманнсойра были изучены отложения, предположительно, эолового генезиса, перекрывающие морские и биогенные образования. Подобные объекты также ранее были описаны в долине Рейндален и Адвентдален на Земле Норденшельда.

Всего за период полевых работ было выполнено 30 маршрутов с изучением особенностей рельефа и наземных четвертичных отложений, описано 346 точек наблюдения, расчищено и изучено 43 разреза отложений, а также отобрано 267 образцов на различные виды анализов и 19 поверхностных проб в рамках биоиндикационных исследований.

#### *Аналитические исследования образцов четвертичных отложений долины Рейндален*

Для получения представления о развитии растительности и изменении климата в прошлом в центральной части о. Западный Шпицберген был выполнен спорово-пыльцевой анализ образцов речных и эоловых отложений разрезов ВМ19-92 (15 проб) и ВМ19-93 (20 проб) отобранных в долине Рейндален в рамках полевых исследований 2019 года в южной части Земли Норденшельда.

Обработка проб выполнялась по стандартной методике сепарационным методом Гричука (Гричук и Заклинская 1948) с использованием тяжелой жидкости. Для разделения препаратов и выделения микрофоссилий использовался концентрированный водный раствор метавольфрамата натрия с удельным весом  $2,29 \text{ г/см}^3$ , который после фильтрации и упаривания до нужной плотности использовался повторно. Для удаления пылеватых минеральных частиц проводилась дополнительная обработка ультразвуком (Свупаг 1979). В

каждом образце насчитывалось около 300 пылин. Пыльца и споры были идентифицированы при увеличении 400x 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 водных непыльцевых палиноморф (*Zygnema* type).

По результатам спорово-пыльцевого анализа построены диаграммы (пример диаграммы для разреза VM19-92 – 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.

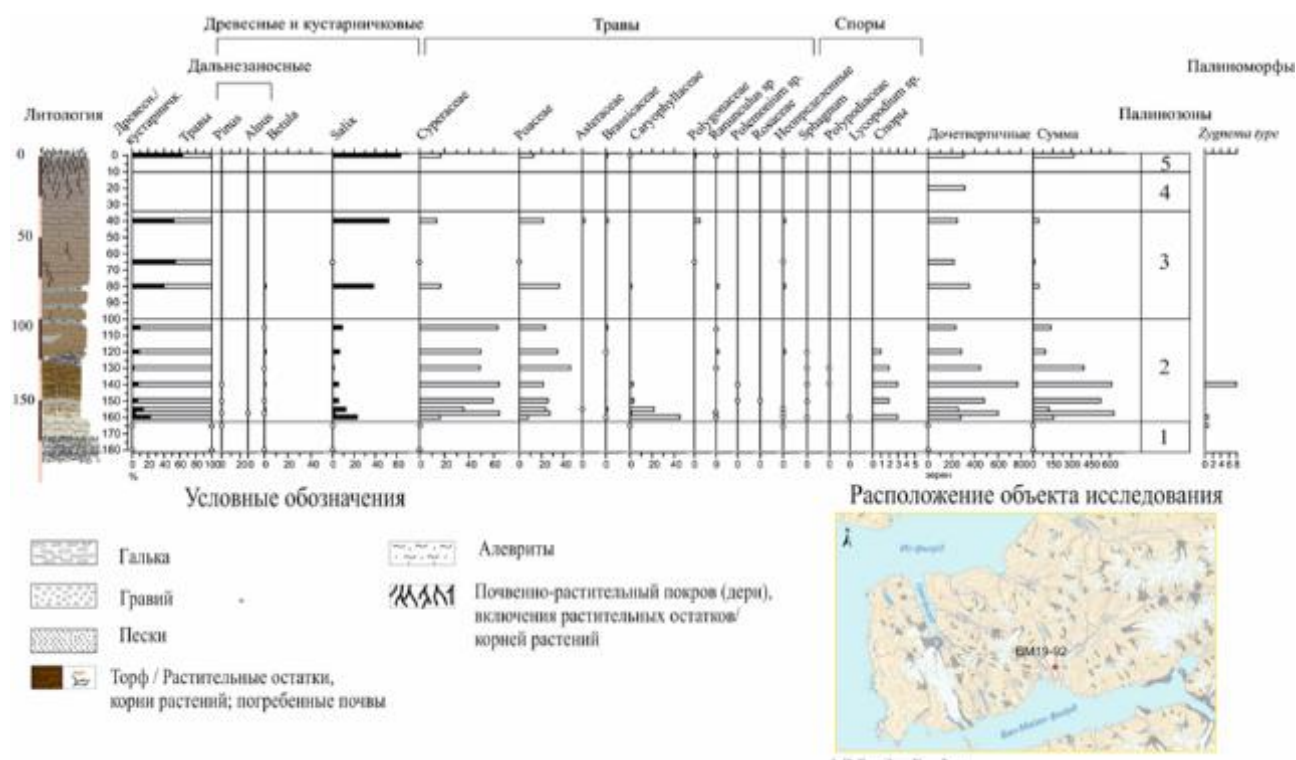


Рисунок 5.3 – Спорово-пыльцевая диаграмма, разрез VM19-92, долина Рейндален

Так, для точки VM19-92 палинозона 1 выделяется по практически полному отсутствию ископаемых пыльцы и спор, что говорит о неблагоприятных условиях fossilization. Палинозона 2, напротив характеризуется высоким содержанием микрофоссилий и отражает развитие разнотравно-моховой (преимущественно осоковой) тундры с участием полярной ивки. Вероятно, в период накопления толщи, соответствующей выделенной палинозоне, в точке исследования наблюдалось переувлажнение, большое количество атмосферных осадков. Палинозона 3 фиксирует развитие травяно-ивковой тундры. В палинозоне 4 микрофоссилии не встречаются. Палинозона 5 отражает современную растительность – травяно – ивковую тундру.

Для выявления содержания органического вещества, карбонатов и других примесей, и косвенной оценки содержания органического и неорганического углерода в пробах речных и эоловых отложений долины Рейндален был выполнен анализ потери при прокаливании. В ходе обработки в образцах (15 проб разреза VM19-92 и 20 проб разреза VM19-93) измерялась потеря веса в результате нагрева до высокой температуры (550°C) согласно методике Heiri et al. (2001). Анализ потери при прокаливании для дубликатов проб (5 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.5.4) косвенно отражающие процентное содержание и распределения органического и неорганического углерода в изученных толщах.

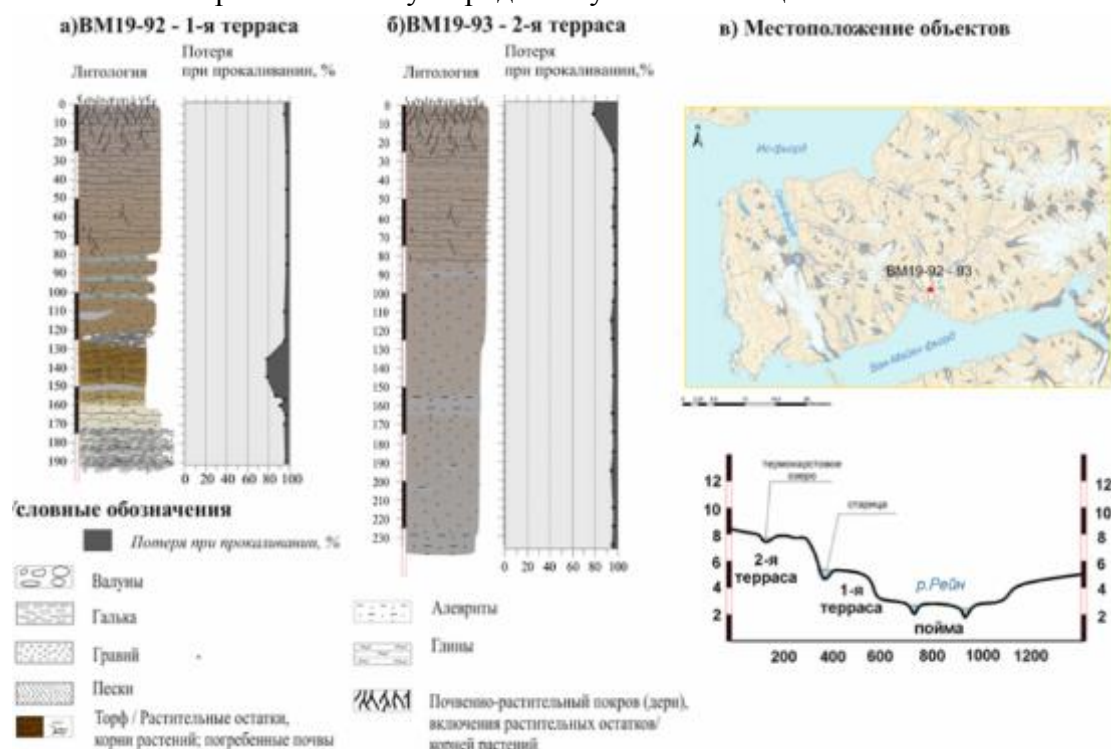


Рисунок 5.4 – Сопоставление литологии и содержания углерода (потерь при прокаливании) для разрезов BM19-92 и BM19-93 в долине Рейндален

#### *Аэропалинологический мониторинг*

С целью выявления закономерностей воздушного переноса спор и пыльцы и их распределения на земной поверхности в окрестностях пос. Баренцбург на разных гипсометрических уровнях устанавливались пыльцевые ловушки – стеклянные пластины, покрытые глицерин-желатиновой смесью. Смена ловушек осуществлялась раз в семь дней в течение всего вегетативного сезона с 16 мая по 29 августа 2022 г. В районе площадки CALM также устанавливался отборник для аккумуляции выпадающих атмосферных осадков и последующего их изучения на предмет содержания пыльцы.

Подготовка материала для пыльцевых ловушек и обработка полученных материалов (67 проб) проводились в химико-аналитической лаборатории Баренцбурга. Лабораторная подготовка проб заключалась в смыве пластин, центрифугирование полученной суспензии, обработку 10% раствором гидроксида натрия и удаление крупных растительных остатков (листья и др.) с помощью сита. Также, в рамках палинологических изысканий с целью выявления субрецентных спорово-пыльцевых спектров проводился отбор поверхностных проб (19 проб) в ходе палеогеографических маршрутов.

В результате проведенных работ были получены новые данные о геоморфологии и строении покрова четвертичных отложений юго-западной части Земли Оскара II, о строении континентальных и морских четвертичных образований. Продолжается построение схем геоморфологического строения и четвертичных отложений изученных долин, геолого-геоморфологических профилей, колонок и разрезов, ведутся аналитические исследования отобранных образцов. Результаты уже проведенных аналитических исследований позволили существенно детализировать имеющиеся представления о развитии природной среды в долине Рейндален (южная часть Земли Норденшельда).

Данные, полученные в ходе палеогеографических исследований в центральной части о. Западный Шпицберген (2018 – 2020 гг.) были представлены на EGU General Assembly

2022: Holocene environmental changes inferred from pollen record of Nordenskjöld Land alluvium sequences (West Spitsbergen Island): new data and review и 51st International Arctic Workshop 2022: Holocene vegetation dynamics in central part of Nordenskiöld Land (Spitsbergen Island) inferred from pollen records.

Литература

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

Cwynar 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**

В соответствии с программой В 2022 году мерзлотные исследования проводились в летне-осенний сезон в западной части Земли Норденшельда и на мерзлотном полигоне п. Баренцбург. Ответственный исполнитель проекта Н.Э. Демидов (nikdemidov@mail.ru). Задачи, которые решались в 2022 г.:

– мониторинг хода температур в опорных скважинах мерзлотного полигона п. Баренцбург и района пос. Пирамида;

– мониторинг мощности сезонно-талого слоя на площадке CALM Баренцбург;

– мониторинг развития криогенных процессов в окрестностях п. Баренцбург;

– поиск и опробование выходов подземных и поверхностных вод в западной части Земли Норденшельда.

Полевые работы включали:

– маршрутное картирование минерализации водотоков и подземных вод (шахта пос. Баренцбург) в западной части Земли Норденшельда и на Земле Оскара II. Отбор образцов воды из источников подземных вод и поверхностных водотоков на гидрохимический и изотопный анализ (всего отобрано 25 проб) осуществлялся в герметичные емкости объемом 200 мл и 50 мл с предварительными замерами температуры и электропроводности портативным кондуктомером Nach HQ 30d. Гидрохимический анализ осуществлялся в лаборатории РАЭ-III п. Баренцбург на ионном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence (определение содержания основных ионов) и анализаторе Shimadzu TOC-L (определение содержания гидрокарбонат-иона).

– маршрутный поиск и фотофиксация криогенных процессов, маркирующих рост сезонных температур воздуха и грунта (оползней, селей, термокарстовых и термосуффозионных воронок).

– проверка и считывание данных с термокос, оборудованных логгерами GeoPrecision и установленных в опорные скважины. Всего промеры осуществлены в 7 скважинах в районе пос. Баренцбург и в 6 скважинах в районе пос. Пирамида;

– промеры мощности сезонно-талого слоя по стандартной методике CALM (Программа циркумполярного мониторинга деятельного слоя) стальным щупом в 121 точке по квадратной сетке размерами 50×50 м на площадке CALM Баренцбург;

– промеры мощности сезонно-талого слоя по стандартной методике CALM стальным щупом в 121 точке по квадратной сетке размерами 50×50 м на площадке CALM в районе Альхорн (Земля Оскара II).

### *Изучение подземных водотоков*

Замеры электропроводности и химический анализ воды подземных водотоков выявили широкое распространение водотоков сульфатно-кальциевого состава с минерализацией не выше 1 г/л на Земле Оскара II. Наибольшей минерализацией (2370 мкСм /1,6-1,8 г/л) обладал железистый ручей у подножия г. Холтедалварден, в составе которого доминировали натрий и сульфат ионы.

В долине Орустдален повторен отбор воды круглогодичного слабоминерализованного (383 мкСм) источника сульфатно-натриевого состава.

В шахте пос. Баренцбург проведен отбор капежа по штрекам от входа в шахту до забоя (лавы), расположенном на уровне -480 м ниже уровня моря под плато Харитонова. Капеж отмечен начиная с глубины 50 м ниже уровня моря. Точки капежа единичны, расположены на удалении до 1 км друг от друга. Подземные воды в шахте соленые и рассольные с минерализацией от 16 до 90 г/л, с характерными запахом и вкусом (напоминающими мазут). В составе преобладают ионы натрия и хлора с соотношением массовых долей, характерным для морских вод, а также с заметным присутствием брома. Отличием подземных вод шахты от морских является как меняющаяся минерализация, так и сравнительно малая доля сульфат-иона в большинстве проб (менее 7% по массе). Последнее может быть связано с жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий в подмерзлотных водоносных горизонтах. В верхних штреках (пробы -50 и -180 м) доля хлора в капеже снижается, и его место замещают гидрокарбонат и сульфат ионы. Смешанный тип вод может свидетельствовать о движении пресных подземных вод верхних этажей в нижележащие соленые водоносные горизонты.

### *Мониторинг криогенных процессов в районе пос. Баренцбург*

Появления свежих оползней и селей за летне-осенний период 2022 года не отмечено. В долине Холлендардален зафиксирована стабилизация развития крупного термоцирка с осыпанием склонов и проседанием бровок, с отсутствием обнажений льда. Поглощение потока в русловых воронках, отмеченное в 2020 и 2021 гг., отсутствовало. С помощью квадрокоптера Phantom 4 Pro (ИФА РАН) была выполнена съемка термоцирка с созданием цифровой модели рельефа (рис. 6.1), что позволило определить скорость отступления бровок термоцирка (до 56 м за год), площадь размыва (6300 м<sup>2</sup>) и глубину протайки (4,6 м).

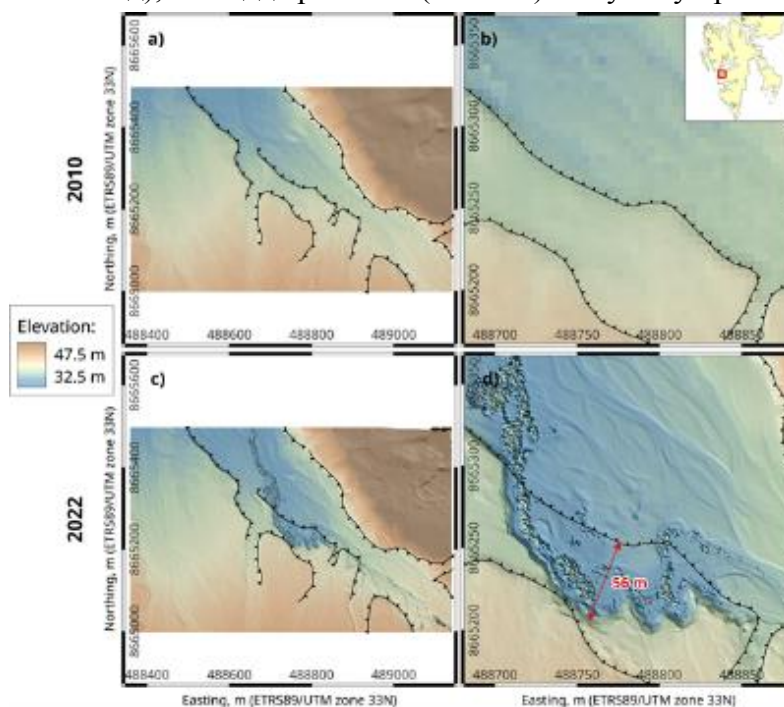


Рисунок 6.1 – Схема динамики отступления стенок термоцирка в д. Холлендардален с 2021 по 2022 г.

### Термометрические наблюдения

В летне-осенний сезон 2022 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) 26 сентября 2022 составила  $-2,75^{\circ}\text{C}$ . В скважине №2 на площадке CALM температура на глубине 5,5 м за 21 сентября 2022 составила  $-2,75^{\circ}\text{C}$ . Термометрический замер в скважине №15, пробуренной в долине Грендален для мониторинга состояния ледяного ядра бугра пучения Кили, показал среднегодовую температуру с 03.09.2021 по 03.09.2022  $-3,26^{\circ}\text{C}$  на глубине 14,25 м при отсутствии сезонных колебаний. Термометрический замер в скважине №13, пробуренной в долине Грендален для мониторинга состояния ледяного ядра бугра пучения Нори, показал температуру  $-3,12^{\circ}\text{C}$  на глубине 14,25 м.

В районе пос. Пирамида в августе 2022 г. было проведено считывание данных с логгеров на оборудованных стационарными термокосами скважинах (рис. 6.2, таблица 6.1). Температурные замеры в широкой сети скважин п. Пирамида возобновлены спустя 35-40 лет после завершения бурения 1980-х годов. Проведенные замеры среднегодовых температур вместе с аналогичными данными архивных отчетов Полярно-морской геологоразведочной экспедиции предоставят возможность получить многолетний ряд термометрических наблюдений, уникальный для Шпицбергена по длительности, что позволит оценить влияние потепления климата на мерзлоту п. Пирамида в последние десятилетия.



Рисунок 6.2 – Расположение расконсервированных скважин пос. Пирамида. Желтый –скважины, оснащенные стационарными термокосами, зеленый – скважины с разовыми замерами температуры, синий – скважины с измерением мощности СТС щупом

Таблица 6.1. Результаты измерений температуры в скважинах района п. Пирамида

Скважина	Глубина, м	$T_{\text{ср}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{макс}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{мин}}, ^{\circ}\text{C}$	Период измерений
Рудник	9,5	-2,11	-2,0	-2,25	24.03.21-24.03.22
№131	14,25	-3,41	Сезонные колебания отсутствуют		24.03.21-24.03.22
Водозабор	3,4	-0,04	0,06	-0,18	24.03.21-24.03.22
Лондон	4,25	-3,56	-1,56	-5,62	17.09.21-10.08.22
№145	14,25	-2,85	Сезонные колебания отсутствуют		17.09.21-10.08.22
№110	14,25	-3,0	-2,68	-3,37	15.09.21-10.08.22

### Выполнение программы CALM

Замеры мощности сезонно-талого слоя (СТС) проведены 21-24 сентября 2022 на площадке CALM Баренцбург. Суммарно мониторинг СТС на площадке CALM Баренцбург ведется непрерывно в течение 6 лет, начиная с 2016 г. (табл. 6.2). Измерения 2022 г. показали

максимальные величины, сравнимые с мощностью СТС в 2018 и 2020 гг., что вызвано о длительным и теплым летним сезоном в 2022 г.

С целью дополнить информацию о динамике сезонно-талого слоя в различных районах и грунтах 28 сентября 2022 г. на мысе Альхорн в торфянике мощностью более 2 м была заложена дополнительная площадка CALM (50×50 м, 121 точка). Координаты площадки: СЗ 78.20802, 13.81327; СВ 78.20798, 13.81542; ЮВ 78.20754, 13.81540; ЮЗ 78.20755, 13.81327.

Мощность СТС в торфянике на площадке Альхорн составила 46,48 см в среднем по площадке, что значительно меньше мощности СТС в суглинисто-галечных осадках (Баренцбург) и связано с теплоизолирующими свойствами торфа. В связи с этим продолжение наблюдений на площадке м. Альхорн представляется перспективным.

По теме исследований опубликованы следующие работы:

Demidov V., Demidov N., Verkulich S., Wetterich S. Distribution of pingos on Svalbard // *Geomorphology*, 2022. V 412, 108326. DOI 10.1016/j.geomorph.2022.108326.

Караевская Е.С., Никулина А.Л., Столпникова Е.М., Ширрмайстер Л., Карлов Д.С., Гуро П.В., Казанцев В.С., Елизаров И.М., Меркель А.Ю., Веттерих С., Чернов М.С., Калошин А.Г., Петров А.Л., Белов А.А., Крылов А.В., Демидов Н.Э. Биогеохимические характеристики морской мерзлоты района рудника Баренцбург (Западный Шпицберген) // *Материалы Шестой конференции геокриологов России. Мониторинг в криолитозоне. 14-17 июня 2022. С.1047-1054.*

Мероприятие 6 выполнено полностью.

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

Выносной пункт приема-передачи спутниковой информации (ВППИ) в пос. Баренцбург функционирует в круглосуточном режиме с целью получения, обработки и передачи потребителям данных дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ), акваторий и побережья Северного Ледовитого океана и арктических морей.

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. 7.1). Кроме того, над ВППИ находится точка схождения орбит спутников ДЗЗ, так что спутники попадают в зону прямой радиовидимости ВППИ на всех витках. Этим обеспечивается прием максимально возможного количества информации. Отсутствие радиопомех и зон закрытия обеспечивает высокое качество снимков.

Собираемая ВППИ информация предназначена для мониторинга ледовых и гидрометеорологических условий на акватории СЛО, обеспечения безопасности мореплавания на трассе СМП, а также акваториях Баренцева, Белого и Балтийского морей, обеспечения безопасности деятельности по освоению месторождений углеводородного сырья на шельфе и побережье арктических морей.

Таблица 6.2. Мощность СТС на площадке CALM Баренцбург

Год измерений	Средняя мощность СТС, см
2016	156
2017	137,6
2018	144,6
2019	133,5
2020	142,7
2021	134,7
2022	143,0



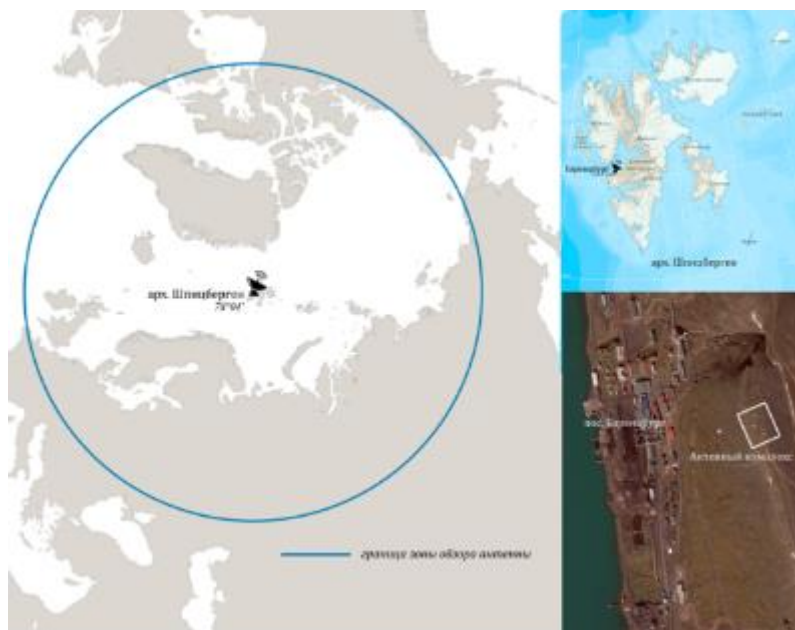


Рисунок 7.1 – Расположение ВППИ на арх. Шпицберген

Собираемая ВППИ информация предназначена для мониторинга ледовых и гидрометеорологических условий на акватории СЛО, обеспечения безопасности мореплавания на трассе СМП, а также акваториях Баренцева, Белого и Балтийского морей, обеспечения безопасности деятельности по освоению месторождений углеводородного сырья на шельфе и побережье арктических морей.

Основу комплекса составляют три станции MEOS, изготовленные норвежской компанией Kongsberg Spacetec AS и установленные на отроге горы Улаф (рис. 7.2):

- 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 7.2 – Спутниковые антенны ВППИ в п. Баренцбург

ВППИ в пос. Баренцбург обеспечивал в течение 2021-2022 гг. прием, первичную обработку и передачу в ААНИИ и систему ЕСИМО спутниковой информации. Объем переданной информации приведен в таблице 7.1. Передача спутниковой информации осуществлялась через широкополосный интернет-канал, предоставляемый норвежским оператором Telenor ASA по контракту с ААНИИ.

ВППИ работал круглосуточно, серьезных сбоев в его работе допущено не было, за исключением единичных случаев кратковременных плановых и внеплановых отключений электричества в пос. Баренцбург, а также при обновлении программного обеспечения.

Таблица 7.1. Объем переданной ВППИ информации за период IV кв. 2021 г. – III кв. 2022 г.

Количественные показатели информации	2021 г.	2022 г.			Всего
	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	
Количество сеансов приема информации с ИСЗ	7673	6886	6179	6459	27197
Количество подготовленных и переданных в ААНИИ tif - файлов	98928	60504	52849	64892	277173
Объем переданной информации, Гб	81,7	51,5	44,8	50,7	228,7

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 в период с 16.04.2021 г. по 12.06.2022 г. обеспечивал ведущий инженер Н.В. Друба, а с 06.05.2022 г. и по настоящее время вед. инженер А.В. Тетерин.

11 мая и 27 сентября 2022 г. работу ВППИ инспектировала комиссия Государственного департамента связи Норвегии (НКМ). Все необходимые сведения и данные были подготовлены в указанный срок инспектирующей стороне. Проверка работы 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 (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-04-21-493>). Каких-либо нарушений в документах не было выявлено. Расчеты показывают, что прохождения спутников хорошо совпадают с записями в журналах станции.

Мероприятие 7 выполнено полностью.

### **Мероприятие 8. Экологические исследования**

Экологические исследования на базе химико-аналитической лаборатории в 2021 г. велись по нескольким направлениям: мониторинг состояния приземного воздуха автоматическими станциями контроля качества атмосферы (СККАВ), разработка методик анализа и поиск новых загрязняющих веществ на архипелаге Шпицберген, а также анализ тяжелых металлов в кернах донных отложений из залива Гренфьорд (совместно с ММБИ).

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

С 2016 г. в п. Баренцбург работают две станции контроля качества атмосферного воздуха, непосредственно в самом поселке и на плато г. Улаф. Оборудование станций анализирует содержание 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.

#### *Техническое обслуживание*

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. В период январе-феврале 2022 г. ТОО «Aristo Scientific» (в рамках контракта между ФГБУ «ААНИИ») выполнены работы по техническому обслуживанию станций «Поселок» и «Гора». По завершению ТО станций определено текущее состояние газоанализаторов и даны рекомендации по улучшению качества и устойчивости их работы.

Таблица 8.1. Комплектация станций контроля качества атмосферного воздуха, установленных в п. Баренцбург, и количество замеров, произведенных оборудованием за январь–октябрь 2021 г.

Измеряемый показатель	Оборудование	Производитель оборудования	Количество измерений, ед.	
			Ст. «Гора»	Ст. «Поселок»
NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, NH <sub>3</sub>	Хемиллюминесцентный анализатор оксидов азота AC32M + внешний доп. модуль NH <sub>3</sub> → NO	Environnement S.A. (Франция)	19428	8492
SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	Флуоресцентный анализатор двуокиси серы AF22 УФ	Environnement S.A. (Франция)	25522	23332
CO <sub>2</sub> , CO	Анализатор содержания оксида и диоксида углерода CO12 с корреляцией по газовому фильтру CO12M	Environnement S.A. (Франция)	25364	15088
O <sub>3</sub>	УФ фотометрический анализатор озона O342M	Environnement S.A. (Франция)	25020	16136
Взвешенное вещество <10мкм	Бета-измеритель взвешенных частиц MP101M	Environnement S.A. (Франция)	25224	8648
Hg <sup>0</sup>	Воздушный ртутный монитор РА-915 AM	Люмэкс (Россия)	25402	24798
Температура, давление, влажность, скорость, направление ветра, осадки	Преобразователь метеоданных WXT520	Vaisala (Финляндия)	NA	NA

Газоанализаторы на станции «Поселок» находятся в удовлетворительном состоянии, за исключением вышедшего ранее из строя анализатора оксидов азота AC32. У большинства газоанализаторов станции «Гора» имеются серьезные технические проблемы, решить которые на месте не представляется возможным. Достоверные данные поступают только с диоксида серы и ртутного монитора, функционирующих в штатном режиме. В связи с этим работа станции «Гора» полностью остановлена с 23.09.2022 г.

Снятые со станций 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. Кроме этого требуются дополнительные технические решения по отводу отработанного анализаторами воздуха наружу и поддержание постоянной температуры воздуха внутри помещений станций.

#### *Состояние атмосферного воздуха*

Анализ рядов данных показывает, что для концентраций газовых составляющих CO, SO<sub>2</sub> и NO характерны высокие среднеквадратичные отклонения, что говорит о высокой вариабельности регистрируемых параметров. Это свидетельствует о сильном влиянии на работу газоанализаторов внешних воздействий (относительная близость от станции «Поселок» местной ТЭЦ, при сильных ветрах южных направлений в воздух поднимается угольная пыль с открытого склада хранения угля), так и не стабильной работе датчиков.

Краткий анализ данных станции «Поселок» показывает, что в концентрациях газовых примесей, как это отмечалось и ранее, отражается антропогенное влияние с повышением концентраций летом в период максимального использования транспортных средств и захода судов в порт Баренцбурга, при этом в 2022 году концентрации были предельно низкие в связи с отсутствием туристической активности с марта 2022 г.

Повышения концентрации диоксида серы связаны в большей степени с работой ТЭЦ и недостаточной фильтрацией 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 (рис. 8.1). Содержание сероводорода в воздухе не однозначно коррелирует с концентрациями двуокиси серы, что указывает на другие источники поступления 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 интенсифицируются в летний период (рис. 7.2).

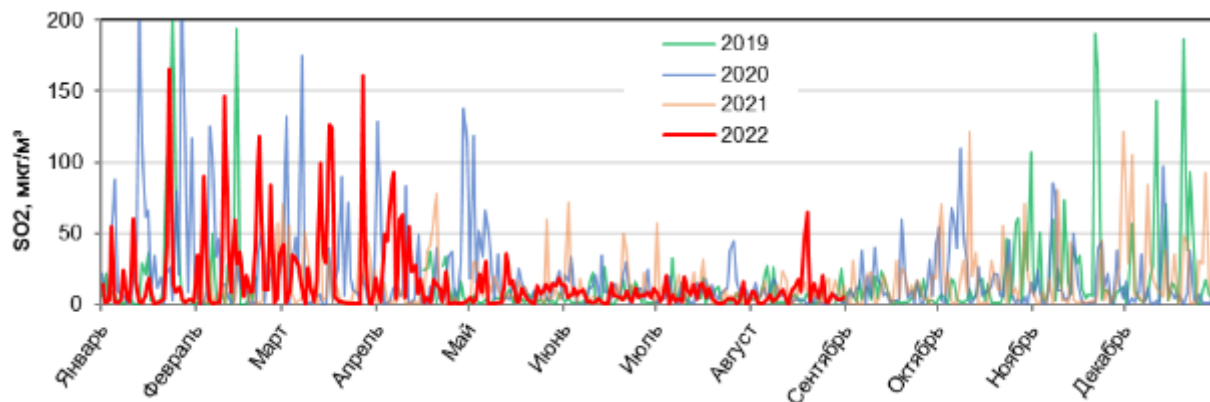


Рисунок 8.1 – Содержание в приземном воздухе  $\text{SO}_2$ ,  $\text{мкг}/\text{м}^3$  за период с 01.01.2019 г. по 31.08.2022 г., станция «Поселок»

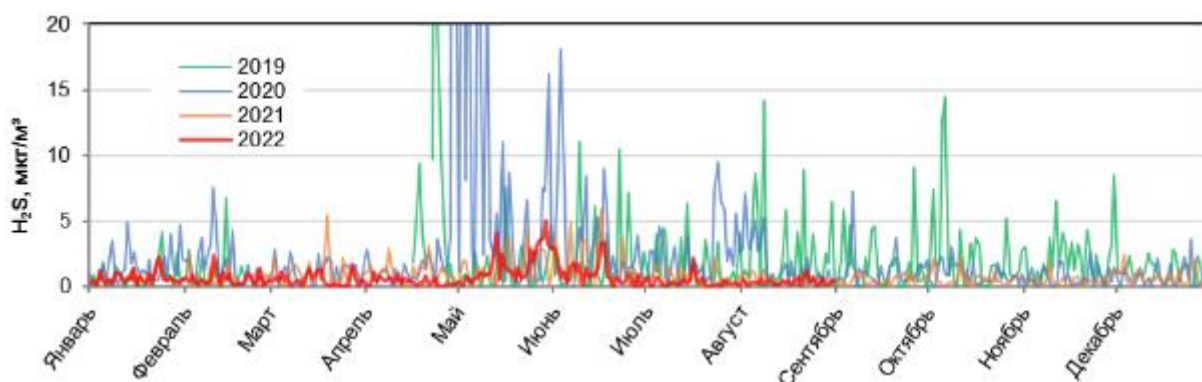


Рисунок 8.2 – Содержание в приземном воздухе  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{мкг}/\text{м}^3$  за период с 01.01.2019 г. по 31.08.2022 г., станция «Поселок»

Консервативные газы озон и углекислый газ, имеют сравнительно постоянную концентрацию в воздухе п. Баренцбург, однако колебания их содержания обуславливаются атмосферной циркуляцией (рис. 8.3). Так, концентрация озона незначительно колеблется в течение суток и изменяется в зависимости от атмосферного давления (в противофазе), что в свою очередь связано с интенсивностью ветровых переносов. Максимальные концентрации озона наблюдаются ранней весной, а минимальные в конце лета, при этом изменения происходят синхронно на обеих измерительных станциях. Содержание углекислого газа незначительно повышается зимой и снижается в летний период при средней концентрации около 400 миллионов частей.

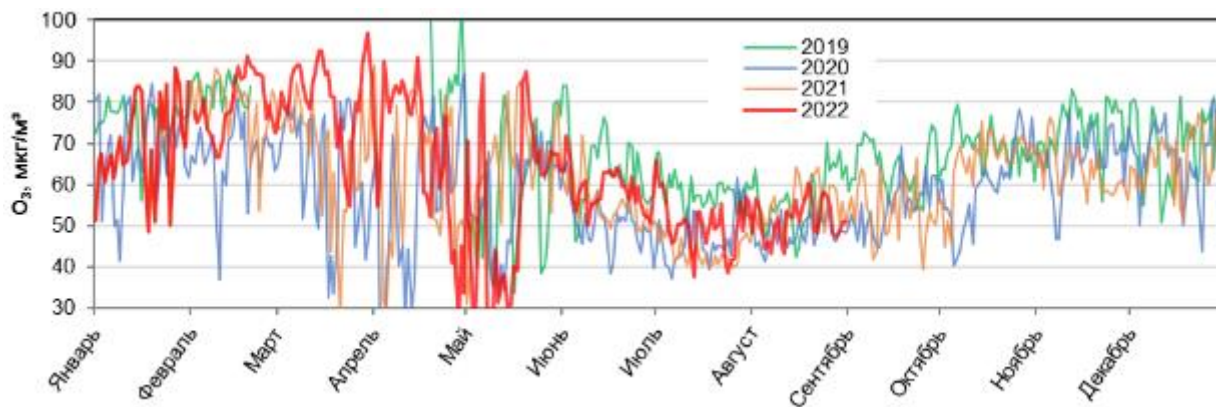


Рисунок 8.3 – Содержание озона,  $\text{мкг}/\text{м}^3$  за период с 01.01.2019 г. по 31.08.2022 г., станция «Поселок»

Содержание газообразной ртути в приземном воздухе остается постоянным в течение нескольких лет на уровне фоновых значений с незначительным повышением летом во время активного таяния снежного покрова и испарения из почвы. Такой характер содержания

газообразной ртути в воздухе свойственен для районов распространения многолетней мерзлоты.

Сбор данных газоанализаторами «Поселок» продолжается. Требуется метрологическое обеспечение газоанализаторов, ведется работа над усовершенствование программного обеспечения системы сбора информации «Агат». Для поддержания нормальной рабочей температуры внутри помещений прорабатывается схема установки кондиционеров.

По данным, полученным станцией «Поселок» в 2017 году опубликована статья:

Dekhtyareva, A., Hermanson, M., Nikulina, A., Hermansen, O., Svendby, T., Holmén, K., & Graversen, R. G. Springtime nitrogen oxides and tropospheric ozone in Svalbard: results from the measurement station network. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2022. 22(17), 11631-11656. DOI: 10.5194/acp-22-11631-2022

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

Поиск так называемых новых загрязняющих веществ (устойчивых органических) являющийся одной из приоритетных задач современной химии окружающей среды стал возможен благодаря развитию аналитических технологий, позволяющих определять следовые количества веществ в природных образцах. В новым загрязняющим веществам относятся силосаны, перфторированные кислоты, бромированные и хлорированные органические соединения, продукты разложения (метаболизма) фармацевтических препаратов и составляющие средств по уходу. 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. Перфторированные кислоты широко используются в промышленных масштабах в качестве поверхностно-активных веществ, пенообразователей и замасливателей и попадают в арктическую среду как в результате трансграничного переноса, так и из локальных источников. Они устойчивы к трансформации под воздействием окружающей среды и обладают способностью к биомагнификации в живых организмах.

В 2020 г. велась постановка и валидация аналитической методики с использованием хромато-масс-спектрометра LCMS-8040 Shimadzu с тройным квадрупом. Анализ результатов работы за 2020 г. выявил ряд технических недочетов, связанных как с работой оборудования, так и интерпретацией полученных данных. В 2021 гг. было проведено техническое обслуживание хромато-масс-спектрометра LCMS-8040 Shimadzu, по результатам которого чувствительность и производительность прибора были признаны приемлемыми для дальнейшей установки калибровочной кривой и анализа образцов.

В связи со сложностями поставки расходных материалов и реактивов в 2022 г., в частности хроматографических колонок, был проведен переход и постановка методики на имеющейся в наличии колонке Spherisorb ODS2 Column, 80Å, 3 мкм, 4,6×100 мм, заменена подвижная фаза на метанол, установлен диапазон потенциальных рабочих концентраций и отработка градиентного режима для анализа перфторированных кислот с использованием нового типа колонки и растворителя.

В связи с введенными в конфигурацию аналитической системы изменениями, для новых условий были выполнены следующие операции:

- оптимизация в проточно-инжекционном режиме (FIA), с подтверждением расчетных значений квантора перфторированных соединений в составе CO;
- оптимизация инъекции образцов CO по объему;
- определение времен удержания перфторированных соединений в составе CO;

- установлены рабочие области концентраций для построения калибровочной кривой с использованием стандартов PFAS: PFAC-MXC / 3,7-diMePFOA / MPFAC-C-ES (изотопномеченый) Wellington Laboratories Inc.

По результатам проведенной работы были построены калибровочные кривые для 35 перфторированных соединений. Анализ полученных данных показывает, что для построения калибровочной кривой на основе:

- PFAC-MXC: оптимальным является диапазон концентраций 5-100 нг/мл. Ниже 5 нг/мл значение ТИС (полный ионный ток) соединения менее 10000, а для концентрации выше 100 нг/мл происходит уширение пиков в связи с перегрузкой хроматографической колонки;
- PFAC-C-ES: оптимальным является диапазон концентраций 25-100 нг/мл. Ниже 25 нг/мл значение ТИС соединения менее 5000, а для концентрации выше 100 нг/мл происходит уширение пиков в связи с перегрузкой хроматографической колонки.
- для обоих стандартных образцов использование концентрации более 100 нг/мл приводит к степенному виду калибровочной кривой с выходом на плато;
- длина углеводородной цепи перфторированного соединения влияет на отклонение калибровочной кривой от первого порядка.

Дальнейшая отработка условий элюирования, построения калибровки и анализа образцов остановлена в начале июля 2022 г. в связи с 145%-ой выработкой ресурса пластинчато-роторного насоса Edwards 28. Дальнейшая эксплуатация не представляется возможной в связи с риском заброса вакуумного масла в детектор. Требуется специализированное техническое обслуживание и закупка расходных материалов и запасных частей.

Мероприятие 8 выполнено полностью.

### **Мероприятие 9. Работы по линии международного сотрудничества на арх. Шпицберген**

1. Участие ААНИИ в регулярном международном форуме SSF (Svalbard Science Forum) приостановлено с норвежской стороны.

2. До приостановки научного сотрудничества со стороны Норвегии в марте 2022 г. ММБИ совместно с UNIS и ААНИИ вел подготовку заявки на конкурс российско-норвежских проектов, объявленный Минобрнауки и Научно-исследовательским советом Норвегии. Тематика заявки была связана с исследованиями в районе залива Исфьорд.

3. Продолжалась подготовка совместных с иностранными коллегами статей и материалов для сборника Состояние природной среды Шпицбергена (SESS report).

Мероприятие 9 выполнено полностью.

**ФГБУ «Мурманское УГМС»****Мероприятие 10. 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.

В период с 01.01.2022 по 31.12.2022 наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды выполнялись специалистами ФГБУ «Мурманское УГМС» на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» круглосуточно.

Основные результаты наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды в 2021 году:

*1. Метеорологические наблюдения*

Метеорологические наблюдения 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 2022 года на архипелаге Шпицберген по данным ГМО Баренцбург:*

В Мурманском УГМС продолжается работа по изучению происходящих климатических изменений на архипелаге Шпицберген. Анализ данных изменения аномалий средней годовой температуры воздуха подтверждает увеличение скорости повышения средней температуры воздуха в последние десятилетия. Наибольшее повышение средней месячной температуры воздуха отмечается в зимние месяцы.

По данным метеорологических наблюдений на гидрометеорологической обсерватории Баренцбург в 2022 году отклонение средней месячной температуры воздуха за девять месяцев составило 0,9°C (рис. 10.1). Согласно Приказу Росгидромета № 197-р от 29.06.2022 в оперативно-производственную деятельность подведомственных учреждений Росгидромета с 1 июля 2022 года вводятся новые климатические нормы, рассчитанные за период наблюдений 1991 – 2020 гг.

Для наглядности, на рисунке 10.1 представлены значения климатической нормы за два периода 1961-1990 и 1991-2020. Повышение климатической нормы средней месячной температуры воздуха наиболее значительно в холодный период года. В период с ноября по март климатическая норма повысилась более чем на 3°C, в декабре и январе – на 3,8°C, в целом за год значение новой климатической нормы стало выше на 2,3°C. Даже в сравнении с новой климатической нормой 2022 год, с большой долей вероятности, будет очень теплым.

Температуры зимы 2021-2022 (период с октября 2021 года по апрель 2022 года) были выше климатической нормы на 0,2°C. Наибольшее отклонение средней месячной температуры воздуха отмечалось в марте и составило плюс 3,7°C. Весна (май) соответствовала климатической норме. Лето превысило климатическую норму на 1,7°C. Осень (сентябрь) – на 1,5°C. Июнь 2022 года по значению средней температуры стал самым теплым за период наблюдения с 1948 года, превысив предыдущий рекорд, который отмечался в 2016 году, на 1°C. (Период с октября по апрель включительно полностью

относится к сезону зима; май был отнесен к сезону весна; период июнь-август относится к сезону лето; сентябрь – осень).



Рисунок 10.1 – Ход средней месячной температуры воздуха (°C) в 2022 году в сравнении с климатической нормой

За девять месяцев 2022 года количество выпавших осадков в Баренцбурге составило 69 % от своей годовой нормы (рис. 10.2). Наименьшее месячное количество осадков отмечалось, как и в прошлом году, в мае (12,5 мм или 40 % от климатической нормы). Наибольшее количество осадков пришлось на март, когда за месяц выпало более 103 мм осадков или 175 % от климатической нормы.

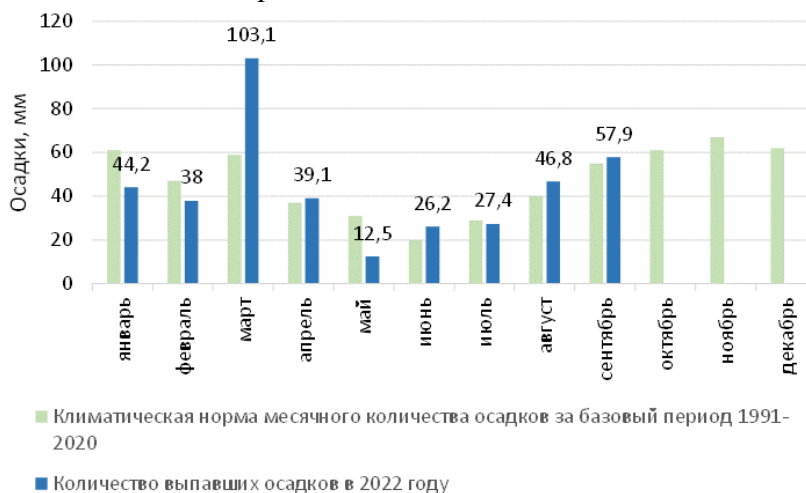


Рисунок 10.2 – Количество выпавших осадков (мм) в 2022 году (синий) в сравнении с климатической нормой (зеленый)

Опасные погодные явления наблюдались редко. За 9 месяцев 2022 года наблюдался 1 случай с очень сильным ветром: 16 марта 2022 года отмечался ветер в порывах до 25 м/с.

## 2. Морские гидрометеорологические наблюдения и работы

На ГМО «Баренцбург» проводились следующие наблюдения:

- наблюдения над уровнем моря по футштоку – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- наблюдения над уровнем моря по мареографу – ежечасно;
- наблюдения за волнением визуально – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- определение температуры морской воды – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- ледовые наблюдения в заливах Гренфьорд и Исфьорд с измерением характеристик ледяного покрова в постоянной точке (толщина льда, глубина его погружения, высота и плотность снежного покрова на льду);



- отбор проб и определение солёности и плотности морской воды ареометрированием – ежедневно в 12 ВСВ;
- наблюдения за видимостью в сторону моря – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- измерение температуры воды – 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 производилось ежедневное измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) на расстоянии 1 м от поверхности – выполнено 365 измерения.

Данные передавались в МТ АСКРО – Мурманскую территориальную автоматизированную систему контроля радиационной обстановки. По данным наблюдений ГМО Баренцбург радиационный фон (мощность экспозиционной дозы на местности) изменялся в пределах колебаний природного фона от 0,05 до 0,18 мкЗв/час.

### *4. Гелиогеофизические наблюдения*

Актинометрические наблюдения производились ежедневно с использованием актинометрической пары пиранометр-интегратор, с третьей декады мая 2022 года по пиранометру Пеленг СФ-06 с электронным измерительным блоком. Было проведено 365 наблюдений.

Измерения общего содержания озона в атмосфере выполнялись в светлое время суток озонометром М-124. Количество телеграмм с результатами измерений составило 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 124 магнитные бури.

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

Геомагнитная и риометрическая информация оперативно передаётся в отдел геофизики ФГБУ «АНИИ», 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 2022 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 и опасных (ОЯ) гидрометеорологических явлениях по всей зоне ответственности Мурманского УГМС (как морской, так и материковой). 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 важно продолжить в 2023 году проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории Баренцбург.

Мероприятие 11 выполнено полностью.

**ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ»****Мероприятие 11. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген**

Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» в 2022 г. выполнялись исследования на архипелаге Шпицберген, включающие работы по фоновому и локальному экологическому мониторингу загрязнения объектов природной среды в поселке Баренцбург и его окрестностях, в том числе акватории и побережья залива Грэнфьорд, и обследование состояния загрязнения природной среды в районе п. Пирамида. Исследования проводились 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 исследований 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.
- выявление источников загрязнения природной среды на территории действующих и ликвидированных производственных объектов, локализация, паспортизация, оценка их степени опасности.

К основным задачам относились:

- 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 ФГБУ «ААНИИ» (п. Баренцбург) и базовой лаборатории Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» (г. Санкт-Петербург).

*Полевые исследования*

Полевые экспедиционные работы включали отбор проб атмосферного воздуха и атмосферного аэрозоля; снежного покрова на территории п. Баренцбург и 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 Грэндален, долина которой расположена южнее поселка Баренцбург, почвенных вод, почв, растительного покрова.

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 др.

В наземных маршрутах производились визуальные наблюдения за состоянием поверхностного слоя почвы, размерами и характером зон нарушенности, наличием и месторасположением свалок мусора, и другими нарушениями компонентов природной среды.

Работы выполняли специалисты Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун»:

- Кропотов М.Ю. – начальник отряда;
- Рыбалко И.А. – вед. инженер- эколог;
- Голяков А.М. – вед. инженер- химик.

*Зимне-весенний этап* выполнялся в период с 13 апреля по 07 мая.

Полевые работы проведены на 20 наземных и 3 водных точках геоэкологического опробования в районах п. Баренцбург и его окрестностях, оз. Стемме, р. Грэндален, мыса Дрессельхус, восточном склоне г. Стурхеда, северо-восточном склоне г. Гренфьордфьеллет, в районе вертолетной площадки, в п. Пирамида и дополнительно на одной станции в районе п. Колсбей. На станциях геоэкологического опробования проводился отбор образцов для определения содержания загрязняющих веществ:

- 21 образец снежного покрова;
- 6 образцов озерной воды;
- 63 фильтра для определения содержания твердых частиц в снежном покрове;
- 18 фильтров для определения содержания водных взвесей в озерной воде;
- 12 образцов атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА.

*Летний этап* выполнялся с 22 июля по 28 августа.

Летние полевые работы проведены на 20 наземных и 17 водных точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург, п. Пирамида, оз. Стемме, заливах Грэнфьорд и Биллефьорд, на которых произведен отбор проб (образцов) для определения содержания загрязняющих веществ:

- 40 образцов почвы;
- 39 образцов растений;
- 17 образцов донных отложений;
- 24 образца морской воды;
- 4 образца озерной воды;
- 2 образца речной воды;
- 2 образца почвенной воды;
- 96 образцов водной взвеси;
- 12 образцов атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА.

В лаборатории были произведены следующие анализы:

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

Определение общего содержания нефтепродуктов выполнялось флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02-3М» фирмы «Люмэкс». Пробы экстрагировали 10 мл гексана в делительной воронке объемом 250 мл, экстракты переносили в измерительную кювету и производили измерения.

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

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

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

Определение удельной электропроводимости, солености и минерализации проводилось на кондуктометре Seven Compact S220 Mettler Toledo, щелочность измерялась методом титрования с помощью автоматического титратора T70 Mettler Toledo.

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

#### *Аналитические исследования*

В образцах природных сред проводятся комплексные лабораторные исследования. В образцах атмосферно аэрозоля выполняются определения:

- содержания газов 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): нафталин, аценафтилен, флуорен, аценафтен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, дибенз(а, h)антрацен, индено(123cd)пирен, бенз(g, h, i)перилен.

Морские воды исследуются на содержание:

- растворенного кислорода; биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>); химического потребления кислорода (ХПК); водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и щелочности.
- загрязняющих веществ: ТМ, ХОС, ПХБ, ПАУ, а также суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ), неполярных алифатических углеводородов С<sub>15</sub>-С<sub>31</sub> (НАУ), индивидуальных фенолов: алкилфенолов (крезолы, ксиленолы), хлорфенолов (моноклор-, дихлор-, трихлор-, пентахлор-), нитрофенолов (мононитро-, динитро-), синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);
- биогенных элементов (кремнекислоты, нитритов, нитратов, аммония, общего азота, фосфатов, общего фосфора).
- концентрации взвеси.

В образцах морской взвеси выполняются определения ТМ, ХОС, ПХБ и ПАУ.

В пробах пресной воды выполняются определения:



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

– содержания загрязняющих веществ: ТМ, ХОС, ПХБ, НУ, НАУ, ЛАУ, индивидуальных фенолов, СПАВ;

– содержания 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> и биогенных компонентов;

– концентрации взвеси.

Снежный покров исследовался на:

– определение кислотности снежного покрова (величина рН);

– компонентов минерального состава;

– биогенных компонентов;

– загрязняющих веществ: ТМ, ХОС, ПХБ, ПАУ, НУ, индивидуальных фенолов;

– проводилась фильтрация пробы талой воды снежного покрова через мембранный фильтр 0,45 мкм для определения содержания твердых частиц.

В донных отложениях после лиофильной сушки определяли гранулометрический состав и исследовали содержание ТМ и мышьяка, ХОС, ПХБ, ПАУ, НУ, НАУ, СПАВ, индивидуальных фенолов.

Почвенные воды анализировались на содержание:

– ТМ и мышьяка;

– ХОС, ПХБ, ПАУ, НУ, НАУ, ЛАУ, СПАВ, индивидуальных фенолов;

– сероводорода и сульфидов;

– биогенных компонентов;

– в образцах определялись БПК<sub>5</sub>, ХПК, рН, Eh, щелочность.

В образцах почв анализировали содержание:

– ТМ и мышьяка;

ХОС, ПХБ, ПАУ, НУ, НАУ и ЛАУ.

В образцах наземной растительности после сушки и измельчения выполнялись измерения содержания:

– тяжелых металлов и мышьяка;

– ХОС, ПХБ и ПАУ.

Перед проведением аналитических исследований выполнялось описание видового состава образцов наземной растительности на точке отбора.

Таким образом, во время 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 2022 году, были обследованы весной 21 наземная и 17 водных станции, летом – 20 наземных и 17 водных станции в районах п. Баренцбург и Пирамида и на акваториях фьордов. На архипелаге Шпицберген проведен:

– отбор проб объектов окружающей природной среды, гидрометеорологические и гидрохимические исследования на точках геоэкологического опробования в районе пос. Баренцбург, пос. Пирамида, на акваториях и побережье заливов Гренфьорд и Биллефьорд;

– химический анализ отобранных проб в лаборатории РНЦШ «Баренцбург»;

– подготовка и доставка проб в базовую лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» (г. Санкт-Петербург), для химико-аналитических и других лабораторных исследований.

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 2022 год опубликованы следующие материалы:

Фрумин Г. Т., Демешкин А. С., Маликов У. М. Экологически допустимые уровни металлов в озере Биенда-Стемме (Западный Шпицберген) // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12, No 2. С. 183-190. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-183-190

Демешкин А. С. Проблемы загрязнения стойкими токсическими соединениями морей Арктического региона // Моря России: вызовы отечественной науки. The Seas of Russia: Challenges of the National Science: тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 26–30 сентября 2022 г. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2022. 392 с.

Мероприятие 11 выполнено полностью.

**Мероприятия Роснедр**  
**ФГБУ «ВНИИОкеангеология»**

**Мероприятие 12. 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.

Основные геологические задачи летних полевых исследований 2022 года:

- составление предварительных карт геологического содержания масштаба 1:100 000 на ключевые опорные участки в пределах северного побережья Исфьорда
- пополнение эталонной коллекции горных пород разновозрастных структурно-формационных и магматических комплексов Шпицбергена, собранной в 2021 г.

Полевая группа в составе 5 человек работала на Шпицбергене с 1 июля по 7 сентября 2022 года на следующих природных объектах: а) южный берег Сейнт-Джонсфьорда, включая равнину Сварт и участки близлежащих ледников; б) северный берег Исфьорда от равнины Даудманс до залива Трюгхамна. Доставка полевых групп к месту полевых работ осуществлялась катером «Баренцбург» ГТ «Арктикуголь». (рис.12.1). В полевых экспедиционных работах также принимал участие один сотрудник ФГБУ «АНИИ». Полевыми исследованиями руководил Сироткин А.Н. [pechenga-67@yandex.ru](mailto:pechenga-67@yandex.ru). Номер проекта в электронной базе Research in Svalbard 11477.



Рисунок 12.1 – Схема организации полевых работ 2022 года полевой партии ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Полевые исследования велись в виде наземных и лодочных маршрутов и включали: геологические ревизионно-увязочные маршруты, шлиховые маршруты, специализированные геолого-геоморфологические исследования, комплекс опробования (геохимическое, минералогическое, шлиховое, палеонтологическое, геохронологическое). Во время полевых работ пополнялась эталонная коллекция образцов горных пород Шпицбергена.

Основные полученные результаты:

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

- геологическая карта с пунктами проявлений полезных ископаемых;
- геоморфологическая карта;
- карта четвертичных отложений (рис. 12.2).

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

- реконструкции условий формирования, времени и степени метаморфизма, тектонической позиции метаморфических серий Вестготабреен и Сейнт-Джонсфьорден (южная часть Земли Оскара II);
- получения петрологических характеристик и определения абсолютного возраста вулканитов (метабазальты, метаандезиты и метатифы) среднерифейских свит Тролльеймен и Лёвлибрин, а также силлов позднепротерозойских метабазитов (южная часть Земли Оскара II)
- генетических типов четвертичных осадков и их возраста;
- минерагенической характеристики изученного района архипелага.

3. Определены 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 5 сентября в посёлке Баренцбург проведены экскурсии по музею (находится в здании бывшей базы ПМГРЭ) и прочитана лекция по геологии Шпицбергена для жителей Баренцбурга и учеников местной школы.

В 2022 году по теме работ опубликована одна статья в реферируемых изданиях.

Мероприятие 12 выполнено полностью.

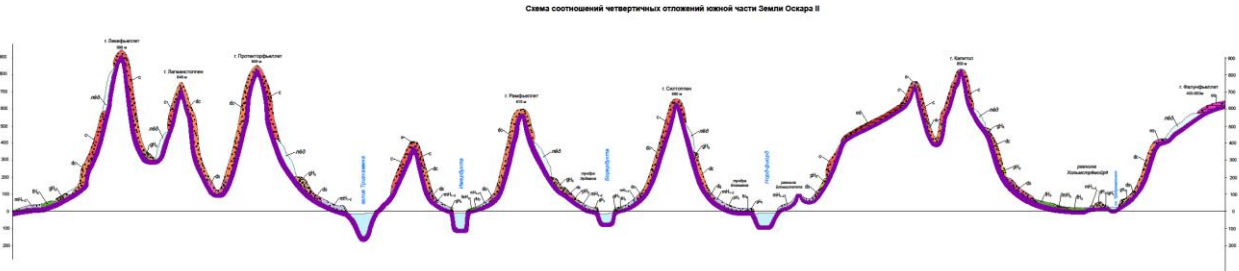
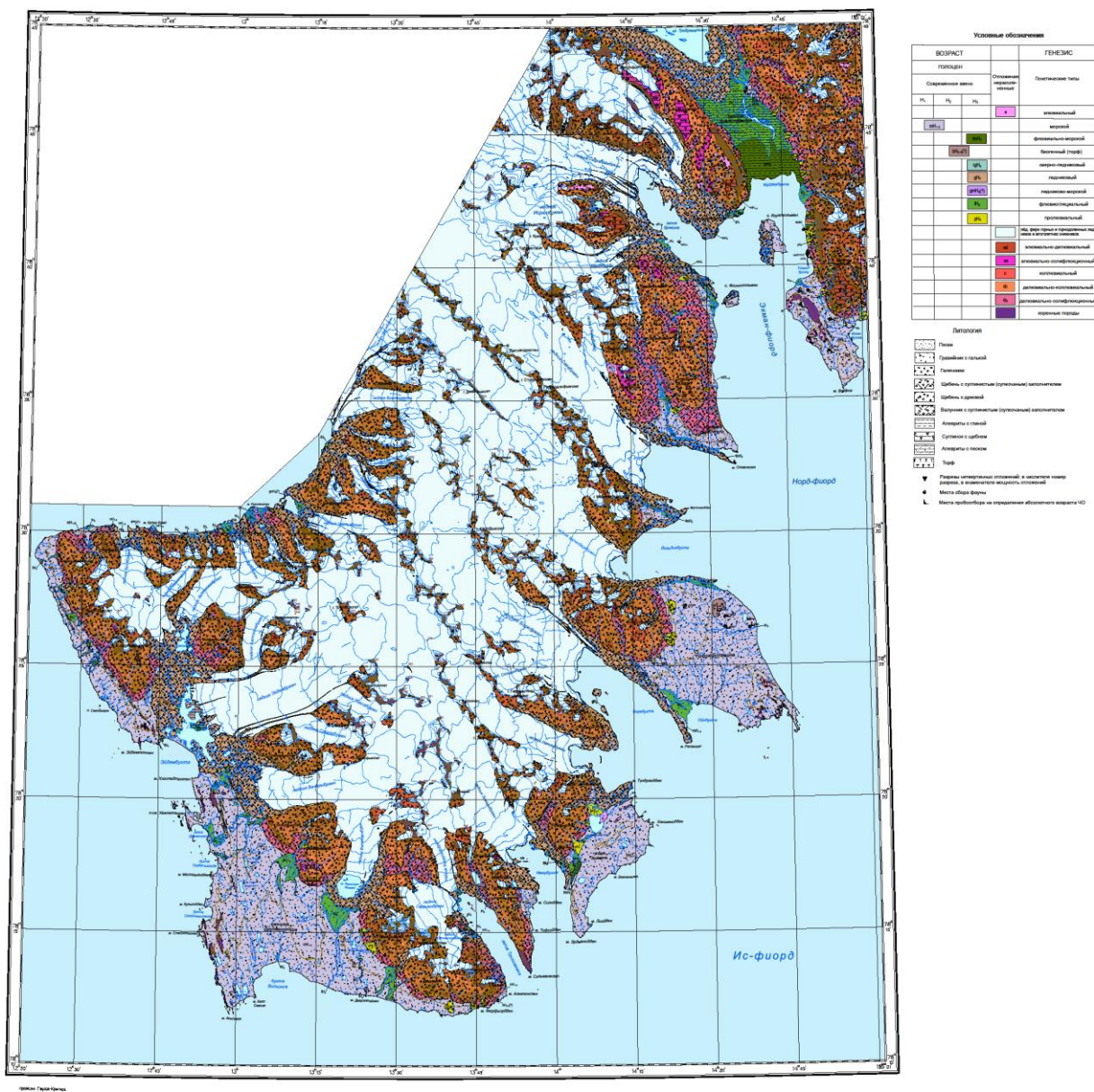


Рисунок 12.2 – Предварительная карта четвертичных отложений южной части Земли Оскара II, масштаб 1:100 000



### Мероприятие 13. Региональные геолого-геоморфологические исследования Шпицбергенского шельфа

Экспедиционные работы, проведенные в 2022 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 на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов в рамках федерального проекта «Геология: возрождение легенды», утвержденного приказом Федерального агентства по недропользованию № 8 от 11.01.2022 г.

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

Пространственные границы объекта: Норвегия, губернаторство Свальбард, архипелаг Шпицберген, (листы Т-36-37) с координатами углов: 78°00' с.ш. 30°00' в.д.; 78°00' с.ш. 39°00' в.д.; 76°00' с.ш. 30°00' в.д.; 76°00' с.ш.; 39°00' в.д. Общая площадь 14900 км<sup>2</sup>.

Полевые работы выполнялись с борта НИС «Профессор Молчанов» (ФГБУ «Северное УГМС», г. Архангельск) в пределах листов Т-32-37, U-32-37 в период 01.06.2022 – 19.06.2022. Полевые работы велись непрерывно, 24 часа в сутки (с поправкой на погодные условия).

За время полевых работ было выполнено 377 пог. км сейсмоакустического профилирования (рис. 13.1).

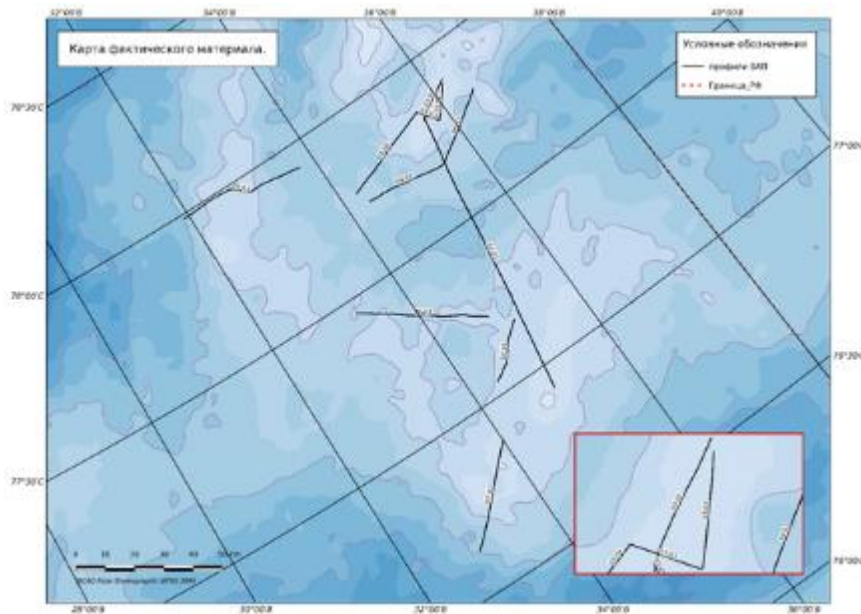


Рисунок 13.1 – Схема расположения сейсмоакустических профилей

Ввиду ряда причин, таких как большие (для используемого образца профилографа) глубины (100 - 300 м), сильные помехи от судна и невозможность буксировать профилограф ниже 10 м от водной поверхности из-за риска протечек морской воды в электронные компоненты системы, получение желаемого результата, а именно детальной акустической съемки с глубиной разреза до 20 м, оказалось не всегда возможным. В результате

тщательного подбора параметров съемки удалось фрагментарно получить запись с высоким разрешением и глубиной акустического разреза.

Кроме того, в районе сделано 42 станции донного пробоотбора дночерпателем (рис. 13.2). Тяговое усилие судовой кормовой лебедки НИС «Профессор Молчанов» не достигает заявляемых значений (2 тонны), а составляет по опыту работ 2022 года не более 200-250 кг. Поэтому отбирать донные образцы боксорером или трубкой невозможно. В связи со сложившимися обстоятельствами, начальником экспедиции было принято решение об увеличении количества станций. В результате вместо 25 было выполнено 42 станции, которые позволят более полно охарактеризовать литологию поверхностных осадков на полигоне исследований. Изучение подповерхностных осадков с помощью грунтовой трубки запланировано на следующий год.

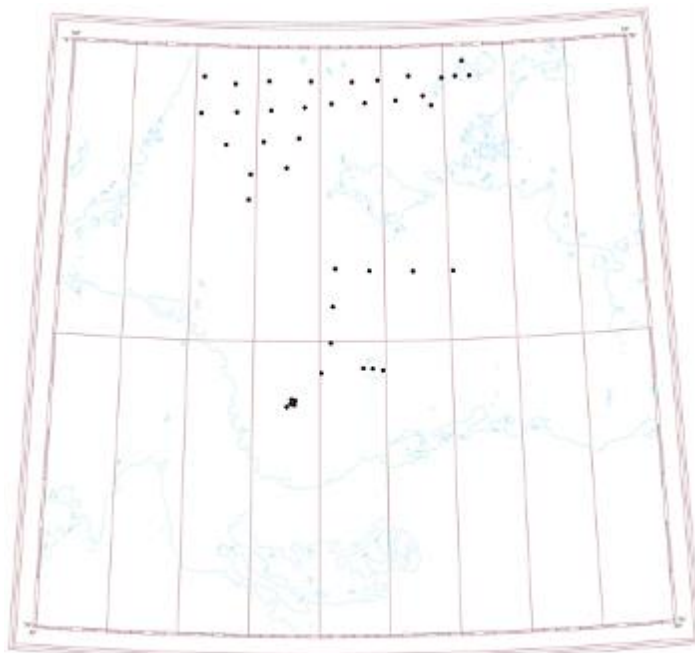


Рисунок 13.2 – Схема расположения станций донного опробования в пределах полигона исследований

#### Методика исследований:

При геологическом картировании шельфа, согласно Инструкции по проведению ГСШ-1000 (Инструкция, 1990), основными методами является сейсмоакустическое профилирование, призванное раскрыть строение верхних горизонтов осадочного чехла, и донный пробоотбор, дающий информацию о вещественном составе картируемых сейсмокомплексов.

Для решения задачи изучения возраста, границ и площадей развития, тектонической позиции стратифицированных и нестратифицированных геологических образований, являющихся объектами картографирования, во время полевых работ выполнялось сейсмоакустическое профилирование с помощью профилографа (рис. 13.2).

На борту судна проводилась первичная экспресс-обработка и контроль качества полученных геофизических данных (навигационные, батиметрические, гидролокационные, сейсмоакустические данные): выбраковки, склейки небольших фрагментов, создание лент записей для экспресс-анализа и конвертации данных из «родного» инструментального формата JSF в более распространенный формат SEG-Y.

Донный пробоотбор выполнялся ковшом VanVin объемом 30 литров (рис. 13.3). Ковш предназначен для отбора проб поверхностного слоя донных отложений. При опускании с открытыми створками на дно водоема за счет собственной тяжести и момента силы, прикладываемой к боковинам ковша при его закрытии, он вдавливаются в грунт боковинами на глубину 25-30 см и отсекает пробу грунта. После закрывания створок проба грунта изолирована от водной среды, поэтому при извлечении из воды грунт не размывается. На

борту судна при раскрытии ковша получается ненарушенный блок донных отложений с глубиной охвата разреза до 30 см. На борту судна из поверхностных и подповерхностных осадков отобраны 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. На борту судна из донных осадков извлекался гад парофазным методом (хэд-спейс).



Рисунок 13.3 – Буксируемый аппарат SB-216S EdgeTech (слева) и работа с ковшом Van Vin Grab (справа)

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

Плейстоцен-голоценовые осадки, вскрытые дночерпателем, представлены в основном алевроито-пелитовыми осадками, иногда с примесью песка. На нескольких станциях донные осадки отсутствовали, и в дночерпатель попадал обильный донно-каменный материал (рис. 13.4), а иногда и железо-марганцевые корки и конкреции.



Рисунок 13.4 – Донный каменный материал (ДКМ) с некоторых станций донного опробования, полученный в рейсе в 2022 году: (а) станция ПМ-2202К, (б) станция ПМ-2204К, (в) станция ПМ-2220К, (г) станция ПМ-2231К

Журнал донных осадков переведен в цифровой формат. Составлены паспорта станций донного опробования, где указывается информация о номере станции, координатах, типе пробоотборника, наименовании судна, дате пробоотбора, интервале пробоотбора;



приводится описание полученного разреза с указанием интервалов отобранных образцов (рис. 13.5).

Литология Литология		Interval Интервал	Colours Цвет	Logging глаза	Description Описание	Samples Образцы
0-2 см		0-2 см			Обводненный, песчаный кварцевит. 10УР 5/4 убедительный биотурбированный. Контакт четкий по клетку.	Гран-мелл - 0-2, 2-5 0Г - 0-5
2-10 см		2-10 см			Песчаный кварцевит 5У 5/1 глаз. Текстура массивная, влажная, мягкая, биотурбированная, структура колончатая (окисленные следы полиметаллов?).	Экзонит - 0-3 МФ - 0-3 ГЛ - 2-4 Изомериты - 0-5

**LEGEND УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

Слабая турбулентность	Средняя турбулентность	Сильная турбулентность	Слабая турбулентность
Средняя турбулентность	Сильная турбулентность	Слабая турбулентность	Средняя турбулентность
Сильная турбулентность	Слабая турбулентность	Средняя турбулентность	Сильная турбулентность

**РЕМАРКИ REMARKS**

Исполнитель: **Ершов А.А.**

Рисунок 13.5 – Пример паспорта станции донного опробования ПМ-2225К

Пробы газа, растворенного в донных осадках, отбирали из разных горизонтов поддонной глубины опробованных осадков. Всего было отобрано 25 образцов газа из донных осадков, выделенных методом хэд-спейс. В образцах газа планируется изучение состава углеводородных (C1-C5) и неуглеводородных газов методами газовой хроматографии, а также изучения состава стабильных изотопов метана в образцах с его повышенным содержанием ( $\leq 1000$  ppm) методом хроматомасс-спектрометрии изотопного соотношения.

Геофизический метод высокочастотного акустического профилирования (далее ВАП) и характеристики конкретного образца профилографа не позволили получить детальную акустическую съемку с глубиной разреза 10÷20 метров ниже донной поверхности. Главные причины этого – большие глубины (100÷300 м.), сильные помехи от судна и невозможность буксировать профилограф ниже 10 м от водной поверхности.

Недостатки аппаратуры были частично компенсированы тщательным подбором параметров съемки в ходе проведения методических работ, что, в конечном счете, привело к формальному выполнению технического задания (377 п. км, в том числе 61 п. км записей с высокими разрешением и глубиной акустического разреза).

Основные причины низкого значения соотношения сигнал/шум (ослабление сигнала в воде и помехи от двигателя) можно легко устранить, буксируя профилограф на больших глубинах (производитель рекомендует 3÷5 метров от дна), но используемый образец аппарата SB-216S опускать ниже 10 метров не рекомендуется. Кроме того, длина троса ручной лебедки позволяла заглубить буксируемый аппарат не более чем на 10 метров. Чем выше скорость судна, тем больше помехи от двигателя и тем ближе к источнику помех находился профилограф. Погодные условия не всегда позволяли двигаться с минимальной скоростью (1 узел). Когда это возможно, качественный сейсмоакустический разрез получался на глубинах моря до 150 метров (рис. 13.6).

Теоретически, проникающая способность сигнала зависит от его частоты. Чем меньше частота, тем ниже разрешение и больше глубина проникновения. Наилучший результат по глубине разреза был получен на частотах 2 15 кГц, а наихудший – на частотах 1 10 кГц. Причина такой обратной зависимости, видимо, заключается в большей ширине луча на меньших частотах (2 15 кГц: 17°, 2 12 кГц: 20°, 2 10 кГц: 24°). Что в сочетании с большим

расстоянием от профилографа до донной поверхности приводит к снижению качества записи.

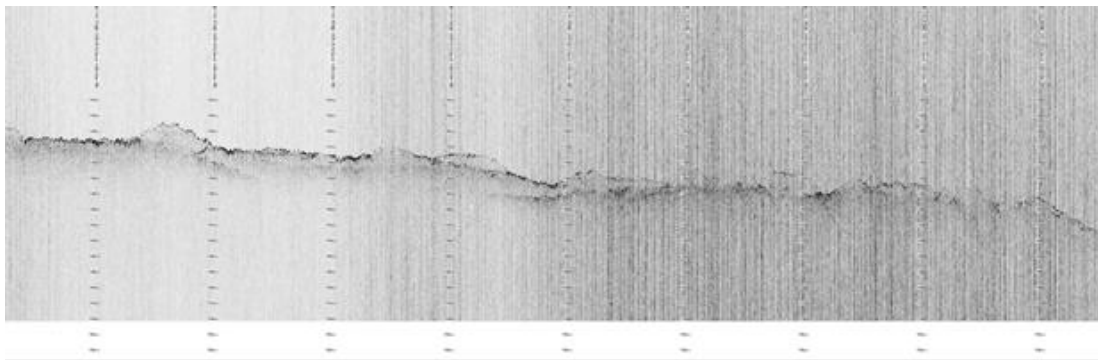


Рисунок 13.6 – Фрагмент записи p7-R04, демонстрирующий влияние скорости судна на качество сейсмограммы (2 узла в начале фрагмента и 3,5 узла в конце фрагмента)

Второй параметр съемки, оптимальное значение которого неочевидно и требует практической проверки, это частота посылки возбуждающего сигнала. При небольшом промежутке времени между двумя сигналами блок управления не успевает накопить достаточное количество энергии для формирования импульса максимальной мощности. Снижение частоты следования импульсов должно приводить к увеличению глубинности метода за счет ухудшения разрешения по горизонтали. Оптимальное значение этого параметра – 4 Гц, но для глубин более 150 метров частоту следования импульсов приходится снижать, так как времени между возбуждением не хватало, чтобы записать отклик.

Полевая обработка первичных сейсмоакустических данных заключалась в контроле качества полученных данных, выбраковке, склейке небольших фрагментов, создании лент записей для экспресс-анализа и конвертации данных из «родного» инструментального формата JSF в более распространенный формат SEG-Y. Все перечисленные операции могут быть выполнены «легкими» программными средствами профилографа (Discover-Sub-bottom).

Таким образом, в результате морских геологосъемочных работ, проведенных ФГБУ ВНИИОкеангеология в юго-восточном углу планшета картирования (Баренцево море, пришпицбергенская часть) с борта НИС «Профессор Молчанов», 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.

Результаты полевых работ 2022 года на суше и в акватории Шпицбергена будут представлены на 9-ой Ежегодной международной конференции «Рельеф и четвертичные образования Арктики, субарктики и Северо-Запада России» 15-16 декабря 2022 г., ААНИИ, г. Санкт-Петербург (организаторы ААНИИ и ВНИИОкеангеология).

Литература:

Инструкция по организации и производству мелкомасштабной геологической съемки шельфа и составлению Государственной геологической карты шельфа СССР масштаба 1: 1 000 000. ПГО "Севморгеология". Л. 1990. 98 с.

Мероприятие 13 полностью выполнено.



**Мероприятия организаций Минобрнауки России**  
**Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)**

**Мероприятие 14. 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 2022 г.:

1. Для количественной оценки реакции оледенения Западной Арктики на современные климатические условия проведено измерение современной поверхности на ледниках: Альдегонда, Западный и Восточный Гренфьорд, Вёринг, Фритьоф, Тавле и Эсмарк. Установлено, что все обследованные ледники в 2021-2022 гг. продолжают деградировать. Высота границы питания поднялась в этом сезоне выше 500 м. Предварительные данные показывают, что таяние на ледниках летом 2022 г. оказалось существенно выше, чем в предыдущие годы.

2. Измерены величины сезонно-талого слоя в сезон 2022 г. Получены данные об изменении температуры и тепловых потоках в грунте от поверхности до 70 см в точках с разной абсолютной высотой и различным моховым покровом ежечасно – с августа 2021 г. по август 2022 г. Выполнена оценка влияния погодных условий на теплоперенос в системе атмосфера – поверхностные покровы – грунт на разных высотных уровнях.

3. Проведена полевая оценка нетто-баланса биогенных парниковых газов (метан, закись азота) и CO<sub>2</sub>-баланса на поверхности отступающего ледника Альдегонда и в его перигляциальной зоне. На основе этих данных будут выявлены значимые факторы нетто-баланса и будет проведено моделирование основных потоков парниковых газов и углерода. Проведено 65 измерений на леднике и в его перигляциальной зоне, 60 измерений на площадках многолетнего мониторинга, отобрано 20 газовых проб.

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. В результате дендрохронологических работ отобран 151 образец плавника, принесенного арктическими морскими течениями из материковых районов северного полушария и совместно с археологами из Института археологии РАН отобраны образцы археологической древесины, возможно, русских промысловых судов XVII – XVIII веков, а также остатков поморских приметных крестов и элементов конструкций становищ.

6. Выполнены измерения площади, высотного положения, максимальной глубины и минерализации новых приледниковых озер на моренах ледника Альдегонда и в долине Брюде. Всего было измерено 20 новых озер, образовавшихся после 1938 г.

7. Выбраны модельные участки для исследования состава фауны птиц, характера пребывания видов, их численности и пространственного размещения в естественной природной среде и в антропогенно измененных местообитаниях в районе залива Гренфьорда, включая п. Баренцбург. Установлена прогрессирующая тенденция активного использования морскими птицами (бургомистр, чистик, моевка) и воробьиными (пуночка) жилых и заброшенных зданий поселка для устройства гнезд.

По результатам исследований опубликованы следующие работы:

Ромашова К.В., Чернов Р.А. О формировании новых приледниковых озёр в бассейне залива Грэнфьорд (Шпицберген) в 1938–2010 гг. // Лёд и Снег, 2022. 62(2). С. 193-202. DOI: 10.31857/S2076673422020125

Чернов Р.А., Ромашова К.В. Современное состояние приледниковых озер архипелага Шпицберген // Криосфера Земли, 2022. 26(1). С. 36-45. DOI: 10.15372/KZ20220104

Мавлюдов Б.Р. Внутренняя дренажная система ледника Альдегонда, Шпицберген, по данным спелеологических исследований // Проблемы Арктики и Антарктики, 2022. 68(3). С. 278-307. DOI: 10.30758/0555-2648-2022-68-3-278-307

Поляков В.И., Абакумов Е.В., Лахтионова А.А., Мавлюдов Б.Р. Анализ полидисперсности органоминеральных компонентов криоконита на ледниковой поверхности архипелага Шпицберген // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа, 2022. 2 (115). С. 58-77. DOI: 10.26110/ARCTIC.2022.115.2.004

Мачерет Ю.Я., Сосновский А.В., Глазовский А.Ф. Диэлектрические свойства почв и грунтов и оценка их гидротермического состояния под снежным покровом по данным радиозондирования // Лёд и Снег, 2022. 62(2). С. 203-216. DOI: 10.31857/S2076673422020126

Черняков Г.А., Чернов Р.А. Влияние льдообразования в трещинах на поле температур в холодном слое ледника // Лёд и Снег. 2022 (в печати)

Р.А. Чернов. Исследование характеристик поверхностного стока ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) // Лёд и Снег. 2022 (в печати)

Мероприятие 14 выполнено полностью.

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

### Мероприятие 15. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген

Фундаментальные научные и прикладные исследования на архипелаге Шпицберген в 2022 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 2022 году (мероприятия 9 и 15).

В рамках комплексных экосистемных исследований в 2022 гг. 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 Стурфьорд 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 Гренфьорд в период времени с начала XX века по наше время, выявление изменений в темпах седиментации. Изучение особенностей осадконакопления в заливе Гренфьорд на границе река-море (река Грендален, река Гренфьорд).
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.

Обзор научных работ, проведенных ММБИ в августе-сентябре и запланированных в декабре 2022 гг. в рамках каждого блока, представлен в настоящем материале.

Экспедиционные работы в районе архипелага Шпицберген в 2022 г. выполнялись по двум основным направлениям:

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

Полевые работы ММБИ в районе пос. Баренцбург прошли в августе-сентябре 2022 г. Кроме этого, запланированы морские экспедиционные исследования в районе архипелага Шпицберген на НИС «Дальние Зеленцы» в декабре 2022 г.

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

В августе-сентябре 2022 г. полевые работы на архипелаге Шпицберген проводились тремя сотрудниками ММБИ РАН, в том числе одним молодым ученым. Основными целями исследований были следующие:

– оценить условия формирования современного гидрологического режима в заливе Грэнфьорд; уточнить вклад биогенного стока рек на гидрохимические параметры морской воды; определить влияние гидрохимических параметров на фитопланктонное сообщество в районе исследований;

– определить особенности седиментации в заливе в зоне смешения пресных и морских вод на примере модельного участка – района устьевого взморья реки Грэндален. Реконструировать скорости осадконакопления донных отложений в заливе в период с середины прошлого века, когда произошли изменения среднегодовой температуры воздуха на архипелаге, по настоящее время.

В 2022 г. выполнены задачи:

– Комплексный анализ проб морской воды, оценка гидрологических и гидрохимических параметров морской среды в районе исследования; определение концентраций биогенных элементов во впадающих реках;

– Определение гранулометрического состава осадочных слоев кернов донных отложений, отобранных в точках на разном удалении от устья реки Грэндален;

– 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 100-120 лет);

– Определение концентраций тяжелых металлов Fe, Cu, Pb, Co, Ni, Al, As, Mn, V и Hg, а также антропогенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) во всех осадочных слоях кернов донных отложений, выявление периодов максимального накопления химических элементов и радиоактивных изотопов, которые позволят уточнить возраст осадков;

– Расчет адсорбционных свойств донных осадков и определение коэффициентов накопления химических элементов и радиоактивных изотопов по отношению их содержания в воде к концентрации в поверхностном слое донных отложений (0-3 см). Полученные коэффициенты позволят восстановить уровни загрязнения морской воды в течение последних 100-120 лет;

– Оценка содержания нефтепродуктов и антропогенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов в среде (вода, донные отложения) и водорослях залива Грэнфьорд (лаборатория альгологии).

Краткие итоги экспедиционных работ и лабораторных исследований:

В районе устьевого взморья реки Грэндален выполнены СТД-зондирования водной толщи. В реках Альдегонда, Бретьерна, Брюде, Васстак, Грэнфьорд, Конгресс и в районе устьевого взморья реки Грэндален отобраны пробы воды для последующего химического анализа. В районе устьевого взморья реки Грэндален (залив Грэнфьорд) отобраны пробы донных отложений для последующего гранулометрического, химического и радиоизотопного анализа. Отобраны пробы водорослей в районе реки Альдегонда и м. Хееродден для оценки накопления в них нефтепродуктов и антропогенных радионуклидов. Точки отбора природных образцов показаны на рисунке 15.1а.

В лабораториях в п. Баренцбург проведены работы по подготовке образцов к дальнейшим исследованиям и транспортировке, а также в сотрудничестве с ААНИИ в химико-аналитической лаборатории в п. Баренцбург выполнены химические исследования содержания биогенных компонентов в пробах природной воды и анализ тяжелых металлов в образцах донных отложений. Образцы водорослей законсервированы.

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

Экспедиция на НИС «Дальние Зеленцы» запланирована на декабрь 2022 г. (рис. 15.1б). После экспедиции будет уточнен объем морских научных работ в территориальных водах Шпицбергена. В экспедиции будут принимать участие сотрудники ММБИ и Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ).

Отправлен запрос на разрешение норвежских властей для работы судна в территориальных водах архипелага и заходы в порт Баренцбурга. Экспедиционные исследования будут носить

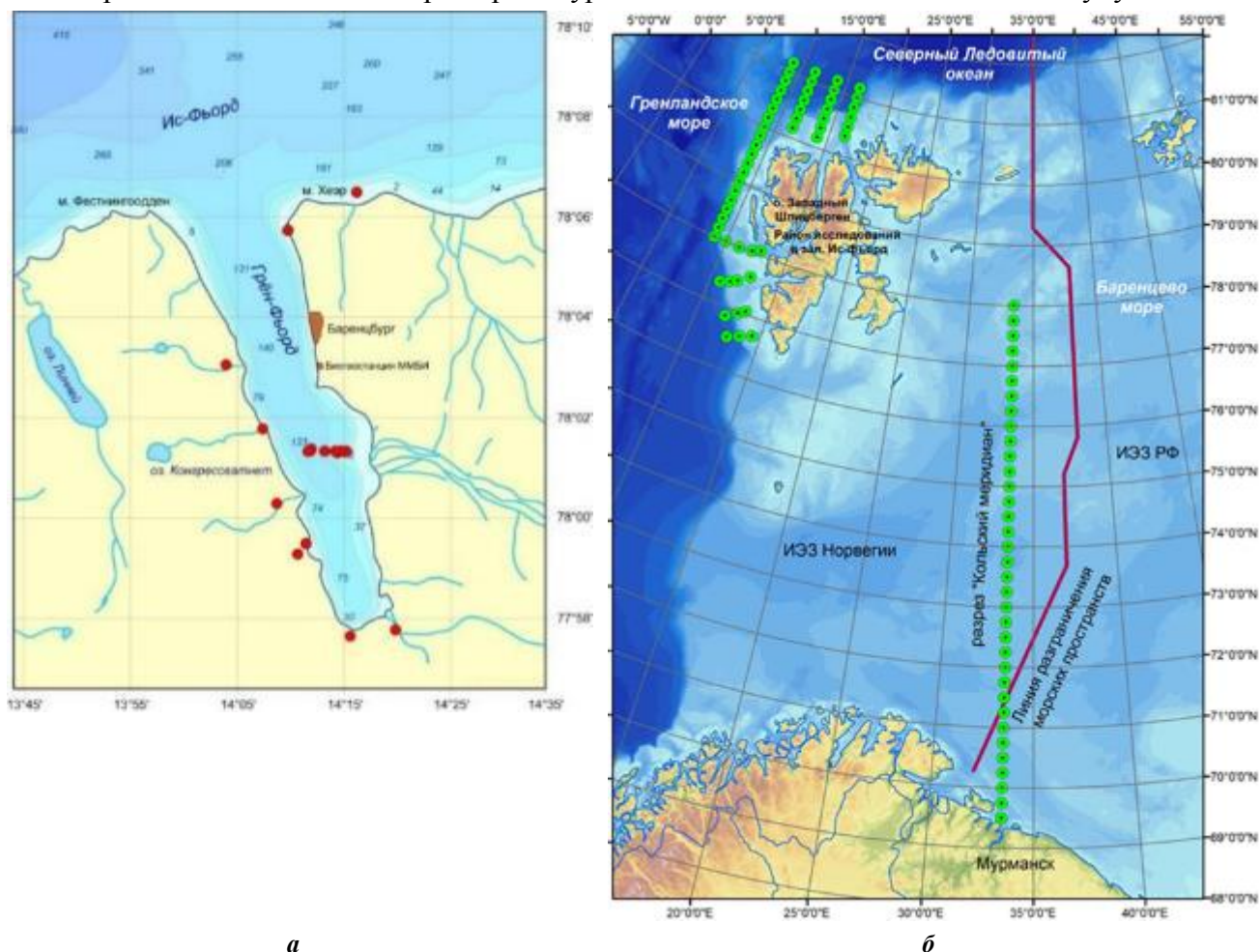


Рисунок 15.1 – (а) Схема отбора образцов воды, донных отложений и водорослей в районе залива Грэнфьорд в августе 2022 г.; (б) Станции и маршрут экспедиционных исследований ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы», запланированных на декабрь 2022 г.

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, для изучения радиоактивного загрязнения и гранулометрического состава донного осадка. Будет производиться сетной лов зоопланктона.

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

В течение января-октября 2022 г. проводилась обработка полевого материала и подготовка публикаций в лабораториях ММБИ в Мурманске

Сотрудники ММБИ представили результаты исследований на конференциях:

Макаревич П.Р. Океанографические и биотические процессы в Баренцевом, Карском и Гренландском морях в условиях современных климатических перемен и Экосистемы фьордов и заливов западной части архипелага Шпицберген в зимний период. Конференция: «Итоги экспедиционных исследований в 2021 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген» г. Москва, 14–15.03.2022

Носкович А.Э. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) во фьордах Западного Шпицбергена. LX юбилейная конференция молодых ученых Мурманского морского биологического института РАН «Исследования экосистем морей Арктики», г. Мурманск, 30.03.2022

Усягина И.С., Мещеряков Н.И., Ильин Г.В. Результаты датировки морских донных отложений во фьордах Западного Шпицбергена по  $^{210}\text{Pb}$ . Вторая Всероссийская (с международным участием) научная конференция «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений», г. Москва, 19–22.04.2022

По результатам исследований на архипелаге Шпицберген опубликованы статьи и материалы:

Lebedeva N.V., Usyagina I.S., Valuyskaya D.A. Radionuclides in the soil of typical arctic tundra and beneath a bird colony near the Russian village of Barentsburg (Svalbard Archipelago) // Atomic Energy, 2022. V131 (4), p. 219–224. DOI: 10.1007/s10512-022-00870-8

Metelkova L., Zhakovskaya Z., Kukhareva G., Voskoboinikov G., Zimina O. Organotin compounds (OTs) in surface sediments, bivalves and algae from the Russian coast of the Barents Sea (Kola Peninsula) and the Fram Strait (Svalbard Archipelago) // Environmental Science and Pollution Research, 2022. V29, p. 34659–34669. DOI: 10.1007/s11356-021-18091-0

Носкович А.Э. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcaea* (Gmelin, 1791) из фьордов Западного Шпицбергена // Труды Кольского научного центра. Океанология, 2022. Вып. 10. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 4/2022 (13), с. 67–78. DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.007

Усягина И.С., Мещеряков Н.И., Ильин Г.В. Результаты датирования морских донных отложений во фьордах Западного Шпицбергена по  $^{210}\text{Pb}$  // Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений: Тез. докл. Второй всероссийской научной конференции (с международным участием) (г. Москва, 19–22 апреля 2022 г.). М.: ИГ РАН, 2022. С. 82.

Носкович А.Э. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcaea* (Gmelin, 1791) во фьордах западного Шпицбергена // Исследования экосистем морей Арктики: Программа и тезисы XL юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института; [отв. ред. О.П. Калинка]; Мурманский морской биологический институт РАН. Мурманск: ММБИ РАН, 2022. С. 23–24.

Човган О.В. Состав и структура микропланктона фрамовской ветви Норвежского течения // Труды Кольского научного центра. Океанология. Вып. 10. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2022. 4/2022 (13). С. 104–118. DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.011

Мероприятие 15 будет выполнено полностью.



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

**Мероприятие 16. 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:

1. 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 интравидовом уровнях (генетический и эволюционный аспекты); выявление климатогенных и антропогенных преобразований фототрофной биоты.

2. Типология (синтаксономия) ценологических комплексов, растительного покрова и экосистем с учетом зональной и подзональной структуры растительности; инвентаризация и мониторинг биоценологических комплексов; выявление структуры фитомассы сообществ.

3. Изучение анатомо-морфологических показателей доминирующих видов сосудистых растений, эколого-физиологические особенности растений и лишайников в сообществах арктических тундр. Анализ содержания фотосинтетических пигментов автотрофных организмов, выявление дифференциации и скорости первичной продукции в сообществах арктических тундр.

4. Изучение особенностей морфологического сложения и свойств почв и почвенного покрова Шпицбергена; выявление особенностей изменения химического состава растительных остатков и скорости высвобождения химических элементов, включая углерод и азот из растительных остатков в процессе их трансформации в почве; выявление влияния исходного элементного состава вида растений/материала на процессы их трансформации в почве; выявление влияния локальных факторов (ландшафтного положения места, температуры и влажности почв) на процессы трансформации.

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. Основные объекты исследований – фототрофные представители биоты: цианопрокариоты, лишайники, печеночники, мхи, сосудистые растения; растительные ассоциации; почвы.

При проведении исследований применялись следующие методы:

Для классификации растительности использованы геоботанические описания, которые выполняли на пробных площадях 10×10 м, с привязкой к географическим координатам, с использованием метода Браун-Бланке (Westhoff, Maarel, 1973). Табличная обработка проводилась с выделением групп диагностических видов и типов растительных сообществ. Также были использованы литературные данные о растительности гольцовых пустынь Шпицбергена (Euroala, 1968) и Кольского п-ова (Куваев, 1985).

Собранные в предыдущие сезоны геоботанические описания верхнего пояса растительности гор Шпицбергена объединены с описаниями из публикаций о Шпицбергене

(Euroola, 1968, Nadač, 1946, 1989, Möller, 2000) и внесены в таблицы. Всего собрано 98 описаний. Продолжается определение образцов мохообразных и лишайников.

Для сравнения с гольцовыми пустынями Мурманской области были использованы 96 геоботанических описаний сообществ гольцовых пустынь в центральной, северной и южной части Хибинских гор и в центральной части Ловозерского массива (Мурманская обл., северо-таежная зона) на высотах от 970 до 1200 м и с привязкой к географическим координатам.

Названия сосудистых растений приведены в соответствии с списком С.К. Черепанова (2007), мхов – М.С. Игнатова и О. М. Афониной (1992), лишайников – Р. Сантессона с соавт. (Santesson et al., 2004), синтаксоны приведены в соответствии со сводкой Л. Муцины с соавт. (Mucina et al., 2016).

Для идентификации лишайников использованы бинокулярные стереоскопические микроскопы и микроскопы проходящего света МБС-10, Zeiss NU 2, Zeiss Primo Star. Определение лишайников произведено с учетом морфолого-анатомических и хемотаксономических признаков. Кроме стандартного набора реактивов (К, С, КС, КI, HNO<sub>3</sub>), использовалась ультрафиолетовая лампа длинноволнового излучения (UV, длина волны 350 нм). Для получения данных по важным хемотаксономическим признакам, изучения метаболитного состава и идентификации видов использовался метод высокоэффективной тонкослойной хроматографии (High-Performance Thin Layer Chromatography, HPTLC) на пластинках. HPTLC, который 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.

Морфологическое изучение печеночников основано на идентификации образцов, собранных в 2012 году на Северо-Восточной Земле в Дувефьорде (200 образцов), а также в бухте Колсбей (около 100 образцов). Образцы идентифицировались с использованием бинокуляра 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). Для публикации подготовлены схематические карты точек сбора в 26 пунктах, объединенных в пять групп.

Ряд таксонов печеночников и цианопрокариот был исследован молекулярно-генетическими методами с целью уточнения их идентификации, определения уровня внутривидовой дифференциации и решения вопросов таксономии и классификации. Выделение ДНК осуществлялось с помощью набора реактивов DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Germany), подготовка матриц к секвенированию произведена с помощью набора реактивов Cleanup Mini Kit (Evrogen, 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 Байеса 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://kpubg.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.

Эксперименты по разложению растительных остатков в серогумусовых почвах проводились в период с 2012 по 2019 гг. В качестве материала для эксперимента использовали растения овса (*Avena sativa*), листья ивки полярной (*Salix polaris*), мхи с преобладанием санионии (*Sanionia uncinata*) и тест материал целлюлоза. Воздушно сухие растения в капроновых мешочках помещали в нижнюю часть верхнего органогенного горизонта О почв. Стационарные площадки располагались на разных абсолютных отметках горного хребта Гренфьорд в окрестностях п. Баренцбург. В исходных и смешанных (из 3-4 индивидуальных) экспонированных образцах для каждого вида материала, срока отбора и площадки определяли содержание органического углерода по Тюрину и органический азот по Кьельдалю. Дополнительно на стационарных площадках велись наблюдения за температурой и влажностью почв.

Основные полученные результаты и научные выводы:

#### *Изучение растительного покрова*

В горах Шпицбергена гольцовые пустыни распространены выше границы сомкнутой тундровой растительности и представляют из себя небольшие многовидовые подушки, криптогамные корочки и отдельные дерновинки сосудистых растений (кустарничков, злаков, травянистых многолетников) на щебне, плитняке и дресве, на высотах от 150–200 м до линии снегов. Гольцовые пустыни в горах Мурманской области представляют собой пояс растительности, расположенный на самых высоких позициях рельефа, на вершинах и плато, на мелкозем, щебне, между каменными глыбами. Растительность занимает от 5 до 25% общей площади поверхности на предвершинных ступенях и защищённых участках склона и от 1 до 10% на вершинах и плато.

В результате табличной обработки и эколого-флористической классификации сообщества гольцовых пустынь были отнесены к 6 союзам, расположенным на градиенте от сырых приснеговых до сухих бесснежных местообитаний (*Andraeaion petrophilae* Smarda 1944; *Rhizocarpion alpicolae* Frey ex Klement 1955; *Cassiopo-Salicion herbaceae* Nordh. 1943, *Luzulion arcuatae* (Elvebakk 1994) Danilova et Koroleva stat nov., *Loiseleurio-Arctostaphyilion Kalliola* ex Nordh. 1943, *Drepanocladion exannulati* Krajina 1933). Все единицы встречаются в

гольцовых пустынях как гор Мурманской обл., так и на Шпицбергене. Характерным для гольцовых пустынь является союз *Luzulion arcuatae*, который в горах Мурманской обл. и в Фенноскандии в целом располагается на южном пределе распространения.

В типологии местообитаний EUNIS-2017 гольцовые пустыни Шпицбергена и гор Кольского п-ова относятся к группе U51 (Fjell field, which occurs on very exposed summits, ridges and slopes of mountains in the boreal and arctic zones, гольцовые пустыни на открытых вершинах, гребнях и склонах гор в бореальном и арктическом регионах). Все типы местообитаний подгруппы существуют в суровых погодных условиях с маломощным снежным покровом, коротким вегетационным периодом, при низкой продуктивности фитоценозов и на каменистых бедных питательными веществами почвах. Надо отметить, что в подгруппу U52 входят Polar deserts (полярные пустыни).

Дальнейшая иерархия типов и подтипов местообитаний выстраивается с учетом разных критериев, среди которых географическое расположение и состав субстрата. Например, гольцовые пустыни Хибинских и Ловозерских гор могут быть расположены в подгруппе U511 Fennoscandian base-rich and siliceous fjellfields (гольцовые пустыни на щелочных, основных и субстратах Фенноскандии). В их числе предложены следующие подтипы местообитаний (habitat types) на базе изученной синтаксономии:

U5111. Crustose-lichens rocks habitat type on eluvia of base-rich, alkaline and siliceous rocks / Эпилитные группировки лишайников и мохообразных на элювии основных, щелочных и кремнийсодержащих горных пород (community type / тип сообществ *Rhizocarpon geographicum*).

U5112. Racomitrium-and-lichens-dominated habitat type on rubble and stony mountain plateaus and peaks / ракомитриево-лишайниковые сообщества на щебнистых и каменистых плато и вершинах (ass. / асс. *Racomitrio lanuginosi–Flavocetrarietum nivalis*, *Cetrariello delisei–Racomitrietum lanuginosi*).

U5113. The sedges-and dwarf-shrubs-dominated turfs and cushions on gravelly and rocky slopes / Злаково- и осоково-лишайниковые сообщества на щебнистых и каменистых склонах (ass. / асс. *Racomitrio lanuginosi–Dryadetum octopetalae*, *Flavocetrario nivalis–Caricetum bigelowii*).

U5114. Biological soil crusts (BSCs) habitat type on fine-earth and gravelly polygons edges / Мелкотравно-лишайниково-моховые и печеночниковые сообщества на мелкоземистых и щебнистых окрайках полигонов (ass. / асс. *Anthelio–Luzuletum arcuatae*, *Cetrariello delisei–Harrimanelletum hypnoidis*).

U5115. Late snow bed moss vegetation / Моховые сообщества у долго не тающих снежников (ass. / асс. *Andreaeo rupestri–Racomitrietum microcarpi*).

U5116. Grass-and-hypnum dominated mires without or with a thin peat / Травяно-гипновые болота без торфа или с малым его количеством (ass. / асс. *Drepanoclado–Ranunculetum hyperborei* Hadač 1989).

#### *Изучение биоразнообразия фототрофной биоты*

При анализе видового состава флор цианопрокариот или характера распространения их в ландшафтах Шпицбергена очевидна приуроченность отдельных групп видов к типам местообитаний (биотопам), а отдельных видов – к микроместообитаниям.

Генеральным фактором, определяющим развитие цианопрокариот, следует считать обводненность. В наземных полярных экосистемах для многих растений требования к режиму увлажнения являются более значимыми, чем минеральное питание или сумма эффективных температур (Svoboda, Henry 1987; Kennedy 1993; Bliss et al., 1994; Elster, 2002). Распределение водорослей, их численность и видовое разнообразие варьируют в зависимости от характеристик среды обитания (микросреды). В местах с устойчивым запасом влаги и питательных веществ обилие и видовое разнообразие цианопрокариот достаточно высокое. По мере ухудшения природных условий – изменений, связанных с дегидратацией, численность и разнообразие видов снижается.

Для континентальных (не морских) условий можно выделить две больших группы местообитаний: водные и наземные. Последнюю группу, в свою очередь, можно разделить на две подгруппы субаэрофитные (амфибиальные) местообитания и аэрофитные. Вариабельность полярных местообитаний Шпицбергена также можно представить в виде градиента увлажнения от типично водных через субаэрофитные до сухих наземных. Эти группы местообитаний различаются по периодичности, амплитуде и регулярности увлажнения. Естественным откликом на дифференцировку местообитаний являются различные адаптивные стратегии обитающих в них видов и сам видовой состав.

Видовое богатство и частота встречаемости в разных типах экотопов сильно варьирует. Наибольшее число видов выявлено в сообществах почвенных корочек (111), на скалах (105), в постоянных медленных ручьях (105), на просачиваниях (98) (табл. 16.1).

Почти такое же распределение наблюдается и при сравнении числа находок, но с явным доминированием скальных выходов – они являются самым «популярным» типом местообитаний. С одной стороны, это отражает разнообразие и частоту встречаемости данных местообитаний, с другой – наиболее ярко подчеркивает экологические предпочтения видов цианопрокариот во флоре Шпицбергена и во всей высокоширотной Арктике в целом. С продвижением на юг из-за роста конкуренции в плакорных типах наземных местообитаний, влажные скалы выходят на первое место среди экотопов, определяющих богатство видовой состава цианопрокариот.

Таблица 16.1. Видовое богатство и число находок цианопрокариот в различных экотопах Шпицбергена

№	Местообитание	Число видов	Общее число находок
А) Водные			
А1) Континентальные водные бассейны			
A1-1.1)	Планктон озер	27	82
A1-1.2)	Бентосные сообщества	32	57
A1-1.3)	Тихопланктонные сообщества	13	14
A1-2.1)	Термальные водотоки	7	17
A1-2.2)	Постоянные быстрые турбулентные ручьи и водопады	42	84
A1-2.3)	Постоянные медленные ручьи	105	362
A1-2.4)	Реки	7	7
В) Наземные			
Ва) Субаэрофитные			
Va1-1)	Приморские дюны и песчаные побережья	29	84
Va1-2)	Приморские галечниковые пляжи	3	4
Va1-3)	Скалы, скальные карнизы и берега	7	11
Va2)	Лужи, эфемерные водоемы	95	211
Va3-1)	Галечниковые и песчаные берега пресноводных озер	59	155
Va3-2)	Галечниковые и песчаные берега ручьев	47	114
Va3-3)	Галечниковые и песчаные берега рек	7	9
Va4)	Минеротрофные болота	24	31
Va5)	Насыщенные водой грунты в условиях вечной мерзлоты – просачивания.	98	295
Vb) Аэрофитные			
Vb1)	Тундровые ценозы	66	134
Vb2)	Луговины	6	8
Vb3)	Эвтрофные сообщества под птичьими базарами	19	53
Vb4-1)	Биологические почвенные корки	111	319
Vb4-2)	Небольшие пещерки	9	10
Vb4-3)	Осыпи	5	5
Vb4-4)	Скалы, каменные блоки и обнажения	105	645
Vb4-5)	Валуны и останцы на плакоре	9	10
Vb5-1)	Каменистый моренный материал, криоконит	16	16
Vb5-2)	Мерзлотные формы рельефа	26	39

Сходство видового состава цианопрокариот различных местообитаний невелико и не превышает 50%. Группу, наиболее схожих между собой типов, формируют флоры скальных стен и просачиваний (55 общих видов), к ним примыкает флора литорали озер и флора медленных ручьев. По всей видимости, пластичные виды (например, *Aphanocapsa grevillei*, *A. rivularis*, *Calothrix parietina*, *Chroococcus cohaerens*, *C. turgidus*, *C. varius*, *Dichothrix gypsophila*, *Tolypothrix tenuis* и др.) нуждаются в относительно постоянном увлажнении и наличии твердого субстрата.

Наибольшее разнообразие и заметное участие в формировании растительного покрова цианопрокариоты играют в экотопах «непривлекательных» для других групп организмов, большие площади обрастаний они формируют на влажных скальных стенках, оголенных грунтах, перенасыщенных водой почвах, а также на дне и берегах мелких хорошо прогреваемых медленных ручьев.

В более сухих аэрофитных местообитаниях цианопрокариоты формируют биологические почвенные корки вместе с грибами, лишайниками и мохообразными. В силу переувлажнения из-за обильного снеготаяния и сезонного оттаивания слоя мерзлоты такие сообщества на Шпицбергене не испытывают лимитирования по фактору увлажнения и поэтому на архипелаге встречается много видов с субаэрофитными предпочтениями.

С продвижением на юг почвенные корки вытесняются высшими растениями и могут формироваться только на первичных грунтах, которые характерны для высокогорий, мерзлотных нарушений, локальных поднятий в рельефе. Во всех случаях наблюдается смена режима увлажнения на неблагоприятный для цианопрокариот. Перманентная нехватка влаги лимитирует развитие в верхнем почвенном слое большинства видов, остаются только очень выносливые к высушиванию (*Nostoc commune*, *Microcoleus vaginatus*, *Stigonema* spp.). Аналогично в сообществах просачиваний на широтном градиенте отмечается вытеснение цианопрокариот с продвижением на юг. Возросший пресс конкуренции «выдавливает» цианопрокариоты, для которых остаются только типично водные экотопы и скальные сообщества.

Изучены штаммы рода *Phormidesmis*, выделенные с территории Шпицбергена. Представители этого рода характеризуются простыми нитчатыми формами и чрезвычайно характерны для наземных биотопов. Всего проанализировано 23 штамма цианобактерий из различных местообитаний арктической и умеренной зоны из 10 местонахождений с целью характеристики их морфологического и генотипического разнообразия. Морфологическое сравнение выделенных штаммов с известными видами, а также филогенетический анализ выявил, что они принадлежат к трем видам рода *Phormidesmis* (*P. nigrescens*, *P. pristley* и *P. communis*). Проведена формальная валидизация вида *P. communis*.

Изучены коллекции лишайников, собранные на о. Северо-Восточная Земля (район Kinnvika bay) в 2010 г., а также данные литературы. Подготовлен список лишайников для указанного района, включающий 164 вида. 55 видов являются новыми для о. Северо-Восточная Земля. Общий список лишайников для о. Северо-Восточная Земля составляет к настоящему времени 392 вида, в том числе 235 видов было известно по данным литературы до начала наших исследований, 157 видов выявлено нами в ходе проводимых работ. Обнаружены редкие в Арктике виды, в том числе *Gyalecta friesii* Flot. ex Körb. и *Placidiopsis pseudocinerea* Breuss.

Завершено определение коллекции, собранной в 2012 году на побережье Сэтербухты в Дувэфьорде (Земля Орвина, Северо-Восточная Земля). На основе определения 200 образцов впервые составлен аннотированный список печеночников, насчитывающий 32 вида, что составляет около 50% видов печеночников, известных для о. Северо-Восточная Земля. Это вторая изученная локальная флора на этом острове. Аннотации к видам включают распространение, описание местообитаний, и некоторые морфологические характеристики изученных образцов. *Cephalozia bicuspidata*, *Cephalozia divaricata*, *Lophozia savicziae*, *L. wenzelii* var. *lapponica* приводятся для Северо-Восточной Земли



впервые. Сравнение с ранее изученной локальной флорой Северо-Восточной Земли, расположенной в Мэрчисон фьорде, показывает значительные различия этих двух флор, обусловленные в основном различиями подстилающих пород – карбонатных в Мэрчисон фьорде и гранитов, и гнейсов в Сэтербухте. Обнаружено, что два вида, рассматриваемые как «угрожаемые» в Европе (*Marsupella arctica* and *Scapania spitsbergensis*) встречаются на изученной территории спорадически и местами могут быть обильны (Konstantinova & Savchenko, 2020).

Сделан устный доклад (ВКС) на Десятой Международной конференции Европейского комитета по охране мохообразных (Загреб, 24-27.05.22) о распространении и таксономии видов, описанных Шустером и встречающихся в Европе. В том числе на основе собранных нами на Шпицбергене коллекций составлены карты распространения, включая Шпицберген и рассмотрена таксономия двух видов, представленных на архипелаге: *Lophoziaopsis pellucida* (R.M.Schust.) Konstant. et Vilnet, считающегося уязвимым в Европе и одного - *Lophoziaopsis polaris* (R.M.Schust.) Konstant. et Vilnet нередкого на севере Европы, причем последний вид широко распространен на архипелаге.

Идентифицировано около 100 образцов, собранных в 2015 в окрестностях п. Грумант в Колесбухте. В их числе ряд редких на Шпицбергене видов.

Данные о всех идентифицированных образцах внесены в ИС L.(CRIS) <https://isling.org/hepatics>. Образцы оформлены и инсерированы в гербарий ПАБСИ (КРАБГ).

Продолжено изучение видового разнообразия и распространения мхов архипелага Шпицберген. Обработан материал, собранный в районе залива Боккфьорд, и окрестностей поселка Пирамида.

*Оценка степени пластичности фотосинтетического аппарата и механизмов адаптации высших сосудистых растений Западного Шпицбергена при прогнозировании изменения климата*

Изучены особенности адаптации *Stellaria humifusa* на скальных экотопах приморских территорий острова Западный Шпицберген. *Stellaria humifusa* Rottb. (сем. Caryophyllaceae) — циркумполярное, преимущественно арктическое, многолетнее травянистое растение, распространенное на солончаках, увлажненных участках морского побережья в Арктике. Образует жизненную форму мат и представляет собой монодоминантное растительное сообщество. Жизненная форма мат – сложная структура, которая представлена системой надземных и подземных органов и почвенным горизонтом. Надземные органы представлены верхним слоем (коричневый) отмерших растений предыдущего года. На его поверхности располагаются цветonoсные побеги текущего года жизни с белыми цветами. Следующий слой мата – органогенный, основная ассимилирующая система, которая представлена зелеными побегами, листья которых на уровне анатомических структур и функциональных показателей адаптированы к локальным условиям обитания в мате. Нижний слой – органоминеральный горизонт. Представляет собой почвенный субстрат, который является источником минерального питания всей структуры.

Сопоставление почвы под монодоминантным матом *Stellaria humifusa* с химическим составом почвенных разрезов в окрестности Баренцбурга выявило, что процессы изменения химического состава происходят сходно как на почвенном разрезе под растительным матом *Stellaria humifusa*, так и в сравниваемом естественном почвенном профиле. Отмечено, что растительный мат способствует большему накоплению органики, активизирует гумификацию и обеспечивает благоприятные условия для произрастания *Stellaria humifusa*.

По данным анатомического исследования листья *Stellaria humifusa* имеют слабо выраженный, но дорзовентральный тип строения мезофилла, характеризуются хорошо развитой губчатой хлоренхимой, однослойной палисадной хлоренхимой, часть клеток которой расположены рыхло. В листьях *Stellaria humifusa* палисадный мезофилл развит слабо, но содержит хлоропластов в 1,6 раза больше, чем в клетках губчатого мезофилла. Это

свидетельствует о значительном вкладе палисадной хлоренхимы в общую продуктивность фотосинтеза у изучаемого вида, а хорошо развитая губчатая хлоренхима с межклетниками активно участвует в процессах газообмена. Проведенные исследования показали, что *Stellaria humifusa* в форме растительного мата, как по структурным, так и функциональным показателям адаптирована к условиям произрастания на скальных экотопах приморской территории.

Продолжено исследование содержания жирных кислот и состава общих липидов в листьях доминирующих и редких видов растений, обитающих в арктической тундре Западного Шпицбергена. Виды различаются по биологии, ареалам, распространению и экотопным ассоциациям. Всего был идентифицирован 21 тип жирных кислот с длиной цепи от 16 до 24 атомов углерода, содержащих от 2 до 4 двойных связей. С помощью кластерного анализа состава жирных кислот были идентифицированы семь групп высших сосудистых растений. Показана взаимосвязь между составом кластерных липидов и геоботаническим индексом «видовой активности», что указывает на активное участие липидного компонента в распределение видов на исследуемой территории.

*Генезис, свойства, география, биогеохимия и функционирование почв в экстремальных условиях высокой Арктики*

Углерод и азот являются главными биогенными элементами. Содержание  $C_{орг}$  (в % на а.с.в.) в используемых для эксперимента материалах варьировало от 35,5 (листья ивки) до 46,8 (растения овса), содержание  $N_{орг}$  в исходных образцах овса составило 2,3, в листьях ивки – 2,6. Одним из основных компонентов, образующихся при разложении растительных остатков в почвах, являются летучие оксиды –  $CO_2$  и  $NO_x$ , которые являются парниковыми газами.

Как показали исследования, уже за первый год экспозиции в почве листья ивки в зависимости от площадки теряют от 37 (пл. 244 м, крутой склон северо-восточной экспозиции) до 57% от исходного содержания (рис. 16.1). Снижение потерь  $C_{орг}$  со временем обусловлено снижением интенсивности разложения собственно материала листьев и задержанием на поверхности листьев органического вещества, мигрирующего с почвенными растворами по профилю и в ландшафте.

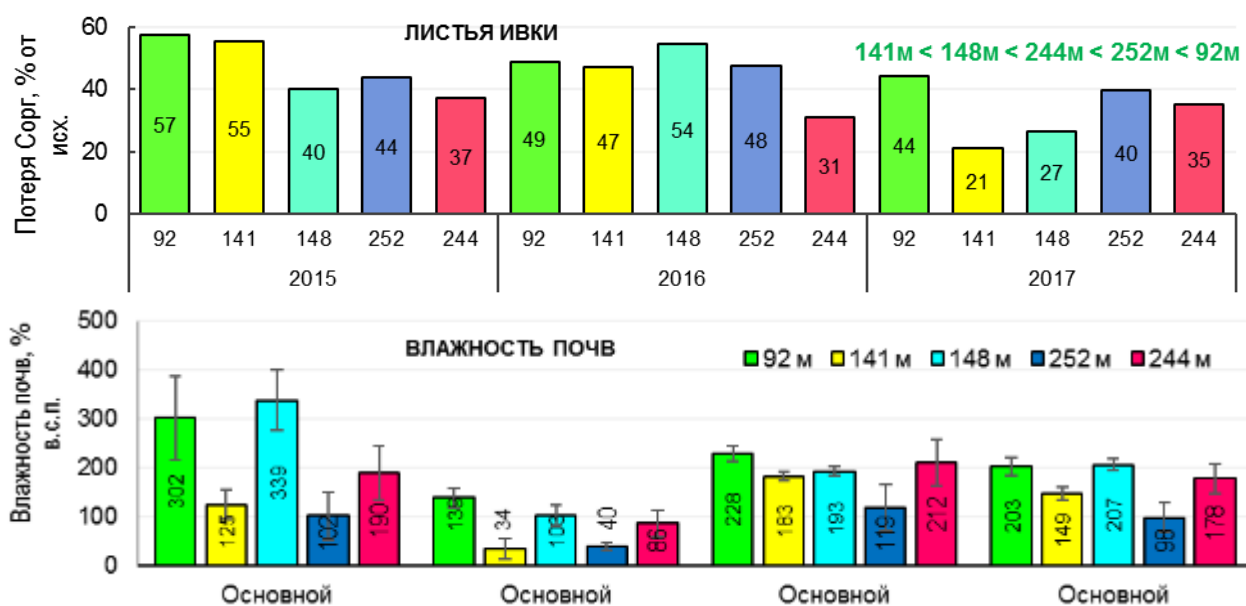


Рисунок 16.1 – Распределение потерь  $C_{орг}$  листьями ивки полярной и влажности почв между площадками, расположенными на разных высотах горного хребта Гренфьорд в трехлетнем эксперименте по разложению растительных остатков в почвах Шпицбергена

Потери  $N_{орг}$  листьями ивки за первый год экспозиции в почве значительно ниже по сравнению с  $C_{орг}$  и варьируют от 18 (пл. 244 м) до 26% (пл. 92 м) от исходного содержания. В

отличие от углерода потери азота увеличиваются с увеличением продолжительности экспозиции растительных остатков в почве и к концу 3-его года сравниваются с потерями  $C_{орг}$ : варьируют от 31 на пл. 244 м до 44% на пл. 92 м.

Распределение потерь  $C_{орг}$  между площадками имеет сложный характер и, очевидно, определяется сочетанием сразу нескольких факторов. Наблюдения за температурой почвы (табл. 16.2) показали, что площадки, расположенные на высоте от 92 до 252 м н.у.м., не имеют существенных различия по основным температурным показателям. И их распределение между площадками не соответствует распределению потерь  $C_{орг}$ . Например, площадка 244 м с самой низкой потерей  $C_{орг}$  и  $N_{орг}$  листьями ивки характеризуется не самой низкой средней за год температурой, и, наоборот, наиболее высокой суммой температур выше  $5^{\circ}C$  и большим количеством дней с температурой выше  $5^{\circ}C$ .

Таблица 16.2. Основные показатели температурного режима почв на глубине 2 см на стационарных площадках и воздуха на метеостанции Баренцбург за период с 20 июля 2016 по 19 июля 2017 года

Показатель	Пл. 92	Пл. 141	Пл. 252	Пл. 244	Воздух
Температура, $^{\circ}C$					
Средняя	-1,9	-1,4	-2,8	-1,7	-2,2
Сумма отрицательных среднесуточных	-1195	-1041	-1564	-1112	-1506
Сумма положительных среднесуточных	517	531	543	511	709
Сумма среднесуточных $>5^{\circ}C$	259	235	345	349	360
Дней:					
С положительными температурами	154	158	152	157	173
Со среднесуточной температурой $>5^{\circ}C$	40	38	53	50	55

Наиболее значительно площадки различались по влажности почв (рис. 16.1). Некоторая связь с условиями увлажнения видна на совпадении самой высокой влажности почвы и наиболее высокими потерями  $C_{орг}$  и  $N_{орг}$  листьями ивки на пл. 92 м (бровка солифлюкционного склона) и, наоборот, самой низкой влажности и низкими потерь  $C_{орг}$  и  $N_{орг}$  на пл. 244 (средняя часть крутого склона).

Некоторая связь интенсивности потерь  $C_{орг}$  просматривается с ландшафтным положением места. Например, наиболее значительные снижения потерь  $C_{орг}$  к третьему году экспозиции на пл. 141 и 148 м (рис. 16.1) могут быть обусловлены снижением скорости поверхности потоков при меньшем уклоне поверхности на террасе и большим оседанием на образцах растительных остатков почвенной органики.

Более очевидные различия по интенсивности высвобождения  $C_{орг}$  из растительных остатков связаны с видом материала. После первого года экспозиции овес теряет 45%, листья ивки – 39%, целлюлоза- 7%, а мхи – 25%  $C_{орг}$  от исходного содержания. При этом от каждого 100 г внесенного материала после первого года экспозиции в растительных остатках в связанном состоянии остается от 22 г (листья ивки) до 38 г (целлюлоза) углерода (рис. 16.2).

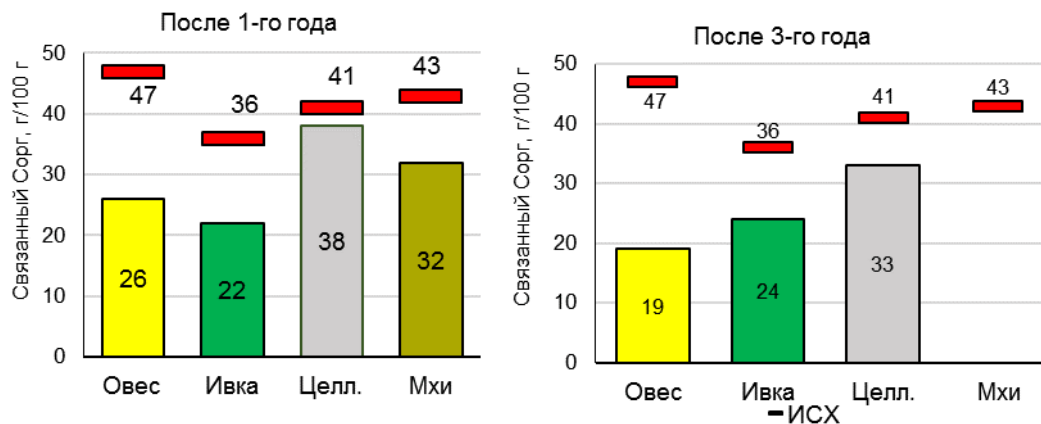


Рисунок 16.2 – Распределение остатков связанного в органическом веществе  $C_{орг}$  между видами материала после 1-го и 3-его года экспозиции в почве

К концу 3-его года экспозиции растительные остатки теряют до 20% (целлюлоза) - 60% (овес)  $C_{орг}$ . В абсолютном выражении в образцах в связанном состоянии остается 19-33 г  $C_{орг}$  от каждых 100 г внесенных растительных остатков. Неразложившиеся и частично гумифицированные растительные остатки формируют подстильно-торфяной горизонт О серогумусовых почв и частично депонируют углерод в почве.

Таким образом:

– В зависимости от площадки растительные остатки овса после первого года экспозиции в серогумусовых почвах юго-западного побережья острова Западный Шпицберген теряют от 40 до 50%, листья ивки – от 37 до 57%  $C_{орг}$  от его исходного содержания. К третьему году экспозиции в растениях овса потери  $C_{орг}$  возрастают до 50-60%, в листьях ивки, наоборот снижаются до 20-44%. Неразложившиеся и частично гумифицированные растительные остатки формируют подстильно-торфяной горизонт О серогумусовых почв и частично депонируют углерод в почве.

– Потери  $N_{орг}$  растениями овса значительно выше по сравнению с  $C_{орг}$ . Уже после 1-го года экспозиции в почве они теряют 70-80%  $N_{орг}$  от его исходного содержания. Потери азота овсом со временем меняются незначительно. У листьев ивки потери  $N_{орг}$  после 1-го года экспозиции значительно ниже по сравнению с  $C_{орг}$  (составляют 18-26%). Со временем, однако, они существенно возрастают и к 3-ему году – сравниваются с потерями  $C_{орг}$ .

– Интенсивность высвобождения  $C_{орг}$  при трансформации растительных остатков в серогумусовой почве зависит от вида растений. Наиболее высокой скоростью высвобождения углерода при разложении характеризуется овёс и листья ивки, наименьшей – мхи и целлюлоза. Влияние вида материала на потери азота менее значительны.

– Выявить влияние отдельных внешних локальных факторов (температуры, влажности почв и ландшафтного положения) на интенсивность высвобождения  $C_{орг}$  из растительных остатков в полевых экспериментах затруднительно из-за различных сочетаний условий и их динамики на каждой площадке.

Результаты исследований представлены на конференциях:

Koroleva N. Arctic habitats types in Russian Svalbard territory: is the EUNIS classification to be adjusted? // Transborder Multilevel Governance of Biodiversity and Ecosystem Services Workshop and roundtable Pskov, 24-25 March 2022

Данилова А. Д., Королёва Н. Е. Положение растительных сообществ пояса гольцовых пустынь в классификации местообитаний EUNIS // V (XIII) Международная ботаническая конференция молодых учёных в Санкт-Петербурге. 25 – 29 апреля 2022 г.

Konstantinova N.A., Vilnet A. 2022. Schuster's species in Europe: distribution, taxonomic and threatened status – ONLINE 10th Conference of European Committee for Conservation of Bryophytes 24–27 May 2022, Zagreb, Croatia. Book of Abstract, p.15.

Давыдов Д.А. Идентификация видов рода *Phormidesmis* // Цианопрокарियोты / цианобактерии: систематика, экология, распространение, использование в биотехнологии, 16-21.05.2022, г. Уфа.

Опубликованы следующие статьи в реферируемых изданиях, из них в изданиях Web of Science 3, Scopus 1, РИНЦ 3:

Davydov D., Vilnet A. Review of the Cyanobacterial Genus *Phormidesmis* (Leptolyngbyaceae) with the Description of *Apatinema* gen. nov. // Diversity, 2022, 14, 731. DOI: 10.3390/d14090731

Konoreva L., Chesnokov S. Lichens of Frankenhavøya Peninsula (Northern part of Barentsøya, Svalbard archipelago) // Polish Polar Research, 2022. 43(1), p. 37–68. DOI: 10.24425/ppr.2021.138591

Konstantinova N.A., Savchenko A.N. Contribution to the hepatic flora of Svalbard IV: Hepatics of the coast of the Sætherbukta (Orvin Land, Duvefjorden, Nordaustlandet) // *Arctoa*, 2022. 31: 44–51. DOI: 10.15298/arctoa.31.06

Markovskaya E.F., Rozentzvet O.A., Shmakova N.Y., Zorina A.A., Il'ina M.A. Involvement of lipids in adaptations of higher vascular plants to the conditions of West Spitsbergen // *Biology Bulletin Reviews*, 2022. Vol. 12, No. 5. P. 551-560. DOI: 10.1134/S2079086422050061

Иванова Н.С. Изменение элементного состава овса в процессе его трансформации в серогумусовых почвах Шпицбергена // *Материалы Международной научной конференции XXV Докучаевские молодёжные чтения «Почва-жизнь»* / Под ред. Б.Ф. Апарина. СПб., 2022. С. 99-100.

Иванова Н.С. Скорость разложения и высвобождения углерода в процессе трансформации растительных остатков в серогумусовых почвах Шпицбергена // *Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2022»*. Секция «Почвоведение», Подсекция «Генезис, эволюция и экология почв (посвящена 100-летию кафедры общего почвоведения Московского университета)» / Под. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2022.

Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф. Морозова К.В., Ермолаева О.В., Литвинова Т.И. Пути адаптации *Stellaria humifusa* на приморских территориях Западного Шпицбергена // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, 2022. Т. 27. № 2. С. 294-304. DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-2-294-304

#### Литература:

Konstantinova, N., Savchenko, A. Contribution to the hepatic flora of Svalbard III: Hepatics of Prins Karls Forland (Forlandet nasjonalpark). *Nova Hedwigia*, Beihefte, 2020. 179-192.

Куваев В.Б. Холодные гольцовые пустыни в приполярных горах Северного полушария. М., 1985. 78 с.

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).

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Русское издание / С.К. Черепанов. СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.

Bliss, L. C., Henry, G. H. R., Svoboda, J., & Bliss, D. I. Patterns of plant distribution within two polar desert landscapes. *Arctic and Alpine Research*, 1994. 26(1), 46-55.

Culberson, C. F., Ammann, K. Standardmethode zur dünnenschichtchromatographie von flechtensubstanzen. *Herzogia*, 1979. p. 1-24.

Elster, J. Ecological classification of terrestrial algal communities in polar environments. In *Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes* (pp. 303-326). Springer, Berlin, Heidelberg 2002.

Eurola, S. Über die Ökologie der nordfinnischen Moorvegetation im Herbst, Winter und Frühling // *Annales Botanici Fennici. Societas Zoologica Botanica Fennica Vanamo*, 1968.

Hadač, E. The plant communities of Sassen Quarter, Vest-Spitsbergen. *Studia bot. cechoslov.*, 1946. 7: 127-164.

Hadač, E. Notes on plant communities of Spitsbergen // *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 1989. N24.2, p. 131-169.

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.

Ignatov M.S., Afonina O.M. (eds.) Check-list of mosses of the former USSR. *Arctoa J. Bryol.*, 1992. V.1. p. 1-85. DOI: 10.15298/arctoa.01.01

Kennedy, A. D. Water as a limiting factor in the Antarctic terrestrial environment: a biogeographical synthesis. *Arctic and Alpine Research*, 1993. 25(4), 308-315.

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.

Melekhin, A.V., Davydov, D.A., Borovichev, E.A., Shalygin, S.S., Konstantinova, N.A. CRIS–service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams // *Folia Cryptogamica Estonica*, 2019. 56, p. 99-108.

Möller, I. Pflanzensoziologische und vegetationsökologische Studien in Nordwestspitzbergen. Steiner, 2000.

Mucina, L., Bültmann, H., Dierßen, K., Theurillat, J. P., Raus, T., Čarni, A., Tichý, L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied vegetation science*, 2016. 19, p. 3-264.

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.

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.

Santesson, R., Moberg, R., Nordin, A., Tønsberg, T., Vitikainen, O. Lichen-Forming and Lichenicolous Fungi of Fennoscand. Museum of Evolution, Uppsala University, 2004.

Svoboda, J., Henry, G. H. R. Succession in marginal arctic environments. *Arctic and Alpine Research*, 1987. 19(4), 373-384.

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.

Westhoff, V.; van der Maarel, E. The Braun-Blanquet Approach. In: Whittaker, R.H., Ed., *Ordination and Classification of Communities*, Dr. W. Junk, Dordrecht, 1973, 617-626.

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 16 выполнено полностью. Полевые работы не проводились.



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

**Мероприятие 17. 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 2022 год:

1. Развитие 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 партнеров;

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 экспедиций для выполнения 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 2022 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 пос. Баренцбург и Пирамида, а также данные станций зарубежных сейсмологических организаций: Университет Бергена (Норвегия), NOR SAR (Норвегия), Институт геофизики Польской академии наук. Карта сети использованных станций приведена на рисунке 17.1.

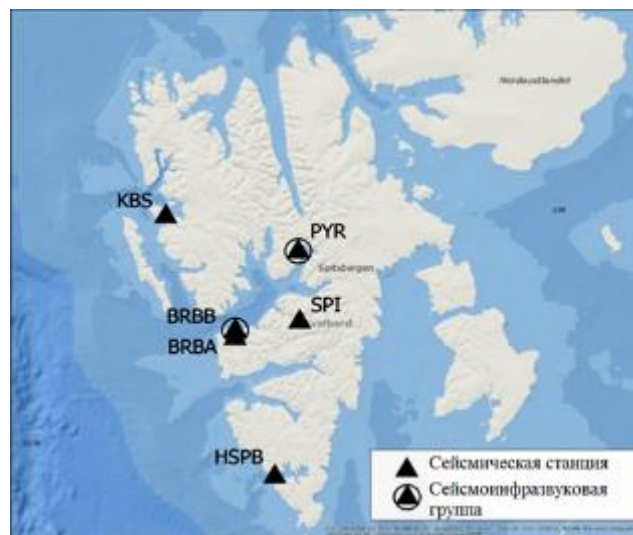


Рисунок 17.1 – Карта сейсмических и инфразвуковых станций международной сети сейсмического и инфразвукового мониторинга на арх. Шпицберген

В 2022 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 2022 году (к моменту представления отчета) зарегистрировано и обработано более 20 000 записей сейсмических событий различной энергии. Подавляющее большинство зарегистрированных сейсмических событий имели малые энергии и ассоциируются с процессами разрушения ледников Шпицбергена. На рисунке 17.2 представлена карта эпицентров умеренных и относительно сильных сейсмических событий, зарегистрированных в 2022 году, с магнитудой более 1,5.

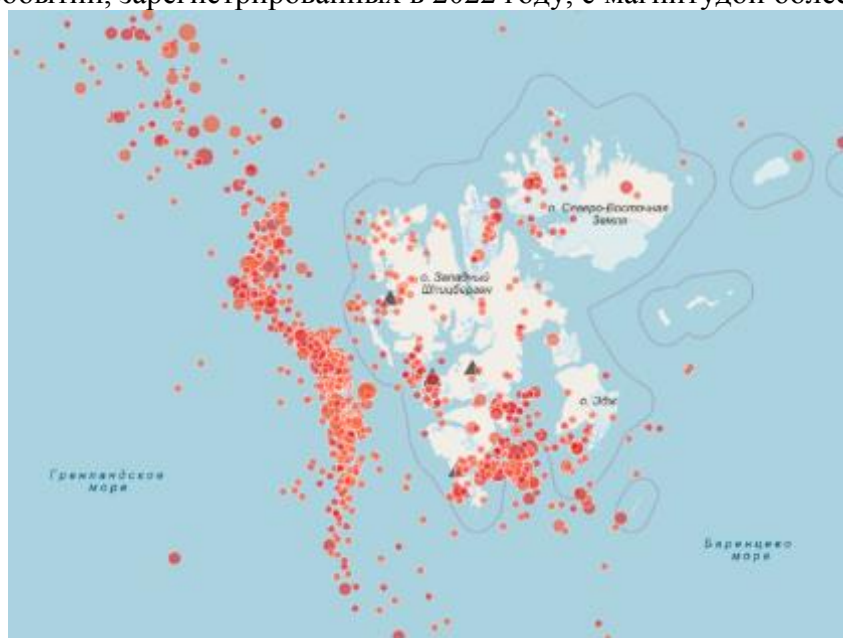


Рисунок 17.2 – Карта эпицентров сейсмических событий зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген в 2022 г. (по состоянию на 01.10.2022)

Сильнейшее зарегистрированное за отчетный период землетрясение произошло 18.07.2022 в 18:40:32 (UTC) к западу от о. Западный Шпицберген и имело магнитуду 5,6 ед. Эпицентр подземного толчка был приурочен к Срединно-Атлантическому хребту, на удалении порядка 110 км от ближайшего населенного пункта, п. Нью-Олесунн, и в 160 км от российского п. Баренцбург. К ощутимым сотрясениям в указанных населенных пунктах

данное событие не привело.

В 2022 году зарегистрировано и подтверждено оценками очевидцев одно ощутимое землетрясение в п. Баренцбург – 22 апреля 2022 года в 11:38:52 UTC (13:38 местного времени). Эпицентр данного землетрясения находился в пределах территории поселка и одноименного рудника, магнитуда составила 2,7 ед. Данное землетрясение ощущалось жителями поселка с интенсивностью до 4 баллов шкалы MSK-64.

Также в отчетный период продолжались наблюдения за сейсмическими проявлениями деструкции ледников архипелага Шпицберген. По итогам накопленных в 2022 году данных будут продолжены многолетние ряды наблюдений и дана оценка уровню интенсивности сейсмических проявлений деструкции ледникового покрова в свете изменения современных климатических параметров.

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

В 2022 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения российского поселка Баренцбург и одноименного угольного рудника государственного треста «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся по данным двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН, установленных вблизи шахты. Всего за первые 10 месяцев 2022 года в районе размещения угольного рудника «Баренцбург» зарегистрировано 324 сейсмических события. Годом ранее за аналогичный период времени количество таких событий составило 301.

Распределение количества зарегистрированных вблизи шахты «Баренцбург» сейсмических событий по месяцам 2022 года показывает традиционный прирост числа событий в августе-сентябре (рис. 17.3), что возможно обусловлено ростом обводненности массива горных пород в результате увеличения и накопления 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. Однако одно событие из района угольной шахты «Баренцбург», произошедшее 22 апреля 2022 года в 11:38:52 UTC (13:38 местного времени), как было упомянуто ранее, имело магнитуду  $m_l = 2,7$  и ощущалось в поселке, в частности в рудоуправлении ГТ «Арктикуголь». Расположение эпицентра данного события приведено на рисунке 17.4 (а), а сейсмограмма, полученная по ближайшим станциям на рисунке 17.4 (б).

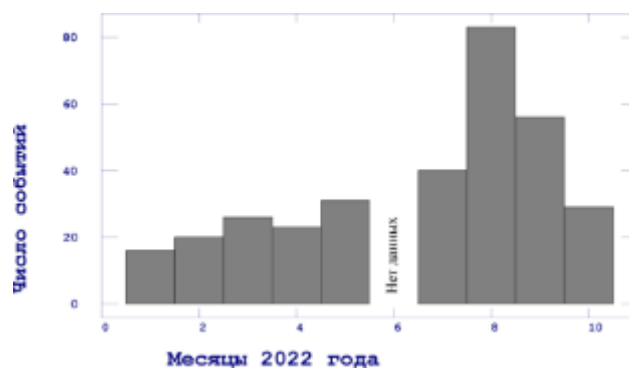


Рисунок 17.3 – Распределение количества сейсмических событий, зарегистрированных в районе размещения шахты «Баренцбург», по месяцам 2022 года

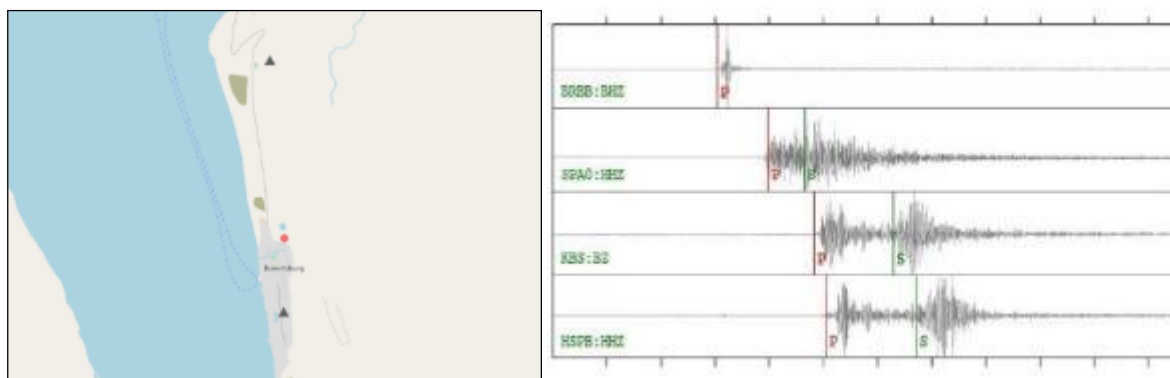


Рисунок 17.4 – Ощутимое сейсмическое событие 22.04.2022 (а) карта положения эпицентра (красный кружок); (б) запись сейсмического сигнала по ближайшим станциям

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.

## 2. Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген

В отчетный период на архипелаге Шпицберген Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН продолжались наблюдения за инфразвуковым полем. Наблюдения производились на сейсмоинфразвуковой группе «Баренцбург Б». Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» расположена в 3 км к северу от пос. Баренцбург и состоит из трех разнесенных в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции. Расстановка элементов группы показана на рисунке 17.5.

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

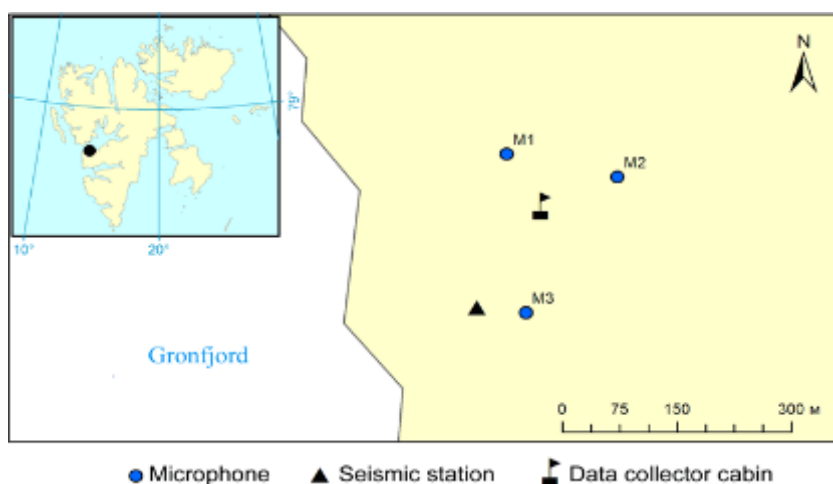


Рисунок 17.5 – Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург Б» на местности

Большую часть 2022 года инфразвуковая группа находилась в нерабочем состоянии. Два из трех низкочастотных микрофонов не функционировали вплоть до сентября. В рамках экспедиционных работ на архипелаге сотрудники КоФ ФИЦ ЕГС РАН провели осмотр инфразвуковой группы и выяснили причину неисправности. По результатам визуального осмотра были обнаружены многочисленные нарушения целостности кабелей подключения двух микрофонов. По внешним признакам кабеля были перегрызены животными. Кабельные линии были восстановлены 15 сентября 2022 года.

Таким образом, период наблюдений за инфразвуковым полем на архипелаге Шпицберген к моменту составления данного отчета составил менее двух месяцев. За данный период детекторами было обнаружено 526 инфразвуковых событий с отношением сигнал/шум (далее SNR) от 2 до 53.

Анализ распределения доминирующих направлений прихода инфразвуковых событий различной амплитуды (рис. 17.6) показывает, что они порождены принципиально разными источниками. Большинство слабых событий связано с микробаромами – следствием штормов в северной Атлантике, а средних по силе и сильных – с процессами деструкции ледников Шпицбергена.



Рисунок 17.6 – График количественного распределения зарегистрированных в 2022 году группой «Баренцбург Б» инфразвуковых событий по азимутам на источник

### *Заключение*

В ходе работ в 2022 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 линейментов. Основными зонами проявления сильной сейсмической активности, как и в предыдущие годы, остаются районы Срединно-Атлантического хребта (хребет Мона, хребет Книповича), а также зона пролива Стурфьорд, активизированная сильным внутриплитовым землетрясением 2008 года.

В районе поселка Баренцбург уровень сейсмической активности оставался на низком уровне, отмечено одно ощутимое землетрясение, не представлявшее угрозы инфраструктуре и населению поселка.

По результатам исследований опубликовано три статьи:

Asming V.E., Asming S.V., Fedorov A.V., Yevtyugina Z.A., Chigerev Ye.N., Kremenetskaya E.O. System for Automatic Recognition of Types of Sources of Regional Seismic Events // *Seismic Instruments*, 2022. Т. 58, С. 509-520. DOI: 10.3103/S0747923922050036

Асминг В.Э., Баранов С.В., Петров С.И. Район архипелага Шпицберген // В сборнике: *Землетрясения России в 2020 году. Ежегодник. Обнинск, 2022. С. 117-119.*

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 // В сборнике: *Землетрясения России в 2020 году. Ежегодник. Обнинск, 2022. С. 34-37.*

Мероприятие 17 выполнено полностью.

## Полярный геофизический институт (ПГИ)

### Мероприятие 18. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли

Целью проекта 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 2022 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.

Научный руководитель темы: заместитель директора по научной работе к.ф.-м.н. Орлов Константин Геннадьевич (orlov@rgia.ru). Стационарные наблюдения в обсерватории ПГИ «Баренцбург» в 2022 году проводились в полном объеме. Сотрудниками института техническое обслуживание оборудования обсерватории ПГИ «Баренцбург», его настройка (в том числе замена вышедших из строя деталей, калибровка, тестирование) и отладка после обслуживания. Выполнены работы по дальнейшей модернизации станции космических лучей. Проведен комплекс мероприятий по подготовке объектов инфраструктуры обсерватории ПГИ «Баренцбург» к их эксплуатации в осенне-зимнем периоде 2022/2023 г.

#### *Научные исследования*

По результатам анализа полученных обсерваторией ПГИ данных были опубликованы пять статей в реферируемых журналах, также исследования были представлены на научных конференциях.

1. В статье Ларченко А.В., Лебедь О.М., Благовещенская Н.Ф., Пильгаев С.В., Бекетова Е.Б., Федоренко Ю.В. Особенности процессов генерации и распространения ультранизкочастотных и очень низкочастотных волн при воздействии на ионосферу мощным коротковолновым излучением // Известия высших учебных заведений. Радиофизика Т. 64. № 11. 2022. С. 845-866. DOI: 10.52452/00213462\_2021\_64\_11\_845 рассматриваются результаты наблюдений ультранизкочастотного/очень низкочастотного (УНЧ/ОНЧ) поля ионосферного источника на высокоширотной сети станций Полярного геофизического института (ПГИ) в нагревном эксперименте 2016 года на стенде EISCAT/Heating. Обнаружено, что на частотах, близких к частоте первого поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера (около 1,8 кГц), амплитуда горизонтального магнитного поля ионосферного источника в обсерватории Баренцбург, расположенной на расстоянии 961 км от нагревного стенда, зачастую превышала амплитуды на более близко расположенных к стенду материковых станциях



(самая ближняя станция Лотта расположена на расстоянии 395 км). На частотах, далеких от частоты первого поперечного резонанса, при прочих равных условиях такого эффекта не наблюдалось. Выделены и проанализированы два возможных физических механизма, ответственных за наблюдаемый эффект. Первый связан с достаточно малым затуханием волн с частотами, близкими к частоте первого поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера, при распространении над высокопроводящей морской поверхностью с высоким коэффициентом отражения. Второй связан с неоднородностью диаграммы излучения ионосферного источника. Проведено численное моделирование процессов генерации и распространения УНЧ/ОНЧ волн в волноводе Земля-ионосфера и оценён вклад предложенных механизмов. Показано, что диаграмма направленности источника не оказывает значимого влияния, а экспериментальные данные объясняются только в модели с учётом высокой проводимости нижней стенки волновода вдоль трассы EISCAT-Баренцбург и низкой проводимости вдоль трассы EISCAT-Лотта. Проведена оценка состояния ионосферы и получено семейство профилей электронной концентрации, при которых возможно наблюдение подобного эффекта.

2. В статье Балабин Ю.В., Гвоздецкий Б.Б., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Михалко Е.А. Событие GLE73 (28.10.2021) в солнечных космических лучах // Изв. РАН. Сер. Физ., 2022, т.86, № 12, с.1810. DOI: 10.31857/S0367676522120067 исследуются эффекты вспышки на Солнце 28.10.2021 г., сопровождавшейся генерацией солнечных космических лучей (СКЛ). Поток СКЛ был зарегистрирован мировой сетью НМ, в том числе ст. Апатиты и Баренцбург. Этому событию присвоено обозначение GLE73. Событие GLE73 вызвало возрастание потока космических лучей на 2-6 % на полярных НМ, а НМ в Апатитах и Баренцбурге отметили амплитуду в ~3 %. Это первое событие СКЛ в 25-м цикле солнечной активности, начавшемся в 2019 году. Профили некоторых станций показаны на рис.18.1, они имеют типичную для GLE форму: довольно резкий фронт и медленный спад. Поток СКЛ имел сильную анизотропию, что видно по рис.18.1: североамериканская станция Калгари отметила возрастание в 4 %, Апатиты и Баренцбург – в два раза меньше. Данные НМ в Баренцбурге, как самого северного НМ, предоставляют информацию о потоках СКЛ со стороны северного полюса эклиптики.

Определение спектра и других параметров потока солнечных космических лучей (далее – СКЛ), приходящих на границу магнитосферы из межпланетного пространства, производится путем решения обратной задачи по данным наземной сети нейтронных мониторов. В ПГИ создана специальная методика решения обратной задачи,

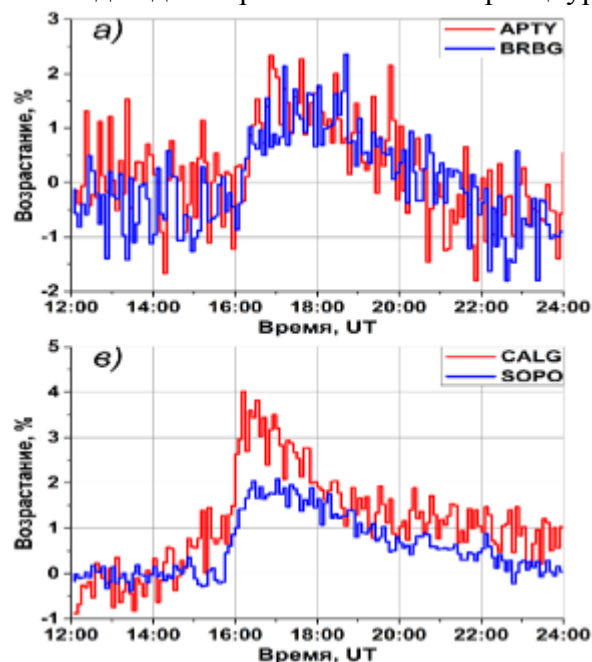


Рисунок 18.1 – Профили возрастания на некоторых ст. НМ во время события GLE73. Международные обозначения НМ: Apty – Апатиты, Brbg – Баренцбург, Calg – Калгари, Sopo – Южный полюс. Использованы 5-минутные данные, исправленные на атмосферное давление

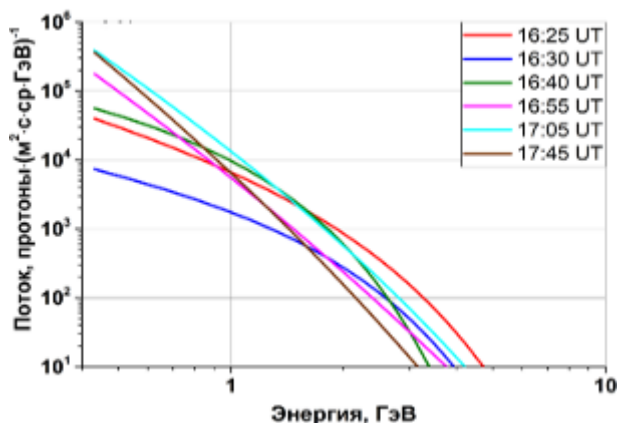


Рисунок 18.2 – Энергетические спектры СКЛ для характерных моментов времени. Моменты 16:25 и 16:30 взяты около максимума, более поздние моменты приходятся на спад

которая используется для таких целей. Методика проверена на десятках событий GLE. С помощью этой методики получены характеристики потока СКЛ и его спектры в разные моменты времени.

Динамика спектров (рис. 18.2) показывает, что несмотря на малую амплитуду вначале спектр был жестким, далее постепенно умягчался. В целом событие GLE73 является типичным и продолжающим ряд событий GLE с малой амплитудой, начавшийся еще в середине 24-го цикла. Полученные спектры СКЛ далее будут использованы для расчетов профилей ионизации атмосферы на высотах от 80 км до уровня земли.

3. По данным наблюдений после 00:00UT до 01:00UT авроральная активность на широтах ниже 70°N минимальна, AE < 50 нТ, SYM-H~20 нТ. Однако по данным камеры всего неба на Шпицбергене, авроральная активность на широтах южнее 78°N в виде активных лучистых дуг оставалась значительной. После 01:40 UT AE увеличился до 150 нТ, и около 01:50 UT наблюдалась яркая N-S дуга, что может быть признаком инжекции плазмы из дальних областей плазменного слоя магнитосферного хвоста к Земле. Смещение полосы к югу сопровождалось развитием небольшой, до 100 нТ, отрицательной вариации («бухты») в H-компоненте магнитного поля в обсерваториях Лопарская и Ловозеро, а также появлением шума на частотах ниже 0,7 Гц по данным индукционных магнитометров в Ловозеро и Верхнетуломском. Регистрируемое в это время свечение можно классифицировать как потоковое (streaming) пульсирующее сияние, при котором появляющиеся пятна быстро смещаются от места появления и исчезают. Эти выводы сделаны в статье Klimov P., S. Sharakin, A. Belov, B. Kozelov, A. Murashov, R. Saraev, D.I Trofimov, A. Roldugin, V. Lubchich. System of Imaging Photometers for Upper Atmospheric Phenomena Study in the Arctic Region // Atmosphere 2022, 13(10), 1572. DOI: 10.3390/atmos13101572

4. В статье, опубликованной в соавторстве с норвежскими коллегами Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M.A.Ø., Aaboe S., Gjeltten H.M., Mezghani A., Eastwood S., Førland E., Benestad R.E., Hanssen-Bauer I., Brækkan R., Sviashchennikov P., Demin V., Revina A., Karandasheva T. Exceptional warming over the Barents area // Nature Scientific Reports, 2022. V12, 9371. DOI: 10.1038/s41598-022-13568-5 на основе результатов метеорологических и океанологических измерений, реанализов и данных дистанционного зондирования проведен анализ современных изменений климата в северной части Баренцева моря, включающего архипелаги Шпицберген и Земля Франца-Иосифа. Обнаружено, что темпы потепления в северной части Баренцева моря в 2-2,5 раза превышают средние значения потепления в Арктике и в 5-7 раз превышают среднюю скорость глобального потепления. Данный факт позволяет считать район наиболее быстро нагревающимся регионом планеты. Показана тесная связь потепления со значительным сокращением площади морского льда и повышением температуры морской воды.

5. Анализ приземной температуры воздуха в Баренцбурге за период регулярных инструментальных наблюдений (1911–2020гг.) опубликован в статье Карандашева Т.К., Иванов Б.В., Демин В.И., Ревина А.Д. Тенденции в изменении климата архипелага Шпицберген на примере ГМО «Баренцбург» за период 1911–2020 гг. // Труды СибНИГМИ, 2021. 107, с. 167-179. DOI: 10.55235/0320359X\_2021\_107\_167. Положительные и статистически значимые линейные тренды температуры обнаружены для всех месяцев, календарных сезонов и года в целом. Общее потепление за 110 лет включает два периода роста температуры (1915–1935 гг. и «современного», ставшего выраженным со второй половины 1980-ых гг.), разделенных периодом относительного похолодания.

На конференциях были представлены следующие исследования:

6. Ю.В. Балабин. Аномальное событие GLE66 (29.10.2003) и сравнение его с другими событиями осенью 2003 года. (37-ая Всероссийская конференция по космическим лучам, 27.06-02.07.2022 Москва).

В октябре-ноябре 2003 произошла серия вспышек на Солнце, вызвавшими 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 данной работе представлены результаты подробного изучения события GLE66, получены энергетические спектры СКЛ, показана их динамика в течение события.

7. А.В. Германенко, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский. Первое событие в солнечных космических лучах в 25-м цикле: GLE73. (37 Всероссийская конференция по космическим лучам, 27.06-02.07.2022 Москва)

На фазе роста солнечной активности нового 25-го цикла произошло событие GLE. Случилось это 28.10.2021 г. и 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 %. 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. 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.

8. Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский, Л.И. Щур. Высокоширотный мюонный телескоп (арх. Шпицберген, Баренцбург) (37 Всероссийская конференция по космическим лучам, 27.06-02.07.2022 Москва)

Помимо нейтронных мониторов в Апатитах и Баренцбурге (арх. Шпицберген) в комплексный мониторинг космических лучей включены детекторы тепловых нейтронов, кристаллические детекторы гамма-излучения. В 2021 г. на этих станциях были установлены мюонные телескопы (МТ), предназначенный для регистрации заряженных частиц, в первую очередь мюонов, в диапазоне энергий от 1 ГэВ. Это самый высокоширотный мюонный телескоп. МТ собраны по стандартной схеме: две пластины сцинтиллятора, разделенные слоем свинца 10 см. Угол зрения телескопов составляет примерно 1 ср. МТ включены в систему мониторинга вторичных космических лучей. С установкой МТ образовалась вторая пара одинаковых приборов (первая пара – это стандартные нейтронные мониторы на этих станциях), разнесенных по широте на десяток градусов. Особенностью МТ в Баренцбурге является положение поля зрения МТ: оно постоянно располагается вблизи северного полюса эклиптики. Эта область небесной сферы недоступна для приборов, установленных на меньших широтах; даже нейтронный монитор в Баренцбурге имеет асимптотический конус приема, располагающийся вблизи средних широт. Также каждая из пластин является детектором заряженных частиц с энергиями от 5-10 МэВ, принимаемых со всей полусферы. Пластины служат детекторами мягких заряженных частиц.

9. Kozelov B.V., Roldugin A.V. Altitudinal dynamics of auroral structures at the pole boundary of the auroral oval // Physics of auroral phenomena. 45th Annual Seminar. Abstracts. 2022. P.49 (14-18.03.2022 Апатиты)

Рассмотрены типичные авроральные структуры, наблюдаемые на приполюсной границе аврорального овала в зените обсерватории ПГИ в Баренцбурге. Использование триангуляции по данным двух пар камер с небольшим (~4 км) пространственным разнесением позволило проследить в динамике высоту структур и оценить энергию

высыпающихся электронов в типичных событиях. Обсуждалось влияние этих высыпаний на состояние высокоширотной ионосферы (статья на стадии подготовки).

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

В 2022 году работы по техническому обслуживанию аппаратного комплекса обсерватории Баренцбург выполнялось в сентябре-октябре.

#### *1 Станция космических лучей*

Проведены профилактические работы на станции космических лучей (непосредственно обслужен нейтронный монитор и аппаратура входящая в состав комплекса). Электрические блоки очищены от угольной пыли, проверены высоковольтные разъемы и цепи. Проверены уровни низковольтных питающих напряжений и датчиков температуры. Измерены вольт-счетные характеристики всех 18 трубок нейтронного монитора (проведена калибровка счетчиков СНМ-15, рис. 18.3).

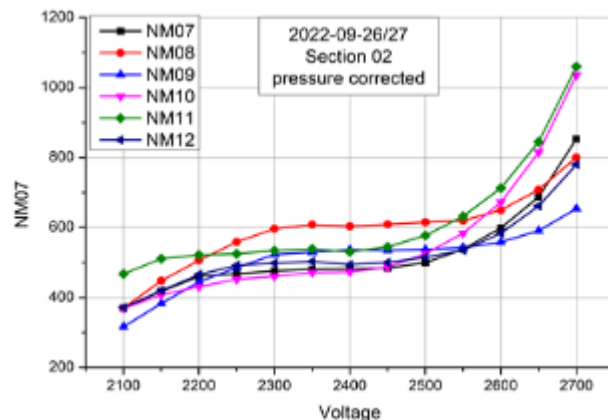


Рисунок 18.3 – Счетные характеристики трубок (СНМ-15) во второй секции нейтронного монитора. Лучшей рабочей точкой является 2400 В

#### *2. Контейнер оптический многофункциональный*

Выполнено техническое обслуживание (далее – ТО) контейнера оптического, многофункционального (далее – КОМ), обеспечивающего размещение и функционирование оптической аппаратуры обсерватории «Баренцбург». На рис. 18.4. показан общий вид КОМ. Проведено обследование: конструкции КОМ, бетонных опор, лестниц, кабельной сети, блистеров, кронштейнов блендирующих экранов.



Рисунок 18.4 – Контейнер оптический, многофункциональный (КОМ)

Установлены две новых светозащитных бленды, для защиты камеры всего неба (далее КВН) от антропогенных источников в «Исфьорд радио» и маяка м. Хеннесет (рис. 18.5а), также дополнены третьей две светозащитных бленды в связи с расширением светотехнического оборудования на вертодроме (рис.18.5б).



Рисунок 18.5 – (а) Бленды от Исфьорда, (б) бленды вертодрома, (в) экраны бленд обсерватории

Установлены дополнительные временные экраны на светозащитной бленде от здания обсерватории (рис. 18.5в) для защиты КВН от ИК-подсветки камер наблюдения здания, в связи с изъятием ИК светофильтра из оптической системы КВН.



Проведено ТО общих внутренних систем КОМ: электропитания, освещения, вентиляции, обогрева, источника бесперебойного питания, связи, узлов установки оптического оборудования, блистеров.

После проведения работ по ТО помещения КОМ вымыты и проведена их просушка, с целями обеспечения паспортных условий эксплуатации компонентов оптического и электронного оборудования и выполнена его дезинсекция для предотвращения жизнедеятельности насекомых.

### 3. Камера всего неба

Отработавшая сезон 2021-2022 гг. камера всего неба (далее – КВН) демонтирована, проведена чистка оптики, электрических контактов, негерметизированных секций камеры, очистка и смазка вентиляторов, заменены дегидрационные таблетки. КВН заново смонтирована, установлена, настроена, оттестирована, интегрирована в обсерваторскую систему сбора данных.

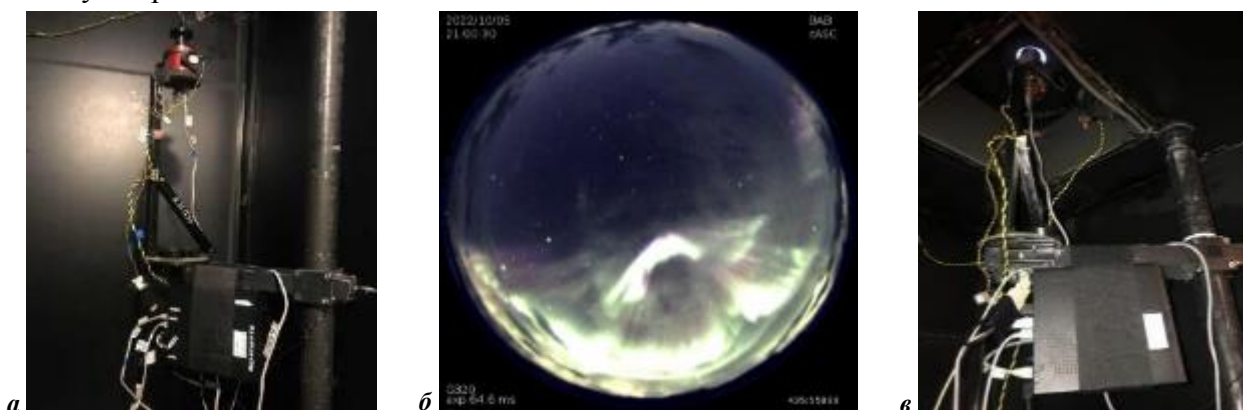


Рисунок 18.6 – (а) КВН, (б) кадр КВН, (в) КВН под блистером

Сняты технологические параметры собственно камеры и ее оптической системы, прибор запущен в патрульный режим наблюдений с 01.10.2022 г.

### 4. Меридиональный авроральный спектрометр общего назначения

Меридиональный авроральный спектрометр общего назначения (далее – МАСОН), отработавший сезон 2021-2022 гг. демонтирован, проведена чистка оптики, электрических контактов, очистка и смазка вентиляторов, заменены дегидрационные таблетки камеры прибора. МАСОН заново смонтирован, установлен, настроен, оттестирован, прибор интегрирован в обсерваторскую систему сбора данных (рис. 18.7). Рабочий спектральный диапазон уменьшен в целях оптимизации дискового пространства управляющего компьютера.

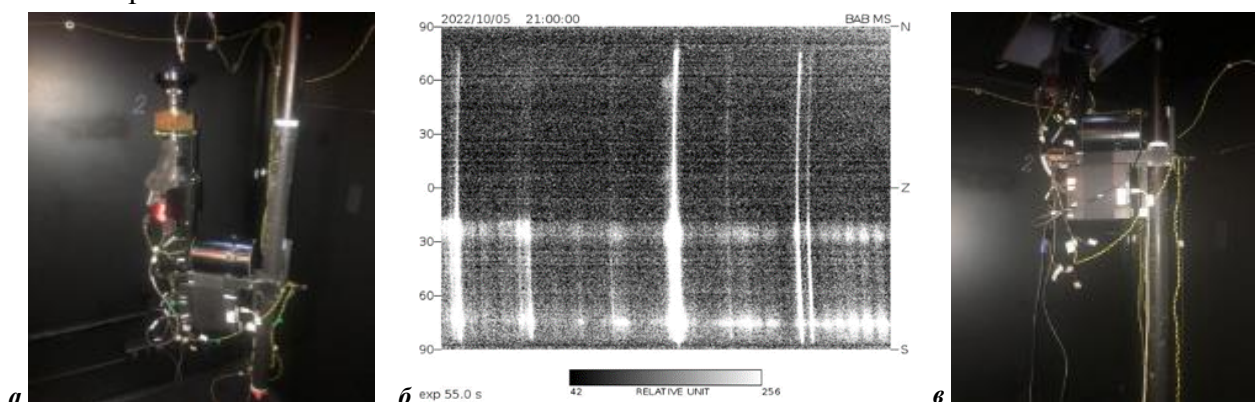


Рисунок 18.7 – (а) МАСОН, (б) кадр МАСОН, (в) МАСОН под блистером

Сняты технологические параметры камеры прибора и ее оптической системы, прибор запущен в патрульный режим наблюдений с 01.10.2022 г.

### 5. Система информационного обеспечения наблюдений

Проведено техническое обслуживание компьютеров оптических систем и сервера системы информационного обеспечения наблюдений (далее – 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 01.10.2022 г., работа СИОН представлена на рис.18.8.

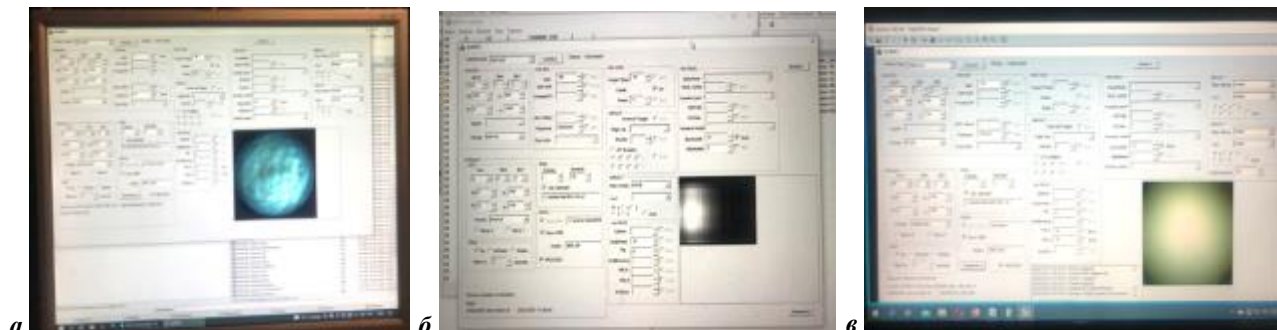


Рисунок 18.8 – (а) СИОН КВН, (б) СИОН МАСОН, (в) СИОН КУ

### 6. Камера узкоугольная.

Собрана автономная система сбора данных камеры узкоугольной (далее – КУ) (рис.18.9а), размещена в офисе ПГИ (здание базы КНЦ, пос. Баренцбург), интегрирована в локальную сеть ПГИ, отлажено программное обеспечение управляющего компьютера.

Изготовлен влагонепроницаемый и теплозащищенный бокс КУ и светозащитная бленда. Распаяны и проложены кабельные коммуникации, изготовлены узлы установки КУ.

КУ смонтирована (рис.18.9б) на крыше здания базы КНЦ. Кадр КУ представлен на рис.18.9в.



Рисунок 18.9 – (а) система сбора КУ, (б) кадр КУ, (в) общий вид КУ

Произведена настройка, тестирование общей работоспособности прибора и постановка его на патрульное наблюдение с 01.10.2022 г.

### 7. ОНЧ приемник ММВР

Произведен демонтаж блока предусилителей (рис.18.10а) и его ремонт.

Проведен ремонт блока питания системы сбора данных ОНЧ приемника, создаваемые им посторонние шумы устранены (рис. 18.10б). Внутренние поверхности блока питания очищены от угольной пыли. Проведены профилактические работы на антенной мачте (рис. 18.10в). Устранены провисание и перекос магнитных рамочных антенн путем подтяжки верхнего подвеса.



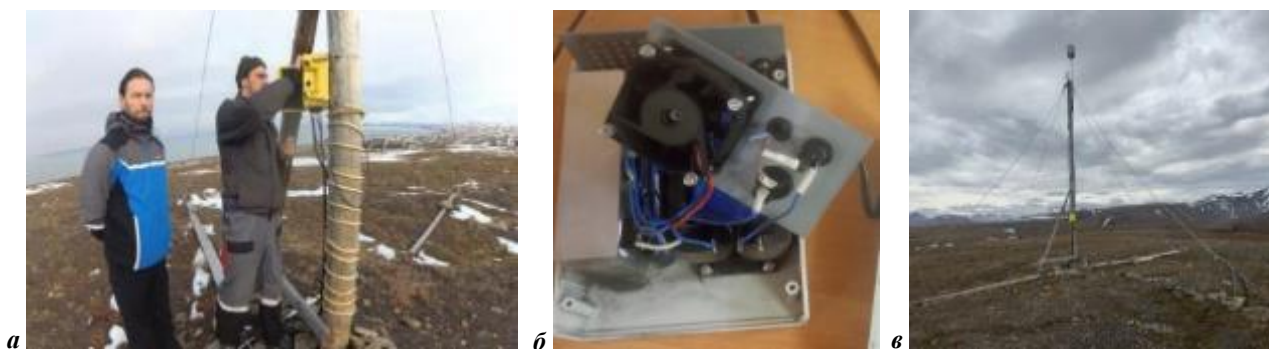


Рисунок 18.10 – (а) демонтаж блока предусилителей ОНЧ, (б) блок питания ОНЧ, (в) работы по устранению перекоса и провисания магнитных рамочных антенн

В процессе ревизии точки заземления антенной системы установлено новое соединение, выполненное из нержавеющей стали (рис.18.11а). Видно, что в результате ТО регистрируемый уровень гармоник питающей сети (50 Гц) значительно ослабился, и, практически полностью исчезли четные гармоники, что значительно улучшило качество данных (рис. 18.11б).

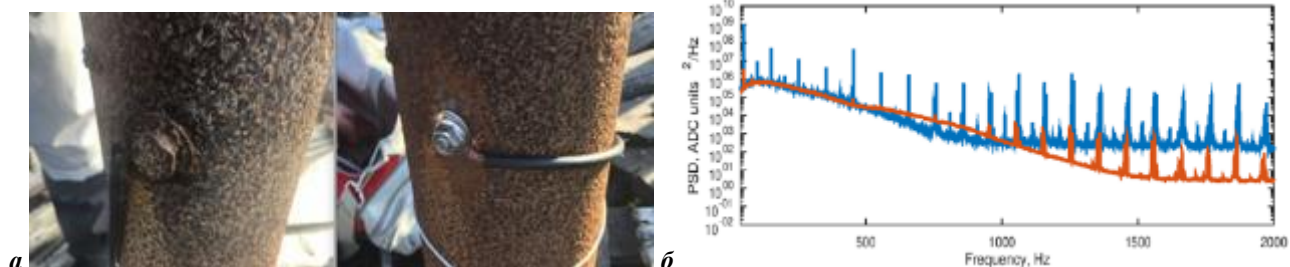


Рисунок 18.11 – (а) Состояние точки заземления вертикальной электрической антенны до (слева) и после (справа) проведения ТО; (б) Спектральная плотность мощности вертикальной компоненты электрического поля до (синяя кривая) и после (оранжевая кривая) проведения ТО точки заземления

Для сезона 2022-2023 изготовлены три резервных усилителя (рис. 18.12а). Все усилители были успешно откалиброваны в составе приемника. Для планируемых экспериментальных работ калибровка приемника произведена в более широкой полосе частот от 17 Гц до 30 кГц. Рабочая полоса частот для постоянной регистрации оставлена прежней в диапазоне от 0,3 до 15 кГц.



Рисунок 18.12 – (а) Резервный комплект предусилителей; (б) Автономное калибровочное устройство

Калибровка измерительных каналов ОНЧ приемника производилась до и после проведения его технического обслуживания с помощью разработанного в ПГИ автономного калибровочного устройства, которое представляет собой низкочастотный генератор с высокой стабильностью и высокоточной синхронизацией фазы выходного гармонического сигнала с универсальным координированным временем, предоставляемым приемником GPS/ГЛОНАСС. Внешний вид разработанного устройства приведен на рис. 18.12б.

Схемы калибровки магнитных рамочных антенн и вертикальной электрической антенны ОНЧ приемника приведены на рис. 18.13а и рис. 18.13б соответственно.

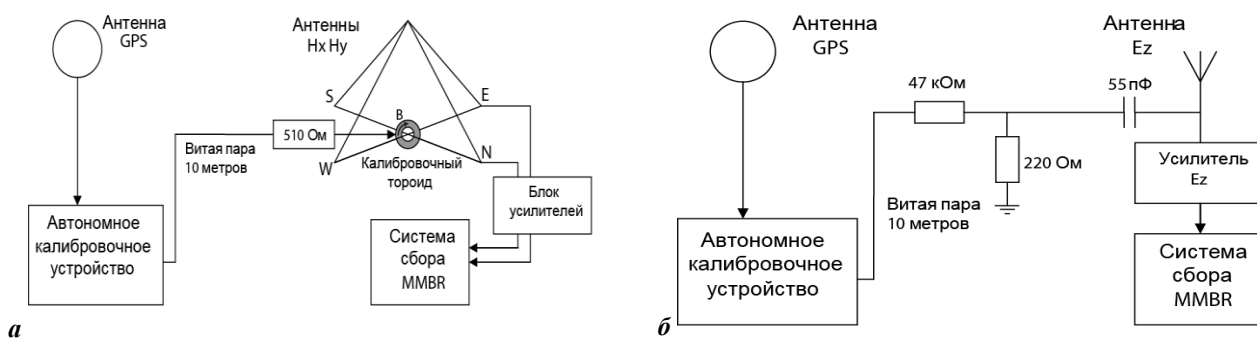


Рисунок 18.13 – (а) схема калибровки магнитных рамочных антенн, (б) схема калибровки вертикальной электрической антенны

В ходе выполненных мероприятий ОНЧ-приемник подготовлен к проведению стационарных наблюдений в 2022-2023 гг.

#### 8. КНЧ приемник BRB6

Проведена проверка аналоговой линии КНЧ приемника и мест ее соединений. Проведена чистка контактов разъемов от окислов. Полости ям, где располагаются датчики, очищены от обвалившейся грунтовой породы. Восстановлено укрепление стенок ям.

Калибровка измерительных каналов стационарного КНЧ приемника производилась при помощи автономного калибровочного устройства. Схема проведения калибровки приведена на рис. 18.14.



Рисунок 18.14 – Схема проведения калибровки стационарного КНЧ приемника BRB6

Для калибровки индукционных датчиков использован калибровочный соленоид (рис. 18.15) с однослойной намоткой, размеры которого позволяют считать магнитное поле в области расположения датчика, создаваемое током в его обмотке, практически однородным.



Рисунок 18.15 – Установка датчика в калибровочный соленоид

#### 9. 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. В двух блоках питания обнаружены неисправные конденсаторы, которые были заменены на новые.

Вентиляторы компьютерных систем охлаждения были разобраны и смазаны. В двух источниках бесперебойного питания заменены вышедшие из строя аккумуляторы.

#### 10. Приемный комплекс ГНСС

Проведено техническое обслуживание, ремонт и проверка работоспособности ГНСС – комплекса: профилактика компьютерной техники и настройка программного обеспечения,

проверка сопряжения ПК и ГНСС приемника, проверка и профилактика антенно-фидерного устройства ГНСС приемника, архивирование ГНСС данных на сервере, тестирование работоспособности комплекса в местном и дистанционном управлении, питание ГНСС комплекса организовано через внешнее устройство бесперебойного питания (рис. 18.16).



Рисунок 18.16 – ГНСС комплекс, обслуживание и проверка

### *11. Санитарно-техническая платформа обеспечения жизнедеятельности.*

Выполнено техническое обслуживание, ремонт и проверка работоспособности систем санитарно-технической платформы обеспечения жизнедеятельности здания рабочего павильона обсерватории ПГИ «Баренцбург» (рис. 18.17), а именно:

- замкнутой системы водоснабжения и системы сбора бытовых стоков, емкостей для хранения технической воды и сбора бытовых стоков, самовсасывающего насоса с фильтром тонкой очистки, осуществляющего подачу воды в здание, фекального насоса, осуществляющего измельчение и откачку бытовых стоков в емкость;

- трубопроводов подачи технической воды и откачки бытовых стоков, состояние их теплоизоляционной оболочки, исправность системы электрического подогрева трубопроводов (Ду 32, Ду 40), погружного насоса Vigilex SS 850 MA, замена неисправной запорной арматуры;

- системы резервного энергоснабжения обсерватории «Баренцбург» (рис.18.18а): произведена замена расходных материалов и технических жидкостей дизельного генератора C15D5; проверены системы автоматического запуска ДГУ при нарушении центрального энергоснабжения, системы автоматического открытия (закрытия) вентиляционного клапана притока свежего воздуха в техническое помещение санитарно-технической платформы; проведена проверка работы ДГУ в ручном режиме.



Рисунок 18.17 – Обсерватория ПГИ «Баренцбург» (здание рабочего павильона, санитарно-техническая платформа жизнедеятельности)

Проведено обслуживание и проверка внутренних электрических сетей обсерватории «Баренцбург» (рис. 18.18б): вводного распределительного устройства (ВРУ); распределительных щитов (ГРЩ, ВРЩ 1; ВРЩ 2); сетей освещения, розеточных сетей; состояние контура заземления оборудования обсерватории, работоспособности электрических конвекторов в здании обсерватории, оптическом павильоне и контейнере санитарно-технической платформы.





Рисунок 18.18 – (а) Система резервного энергоснабжения, обслуживание и проверка; (б) Внутренние электрические сети обсерватории ПГИ «Баренцбург»

### *11. Мероприятия в рамках популяризации достижений и экспедиций на Шпицбергене:*

01 октября 2022 г. в конференц-зале ФГБУ «АНИИ» п. Баренцбург для сотрудников РНЦШ, состоялась лекция заведующего лабораторией космических лучей ведущего научного сотрудника ПГИ Юрия Васильевича Балабина, посвященная теме: «Космические лучи: там и тут».

Мероприятие 18 выполнено полностью. Полевые работы не проводились.

**Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)****Мероприятие 19. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген**

Цели исследования:

- Изучение истории освоения архипелага, в первую очередь, русскими поморами в XVI – XIX вв. и российскими экспедициями XVIII – начала XX вв.
- Выявление и обеспечение сохранности объектов историко-культурного наследия, разрушающихся под воздействием природных и антропогенных процессов.
- Развитие музейного дела на Шпицбергене. Компьютерная обработка поморской коллекции Свальбардмузеума норвежского поселка Лонгйир. Оцифровка индивидуальных археологических находок со становищ Шпицбергена для создания в перспективе полной базы данных по поморской материальной культуре Шпицбергена.

Задачи, поставленные в 2022 г.:

- Мониторинг археологических памятников Западного Шпицбергена. Оценка их физического состояния. Получение новой археологической информации и выявление тех данных, которые ранее не были отмечены или ускользнули от внимания исследователей ранее.
- Определение геоморфологических особенностей расположения памятников на архипелаге.
- Поиск и выявление остатков русских судов XVI – XIX в.
- Исследование объектов на Шпицбергене, связанных с русским и зарубежным угледобывающим производством конца XIX – первой трети XX века.

При проведении полевых исследований использовались методы: аэрофотокартирование и тахеометрическая инструментальная съемка археологических памятников. Фотографирование археологических объектов как обычными средствами, так и с использованием квадрокоптера в сочетании с визуальным обследованием.

Экспедиционные исследования проводились с 12 августа по 8 сентября 2022 г. Основные районы работ экспедиции 2022 года охватывали два региона острова Западный Шпицберген.

Первый – Земля Норденшельда. Здесь полевыми исследованиями задокументированы прекрасно сохранившиеся остатки бортовой обшивки поморского судна 18 столетия в восточной части Гренфьорда. В целях сохранения указанного памятника будет подготовлена и направлена в Контору губернатора Свальбарда вся информация, необходимая для постановки данного объекта на государственный учет в норвежском директорате культурного наследия (рис. 19.1).

В северо-восточной части Исфьорда в заливе Сассенфьорд обследовано поморское становище. Произведена квадрокоптерная и тахеометрическая его съемка. (рис. 19.1, 2). В этом же регионе в заливе Гипсвика обследован жилищный комплекс, первоначально являвшийся поморским становищем, которое позднее было переделано и использовалось норвежскими трапперами. (рис. 19.1, 3)

Второй регион – земля Оскара II. Здесь, на мысе Даудманнсоден продолжены начатые в 2021 г. исследования памятников поморской материальной культуры. В 2022 г. году была произведена квадрокоптерная съемка поморского становища в заливе Вилкинсбукта (рис. 19.1, 4), а также археологического поморского комплекса, состоящего из основания навигационного (приметного) креста и могилы (рис. 19.1, 5).



Рисунок 19.1 – Памятники российского историко-культурного наследия на арх. Шпицберген, обследованные в 2022 г. (1) Восточный берег залива Грэнфьорд, (2) южный берег залива Сассенфьорд, (3) северо-западный берег залива Гипсвика, (4) залив Вилкинсбукта, (5) мыс Даудманнсоден

### *Гренфьорд*

GPS-координаты (EU89) 14.305709 77.985328

На восточном берегу залива Грэнфьорд ближе к его внутренней части в 2022 г. обнаружены остатки бортовой обшивки поморского судна, которые находятся приблизительно в 70 м от береговой линии моря. Остатки частично погружены во влажный покрытый мхом грунт.



Рисунок 19.2 – Восточный берег Гренфьорда. Место находки (показано красной стрелкой) фрагментов бортовой обшивки поморского судна 18 в. Квадрокоптерная съемка



Фрагмент бортовой обшивки состоит из трех последовательно соединяющихся между собой досок. В наибольшую длину (ок. 450 см) сохранилась доска № 1 (счет с запада на восток), длина доски № 2 – 391 см. Большая же часть доски № 3 скрыта под грунтом, длина видимой ее части около 150 см. Ширина досок в среднем около 15 см их толщина 4-4,5 см.



Рисунок 19.3 – Гренфьорд. Фрагменты бортовой обшивки поморского судна 18 в. Вид сверху

Сохранившиеся элементы свидетельствуют об одновременном использовании двух видов креплений. Первый способ крепления представляет собой два ряда парных отверстий, соединенных в пару выборкой – канавкой, через эти отверстия пропущена вица, зафиксированная при помощи пар нагелей. Диаметр нагелей около 1 см. В данном случае расстояния между нагелями около 5 см, расстояния же между парами составляет от 95 до 174 мм. Данным способом доски обшивки корпуса скреплены между собой.

Второй – при помощи достаточно массивных нагелей, располагавшихся на стыках досок. Два таких нагеля и отверстие от третьего зафиксированы между досками № 1 и № 2. Крайние нагели находятся на расстоянии около 273 см друг от друга, что устанавливает приблизительное расстояние между соседними нагелями – около 130-140 см. Еще один нагель имелся между доской № 2 и № 3. Диаметр нагелей 32-34 мм. Данным типом

крепления соединялись доски обшивки корпуса со шпангоутами судна, причем расстояние между шпангоутами соответствует письменным источникам о строительстве кочей на Русском Севере. Так, например, О.В. Овсянников приводит документы Холмогорского архиерейского дома конца XVII в., в которых кочи описаны как судно длиной по килю 9 сажень и с 13 упругами (шпангоутами), что в среднем соответствует расстоянию между шпангоутами в 130 – 140 см. [с.341]

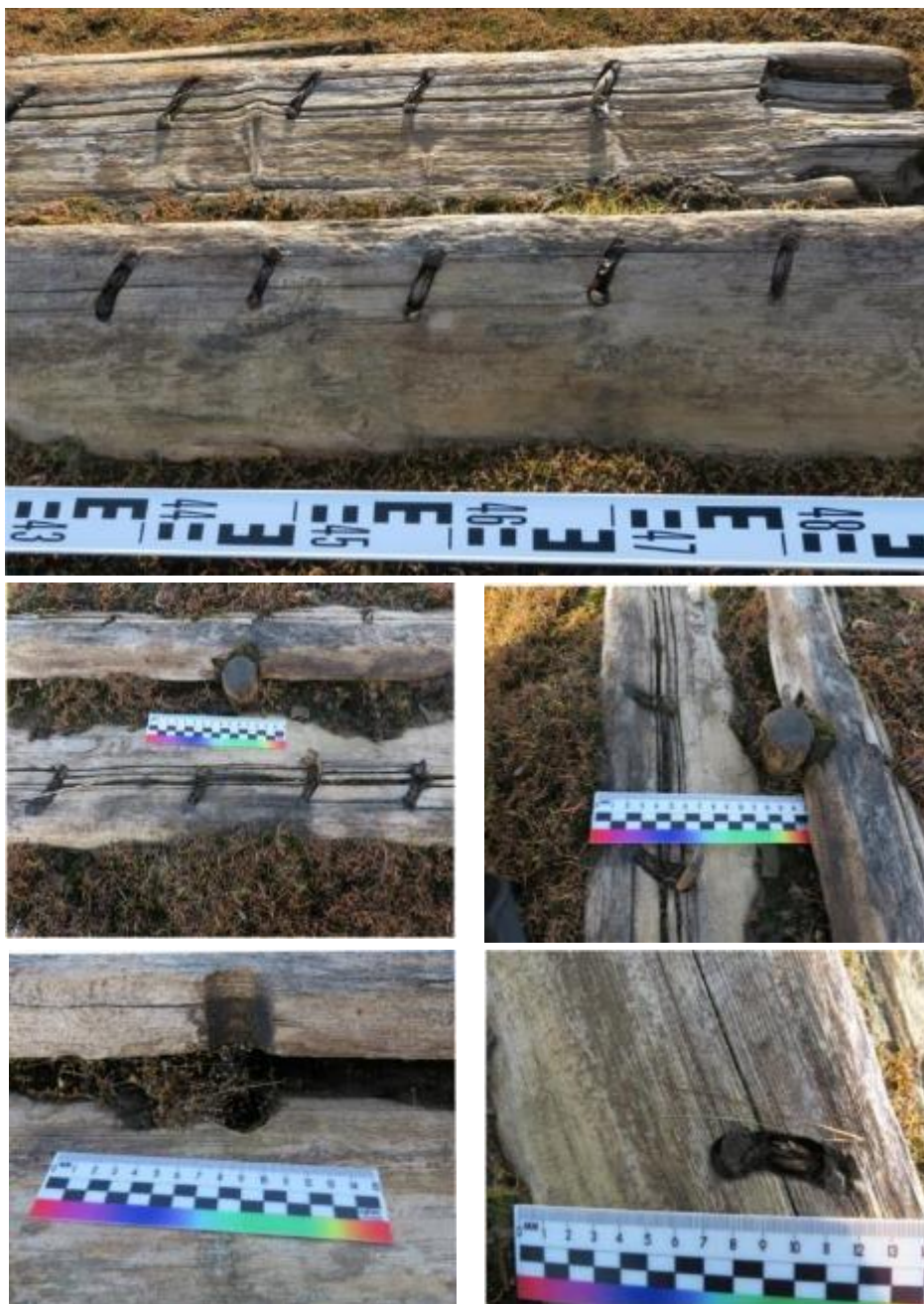


Рисунок 19.4 – Гренфьорд. Фрагменты бортовой обшивки поморского судна 18 в. Детали

Таким образом, вся совокупность данных однозначно свидетельствует о поморской принадлежности исследуемого объекта. Отмечаются два существенных обстоятельства – во-первых, прекрасная по шпицбергенским меркам сохранность бортовой обшивки; во-вторых, тот факт, что она не зафиксирована на норвежском сайте Kulturminnesok.

Фрагменты бортовых обшивок встречаются и довольно часто в разных районах архипелага (Старков В.Ф., Черносвитов П.Ю., Дубровин Г.Е. Материальная культура русских поморов. Т.1. Остатки судов. 2002 . с. 47, 59, 63, 69, 81). Они представляют собой одну или несколько сшитых досок (часто в «нахлест») с желобками и парными отверстиями скрепленными вицей. Подобные находки найдены также в Исфьорде, на островах Эдж и



Принца Карла, Вудфьорде, на становище Серкапватнет (самый южный остров архипелага), а также на других памятниках. Судовое дерево находят на Шпицбергене не только в виде бортовых обшивок, часто это шпангоуты, архиштивни, палубные доски и прочие детали судов. Многие из них использовались при строительстве жилищных построек поморами. Например, доски от бортовых обшивок употреблялись в качестве настилов (полов).

### *Сассенфьорд*

GPS-координаты (EU89) 16.808686 78.335485

Поморское становище Сассенфьорд находится во внутренней части Исфьорда на южном берегу залива Сассенфьорд приблизительно в 225 м к югу от береговой линии.

Поселение расположено на небольшом возвышении приблизительно 6-9 м к югу от небольшого заболоченного озера, которое вытянуто в широтном направлении. В целом окружающая местность имеет равнинный, низинный характер и изобилует многочисленными небольшими озерами-болотцами (рис. 19.5).



Рисунок 19.5 – Становище Сассенфьорд. Ситуационный план. Квадрокоптерная съемка (слева) и вид с запада на Сассенфьорд, Темпелфьорд и Сассендален. Квадрокоптерная съемка с места поморского становища (справа)

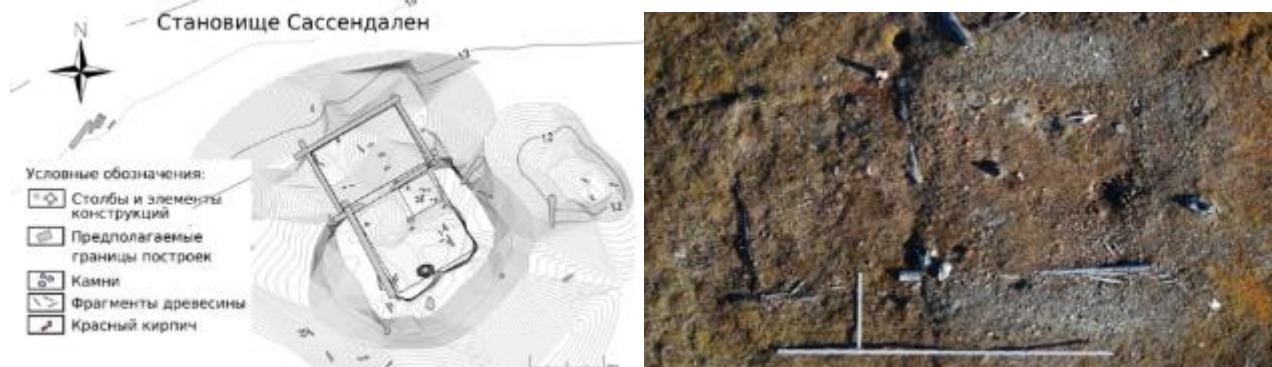


Рисунок 19.6 – Тахеометрический план становища (слева) и квадрокоптерный снимок (справа)

Становище состояло из двух, примыкающих друг к другу помещений – жилым было южное, с севера находились сени. Общие размеры комплекса 485×295 см, внутренние размеры жилого помещения около 253×260 см, сеней – около 180×260 см. Между помещениями выявлен дверной проем шириной около 120 см (рис. 19.7).

В северном углу жилого помещения обнаружены достаточно многочисленные фрагменты красного кирпича, относящиеся к развалившейся печи (рис. 19.7, 3-4). С конструкцией печи, очевидно, связан находящийся рядом с развалом подпорный столб размерами 15×16 в сечении по верхней части. Столб обтесан с западной, восточной и верхней стороны, на верхней же стороне оформлен также деревянный штырь (сечение 95×47 мм), его высота 15 см (рис. 19.7, 2-3).

Отметим также находку керамического фрагмента от поморского красноглиняного сосуда (рис. 19.7, 5).



Рисунок 19.7 – Становище Сассенфьорд. 1 – дверной проем, 2-4 – подпорный столб и остатки печи, 5 – керамический фрагмент

### *Гипсвика*

GPS-координаты (EU89) 16.575566 78.439537

Жилищный комплекс Гипсвика находится во внутренней части Исфьорда в северной части Сассенфьорда на высокой террасе северного берега залива Гипсвика приблизительно в 70 м к северо-востоку от береговой линии моря и в 40 м к юго-востоку от левого берега реки (рис. 19.8).

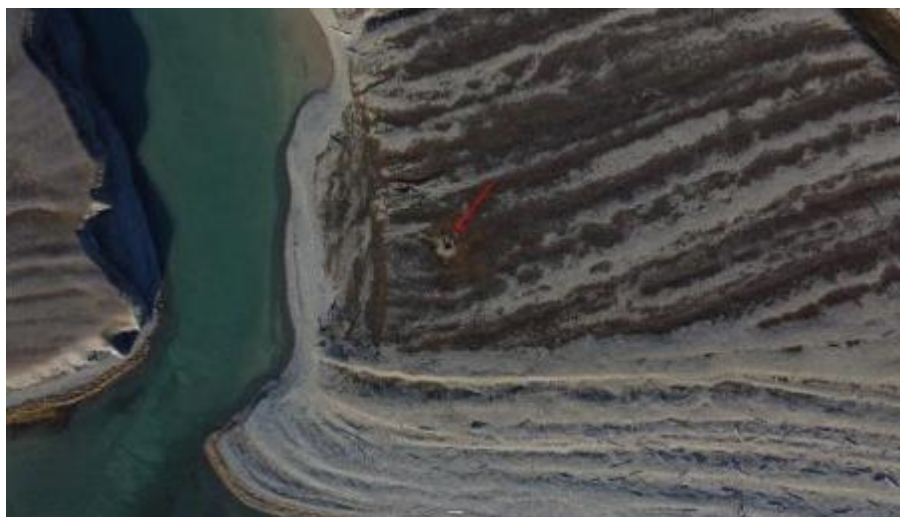


Рисунок 19.8 – Поселение Гипсвика. Квадрокоптерная съемка



Памятник представляет собой одночастную постройку размерами около 220 см по линии З-В и 220 см по линии Ю-С (рис. 19.9-11). Сохранились только три стеновые конструкции - западная, северная и восточная. Они сооружены из вертикально вкопанных столбов, в которых имеются специальные пазы для вертикальной вставки струганных досок. (рис. 9.9-10). Ширина досок 27-30 см, толщина до 7 см. Обнаружено девять вертикально вкопанных столбов – четыре по стенам, четыре внутри помещения и один за его пределами. Максимальная высота наиболее хорошо сохранившегося столба составляет 80 см. Сохранность столбов не позволяет точно определить диаметр каждого из них, можно лишь сказать, что он варьировал в пределах 11-20 см. На некоторых столбах прослеживаются следы подтески. С трех сторон вдоль этих стеновых конструкций имеются каменно-земляные валы шириной до 2-х метров и высотой 30-60 см.

В западном валу обнаружены фрагменты и крошка красного кирпича, характерного для поморских печей (рис. 19.11). Отметим также, что в юго-восточном угловом столбе обнаружен вбитый кованый железный гвоздь с квадратным в сечении (3×3 мм) стержнем, а в одном из валов найдены два фрагмента оконного стекла, одно толщиной 1,1 мм, другое толщиной 2,1 мм (рис. 19.11).



Рисунок 19.9 – Поселение Гипсвика. Вид с востока (слева) и квадрокоптерный снимок (справа)



Рисунок 19.10 – Поселение Гипсвика. Вид с востока (слева) и с юга (справа)



Рисунок 19.11 – Поселение Гипсвика. Западная стена и вал с включениями обломков красного кирпича (слева), находки: кованый гвоздь (центр), фрагменты оконных стекол (справа)

*Даудманнсодден*

На мысе Даудманнсодден продолжены начатые в 2021 г. обследования находящихся здесь поморских археологических памятников. Сделана квадрокоптерная съемка становища Вилкинсбукта и находящегося на одном из останцов остатков основания поморского креста и могилы, сооруженной из досок поморского судна (рис. 9.12-13).



Рисунок 19.12 – Становище Вилкинсбукта. Квадрокоптерная съемка



Рисунок 19.13 – Археологический комплекс на мысе Даудманнсодден, состоящий из креста и могилы. Квадрокоптерная съемка

Проведенный мониторинг памятников на архипелаге экспедицией ИА РАН в 2022 г. и сопоставление его с результатами прошлых лет подтверждает высказанное в отчете за 2021 г. заключение, 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.

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 результате проведенных в 2022 году обследований различных поморских памятников в регионе Исфьорда, получена новая важная информация о памятниках российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

Результаты исследований представлены на конференциях:

Державин В.Л., Колесников А.Б. Шаврин С.А. «Поморское становище XVIII в. на острове Медвежьем» (Шпицберген). Конференция: «Археология Арктики», Салехард, март 2022.



Державин В.Л. (Москва ИА РАН), Шумкин В.Я. (СПб ИИМК РАН) «Помор Иван Старостин – старожил Соловецкого монастыря на Шпицбергене». Конференция: «Соловки в истории и культуре Севера», Соловецкие острова, 5-9 сентября 2022 г.

По теме работ в 2022 году опубликованы статьи:

Колесников А.Б., П.Г. Сулавко, С.А. Шаврин, Державин В.Л. Институт археологии РАН. Археологические открытия 2021. Работы на Шпицбергене в 2021 г. Сборник в печати.

Шумкин В.Я., Державин В.Л., Хлобыстин А.Л. Шпицбергенский сезон Л.П. Хлобыстина: материалы к биографии выдающегося исследователя российского Севера // ИИМК РАН. ПАЖМИ 2022 № 1. С. 70-91.

Литература:

Овсянников О.В., Ясински М.Э. Взгляд на европейскую Арктику. Архангельский север: проблемы и источники. Том I. Санкт-Петербург 1998. С. 341.

Старков В.Ф., Черносветов, П.Ю., Державин В.Л., Захаров В.Г., Звягин В.Н., Шарин В.В. Материальная культура русских поморов. Вып. II. Поселения и погребения. М., 2005. 212 с. (коллективная монография).

**Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)**

**Мероприятие 20. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена**

Основная цель проекта разработать параметризацию 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 с использованием беспилотных летательных аппаратов.
- 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., Варенцов М.И., Барсков К.В., Мамонтов А.Е., Шишов Е.Д.

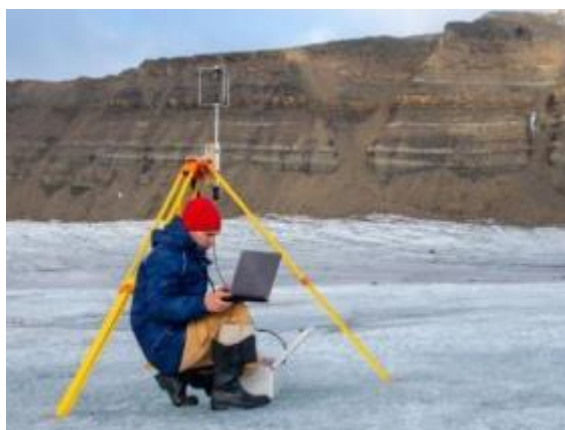
Для исследования структуры и динамики АПС использовались беспилотные летательные аппараты, измерения в приземном слое атмосферы. Для моделирования применялись региональные негидростатические и аналитические модели, в частности негидростатическая модель NH3D и прогностическая модель WRF.

1. В рамках экспедиционных работ ИФА РАН на архипелаге Шпицберген в 2022 г. решалось два блока задач по изучению структуры пограничного слоя атмосферы в условиях сильно неоднородного ландшафта. Первый блок был направлен на изучение турбулентного теплообмена над поверхностью ледника Альдегонда, второй блок – на изучение вертикального распределения метеорологических параметров в пограничном слое атмосферы над различными типами ландшафтов.

Для профильных измерений в пограничном слое атмосферы использовался измерительный комплекс на базе беспилотного летательного аппарата, квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro с комплектом метеорологических датчиков iMet-XQ2 (рис. 20.1а). Профильные измерения выполнялись в поселке Баренцбург, над водной поверхностью Гренфьорда и в нескольких точках, расположенных в разных частях ледников Альдегонда, Западный Гренфьорд и Эсмарка.



а



б

Рисунок 20.1 – Квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro с комплектом метеорологических датчиков iMet-XQ2 в ходе выполнения профильных измерений над ледником Западный Гренфьорд (а); настройка акустического анемометра на леднике Альдегонда научным сотрудником ИФА РАН Барсковым К.В (б). Фото: Варенцов М.И.

Также на леднике Альдегонда был установлен измерительный комплекс для измерения теплообмена атмосферы и поверхности (рис. 20.1б).

Измерения в Баренцбурге показали присутствие инверсии профиля скорости ветра с максимумом вблизи поверхности и уменьшением скорости с высотой. В обоих случаях такая картина наблюдалась на фоне интенсивного дневного прогрева поверхности и сверх-адиабатических градиентах температуры вблизи склона фьорда (рис. 20.2).

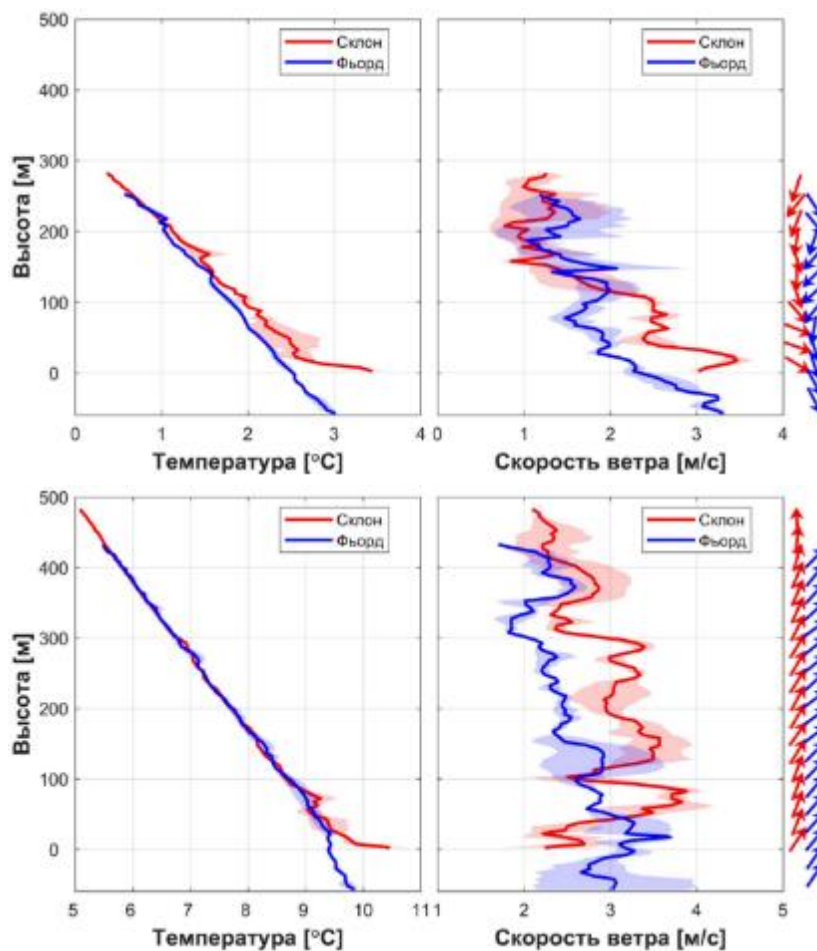


Рисунок 20.2 – Вертикальное распределение температуры воздуха и скорости ветра над склоном фьорда в поселке Баренцбург по данным измерений в 12 по UTC 9 сентября 2021 г. (а) и в 17:20 по UTC 12 августа 2022 г. (б). Полупрозрачной заливкой показан разброс значений в измерениях в ходе подъема и спуска квадрокоптера. Стрелки справа показывают направление ветра для диапазонов высот с шагом 25 м

Профильные измерения на ледниках показали, что скорость и вертикальная структура формирующегося над ними кatabатического потока значительно изменчива как во времени, так и в пространстве. Например, во время измерений на леднике Альдегонда, измерения в первой точке (расположенной на краевой морене) показали наличие типичной для ледникового ветра вертикальной структуры профиля ветра, с максимумом скорости более 6 м/с вблизи поверхности и резким поворотом ветра выше 300 м. При этом в ходе двух повторных измерений во второй точке, расположенной непосредственно на леднике в 1400 м от первой точки, наблюдалось схожая вертикальная изменчивости направления ветра, однако приземный максимум его скорости не был выражен.

Измерения на леднике Западный Гренфьорд, сделанные в ходе маршрута вдоль ледника снизу вверх, показали характерное для ледникового ветра южное направление во всех точках измерений. Но при этом наблюдалась высокая изменчивость структуры вертикального профиля ветра без явных временных или пространственных закономерностей (рис. 20.3).

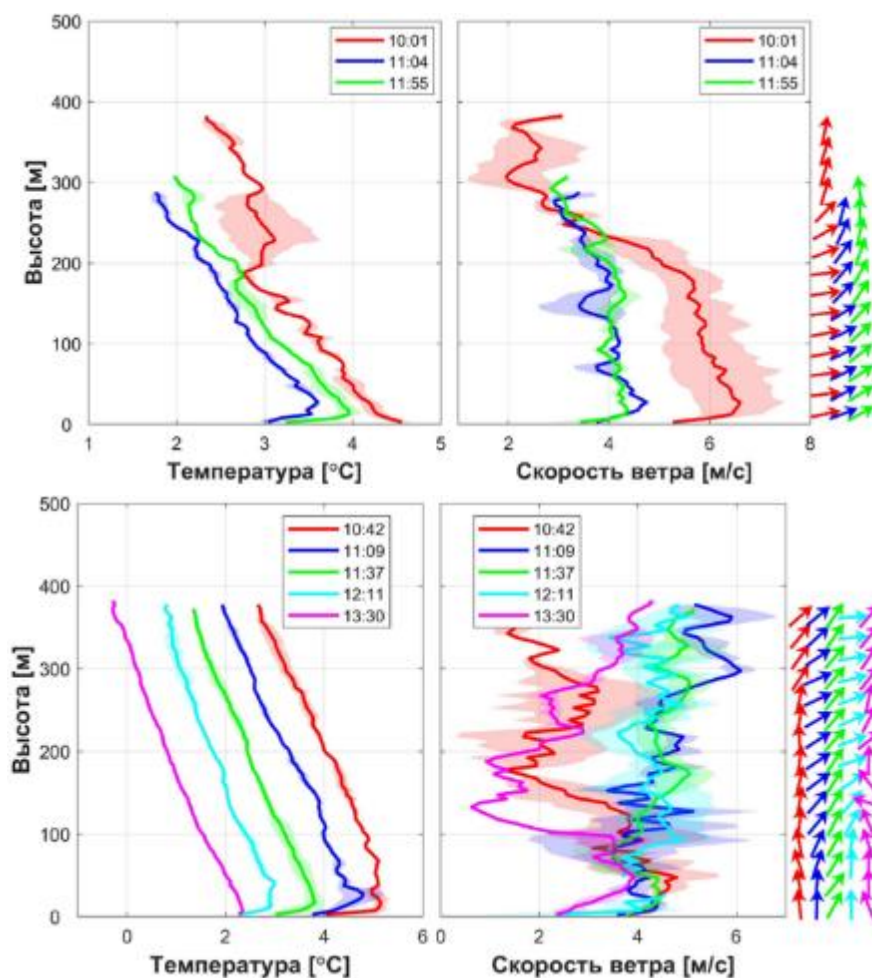


Рисунок 20.3 – Вертикальное распределение температуры воздуха и скорости ветра во время измерений над ледником Альдегонда 13 августа 2022 г. (а) и ледником Западный Гренфьорд 15 августа 2022 г. (б). Время в легенде указано по UTC. Полупрозрачной заливкой показан разброс значений в измерениях в ходе подъема и спуска квадрокоптера. Стрелки справа показывают направление ветра для диапазонов высот с шагом 25 м

Наблюдалось отрицательные турбулентные потоки явного тепла, что соответствует направлению потока вниз от атмосферы в ледник. Значения потоков малы в безветренную погоду, но во время сильного ветра могут достигать  $50-100 \text{ Вт/м}^2$ . Эти значения в разы превосходят оценки, полученные градиентным методом на этом же леднике в 2019 году, и могут быть сопоставимы с радиационным балансом и, следовательно, вносить существенный вклад в тепловой баланс ледника. Наблюдается относительно большие значения горизонтальных потоков потока тепла. (рис. 20.4)

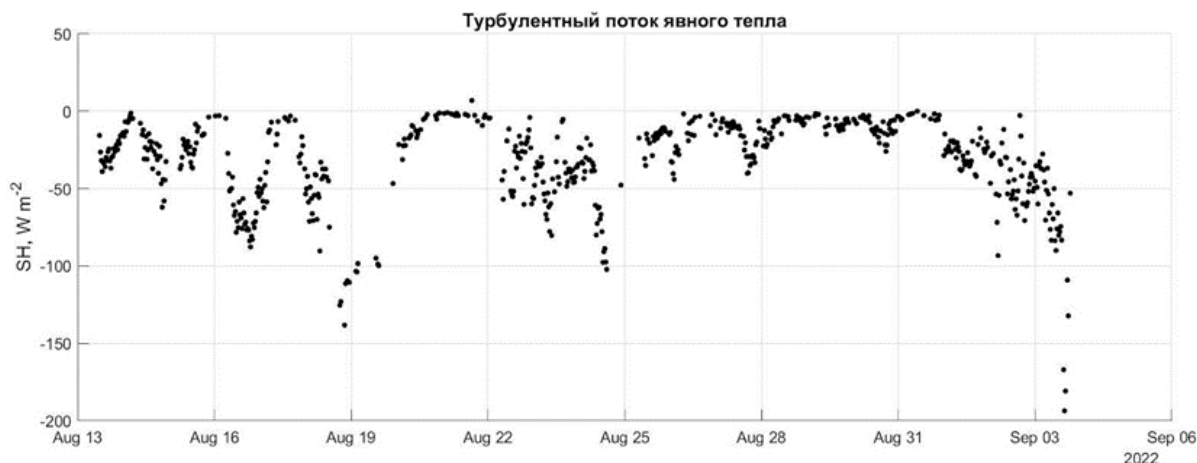


Рисунок 20.4 – Измеренные потоки тепла на леднике

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

2. Совместное моделирование атмосферы, океана и морского волнения с учетом морского льда с помощью модели COAWST (Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport) для случая сильной боры арктических архипелагов (орографический ветер на западном побережье Новой Земли и Шпицбергена) позволило более детально изучить процессы взаимодействия океана и атмосферы при орографических ветрах в Арктике.

Путем сравнения разных численных экспериментов удалось оценить влияние боры на интенсивность течения вдоль западного побережья архипелагов, перемешивание верхнего слоя океана, интенсивность турбулентного теплообмена с атмосферой, а также чувствительность результатов моделирования к параметризациям шероховатости морской поверхности, перемешивания в океане, ветровой накачки волн. Показано, что интерактивный обмен между моделями атмосферы и морского волнения оказывает большое влияние на результаты оценки турбулентных потоков в условиях боры, в то время как взаимодействием атмосферной и океанской моделей для этой задачи можно пренебречь.

Обнаружено, что орографические ветры в силу особенностей своей динамики, а именно, формирования зоны ветрового затишья на удалении от архипелага за счет нелинейных эффектов обтекания воздушным потоком горных хребтов, способствуют сохранению тепла в океане. Несмотря на локальное увеличение турбулентного теплообмена океана с атмосферой в прибрежной области, в зоне сильных ветров, заметное ослабление ветра на удалении от берега приводит к уменьшению турбулентных потоков тепла на поверхности в среднем по области на ~20%. Один из важнейших выявленных эффектов – формирование плотных арктических вод (рис. 20.5).

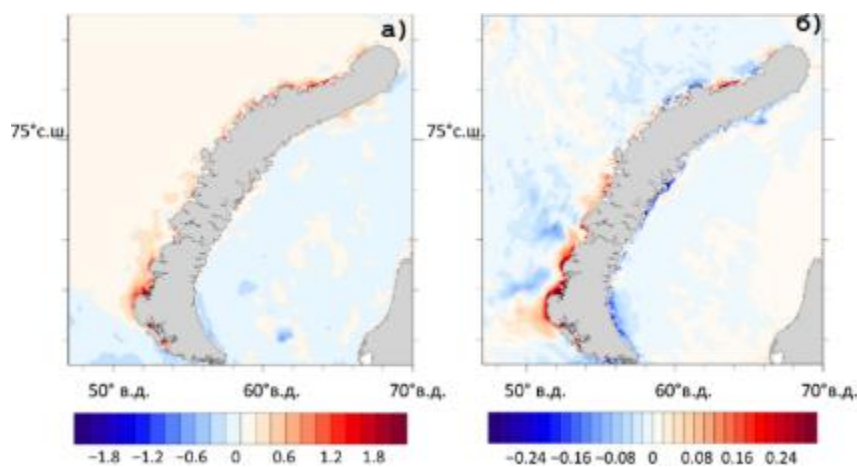


Рисунок 20.5 – Изменение плотности морской воды (кг/м<sup>3</sup>) за время боры (а) и средняя разность плотности воды (кг/м<sup>3</sup>) между экспериментами с учетом и без учета орографии (б)

В условиях холодного вторжения без орографических эффектов плотность вод у побережья Новой Земли по результатам численного эксперимента не достигает значений, характерных для промежуточной и донной арктических водных масс, в отличие от эксперимента с учетом новоземельской боры.

Основные выводы исследований 2022 года:

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

– Измерения на ледниках выявили эффект стокового ледникового ветра, выраженный в усилении приземной скорости ветра и резким изменением направления ветра выше



определенной высот. Также измерения показали, что скорость и вертикальная структура формирующегося над ними кататического потока сильно изменчива как во времени, так и в пространстве и зависит от морфометрических особенностей ледников.

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

– По результатам моделирования и наблюдений составлена карта районов с опасной болтанкой самолетов и вероятностью обледенения судов в прибрежных районах Шпицбергена.

– Обнаружено, что орографические ветры Шпицбергена в силу особенностей своей динамики, а именно, формирования зоны ветрового затишья на удалении от архипелага за счет нелинейных эффектов обтекания воздушным потоком горных хребтов, способствуют сохранению тепла в океане. Несмотря на локальное увеличение турбулентного теплообмена океана с атмосферой в прибрежной области, в зоне сильных ветров, заметное ослабление ветра на удалении от берега приводит к уменьшению турбулентных потоков тепла на поверхности в среднем по области на ~20%.

По результатам исследований опубликованы работы:

Варенцов М.И., Репина И.А., Мамонтов А.Е. Вертикальная структура атмосферного пограничного слоя над неоднородным рельефом в прибрежной зоне архипелага Шпицберген. Российская Арктика. Принято к печати.

Shestakova A.A., Chechin D.G., Lüpkes C., Hartmann J., Maturilli M. The foehn effect during easterly flow over Svalbard // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2022. V22(2), 1529-1548. DOI: 10.5194/acp-22-1529-2022

Shestakova A.A., Debolskiy A.V. Impact of the Novaya Zemlya and Svalbard Bora on the Ocean-Atmosphere Heat Exchange and Ocean Circulation: A Case-Study with the Coupled Model // *Atmosphere*, 2022. V13(7), 1108. DOI: 10.3390/atmos13071108

Результаты также представлены на конференциях:

Репина И.А., Артамонов А.Ю., Барсков К.В., Пашкин А.Д. Влияние взаимодействия атмосфера-море-суша на атмосферный пограничный слой в прибрежных зонах. Всероссийская конференция с международным участием «XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования - в практику берегопользования», Калининград, Россия, 18-24 апреля 2022

Репина И.А., Варенцов М.И., Мамонтов А.Е., Чечин Д.Г., Шестакова А.А. Исследование структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежной зоне Шпицбергена. Итоги экспедиционных исследований в 2021 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген, Москва, Россия, 14-15 марта 2022.

Мероприятие 20 выполнено полностью.

## Заключение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на арх. Шпицберген 2022 года включает 20 мероприятий, которые выполняются 12 организациями Консорциума. Продолжающиеся ограничительные меры, связанные как с пандемией новой коронавирусной инфекции, так и введенными против России санкциями, сделали выполнение некоторых Мероприятий затруднительным за счет трудностей, связанных с проездом научных сотрудников на архипелаг Шпицберген.

В 2022 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. Зимняя климатическая норма 1991-2020 (Росгидромет) повысилась по сравнению с 1960-1990 гг. на более чем 3°C, в целом за год значение новой климатической нормы стало выше на 2,3°C. Средняя температуры зимы 2021-2022 была выше новой климатической нормы на 0,2°C, лета – на 1,7°C. При этом количество осадков в течение года было сравнимо или ниже климатической нормы, за исключением марта.

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 океанологические, метеорологические, геофизические наблюдения, химико-аналитические исследования.

В рамках океанологического мониторинга поднята одна буйковая станция, установленная в октябре 2021 г. Термохалинное профилирование в весенний и летний периоды Гренфьорда и Исфьорда показало в августе слабый заток атлантической воды только на входе во фьорды, что сравнимо с предыдущими годами и отличается от океанографической ситуации 2016-2018 гг. Первичная оценка параметров карбонатной системы в заливах обнаружила насыщенность поверхностного слоя вод арагонитом, что способствует раковинообразованию, и инфузию углекислого газа из атмосферы в поверхностный слой морской воды.

Гидрологический мониторинг на водосборах рек и ледниках показал сравнительное уменьшение средней толщины снежного покрова и запаса влаги в снеге в 2022 г. Однако водность рек в летний период сопоставима с данными 2021 г. за счёт августовского дождевого паводка и стаивания снега после заморозков в сентябре.

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. Суммарная абляция ледников Альдегонда и Западный Шпицберген увеличилась и сравнима по объему с 2020 г. за счёт установления положительных температур воздуха уже в мае. Полный радиационный баланс на поверхности ледников был положительным с июля по сентябрь. Помимо усиления поверхностной абляции, за последние 10 лет изменилась структура политермических ледников – объем теплого льда уменьшился в большинстве обследованных ледников.

Сеть термометрических скважин в районе Баренцбурга дополнилась скважиной глубиной 25 м, температурные данные с которой передаются через спутниковую связь и

разбивкой площадки CALM на торфянике в районе мыса Альхорн. Данные мониторинга термического состояния мерзлоты в районе Баренцбурга передавались в международные системы наблюдений CALM и GTN-P. Были продолжены изучение и мониторинг состояния мерзлотных форм рельефа в районе п. Баренцбург и изучение генезиса подземных вод, выходящих на поверхность.

Палеогеографические, геоморфологические и биомониторинговые исследования выполнялись совместно с ВНИИОкеангеология в южной части Земли Оскара II, собран материал для дальнейших аналитических исследований, выполнен анализ образцов в химико-аналитической лаборатории, а также проведен аэропалинологический мониторинг в районе Баренцбурга в течение всего вегетационного сезона, отобраны керны отложений озер различного происхождения. Полученные ранее данные спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования стали основой реконструкции развития речной долины Рейндален в голоцене.

Экологический мониторинг 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, ведется обработка доставленных в Санкт-Петербург образцов.

Сотрудники ВНИИОкеангеология успешно провели полевые исследования ландшафтов на северном побережье залива Исфьорд в южной части Земли Оскара II, составили предварительные карты геологического содержания на ключевые участки, отобрали образцы горных пород и четвертичных отложений для последующих анализов. Пополнена эталонная коллекция горных пород разновозрастных структурно-формационных и магматических комплексов Шпицбергена. Также проведена морская экспедиция на НИС «Профессор Молчанов» с целью изучения геологического строения континентального шельфа Шпицбергена, континентальных склонов и прилегающих котловин. Сейсмоакустическое профилирование отрогов банки Персея свидетельствует о гляциальном происхождении форм рельефа. Отобранные образцы донных осадков, донно-каменного материала, выделенные из осадков газы будут всесторонне изучаться в лабораториях.

Морская комплексная экспедиция по изучению экосистем фьордов Шпицбергена запланирована ММБИ на конце декабря 2022 г. - начале января 2023 г. Успешно проведены летние береговые наблюдения, изучался вынос биогенных веществ реками во фьорды Шпицбергена, накопление осадочного материала в приустьевых зонах рек, адсорбционные свойства осадков и накопление тяжелых металлов в донных отложениях, отобраны образцы водорослей для оценки накопления в них нефтяных углеводородов и радионуклидов. Проведены лабораторные исследования накопления оловоорганических соединений в водорослях, бентосе и донных осадках.

Ученые Полярного ботанического сада КНЦ РАН не проводили полевые изыскания, анализировали и обобщали собранные ранее образцы и данные: в том числе выявлены местообитания и группировки растительности гольцовых пустынь, определены основные факторы развития цианопрокариот, в том числе в непривлекательных для других групп организмов экотопах, подготовлен список лишайников о. Северо-Восточная Земля, идентифицированы образцы мхов, собранных в районе п. Грумант, изучены особенности адаптации звездчатки приземистой на скальных экотопах приморских районов, влияния состава липидов на распределение арктических видов, изучены особенности разложения растительных остатков в серогумусовых почвах.

Специалисты Института географии РАН установили, что ледники Альдегонда, Западный и Восточный Гренфьорд, Вёринг, Фритьюф, Тавле и Эсмарк продолжают деградировать, при этом снеговая линия поднялась до отметки 500 м. Продолжилось изучение тепловых потоков в сезонно-талом слое и выполнена оценка влияния погодных условий на теплоперенос в системе атмосфера-поверхность-грунт на разных высотных уровнях. Изучался баланс парниковых газов на поверхности и в перигляциальной зоне ледника Альдегонда и вклад ледникового углерода в почвообразование почв, формирующихся на криоконитовом материале, изучен минеральный состав приледниковых

озер, выбраны модельные участки для последующего изучения состава фауны птиц в антропогенных условиях обитания.

Изучение археологических объектов на архипелаге было продолжено учеными ИА РАН. С помощью квадрокоптерной съемки и маршрутных исследований уточнено текущее состояние археологического комплекса на мысе Даудмансодден, изучены становища в Сассенфьорде и заливе Гипсвика, исследованы остатки хорошо сохранившегося и ранее не зарегистрированного поморского судна 18 века в восточной части Гренфьорда. Образцы дерева отобраны для дендрохронологического анализа совместно с коллегами из ИГ РАН. Данные о найденном судне переданы в Контору Губернатора Шпицбергена.

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 ассоциируются с процессами разрушения ледников Шпицбергена. В поселке Баренцбург произошло одно ощутимое землетрясение, эпицентр которого находился в районе рудника. Анализ распределения доминирующих направлений прихода инфразвуковых событий различной амплитуды показал, что слабые по силе события связаны с микробаромами – следствием штормов в северной Атлантике, а средние и сильные – с процессами деструкции ледников Шпицбергена.

Сотрудники ПГИ на основе данных, полученных комплексом оборудования геофизической обсерватории «Баренцбург», оценили особенности процессов генерации и распространения ультранизкочастотных и очень низкочастотных волн при воздействии на ионосферу мощным коротковолновым излучением, исследовали эффекты вспышки на Солнце 28.10.2021 г., сопровождавшейся генерацией солнечных космических лучей, описали новую систему изучения пульсирующих авроральных явлений, проследили в динамике высоту авроральных структур и оценили энергию высыпающихся электронов в типичных событиях. В сентябре проведено техническое обслуживание оборудования геофизической обсерватории в п. Баренцбург.

С помощью измерительных комплексов, установленных на квадрокоптере, исследователи ИФА им. А.М. Обухова РАН выполнили профильные метеорологические измерения и показали существенную роль рельефа в формировании ветровых и температурных условий в прибрежных районах Шпицбергена и значительный вклад ледников в формирование теплового баланса в летний период. По результатам моделирования и наблюдений составлена карта районов с опасной болтанкой самолетов и вероятностью обледенения судов в прибрежных районах Шпицбергена. Обнаружено, что орографические ветры Шпицбергена в силу особенностей своей динамики, а именно, формирования зоны ветрового затишья на удалении от архипелага за счет нелинейных эффектов обтекания воздушным потоком горных хребтов, способствуют сохранению тепла в океане.

Международное сотрудничество приостановлено со стороны иностранных партнеров, продолжается сотрудничество по написанию статей. Сотрудники ААНИИ участвовали удаленно в международных конференциях EGU General Assembly (Вена) и Cryosphere Symposium (Рейкьявик), также молодым ученым ААНИИ удалось лично принять участие в 51-ом международном Арктическом семинаре, организованном на базе Университетского центра на Шпицбергене. Ученые ПАБСИ приняли удаленно участие в конференции 10th Conference of European Committee for Conservation of Bryophytes (Загреб).

Несмотря на продолжающиеся в 2022 г. трудности при организации экспедиционных полевых работ, благодаря взаимной информационной и логистической поддержке, организации-партнеры по РНЦШ выполнили программу исследований и наблюдений. Целевые показатели программы в большой степени достигнуты. Количество публикаций в реферируемых журналах незначительно снизилось в связи с приостановкой международного сотрудничества и изменением публикационной политики иностранных журналов в отношении российских авторов.

**Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2022 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)	43	38
2	Прирост объема информации о природной среде арх. Шпицберген (гигабайт), в том числе данные постоянных метеорологических, геофизических и спутниковых наблюдений	18000	18000
3	Количество молодых ученых (специалистов) ВУЗов, студентов и аспирантов, привлеченных к выполнению НИОКР в рамках проекта	20	23
4	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности, в том числе направленных на государственную регистрацию	0	0