

УТВЕРЖДЕНО
протоколом Наблюдательного совета
по координации деятельности
Российского научного центра на
архипелаге Шпицберген
от «16» декабря 2025 г. №21

ОТЧЕТ
о выполнении
Межведомственной программы
научных исследований и наблюдений на архипелаге
Шпицберген в 2025 году

Москва 2025

Содержание

Введение.....	4
Мероприятия Росгидромета	8
ФГБУ «АНИИ».....	8
Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы	8
Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген	19
Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген.....	24
Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена.....	29
Мероприятие 5. Палеогеографические исследования.....	33
Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты.....	40
Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей	45
Мероприятие 8. Геофизические исследования	46
ФГБУ «Мурманское УГМС»	52
Мероприятие 9. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург»	52
ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «АНИИ»	55
Мероприятие 10. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген	55
Мероприятия Роснедр.....	61
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»	61
Мероприятие 11. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген.....	61
Мероприятия организаций Минобрнауки России	65
Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)	65
Мероприятие 12. Современная изменчивость природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген.....	65
Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН) ...	75
Мероприятие 13 Комплексные исследования среды и биоты морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген	75
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН)	82
Мероприятие 14. Изучение видового разнообразия и структурно-функциональных особенностей растений в арктических экосистемах архипелага Шпицберген.....	82
Кольский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН	95
(КоФ ФИЦ ЕГС РАН)	95
Мероприятие 15. Сейсмический и инфразвуковой мониторинг опасных природных явлений на архипелаге Шпицберген.....	95
Полярный геофизический институт (ПГИ)	100
Мероприятие 16. Проведение наблюдений за электромагнитным полем и потоками выпадающих частиц на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высоких широтах атмосферы Земли	100

Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)	109
Мероприятие 17. Неинвазивные археологические методы в сохранении российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген	109
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН).....	119
Мероприятие 18. Исследование энергетического баланса и ветрового режима арх. Шпицберген в условиях таяния ледников.....	119
Институт физико-химических и биологических проблем Российской академии наук (ИФХиБПП РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН)	126
Мероприятие 19. Комплексное исследование ископаемых почв палеозоя и современных почвенно-мерзлотных комплексов архипелага Шпицберген с целью изучения процессов формирования и функционирования почвенного покрова в геологической истории Земли	126
Мероприятие 20. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене	136
Заключение	137
Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2025 г.	142

Введение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2025 г. (далее – Межведомственная программа) была утверждена Наблюдательным советом РНЦШ 25 марта 2025 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. и «Концепцией создания и развития Российского научного центра на архипелаге Шпицберген», одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2014 г. № 1676-р.

Программа содержала следующие задачи:

1. Исследование гидрометеорологического режима, текущих и прошлых климатических изменений на архипелаге Шпицберген, включая изучение криосферы, рельефа, почв и грунтов, вод суши.

2. Выполнение комплексных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

3. Мониторинг океанологических и ледовых условий в прибрежных водах архипелага, изучение динамики и структуры водных масс и влияния Западно-Шпицбергенского течения на океанологические условия в регионе.

4. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген, изучение баланса биогенных компонентов и величин первичной продукции на акваториях, подверженных влиянию ледников архипелага Шпицберген.

5. Исследование компонентов микробной трофической сети в пелагиали, оценка продукционных характеристик массовых видов зоопланктона, видового разнообразия и морфофункционального состояния фитобентоса, литоральной и сублиторальной донной фауны фьордов Шпицбергена.

6. Изучение бассейновой седиментации в Малом ледниковом периоде, механизмов формирования донных отложений, содержания антропогенных изотопов и загрязняющих веществ в открытых и закрытых бассейнах Шпицбергена.

7. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага, оценка вклада различных элементов водного баланса.

8. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген, оценка пространственной и структурной изменчивости характеристик ледников.

9. Исследование теплового баланса снежно-ледниковых покровов, взаимосвязи альбедо с характером и состоянием подстилающей поверхности, анализ энергообмена атмосферы и поверхности в зоне таяния ледника.

10. Оценка параметров приземного слоя атмосферы над ледниковой поверхностью и границей море-берег, изучение свойств атмосферного пограничного слоя над ледниками, исследование ветровых структур над ледниками и на побережье.

11. Изучение тепловых потоков в сезонно-талом слое многолетней мерзлоты на разных высотных уровнях для оценки состояния многолетней мерзлоты.

12. Оценка влияния изменчивости параметров снежного покрова на термический режим сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты на основе прямых измерений и математического моделирования.

13. Мониторинг температурного состояния многолетней мерзлоты, глубины распространения сезонно-талого слоя и оценка энерго- и массообмена подстилающей поверхности с атмосферой.

14. Оценка величины и изменчивости потоков биогенных парниковых газов и баланса углерода для арктической тундры и антропогенно-изменённых участков.

15. Установление особенностей формирования органического вещества почв в районах отступления ледника и на антропогенно-изменённых участках.

16. Инвентаризация видового состава фототрофной биоты архипелага Шпицберген, выявление новых для региона и Арктики видов растений, изучение филогении арктических таксонов на внутривидовом и инфравидовом уровнях.

17. Классификация экологического разнообразия, анализ экологических особенностей отдельных видов; выявление климатогенных и антропогенных преобразований фототрофной биоты, изучение особенностей адаптации высших сосудистых растений на уровне изменений фотосинтетического аппарата и метаболической активности.

18. Мониторинг гнездовых группировок птиц в антропогенных местообитаниях и синантропных колониях и сравнение успешности и сроков их гнездования с природными местообитаниями.

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

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

21. Исследование геологического разреза девона на Земле Диксона на предмет обнаружения палеопочв и педокомплексов девонского времени в широком временном интервале.

22. Изучение биогенного преобразования осадка и формирования почвенного покрова архипелага Шпицберген в девонский период.

23. Характеристика морфологического строения почвенно-мерзлотных комплексов на основных типах приморских аккумулятивных ландшафтов и морских террасах различного возраста, определения базовых характеристик микробных сообществ, изучение криогенной трансформации органических и минеральных новообразований в четвертичных отложениях.

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

25. Геолого-геофизическое изучение Шпицбергенского шельфа: сбор материалов по стратиграфии и вещественному составу пород нижнепротерозойского, рифейского и четвертичного комплексов; петрологии разновозрастных метаморфических и магматических комплексов; структурным и кинематическим характеристикам зон глубинных разломов; минерагии, магнитометрии, геоморфологии, палеогеографии и палеонтологии.

26. Детализации представлений об опасных природных процессах, происходящих в литосфере и криосфере высокоширотной Арктики на основе данных регистрации сейсмических и низкочастотных акустических (инфразвуковых) сигналов.

27. Контроль уровня геодинамического риска в районе размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь» и российских поселков на архипелаге Шпицберген.

28. Развитие методологических основ дистанционного геофизического контроля наиболее опасных типов деструктивных процессов в криосфере.

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

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

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

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

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

34. Проведение археологических разведок и обследований с целью выявления памятников археологии и мониторинга состояния известных памятников (становища, погребения, остатки крестов, судовое дерево).

35. Исследование объектов на Шпицбергене, связанных с русским и зарубежным угледобывающим производством конца XIX – первой трети XX века.

36. 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 океанологических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген. Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой и балансом массы ледников Западного Шпицбергена. Мероприятие 5. Палеогеографические исследования. Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты. Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей. Мероприятие 8. Геофизические исследования.

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

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

Организации Роснедр

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

Организации Минобрнауки России

ИГ РАН – Мероприятие 12. Современная изменчивость природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген.

ММБИ РАН – Мероприятие 13. Комплексные исследования среды и биоты морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген.

ПАБСИ КНЦ РАН – Мероприятие 14. Изучение видового разнообразия и структурно-функциональных особенностей растений в арктических экосистемах архипелага Шпицберген.

КоФ ФИЦ ЕГС РАН – Мероприятие 15. Сейсмический и инфразвуковой мониторинг опасных природных явлений на архипелаге Шпицберген.

ПГИ – Мероприятие 16. Проведение наблюдений за электромагнитным полем и потоками высыпающихся частиц на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высоких широтах атмосферы Земли.

ИА РАН – Мероприятие 17. Неинвазивные археологические методы в сохранении российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

ИФА им. А.М. Обухова РАН – Мероприятие 18. Исследование энергетического баланса и ветрового режима архипелага Шпицберген в условиях таяния ледников.

ИФХиБПП РАН – Мероприятие 19. Комплексное исследование ископаемых почв палеозоя и современных почвенно-мерзлотных комплексов архипелага Шпицберген с целью изучения процессов формирования и функционирования почвенного покрова в геологической истории Земли.

Мероприятие 20. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене.

При выполнении Межведомственной программы организации РНЦШ сталкивались с проблемами, связанными с санкциями ЕС и Норвегии, введенными против Российской Федерации, которые по-прежнему ограничивали возможности по организации работ на Шпицбергене, провозу научного оборудования и расходных материалов, а также в целом увеличивали расходы на проведение полевых исследований на архипелаге. Несмотря на это все запланированные полевые исследования были проведены благодаря взаимной логистической поддержке партнерами РНЦШ и содействию ГТ «Арктикуголь».

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 «ААНИИ»

Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы

Исследования параметров приземной атмосферы включали три раздела:

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

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

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

Изучение оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля

Изучение характеристик атмосферного аэрозоля на архипелаге Шпицберген ведется ААНИИ совместно с Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА СО РАН) «Развитие моделей и методов мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы, океана, морского ледяного покрова, ледников и вечной мерзлоты, исследования процессов взаимодействия льда с природными объектами и инженерными сооружениями для Арктики» НИТР учреждений Росгидромета и государственного задания ИОА СО РАН №121031500342-0. Основные цели исследований – оценка радиационно-климатического влияния аэрозоля в высокоширотном регионе и разработка средних эмпирических микрофизических моделей аэрозоля в регионе работы станции, оценка вклад региональных источников аэрозоля (местных и морских) и переносов аэрозоля на Шпицберген со стороны Евразии.

Измерения характеристик атмосферного аэрозоля выполнялись на территории ГМО «Баренцбург» сотрудниками зимовочного состава РАЭ-Ш ААНИИ непрерывно в течение года. В состав измеряемых и рассчитываемых характеристик входят: аэрозольная оптическая толщина (АОТ) в диапазоне спектра 0,34-1,55 мкм; общее влагосодержание атмосферы W [$\text{г} \times \text{см}^{-2}$] (ОВС); счетная концентрация частиц аэрозоля NA [см^{-3}] в приземном слое атмосферы; объёмы частиц мелко- и грубодисперсного аэрозоля радиусом меньше и больше 0,5 мкм (V_f и V_c); массовая концентрация аэрозоля M_A [$\text{мкг} \times \text{м}^{-3}$]; массовая концентрация поглощающего вещества в эквиваленте черного углерода eBC [$\text{нг} \times \text{м}^{-3}$].

Измерения АОТ и общего влагосодержания атмосферы выполнялись на территории с помощью солнечного фотометра SPM (Сакерин и др. 2010). Измерения АОТ осуществлялись в диапазоне спектра 0,34-1,55 мкм (11 спектральных участков). Влагосодержание рассчитывалось по данным измерений прямой солнечной радиации в полосе поглощения водяного пара 0,94 мкм и соседнем окне прозрачности атмосферы – 0,87 мкм. Методики определения АОТ и влагосодержания описаны в Сакерин и др. 2010; Кабанов и др., 2001; Кабанов и др., 1997; Кабанов и Сакерин, 1995; Кабанов и др., 2009.

Комплекс аппаратуры для круглосуточных измерений основных микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое воздуха располагался на метеорологическом полигоне, на удалении около 4÷5 км от поселка и содержал в своем составе: четырехволновой дифференциальный аэталометр МДА-02 (ИОА СО РАН); оптический счетчик частиц AZ-10 (ИОА СО РАН); трехволновой интегрирующий нефелометр TSI-3563 (ААНИИ).

Характеристики изменчивости АОТ и влагосодержания атмосферы

Измерения фотометром выполнялись с 10 марта по 28 августа 2025 г. За этот период было проведено 346 замеров. После обработки данных и фильтрации замеров, искаженных облачностью, были сформированы массивы среднечасовых и среднедневных значений АОТ и ОВС.

Временная изменчивость среднедневных значений спектральных составляющих аэрозольной оптической толщины τ^α_λ , параметра Ангрстрема α ($\tau^\alpha(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$), АОТ мелко- и грубодисперсного аэрозоля ($\tau^f_{0.5}$, τ^c) в районе Баренцбурга в период измерений иллюстрируется на рисунке 1.1. В качестве τ^c выбиралось минимальное значение АОТ в ИК-диапазоне спектра, а $\tau^f_{0.5} = \tau^{a_{0.5}} - \tau^c$. В 2025 г. в основном наблюдался достаточно стабильный уровень аэрозольного замутнения атмосферы. Наиболее сильный всплеск замутнения атмосферы был зафиксирован 13 июня. Основная динамика АОТ в этот день происходила в коротковолновой части спектра, то есть была обусловлена изменением содержания в атмосфере мелкодисперсного аэрозоля. Анализ обратных траекторий воздушных масс (HYSPLIT, <https://www.ready.noaa.gov>) показал, что вынос воздуха (на высоту 1 км) в период измерений проходил из северной части Кольского полуострова, северо-западной территории России и стран Прибалтики. (рис. 1.2).

Сопоставление среднемесячных значений АОТ в 2025 г. с годовым ходом за период 2011-2021 гг. (Кабанов и др., 2023) показало следующее (рис. 1.3а). Весенний максимум в текущем году, в отличие от среднего многолетнего годового хода АОТ, проявился в марте-апреле ($\tau^{a_{0.5}} = 0,084 \pm 0,019$). Летний максимум наблюдался в июне-июле ($\tau^{a_{0.5}} = 0,104 \pm 0,041$). Весенний и летний максимумы разделены минимумом в мае ($\tau^{a_{0.5}} = 0,066 \pm 0,016$). Наиболее низкие значения АОТ наблюдались в августе ($\tau^{a_{0.5}} = 0,060 \pm 0,023$). Таким образом, сезонные изменения АОТ в 2025 г. по характеру совпадают с многолетним годовым ходом, однако, смещены на один месяц вперед.

Тестирование данных 2025 г. с помощью методики определения присутствия в атмосфере дымового аэрозоля (Кабанов et al., 2022) показало, что повышение замутнения атмосферы в июне (13-го и часть замеров 19-го и 20-го числа) может быть отнесено к влиянию дымового аэрозоля. Исключение этих данных приводит к уменьшению среднего значения $\tau^{a_{0.5}}$ в июне на 15%, что практически совпадает с июльским значением ($\tau^{a_{0.5}} = 0,094 \pm 0,012$).

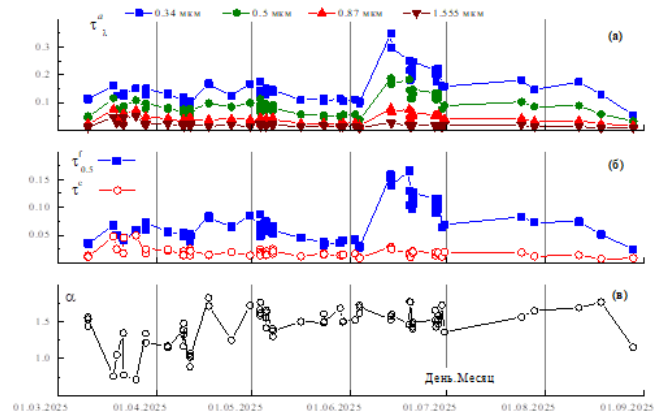


Рисунок 1.1 – Вариации АОТ (0,34; 0,50 и 2,14 мкм) (а), $\tau^f_{0.5}$, τ^c (б) и показателя Ангрстрема α (в) в районе Баренцбурга в 2025 г.

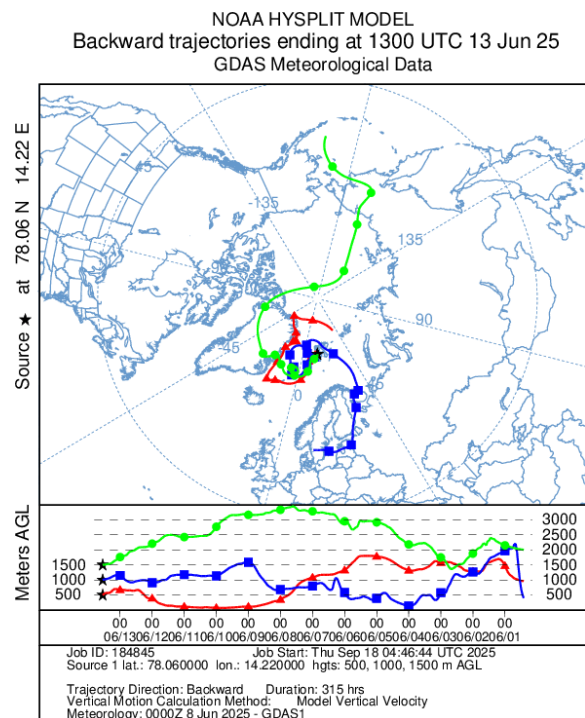


Рисунок 1.2 – Обратные траектории воздушных масс для 13 июня 2023 г.

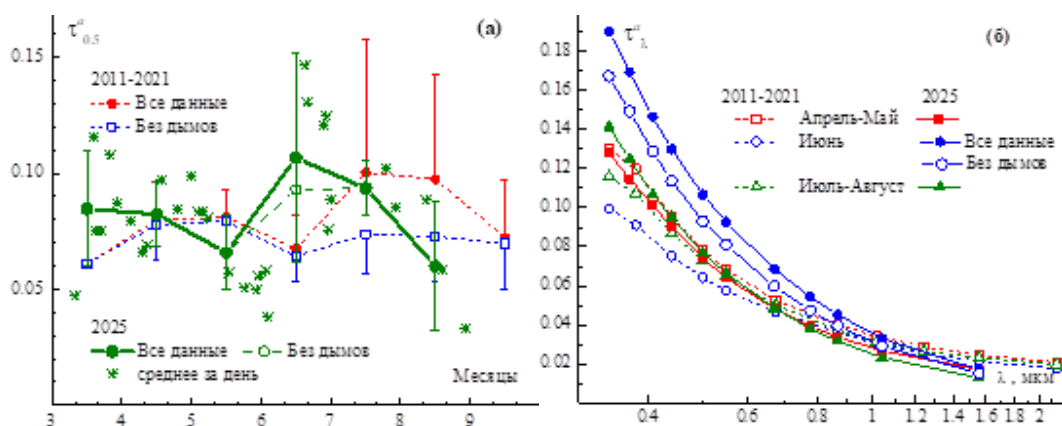


Рисунок 1.3 – Сопоставление результатов 2025 г. со средними значениями за предыдущие годы (2011-2021 гг.): сезонный ход $\tau_{0.5}^a$ (а), спектральные зависимости АОТ в разные периоды (б)

Из средних спектральных зависимостей для характерных периодов сезонной изменчивости по многолетним данным (при исключении дымовых ситуаций) видно, что основные спектральные различия в характерные периоды года (рис. 1.3б) возрастают с уменьшением длины волны, то есть, обусловлены мелкодисперсным аэрозолем. Наиболее сильно это проявилось для июньских данных. Например, параметр Ангрстрема, характеризующий наклон спектральной зависимости АОТ ($0,44 \pm 0,87$ мкм), для спектра с исключёнными дымовыми ситуациями по многолетним данным в июне составил $\alpha = 1,10$, а в 2025 г. $\alpha = 1,54$.

Основная изменчивость ОВС атмосферы в 2025 г. была обусловлена сезонной динамикой этой величины (минимальные значения в холодный период года и максимальные – летом). Средние за месяц значения ОВС в отчётном году достаточно хорошо согласуются с многолетними данными (рис. 1.4). Незначительное превышение среднего значения ОВС в августе над июльским ($\Delta W = 0,11$ г/см², 10%) связано с тем, что измерения в июле выполнялись лишь в течение двух дней (24-го и 28-го числа). В среднем различие с многолетними значениями составляет 0,04 г/см² (~10%). Минимальное среднее за день значение ОВС в 2025 году наблюдалось 24-го апреля (0,16 г/см²), а максимальное – 11-го августа (1,51 г/см²).

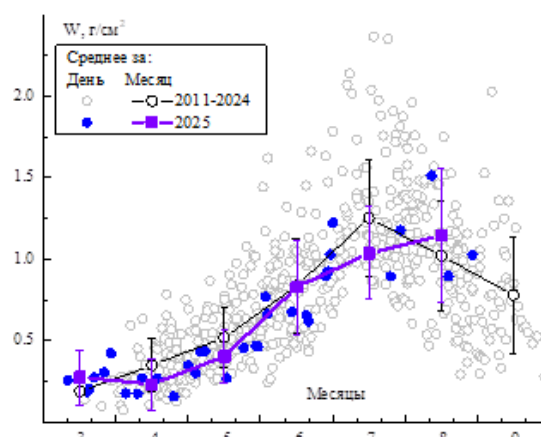


Рисунок 1.4 – Сопоставление результатов измерения ОВС атмосферы в 2024 г. с данными 2011-2023 гг.

Вариации микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое атмосферы

Работа аэрозольного комплекса в текущем сезоне в целом проводилась с 1 октября 2024 по 30 сентября 2025 года. При этом замеры массовой и счетной концентраций аэрозоля счетчиком частиц AZ-10 проводились на высоте 2-2,5 м круглосуточно (в течение 20 минут и с периодичностью 1 раз в час). Измерения коэффициентов аэрозольного рассеяния нефелометром TSI проводились с 22 октября 2024 г. (после замены неисправной лампы) и до 17 августа 2025 г. в непрерывном режиме с записью усредненных значений в файл каждые 5 минут. В работе аэталометра МДА-02 еще в конце 2024 г. отмечалась неисправность. К сожалению, вывезти прибор на ремонт не удастся, как и произвести ремонт на месте. Поэтому измерения массовых концентраций поглощающего вещества в текущем сезоне не проводились.

При обработке исходных данных важная роль отводится выбраковке. Нередко при измерениях встречаются кратковременные пропуски или всплески (ложные замеры) из-за влияния локальных источников аэрозоля в месте расположения пункта измерений и влияния других факторов (в том числе возможных неблагоприятных метеорологических условий: низкая облачность, туманы, осадки и пр.). Также с помощью специального алгоритма проводилась фильтрация результатов измерений. Алгоритм включает процедуры выявления дефектных данных (пропусков и всплесков продолжительностью до 4 часов) и их замену на средние значения показаний до и после выявленных дефектов.

Средние значения массовой и счетной концентраций аэрозоля за полный период измерений составили: $M_A = 4,82 \pm 3,63 \text{ мкг} \times \text{м}^{-3}$; $N_A = 9,3 \pm 8,2 \text{ см}^{-3}$. Максимумы среднесуточных значений N_A отмечались 29 октября и 1 ноября 2024 г., 2 и 6 января, многочисленные всплески в конце апреля и начале мая, а также 6 и 20 сентября 2025 г. Значения M_A имели наиболее выраженные максимумы 2-3 января и 2-6 февраля. В среднемесечном годовом ходе (рис. 1.5) максимум счетной концентрации наблюдается в марте, а массовой концентрации в феврале этого года. В целом средние значения этого года в 1,1÷1,15 раза ниже средних значений предыдущего сезона. Основные отличия проявляются в летний период. Так, в июне и августе этого года средние значения счетной концентрации ниже соответствующих значений 2024 года в 3,3 и 1,8 раза соответственно (рис. 1.6). Массовая концентрация в 2025 году также ниже – в июне в 2,3 раза, в августе почти в 1,4 раза. В начале 2025 года наоборот, наблюдалось превышение средних значений над данными 2024 года – для массовой концентрации с января по март, для счетной только в январе и марте, при этом данные в феврале сопоставимы в оба сезона.

На рисунке 1.7 представлены временные развертки среднесуточных значений коэффициента аэрозольного рассеяния, измеренного нефелометром TSI на 3-х длинах волн: 450, 550 и 700 нм, которые характеризуют динамику прозрачности воздуха в приземном слое. Характер изменчивости σ хорошо согласуется с изменением субмикронной составляющей объемных концентраций. Дополнительно были проведены оценки взаимосвязей коэффициентов рассеяния со всеми аэрозольными характеристиками. Максимальная корреляция ($R=0,76$) наблюдается во взаимосвязи коэффициента рассеяния с субмикронной фракцией, минимальный коэффициент корреляции

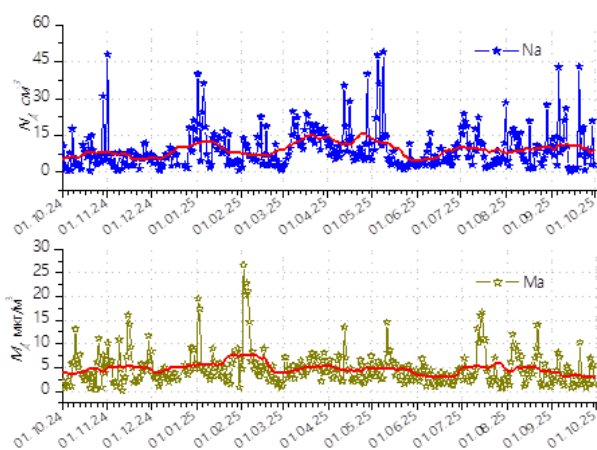


Рисунок 1.5 – Временной ход счетной и массовой концентраций аэрозоля в 2024-2025 гг. в Баренцбурге

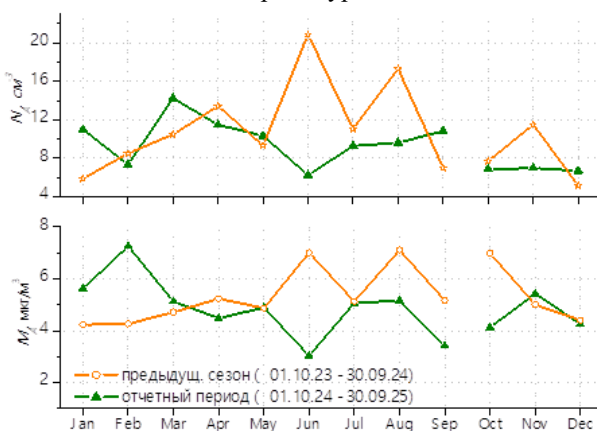


Рисунок 1.6 – Годовой ход счетной и массовой концентраций аэрозоля в Баренцбурге в 2024-2025 гг. в сравнении с сезоном 2023-2024 гг.

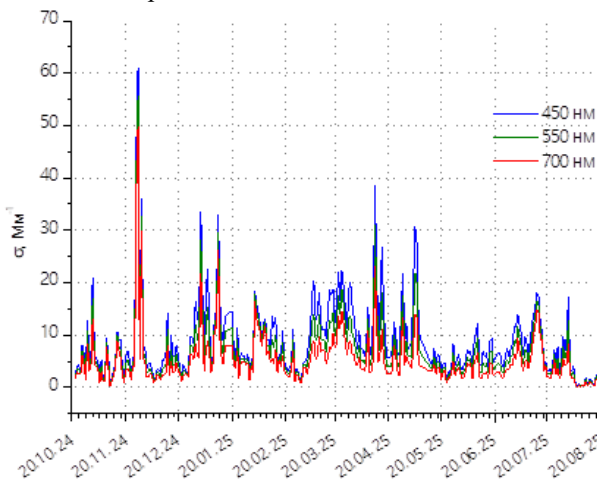


Рисунок 1.7 – Временной ход коэффициента аэрозольного рассеяния на 3-х длинах волн в Баренцбурге в 2024-2025 гг.

($R=0,4$) – между коэффициентом рассеяния и грубодисперсной составляющей V_c . Поскольку крупные частицы дают максимальный вклад при оценках массовой концентрации аэрозоля M_a , полученный коэффициент корреляции между σ и M_a также оказался невысок ($R=0,49$). Проведенные оценки совпадают с ранее полученными данными для более широкого массива за предыдущие сезоны совместных измерений двумя приборами (Чернов и др., 2024).

Оценка спектрального хода коэффициентов рассеяния показала, что за полный измерительный период 2024-2025 гг. среднее значение параметра Ангстрема для коэффициента полного рассеяния составило $\alpha \sim 1,18$ (коэффициент корреляции равен 0,99).

Таким образом можно сделать предварительные выводы об изменении аэрозольно-оптических параметров атмосферы в 2025 г.:

- Замутнение толщи атмосферы в отчетный период в среднем оказалось достаточно близко к многолетнему уровню. Отличие не превышает 10%. К особенностям измерительного периода 2025 г. в сравнении с многолетними данными можно отнести повышенное замутнение атмосферы в июне и низкие значения АОТ в августе.

- Сезонная изменчивость ОВС атмосферы в 2025 г. достаточно хорошо согласуется с многолетними данными.

- Средние значения (и СКО) концентраций аэрозоля составили: $M_A = 4,82 \pm 3,63 \text{ мкг} \times \text{м}^{-3}$; $N_A = 9,3 \pm 8,2 \text{ см}^{-3}$. Средние значения аэрозольных характеристик в $1,1 \div 1,15$ раза ниже прошлогодних. Минимум концентраций отмечен в июне, максимумы – в феврале (M_A) и марте (N_A).

- Средние значения коэффициентов полного аэрозольного рассеяния по данным измерений нефелометра TSI 3563 составили: $9,25 \pm 12,9 \text{ Мм}^{-1}$ ($\lambda=450 \text{ нм}$); $7,27 \pm 11,3 \text{ Мм}^{-1}$ ($\lambda=550$); $5,49 \pm 9,56 \text{ Мм}^{-1}$ ($\lambda=700$).

Экспериментальные исследования теплового баланса и особенностей микроклимата снежно-ледниковых покровов

Основной целью работ по программе являлось исследование особенностей теплового баланса снежно-ледниковых поверхностей архипелага Шпицберген. В ходе весеннего и летнего этапа работ решались следующие задачи:

- Организация временного пункта теплосбалансовых наблюдений в центральной части ледника Альдегонда, включающего прямые измерения составляющих радиационного баланса, градиентные метеонаблюдения на уровне поверхности и 1,6 м, а также автоматизированную фотосъемку облачного покрова;

- Маршрутные съемки альbedo поверхности ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд (далее – З. Грэнфьорд);

- Микроклиматические наблюдения по 3 АМС, расположенным в нижней и верхней частях ледника Альдегонда и в нижней части ледника Западный Грэнфьорд.

- В весенний этап проводились экспериментальные исследования испарения с поверхности снега.

Полевые работы велись на ледниках Альдегонда и З. Грэнфьорд (рис. 1.8) в периоды с 19.04.2025 по 07.05.2025 и с 25.07.2025 по

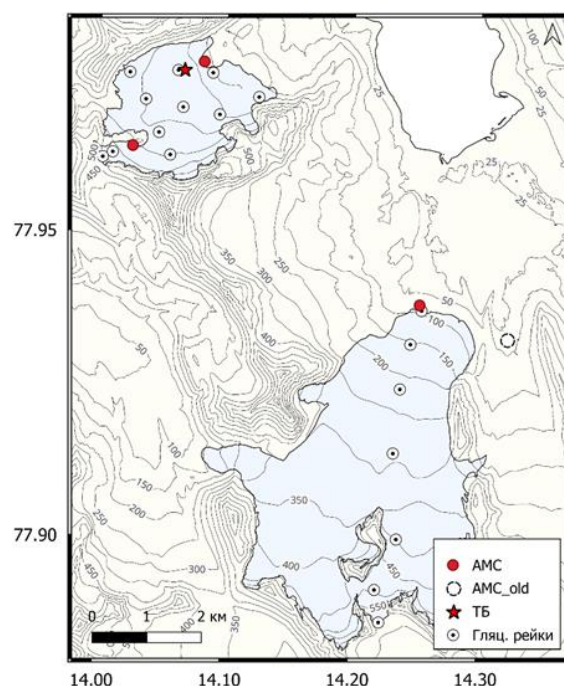


Рисунок 1.8 – Расположение сети наблюдений на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд

09.09.2025. Исполнители: Зотова Е.В., Масловский А.С. (весенний этап); Литина Е.Н. и Лондикова Н.В. (летний этап).

На леднике Альдегонда в течение и весеннего и летнего этапов выполнялись комплексные измерения составляющих теплового баланса поверхности. Для этого в центральной части ледника была установлена теплобалансовая мачта (см. рис. 1.8), на которой размещался 4-х канальный радиометр-балансомер CNR-4. Для оценки турбулентных потоков явного и скрытого тепла производились измерения температуры и относительной влажности воздуха на 2-х уровнях (0,0 и 1,6 м), а также измерения скорости ветра.

В непосредственной близости от ТБМ и градиентной мачты была установлена облачная камера (на основе микрокомпьютера Raspberry Pi), которая регистрировала состояние облачного покрова над ледником с часовой дискретностью. Время съемки облачности и измерений на ТБМ и градиентной мачте было синхронизировано.

Маршрутные съемки альbedo на ледниках Альдегонда и З. Грэнфьорд выполнялись 1 раз в неделю. Точки маршрутных съемок альbedo были привязаны к местам расположения гляциологических рек (см. рис. 1.8). Величины потока приходящей и отраженной солнечной радиации измерялись непосредственно над исследуемыми участками с ненарушенным ледниковым или снежным покровом. В каждой точке маршрута фиксировалось фактическое состояние погоды (облачность, состояние диска Солнца, атмосферные явления), а также состояние подстилающей поверхности (лед/снег, чистый/грязный, плотный/пористый, сухой/мокрый).

Также во время летнего и весеннего этапов полевых работ были продолжены многолетние микроклиматические наблюдения на 3-х постоянных АМС на ледниках Альдегонда и З. Грэнфьорд (см. рис. 1.8).

Исследования процессов испарения с поверхности снежного покрова проводились вблизи гидрометеорологической площадки ГМО «Баренцбург». Испаритель из органического стекла с помещенной в него пробой снега предварительно взвешивался, а затем помещался в снежную лунку так, чтобы его верхняя граница совпадала с уровнем поверхности окружающего снежного покрова. Взвешивания повторялись 2 раза в сутки.

С точки зрения абляции ледников наибольший интерес вызывают летние данные. В таблице 1.1 представлены результаты маршрутных съемок альbedo поверхности ледников Альдегонда и З. Грэнфьорд, выполненные в июле–августе 2025 г. Среднее значение альbedo по 3 маршрутным изменялось от 21 до 24%. Максимальные значения изменялись в пределах от 34 до 50 %, минимальные от 8 до 11 % (см. табл. 1.1а). На леднике З. Грэнфьорд (см. табл. 1.1б) средние значения альbedo варьировались от 22 % до 38 %. Минимальные значения изменялись от 8 до 23 %, максимальные — от 40 до 69 %.

Таблица 1.1 – Среднее, максимальное и минимальное альbedo поверхности ледников на даты проведения маршрутных съемок, июль-август 2025

а. ледник Альдегонда				
Дата съемки	12 августа	18 августа	25 августа	
Среднее	21	26	24	
Максимум	40	50	34	
Минимум	9	8	11	
б. ледник Западный Грэнфьорд				
Дата съемки	30 июля	7 августа	21 августа	28 августа
Среднее	28	22	27	38
Максимум	48	55	40	69
Минимум	13	8	13	23

Альbedo северо-западной части ледника Альдегонда в среднем ниже, чем наблюдаемое в его юго-восточной части. Это связано с большей затененностью поверхности в юго-восточной части ледника и повышенной загрязненностью поверхности в северо-западной части осадочным материалом морены. Поверхность нижних участков склона ледника З. Грэнфьорд, в среднем, сильнее обводнена по сравнению с остальными участками. Здесь наблюдается более интенсивное отложение песка и суглинка, мелкого и крупного гравия, и, соответственно, более низкие значения альbedo отмечаются именно здесь.

Далее данные маршрутных съемок альbedo сравнивались со значениями альbedo, полученными по данным спутника Sentinel-2 на ближайшую к съемке дату (см. рис. 1.9). Сравнение пространственных распределений величин альbedo показало хорошую согласованность между двумя методами (снимок от 09.08.2025 г. и маршруты от 12.08.25 г. – Альдегонда и 07.08.2025 г. – З. Грэнфьорд). Коэффициент корреляции составил $r = 0,82-0,84$. При сравнении величин альbedo, полученных по данным снимка от 28.08.2025г. и данным

маршрутных съемок, выполненных 25.08.2025 г. (Альдегонда) и 28.08.2025 г. (З. Грэнфьорд), рассчитанный коэффициент корреляции оказался значительно ниже. Это может быть связано как с особенностями затененности отдельных участков ледниковой поверхности, так и с неопределенностями облачности, что требует дополнительных методов фильтрации.

Теплобалансовые и градиентные наблюдения на леднике Альдегонда

На рисунке 1.10 представлены результаты измерений составляющих коротковолнового баланса в центральной части ледника Альдегонда за время летнего сезона. Ярко выражена суточная изменчивость, максимальные значения суммарной коротковолновой радиации достигали 564 Вт/м^2 , отраженной – 104 Вт/м^2 . Также хорошо видно снижение интенсивности суммарной солнечной радиации к концу периода наблюдений.

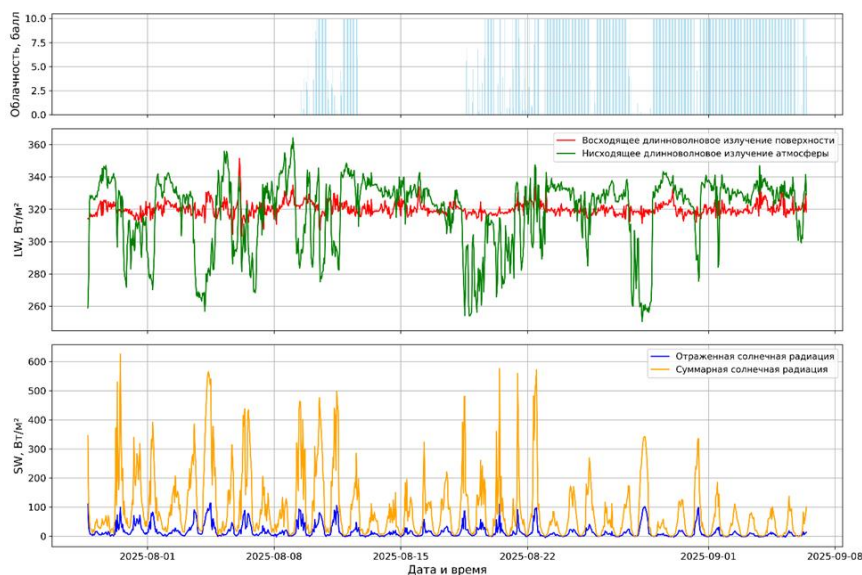


Рисунок 1.10 – Временная изменчивость балла общей облачности и составляющих коротковолнового и длинноволнового баланса в летний период наблюдений на леднике Альдегонда

Среднее значение потока нисходящего длинноволнового излучения атмосферы составило 318 Вт/м^2 . За период наблюдений этот параметр изменялся от 364 Вт/м^2 до 250 Вт/м^2 (см. рис. 1.10). Среднее значение потока восходящего длинноволнового излучения

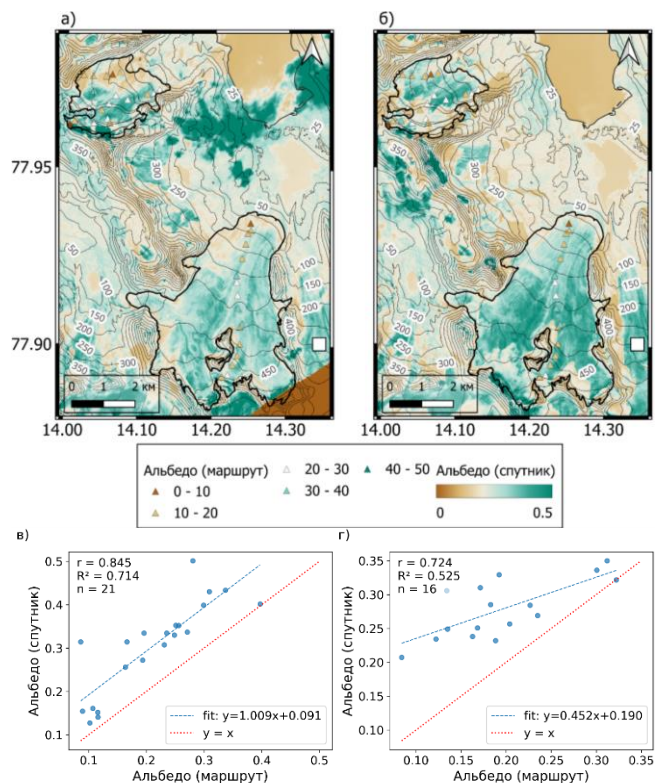


Рисунок 1.9 – Пространственные распределения величин альbedo поверхности л. Альдегонда и З. Грэнфьорд, соотнесенные со спутниковыми данными: (а) снимок 09.08.2025 г.; (б) 28.08.2025 г.; (в) и (г) соответствующие регрессионные соотношения

поверхности ледника составило 320 Вт/м^2 , изменяясь от 351 Вт/м^2 до 303 Вт/м^2 за период наблюдений.

В период с 09.08.25 по 12.08.25 и с 18.08.25 по 06.09.25 возле теплобалансовой установки была установлена фотокамера для проведения съемки облачного покрова. В процессе последующей обработки данных для каждого фотоснимка был определен балл облачности (от 0 до 10) по специально разработанной программе на языке Python.

На рисунке 1.10 отчетливо видна зависимость между баллом облачности и потоками нисходящего длинноволнового излучения атмосферы и суммарной солнечной радиации, для которых облачность является важным ограничивающим фактором. Максимумы потока суммарной солнечной радиации и минимумы потока нисходящего длинноволнового излучения атмосферы приходятся на относительно ясные дни.

Также можно отметить, что за период наблюдений отмечалось довольно типичное распределение балла облачности для архипелага Шпицберген: ближе к концу сезона преобладали пасмурные дни со сплошной облачностью нижнего яруса (St, Sc). Поскольку температурный режим приземного слоя атмосферы в значительной степени определяется радиационным балансом подстилающей поверхности, минимальные и максимальные значения температуры воздуха соответствуют аномалиям облачности над ледниковыми покровами.

Микроклиматические наблюдения на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд

На леднике Альдегонда метеорологические измерения в весенне-летний период проводились на двух постоянных АМС в верхней и нижней частях ледника. На леднике Западный Грэнфьорд аналогичные наблюдения выполнялись на АМС, расположенной в нижней части ледника.

По данным всех 3-х АМС (в качестве типового примера рассматривается нижняя АМС на леднике Альдегонда, см. рис. 1.11) сезон 2025 г. относительно среднего значения для ряда многолетних наблюдений (2015-2024 гг.) характеризовался более низкими температурами в апреле и значительно превышал многолетние значения в мае и августе. Последнее обстоятельство могло способствовать как более быстрому разрушению снежного покрова, так и более интенсивной абляции льда в конце сезона наблюдений.

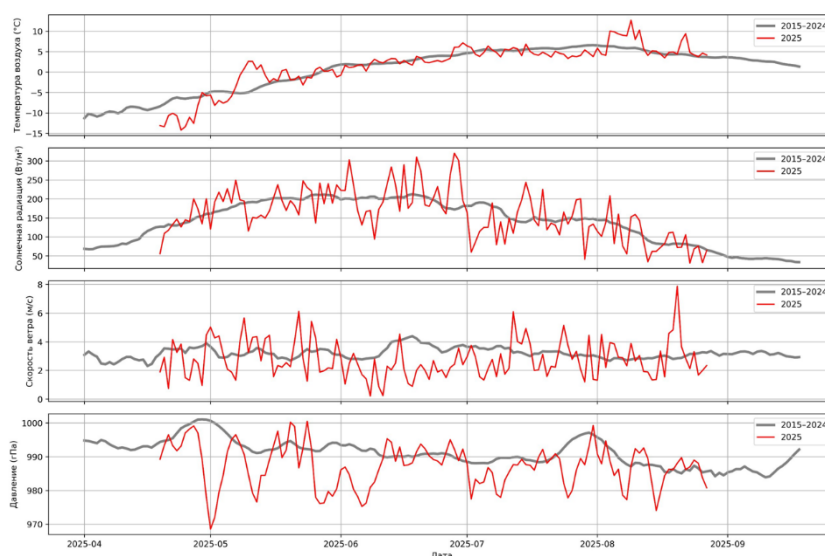


Рисунок 1.11 – Среднесуточная температура воздуха, суммарная солнечная радиация, скорость ветра и давление, зарегистрированные нижней АМС (л. Альдегонда), относительно среднемноголетних значений

Увеличение температуры в мае соотносится с пониженными относительно многолетних значений величинами суммарной солнечной радиации и величинами атмосферного давления. Последнее позволяет рассмотреть в качестве причины отмеченных

особенностей усиленную циклоническую активность и сопутствующее ей увеличение облачности.

Скорость ветра относительно многолетних наблюдений имеет более низкие значения в июне при высоких значениях атмосферного давления. Также можно отметить большое количество высоких значений в мае и июле, которые соответствуют низкими значениями атмосферного давления. Среднее значение скорости ветра за период наблюдений в 2025 г. составило 2,8 м/с. Атмосферное давление оказалось ниже многолетних значений практически в течение всего периода наблюдений. Наибольшие различия отмечаются в мае, июне и августе. Это может указывать на увеличение количества проходящих глубоких циклонов.

Одним из ключевых результатов микроклиматических наблюдений является оценка связи между интенсивностью абляции ледниковой поверхности и основными метеорологическими параметрами, определяющими таяние ледника (табл. 1.2 а–б). В сезон 2025 г. выявлены высокие значения коэффициентов линейной корреляции Пирсона между величинами абляции и температурой воздуха, а также суммарной радиацией на всех участках ледников. Для ледника Альдегонда корреляция абляции с температурой воздуха достигает $-0,98$ в нижней части и постепенно снижается до $-0,89$ в верхней, что указывает на устойчивую зависимость таяния от термических условий. Аналогичная, хотя и несколько менее выраженная, связь отмечается и для суммарной солнечной радиации (от $-0,72$ до $-0,59$). Для ледника З. Грэнфьорд зависимости также значимы, но выражены слабее ($-0,70 \dots -0,56$ для температуры и $-0,72 \dots -0,59$ для потока суммарной радиации).

Таблица 1.2 – Коэффициенты линейной корреляции Пирсона между основными метеопараметрами и величиной абляции ледниковой поверхности в нижней, центральной и верхней частях ледника ледников

а. ледник Альдегонда			
	Низ	Центр	Верх
Температура воздуха	-0,98	-0,97	-0,89
Суммарная радиация	-0,72	-0,80	-0,59
б. ледник Западный Грэнфьорд			
	Низ	Центр	Верх
Температура воздуха	-0,70	-0,56	-0,61
Поток приходящей КВР	-0,59	-0,72	-0,66

достигает $-0,98$ в нижней части и постепенно снижается до $-0,89$ в верхней, что указывает на устойчивую зависимость таяния от термических условий. Аналогичная, хотя и несколько менее выраженная, связь отмечается и для суммарной солнечной радиации (от $-0,72$ до $-0,59$). Для ледника З. Грэнфьорд зависимости также значимы, но выражены слабее ($-0,70 \dots -0,56$ для температуры и $-0,72 \dots -0,59$ для потока суммарной радиации).

Публикации по итогам выполнения исследований:

Prokhorova U. V., Terekhov A. V., Demidov V. E., Romashova K. V., Barskov K. V., Chechin D. G., Ivanov B. V., Verkulich S. R. Impact of Extreme Weather Events on the Surface Energy Balance of the Low-Elevation Svalbard Glacier Aldegondabreen // *Water*, 2025. Т. 17, №. 2, p. 274.

Терехов А.В., Демидов В.Э., Прохорова У.В., Веркулич С.Р. Отечественный мониторинг баланса массы ледников на архипелаге Шпицберген: свидетельства рекордного таяния последних десятилетий // *Российские полярные исследования*, 2025. №2 (60), с. 26-28.

Прохорова У.В., Барсков К.В., Терехов А.В., Чечин Д.Г., Репина И.А., Иванов Б.В., Варенцов М.И., Артамонов А.Ю. Роль турбулентного теплообмена в структуре теплового баланса ледников центральной части о. Западный Шпицберген, на примере ледника Альдегонда // *Лёд и Снег*. – 2025. – Т. 64. – №. 4. – С. 481-496.

Прохорова У.В., Блошкина Е.В., Махотин М.С., Весман А.В., Терехов А.В., Борисик А.Л., Ромашова К.В., Чернов Р.А., Василевич И.И., Демидов В.Э. Природная среда архипелага Шпицберген: состояние и динамика в начале 21-го века: часть 1. Климат, океан и морской лёд // *Лёд и снег*, 2025 (в печати)

Прохорова У.В., Блошкина Е.В., Махотин М.С., Весман А.В., Терехов А.В., Борисик А.Л., Ромашова К.В., Чернов Р.А., Василевич И.И., Демидов В.Э. Природная среда архипелага Шпицберген: состояние и динамика в начале 21-го века: часть 2. Криосфера и гидрология // *Лёд и снег*, 2025 (в печати)

Доклады на конференциях:

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В., Безгрешнов А.М. «Особенности таяния ледников центральной части архипелага Шпицберген. Результаты теплобалансовых наблюдений (2018 по 2023 гг.)», отчетная конференция «Итоги экспедиционных исследований

в 2024 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка» 27 - 28 марта 2025 г., г. Москва

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В., «Теплобалансовое моделирование таяния низко-расположенных ледников архипелага Шпицберген», всероссийская конференция с международным участием по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде СITES-2025, 23-26 июня 2025 г., г. Москва

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В. «Временная изменчивость альbedo ледников архипелага Шпицберген, на примере ледника Альдегонда», международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика», 23-26 июня 2025 г., г. Петергоф.

Совершенствование описания процессов взаимодействия пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью

Характеристики процессов энергообмена в приземном слое атмосферы в районе станции п. Баренцбург (арх. Шпицберген) в период с января 2019 по сентябрь 2025 года были получены с использованием данных метеорологических наблюдений. После проверки качества измеренных ежеминутных значений основных метеорологических и радиационных параметров было проведено осреднение до часовых значений и рассчитаны характеристики турбулентного обмена и радиационного баланса в приземном слое атмосферы. Для анализа величины и изменчивости компонентов теплового баланса поверхности использовались потоки коротковолновой SW и длинноволновой LW радиации, турбулентные потоки явного H_s и скрытого LE тепла. На рисунке 1.12 представлен временной ход среднемесячных значений турбулентных потоков тепла, а также среднемесячные значения баланса длинноволновой радиации ($NetLW=LWD-LWU$) и баланса коротковолновой радиации ($NetSW=Q-Rk$), где LWD и LWU – соответственно, нисходящий и восходящий поток длинноволнового излучения, Q и Rk – приходящая к поверхности и отраженная коротковолновая солнечная радиация.

Как видно, одним из важнейших факторов, определяющих тепловой баланс поверхности в летние месяцы, является баланс коротковолновой солнечной радиации. На его величину оказывают влияние наличие и свойства облачности, а также изменение альbedo поверхности. Оптически плотная облачность на своей верхней границе способна отражать приходящую солнечную радиацию Q , препятствуя её поступлению к земной поверхности. Так, в 2020 и в 2022 году потоки

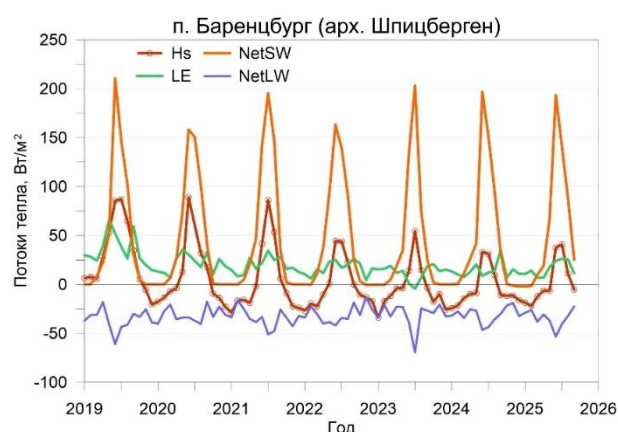


Рисунок 1.12 – Среднемесячные значения турбулентных потоков тепла, баланса радиации длинноволновой и коротковолновой

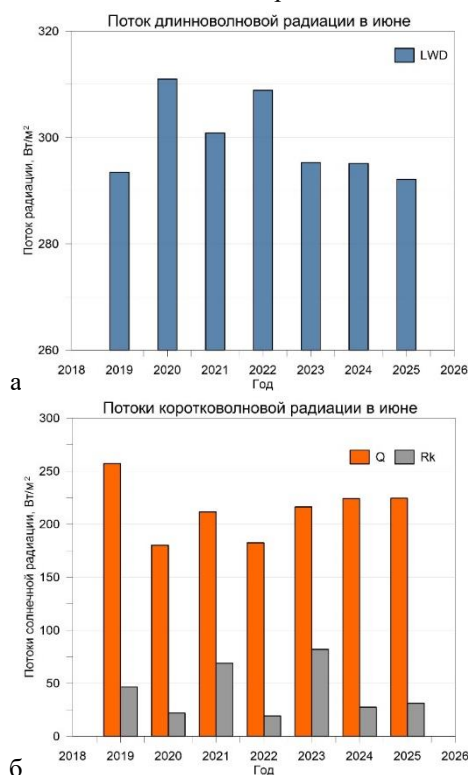


Рисунок 1.13 – Среднемесячные значения потоков длинноволновой (а) и приходящей и отраженной коротковолновой радиации (б) в июне

меньше, чем в другие годы, а потоки встречного излучения атмосферы LWD выше, что косвенно указывает на роль облаков в формировании такого радиационного режима (рисунок 1.13).

Альbedo подстилающей поверхности оказывает влияние на количество солнечной радиации, которое отразится или будет поглощено верхним слоем почвы, снега или воды. В 2020 и 2022 году снижение отражательной способности поверхности с 0,8 до 0,2 вследствие таяния снега произошло на 10 дней раньше, чем в 2019, 2024 и 2025 году и на 20 дней раньше, чем в 2021 и 2023 году (рисунок 1.14). Следствием этого мог бы стать более эффективный прогрев поверхности, но снижение притока солнечной радиации не было скомпенсировано более ранними сроками очищения почвы от снега и увеличения коротковолнового баланса не зафиксировано. Максимальные среднемесячные значения баланса коротковолновой солнечной радиации в период наблюдений составили от 160 до 210 Вт/м².

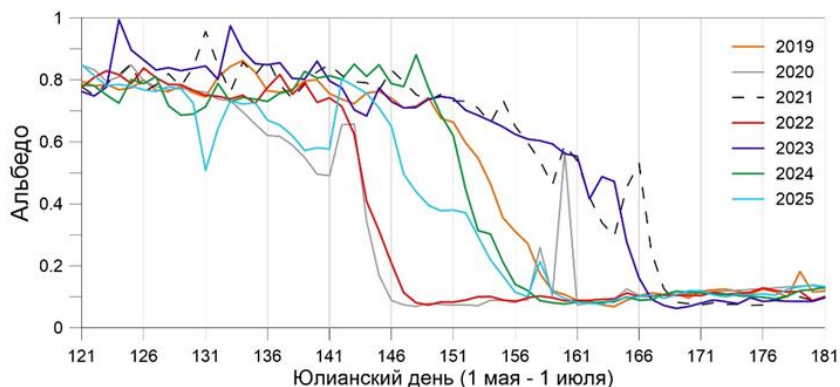


Рисунок 1.14 – Суточные значения альbedo поверхности в мае-июне 2019-2025 гг.

Турбулентный поток явного тепла в зимний период в отсутствие солнечной радиации Q и при адвекции более тёплого и влажного воздуха, как правило, направлен от атмосферы к снежно-ледяной поверхности. Летом, вследствие нагрева почвы солнечной радиацией, направление H_s меняется и преобладающим становится поток H_s от поверхности в атмосферу. В период наблюдений на станции в п. Баренцбург после 2021 г. отмечается ослабление турбулентного обмена в летние месяцы из-за уменьшения разности температуры воздуха и почвы, однако говорить об устойчивой тенденции пока рано ввиду короткого ряда наблюдений. Баланс длинноволновой радиации в течение всего года остаётся отрицательным, что характеризует постоянное выхолаживание поверхности. Значения среднемесячных значений $NetLW$ за период наблюдений составили от -70 до -13 Вт/м².

Литература:

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.

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

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

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

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

Kabanov D.M., Maslovsky A.S., Radionov V.F., Sakerin S.M., Sidorova O.R., Chernov D.G. Estimate of contribution from different variability scales to variation in aerosol characteristics on Spitsbergen Archipelago // Proc.

Чернов Д.Г., Сакерин С.М., Масловский А.С., Сидорова О.Р. Сравнительный анализ результатов измерений коэффициентов аэрозольного рассеяния и концентраций аэрозоля в Баренцбурге (арх. Шпицберген) [Электронный ресурс] // В сборнике: Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. Сборник материалов XXX Юбилейного Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 2024. С. 676-679. DOI: 10.56820/OAO30B387. Опубликовано: 19.12.2024.

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 АНИИ, начатые в 2001 году. Полевые экспедиционные работы выполнялись группой в составе: Василевич И.И., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Шарков Г.А., Голубков А.М. с 12.04.2025 по 30.09.2025. Химический анализ образцов снежного покрова и воды выполнялся сотрудником химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш Бойко В.В.

Цель исследований – комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, включая проведение наблюдений за гидрохимическими характеристиками и элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген.

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

Исследования осуществлялись в три этапа:

– на весеннем этапе основными задачами являлись: получение данных о распределении снеготаяния на водосборах исследуемых рек и химическом составе снега, исследование характера структуры и текстуры залегания снежно-ледяного покрова, наблюдение за испарением с поверхности снежного покрова;

– на переходном этапе (весенне-летнем) проводились наблюдения за интенсивностью снеготаяния, мониторинг состояния пресноводных объектов в период схода основной массы снеготаяний, а также подготовка измерительного оборудования к летнему этапу;

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

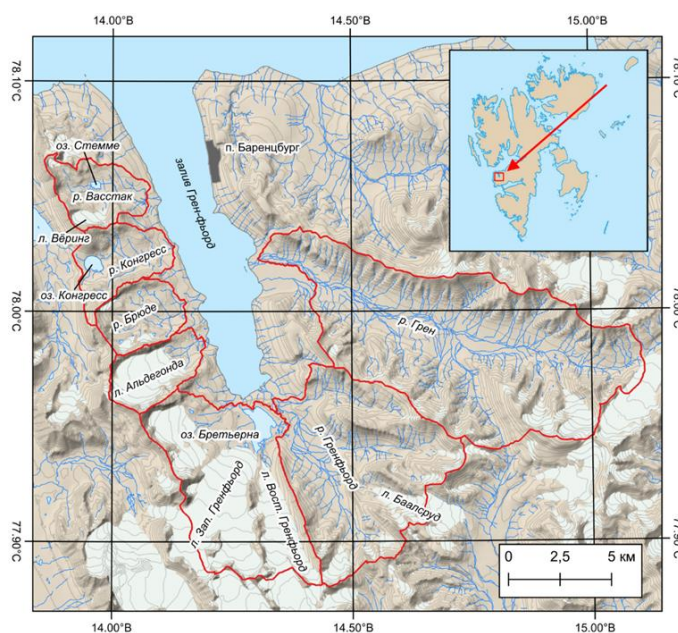


Рисунок 2.1 – Район исследований в 2025 г. Красной линией выделены водосборы исследуемых рек

Особенности снегонакопления на водосборах рек и ледниках залива Грэнфьорд

Выполнение снегомерных работ и обработка полевых материалов производилась в соответствии с общепринятыми методиками (Руководство 1958, Кузьмин 1963, Наставления 1985) и внутренними стандартами (СТО ААНИИ 52.17.17-2024) в период максимального снегонакопления (табл. 2.1). На водосборах рек с равнинным рельефом точки измерения высоты снежного покрова, плотности и описания стратификации расположены в виде прямых профилей, либо прямых с перегибом с тупым углом. На ледниках Восточный Грэнфьорд, Западный Грэнфьорд и Альдегонда точки расположены в виде регулярных сеток.

Таблица 2.1 – Результаты снегомерных съемок в долинах рек, на ледниках и их моренах в 2025 г.

Водосбор	Дата	Кол-во изм (Н/р)	Высота снега, см			Плотность снега, г/см ³			Водозапас (лед + снег), мм в экв.
			ср.	мин	макс	ср	мин	макс	
Грэндален	22.04	154/16	70	9	250	0,35	0,25	0,42	242+32
Грэнфьорд (долина)	29.04	78/9	74	18	250	0,40	0,31	0,52	299+91
л. Баалсруд	05.05	13/1	112	80	164	0,39	-	-	441
л. В. Грэнфьорд	26.04	65/4	133	70	250	0,39	0,35	0,41	515
л. З. Грэнфьорд	25.04	96/6	154	73	300	0,38	0,35	0,41	586
л. т. З. Грэнфьорд	05.05	21/2	160	131	195	0,39	0,38	0,4	623
морена З. Грэнфьорд	05.05	28/4	103	8	240	0,35	0,31	0,38	362+4
ледник Альдегонда	23.04	38/4	159	80	270	0,36	0,35	0,37	571
морена л. Альдегонда	23.05	28/4	108	30	250	0,36	0,33	0,4	387+2
Брюде	30.04	31/4	112	43	182	0,40	0,38	0,42	448
Конгресс	30.04	51/6	98	23	203	0,42	0,34	0,48	414+10
Васстак	04.05	67/6	116	15	260	0,36	0,33	0,39	423
л. Вёринг	04.05	10/1	152	138	168	0,37	-	-	561

Характер залегания снежного покрова на водосборах различных видов был типичным для арктических архипелагов. В долинах и на плоских участках рельефа снега было меньше, чем в местах аккумуляции (лог, подошва склона, каньон) или на ледниках. Все водосборы, за исключением крутых склонов, были полностью покрыты снегом. На высоту снежного покрова и его плотность в 2025 г. оказала существенное влияние погода в марте, когда были зафиксированы сильные оттепели с большим объемом жидких осадков. Таким образом, снежный покров существенно уплотнился и насытился массивными ледяными корками и фирнизованными слоями.

По данным метеостанции «Баренцбург» сумма осадков за зимний период была больше в 2,3 раза средней многолетней за последние 20 лет. Значения высоты снежного покрова, полученные в 2025 г. выше среднемноголетнего в среднем на 13 см. Основной вклад вносят долинные водосборы, в то время как на ледниках высота снега незначительно ниже. Влагозапасы долинных водосборов существенно больше среднемноголетних, за исключением долин р. Грэн и Грэнфьорд (табл. 2.1), в то время как влагозапас ледников преимущественно ниже незначительно ниже среднемноголетних значений.

Полученные значения водородного показателя проб снежного покрова находятся в промежутке 5,3-6,1, что соответствует нейтральной и слабокислой реакции. В проанализированных образцах снега значения удельной электропроводности изменяются от 9,5 мкСм/см в долине реки Васстак до 66,1 мкСм/см в снежном покрове на водосборе реки Грэн. Химический анализ ионного состава снежного покрова не выявил каких-либо отклонений от средних показателей с 2016 г. Основу минерализации снежного покрова исследуемых объектов составляют ионы хлора, натрия, сульфатов. Высокое содержание ионов натрия и хлора свидетельствует о влиянии морских аэрозолей и как правило свойственно низинным, либо вытянутым вдоль направления преобладающих ветров водосборам.

В 2025 году продолжены наблюдения за испарением с поверхности снежного покрова и процессами снеготаяния. Среднее принятое суточное испарение за период наблюдений составило 0,46 мм, среднее инструментально измеренное – 0,28 мм, что в 2 раза меньше, чем в среднем за 2021-2024 годы.

Особенности режима рек на водосборе залива Грэнфьорд

В сезоне 2025 г. наблюдения за речным стоком начаты 09.07, когда основная масса снега уже стаяла, и завершились с наступлением первых заморозков 17.09. На всех постах наблюдений выполнена нивелировка сезонных уровнемерных свай с привязкой к рабочим реперам. Проведение исследований и обработка полученных полевых материалов соответствовали Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам (1972). Применялся сокращенный способ измерения расходов воды методом скорость–площадь. Измерения расходов воды и взвешенных наносов рек производились вблизи намеченных в предыдущие годы гидрометрических створов. В таблице 2.2 представлен диапазон измеренных расходов воды в 2025 году.

Таблица 2.2 – Максимальные и минимальные расходы воды и характеристики русла рек, впадающих в залив Грэнфьорд, в 2025 г.

Дата и время измерения	рН	УЭП, мкСм/см	Расход воды, м ³ /с	Площадь водного сечения, м ²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Мутность, г/м ³	Расход взвеш. наносов, кг/с
					Ср	Макс		Ср	Макс		
Грэн											
09.09.2025 18:00	7,58	1164	6,19	7,17	0,863	1,06	39,4	0,08	0,54	2110	13,1
26.08.2025 13:17	7,52	726	1,43	3,23	0,441	0,614	20,2	0,05	0,33	204	0,29
Грэнфьорд											
05.08.2025 12:48	7,22	305	5,36	5,25	1,02	1,40	17,6	0,30	0,54	2454	13,1
23.08.2025 12:33	7,47	635	1,39	2,86	0,485	0,668	11,6	0,25	0,34	194	0,27
Бретьерна											
05.08.2025 13:50	7,38	142	27	16,8	1,6	1,92	30,9	0,55	0,75	3,53	0,1
17.09.2025 13:03	7,93	165	3,78	5,39	0,701	1,01	22,4	0,24	0,45	0,00	0,00
Альдегонда											
15.07.2025 16:40	7,24	96,2	6,62	4,12	1,61	2,53	10	0,41	0,65	272	1,8
17.09.2025 10:53	7,86	539	0,6	1,27	0,471	0,566	6,85	0,19	0,27	0,00	0,00
Брюде											
30.07.2025 14:09	7,81	107	1,9	3,12	0,61	1,13	7,70	0,41	0,55	0,00	0,00
28.08.2025 14:00	7,73	184	0,32	0,69	0,46	0,706	5,45	0,13	0,23	0,00	0,00
Конгресс											
17.09.2025 17:24	7,86	1068	1,39	1,59	1,00	1,44	9,25	0,13	0,35	1121	1,56
30.07.2025 13:15	7,58	1135	0,68	1,09	0,624	0,843	11,4	0,10	0,17	0,00	0,00
Васстак											
09.07.2025 22:43	6,69	179	1,38	1,46	0,943	1,38	7,00	0,21	0,38	0,00	0,00
02.09.2025 12:41	6,39	335	0,48	0,89	0,534	0,805	6,8	0,13	0,25	0,00	0,00

Ввиду износа автоматических уровнемерных устройств, в течение сезона произошли выходы из строя четырех 4 уровнемеров и двух измерителей давления Solinst, которые были заменены на уровнемеры фирмы In-Situ. По результатам интеркалибрации уровнемеров Solinst и In-Situ и оценки совместимости рекомендуется полностью заменить самописцы на приборы компании In-Situ. Уровни реки Бретьерна восстанавливались по уровням одноименного озера. Уровни реки Конгресс восстановить не удалось, расчет ежедневных расходов не выполнен. Средний гидрограф стока остальных рек представлен на рисунке 2.3.

В начале периода наблюдений на реках регистрировался меженный сток, сопровождавшийся незначительными увеличениями водности рек, вызванными колебаниями температуры воздуха и увеличениями вклада ледникового питания. Повышение температуры воздуха до среднесуточных значений +11+13°C в период с 4 по 11 августа, способствующее активному таянию ледников, стало основной причиной наблюдаемого роста водности рек в этот период (рис. 2.3(2)). Максимальные измеренные расходы воды (табл. 2.2) не совпадали с максимумом фактическим, рассчитанным по данным автоматических уровнемерных устройств, зафиксированным в сентябре и вызванным обильными осадками общей продолжительностью пять суток с максимальной интенсивностью 18 мм (рис. 2.3). Сразу после прохождения волны паводка наблюдалось понижение температуры воздуха до отрицательных значений и минимальная водность рек. Средний слой стока рек в 2025 г.

оказался ниже нормы последних 5 лет на 50 мм. В то же время, наблюдения в сезоне 2025 г. начались после прохода волны половодья.

Совместно с измерением расхода воды выполнялся отбор проб воды для химического анализа. Воды рек Грэн, Грэнфьорд, Альдегонда и Конгресс отнесены к классу сульфатных вод, группа кальция второго типа (для Альдегонды характерен 3 тип). Реки Бретьерна, Брюде и Васстак отнесены к классу гидрокарбонатных вод, группы кальция второго типа.

В сезоне 2025 г. были продолжены наблюдения за испарением влаги с почвы, начатые в 2024 году. Наблюдения проводились с 14.07 по 18.09.2025 г. с использованием испаромера российского производства ГГИ-500-50 и новых монолитов. Анализ полученных данных показал значительно меньшее испарение с почвы относительно прошлого года при снижении суммы выпавших осадков на 13% и снижении средней за период наблюдений температуры воздуха на 10%.

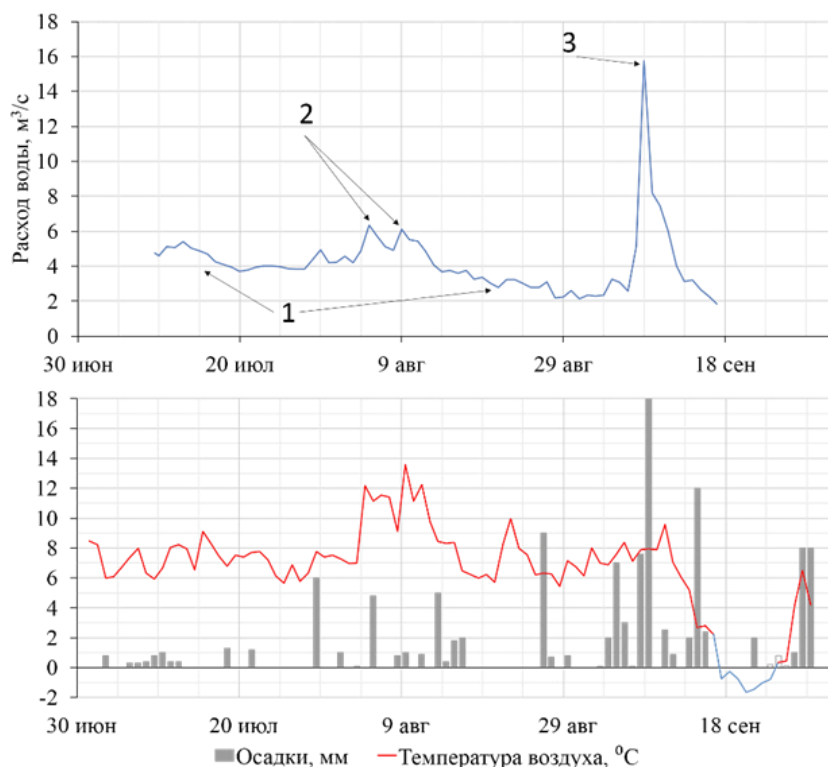


Рисунок 2.3 – Средний гидрограф рек залива Грэнфьорд в 2025 г.: 1 – межень, 2 – паводки тепловые, 3 – дождевой паводок

На установленные в 2024 году реперы на озёрах Конгресс и Бретьерна были перенесены высотные отметки и плановые координаты с речных реперов. Произведена оценка и нивелировка уровнемерных свай в озёрах, включая оз. Стемме – сваи пережили ледоставный и ледоходный периоды без видимых повреждений.

Зондирование и отбор образцов в озерах, выполненные дважды в течение полевого сезона, показали, что минерализация исследуемых озёр в приповерхностном слое стабильно уменьшается в летний период по причине распреснения вод талым снегом и жидкими осадками. Водородный показатель слабо изменчив. Воды озёр Конгресс и Бретьерна относятся к сульфатному классу, группа кальция III типа, воды озера Стемме к сульфатному классу, группа кальция II типа.

По результатам исследований на архипелаге Шпицберген подготовлены статьи:

Василевич И.И., Калюжный И.Л., Масловский А.С. Испарение со снежного покрова на арх. Шпицберген в весенний период // Проблемы Арктики и Антарктики, 2025. 71(1)/ С. 17-31. DOI: 10.30758/0555-2648-2025-71-1-17-31

Василевич И.И., Третьяков М.В. Межгодовая изменчивость характеристик снежного покрова речных водосборов бассейна Грэн-фьорд (арх. Шпицберген) в начале XXI века //

Проблемы Арктики и Антарктики, 2025. 71(3). С. 291-310. DOI: 10.30758/0555-2648-2025-71-3-291-310

Прохорова У.В., Блошкина Е.В., Махотин М.С., Весман А.В., Терехов А.В., Борисик А.Л., Ромашова К.В., Чернов Р.А., Василевич И.И., Демидов В.Э. Природная среда архипелага Шпицберген: состояние и динамика в начале 21-го века: часть 1. Климат, океан и морской лёд // Лёд и снег, 2025. (в печати)

Калюжный И.Л., Василевич И.И., Секисов Н.Л. Общие черты формирования испарения со снежного покрова в условиях Арктики // Труды СибНИГМИ, 2025. 109:280-296. DOI: 10.55235/0320359X_2025_109_280 (в печати)

Результаты также представлены на конференциях:

Василевич И.И., Секисов Н.Л., Калюжный И.Л. Испарение с поверхности снежного покрова на арх. Шпицберген в весенний период: результаты пятилетних наблюдений. Международная научно-практическая конференция «VI Виноградовские чтения: Гидрология нового поколения». Санкт-Петербург, 13-19 октября 2025 г.

Шарков Г.А., Третьяков М.В. Расчёт расходов воды рек залива Грэнфьорд при неизмеренных скоростях потока. Международная научно-практическая конференция «VI Виноградовские чтения: Гидрология нового поколения», г. Санкт-Петербург, 13-19 октября 2025 г.

Шарков Г.А. Оценка связи уклонов с гидравлическими характеристиками потока рек залива Грэнфьорд. Международная научно-практическая конференция «VI Виноградовские чтения: Гидрология нового поколения», г. Санкт-Петербург, 13-19 октября 2025 г.

Голубков А.М., Ромашова К.В., Василевич И.И., Шарков Г.А., Третьяков М.В. Особенности термической стратификации озера Конгресс в летний и зимний сезоны. XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», г. Мурманск, 23-24 октября 2025 г.

Василевич И.И., Безгрешнов А.М., Масловский А.С., Зотова Е.В., Секисов Н.Л., Иванов Б.В., Калюжный И.Л. Методические подходы к оценке испарения с поверхности снежного покрова на арх. Шпицберген. Сравнение прямого и косвенного методов. XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», г. Мурманск, 23-24 октября 2025 г.

Литература:

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

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

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

Руководство по снегомерным работам в горах. Изд.: Гидрометеиздат, 1958.

СТО ААНИИ 52.17.7-2024 Организация и проведение экспедиционных гидрологических наблюдений на поверхностных водных объектах суши в условиях высокоширотной Арктики. – СПб, 2024. 38 с.

Мероприятие 2 выполнено полностью.

Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген

Целью исследований является:

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

– оценка состояния морской карбонатной системы, выявление особенностей биогеохимических процессов, включая оценку качественного и количественного состава фитопланктонного сообщества, изменчивости содержания хлорофилла «а» в фотическом слое, в заливах Западного Шпицбергена.

Задачи включают проведение термохалинного зондирования в заливах на точках регулярных измерений и биогеохимические исследования, которые содержат два блока: исследования морской карбонатной системы и гидробиологические, включающие отбор проб морской воды на стандартных горизонтах и их анализ в химико-аналитической лаборатории.

Весной 2025 г. выполнялось термохалинное профилирование заливов Грэнфьорд, Исфьорд и Биллефьорд (рис. 3.1) Рыжовым И.В. и Куссе-Тюз Н.А., отбор образцов и последующий анализ выполнила Еремейко Т.Н. при поддержке ЗС РАЭ-Ш. Также в Грэнфьорде произведено два цикла интеркалибровки приборов океанологического парка путем синхронного измерения параметров водной среды (температуры, электропроводности и давления) в течение нескольких часов путем соединения четырех клеток с зондами и навешивания остальных приборов на этот каркас. Использование нескольких STD-зондов одновременно во время профилирования обеспечило повышение надёжности получаемых результатов в условиях неопределённой точности приборов.

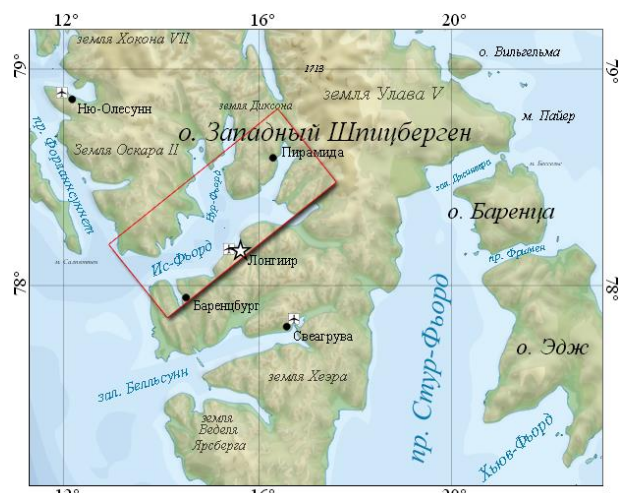


Рисунок 3.1 – Районы проведения океанографических работ в 2025 г.

В летний период термохалинное профилирование выполнено также на акватории залива Исфьорд и Грэнфьорд в пунктах океанографического полигона РНЦШ. Полевые работы выполняли Рыжов И.В., Алексеева Н.К. (гидрохимия), Швед Я.В. (биология) и Никулина А.Л. (гидрохимия) в сотрудничестве с Намятовым А.А. (ММБИ РАН, гидрохимия, геохимия) при поддержке сотрудников сезонной экспедиции и зимовочного состава РАЭ-Ш.

В ходе исследования были обработаны пробы на общую щелочность методом потенциометрического титрования, определены величины рН, содержание биогенных соединений (силикаты, фосфаты, нитраты и нитриты) методом спектрофотометрии по стандартным методикам, хлорофилла *a* и других пигментов спектрофотометрическим методом в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90, а также содержание окрашенного растворенного органического вещества (CDOM) и мутности. Компоненты карбонатной системы (равновесное парциальное давление углекислого газа $p\text{CO}_2$, HCO_3^- , CO_3^{2-}), а также степень насыщенности воды арагонитом Ω_{Ar} , фактор Ревеля были рассчитаны в программе «Program Developed for CO₂ System calculations» (Robbins et al., 2010). Направление потока углекислого газа (CO₂) в системе вода – атмосфера было рассчитано с использованием квадратичной

параметризации Ваннинкова (Wanninkhof, 2014) с учетом $p\text{CO}_2$ в воде, скорости ветра и $p\text{CO}_2$ в атмосфере.

Качественный и количественный состав микроводорослей был определен под световым микроскопом Zeiss Axio Imager A2 с увеличением 40x. Биомасса фитопланктона рассчитана счетно-весовым методом, в основе которого лежит определение объема клеток водорослей.

Динамика водных масс в заливах Грэнфьорд, Исфьорд и Биллефьорд

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

По результатам океанографической съемки в Исфьорде в апреле 2025 г. были зафиксированы четыре водные массы: АВ, ТАВ, ЛВ и ЗВ. В апреле 2025 г. в западной части разреза вдоль оси Исфьорда наблюдалась фронтальная зона, сформированная водами

атлантического происхождения, поступающими сюда с шельфа арх.

Шпицберген и собственными водами фьорда, сформированными в результате процессов осенне-зимней конвекции и ледообразования (ЗВ с температурой ниже $-1\text{ }^\circ\text{C}$ и солёностью более 34,3) (рис. 3.2). В апреле 2025 г. проникновение ЗВ до дна наблюдалось восточнее 16° в.д. В центральной части разреза от поверхности до дна наблюдалась ЛВ. На большинстве станций температура поверхностного слоя была ниже $0\text{ }^\circ\text{C}$, значения солёности изменялись в небольшом диапазоне от 34,55 до 34,8. В целом особенности распределения термохалинных характеристик в апреле 2025 г. были схожи с апрелем 2023 г.

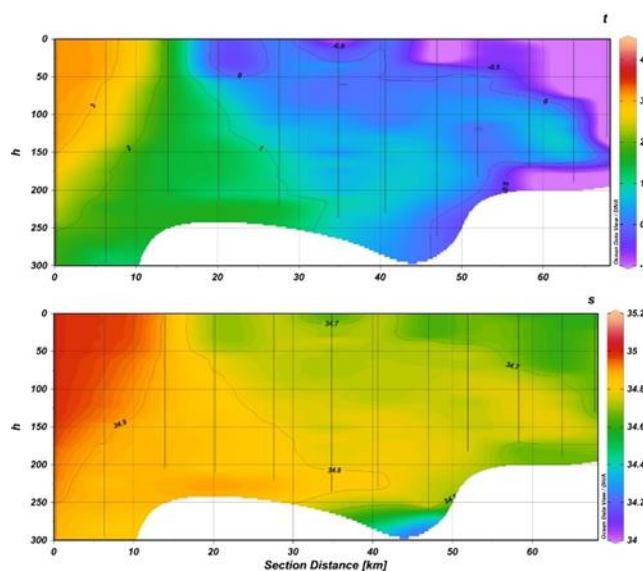


Рисунок 3.2 – Распределение термохалинных характеристик на продольном разрезе в Исфьорде, выполненном в апреле 2025 г.

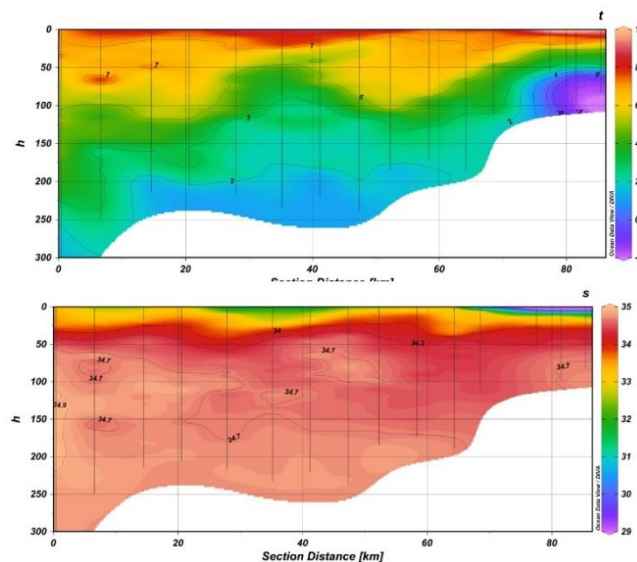


Рисунок 3.3 – Распределение термохалинных характеристик на продольном разрезе в Исфьорде, выполненном в августе 2025 г.

В августе 2025 г. в Исфьорде (рис. 3.3), как и в летний период 2020–2023 гг., было зарегистрировано 4 водные массы: ПВ, ПрВ, ТАВ и АВ, но их распределение в акватории фьорда значительно отличалось. В 2020–2022 гг. воды атлантического происхождения наблюдались только на станциях, расположенных недалеко от горла фьорда (к западу от 14,5° в.д.), а летом 2023 г. и 2025 г. АВ и ТАВ распространились вглубь Исфьорда, достигнув 16° в.д. Такая ситуация не является аномальной, аналогичное распределение водных масс было зафиксировано в 2011, 2013, 2016 гг. Максимальные значения температуры в слое АВ не превышали 5°C, что сопоставимо с максимальными значениями 2023 гг. и на 0,5-1°C выше относительно 2022 г.

Распределение термохалинных характеристик и водных масс в акватории Биллефьорда летом 2025 г. являлось типичным для этого района и этого времени года: в слое 0 до 50–60 м были зафиксированы ПВ и ПрВ с температурой больше 1°C и соленостью ниже 34,7, под которыми располагались водные массы (ЛВ и ЗВ), формирующиеся здесь в осенне-зимний период.

Гидрохимические и гидробиологические характеристики заливов

В августе концентрации общей щелочности были в пределах 1651–2069 мкмоль/кг. По общему вертикальному распределению характерно выделялся поверхностный менее соленый слой воды со средними концентрациями 1750 мкмоль/кг. Диапазон значений рН находился в пределах 7,877-8,158, наблюдалось характерное уменьшение рН с глубиной.

Расчитанное парциальное давление углекислого газа в воде варьировалось от 200 до 700 мкатм. В заливе Биллефьорд, как зоне влияния ледникового распреснения, несмотря на отдаленность точек отбора проб от фронта выводного ледника, были получены данные общей щелочности характерные для распреснённого слоя 1600-1800 мкмоль/кг, а также повышенные величины рН относительно Исфьорда и Грэнфьорда.

В качестве оценки асидификации мирового океана используется такой параметр морской карбонатной системы как степень насыщенности вод арагонитом (Ω_{Ar}). При значении $\Omega_{Ar} > 1$, считается, что воды достаточно насыщены арагонитом и условия способствуют образованию карбоната кальция ($CaCO_3$), используемого для построения раковин и скелетов. В заливах Западного Шпицбергена значения Ω_{Ar} изменялись в диапазоне 0,9-1,3. Наименьшие величины Ω_{Ar} отмечались в заливе Грэнфьорд и горле зал. Исфьорд, а также в районе бухты Колес, где $\Omega_{Ar} \approx 0,9$.

В качестве индикатора буферной емкости морской системы – ее способности к поддержанию уровня рН в определенном диапазоне и карбонатного равновесия, используется фактор Ревеля. Эта величина определяется как отношение между частичным изменением pCO_2 и относительным изменением содержания растворенного неорганического углерода при постоянной температуре, солености и общей щелочности, и находится в диапазоне 8-20 для морской воды. Для заливов Исфьорд, Грэнфьорд и Биллефьорд фактор Ревеля составлял 14-17 (рис.3.4), показывая достаточную буферность вод заливов.

По соотношению бикарбонатов (HCO_3^-) и карбонатов (CO_3^{2-} и CO_2^-) в морской воде преобладают бикарбонаты, отвечающие за буферные свойства воды и её способность

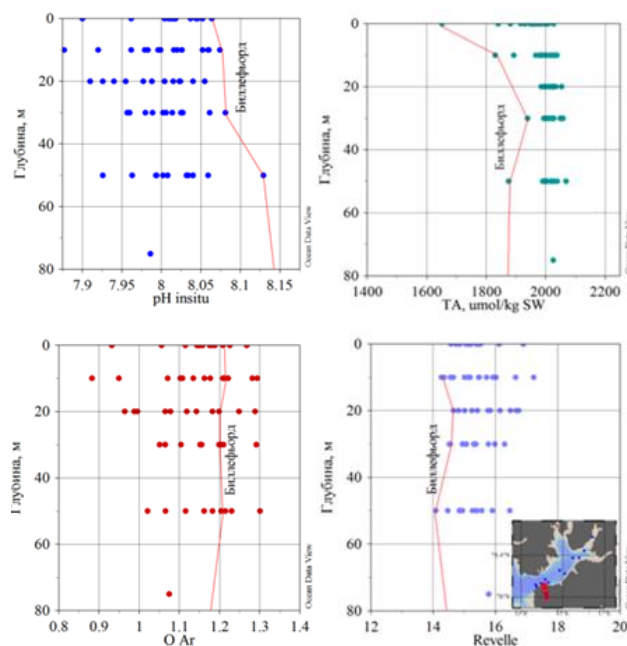


Рисунок 3.4 – Распределение карбонатных параметров в заливах Западного Шпицбергена

поддерживать стабильный уровень pH. За счет растворения атмосферного CO₂ в воде образуется бикарбонаты и за счет активной деятельности биомассы в процессе дыхания CO₂, растворяясь, участвует в химических реакциях, способствующих образованию гидрокарбонатов. Рассчитанные концентрации HCO₃⁻ были в диапазоне 1650-1900 мкмоль/кг, CO₃²⁻ – 62-86 мкмоль/кг, CO₂^{*} – 15-35 мкмоль/кг.

В период с 08.08 по 24.08.2025 было отобрано и проанализировано 30 проб фитопланктона и 36 проб для анализа концентрации хлорофилла *a* в заливах Грэнфьорд, Исфьорд и Биллефьорд. Пробы были отобраны на горизонтах 0 и 50 м (в Грэнфьорде – 0 и 30 м). Общая картина показала, что все три залива являются олиготрофными водоемами с низким содержанием биогенных соединений, однако продуктивность и структура сообществ в них различались (Неверова-Дзюпак и Цветкова, 2020)

Залив Грэнфьорд, где было проанализировано 6 станций, показал среднюю концентрацию хлорофилла *a* на уровне 0,77 мг/м³ (диапазон от 0,4 до 1,50 мг/м³) и среднюю биомассу фитопланктона 0,00230 г/м³ (диапазон от 0,00024 до 0,00566 г/м³). Численность клеток варьировалась от 780 до 19 320 кл/л, составив в среднем 6071 кл/л. Видовое разнообразие было наибольшим и включало 4 систематические группы: диатомовые водоросли (*Bacillariophytina*) с 12 родами, включая *Chaetoceros decipiens*, *Pseudo-nitzschia* sp. и *Thalassiosira* sp.; динофлагелляты (*Dinophyta*) с 6 родами, такими как *Tripos arcticus* и *Dinophysis acuminata* (Капустина и др., 2018); гаптофитовые водоросли, представленные видом *Emiliana huxleyi* и родом *Phaeocystis*; а также криптофитовые водоросли (род *Leucocryptos*).

Несмотря на общий дефицит содержания биогенных соединений в водах Грэнфьорда, в зонах речного и ледникового стока наблюдалось локальное увеличение концентраций кремния и фосфатов, что создало благоприятные условия для фитопланктона. Однако в наиболее внутренней части залива, несмотря на поступление питательных веществ, развитие фитопланктона ограничивалось высокой мутностью воды (до 15.00 NTU на станции G1-2), снижающей проникновение света. Это может приводить к физиологической компенсации: клетки, неспособные к активному делению, усиливают синтез хлорофилла *a*, что объясняет среднюю корреляцию ($r=0,55$) между его концентрацией (1,10 мг/м³ на G1-2) и биомассой (0,00102 г/м³), которые часто не совпадают по величине (Минеева и Щур, 2012).

При разборе проб фитопланктона отмечалось большое количество зоопланктона и инфузорий, которые, являясь гетеротрофными организмами, также могут регулировать биомассу фитопланктона (рис. 3.5).

Наличие в пробах коколитофорид *Emiliana huxleyi* свидетельствует о проникновении бореальных видов в арктические экосистемы, что обусловлено усилением процессов «атлантификации» Арктики (Паутова и др., 2019).

В Исфьорде, по данным 8 станций, средняя концентрация хлорофилла *a* составила 0,55 мг/м³ (от 0,26 до 1,23 мг/м³), а биомасса — 0,00236 г/м³ (от 0,00006 до 0,00644 г/м³). Количество клеток достигало 20 160 кл/л при среднем значении 6128 кл/л. В заливе также были обнаружены 4 систематические группы, но с меньшим разнообразием диатомовых (11 родов, включая *Chaetoceros lacinosus* и *Rhizisolenia* sp.). Сообщество динофлагеллят (6 родов) характеризовалось значительным



Рисунок 3.5 – Микрофотографии инфузорий



Рисунок 3.6 – Динофитовая водоросль рода *Protoperdinium*

обилием миксотрофного рода *Protoperidinium* (рис. 3.6) (с идентифицированными видами *P. pellucidum* и *P. steinii*), что объясняет случаи высокой биомассы при относительно низком хлорофилле *a* (Хаусман и др., 2010). В двух точках (Itrv6 и IIsW21) была обнаружена высокая доля феофитина (более 65%) в общем содержании пигментов, сигнализирующая о состоянии стресса фитопланктонных сообществ.

Наименее продуктивным из опробованных районов оказался Биллефьорд. При среднем содержании хлорофилла *a* 0,58 мг/м³ (от 0,31 до 1,11 мг/м³) средняя биомасса фитопланктона была крайне низкой – 0,00009 г/м³. Численность клеток не превышала 1300 кл/л, а среднее значение составило 812 кл/л. Видовой состав был беден: 3 систематические группы, причем диатомовые водоросли были представлены лишь одним родом *Navicula*, а динофлагелляты — тремя родами (*Gymnodinium*, *Karlodinium*, *Protoperidinium*). В Биллефьорде была выявлена сильная обратная корреляция между хлорофиллом *a* и биомассой фитопланктона (-0,89), что на станции IIsW09 сочеталось с высокой мутностью (5.15 NTU) и подтверждало теорию о физиологической компенсации в условиях светового лимита.

Таким образом, можно сделать выводы, что если в весенний период 2025 г. атлантические воды не распространялись в Исфьорд, то в августе наблюдался существенный заток и распространение по всему фьорду. Биллефьорд характеризовался наличием переохлажденной зимней воды в придонном слое, внутренняя часть Грэнфьорда была подвержена влиянию речного стока.

По предварительной оценке, результирующего потока CO₂ на границе сред вода-атмосфера в заливах отмечалось поглощение CO₂, однако эти сведения требуют уточнения с учетом свежих данных о содержании атмосферного CO₂ для района архипелага Шпицберген. В 2025 г. в заливе Грэнфьорд наблюдалось снижение скорости поглощения CO₂ в сравнении с данными предыдущих лет (-1,52...-4,76 ммоль м⁻²×сут⁻¹ в 2022-2023 гг). В морской карбонатной системе отмечались превалирование бикарбонатов, регулирующих буферную систему рН морской экосистемы, и насыщенность арагонитом – строительным материалом для кальцинирующих организмов. Исследуемые фьорды характеризовались потенциалом для самовосстановления.

Основная часть терригенного стока поступала во внутреннюю часть Грэнфьорда и Биллефьорда, где осуществлялась трансформация биогенных компонентов морскими водами. Выявленные уменьшение *p*CO₂ и увеличение рН отмечались в зонах активизации фотосинтетической деятельности фитопланктона. Содержание биогенных соединений контролировалось их потреблением фитопланктоном и характеризовалось подповерхностным минимумом в слое скачка, а также отражало влияние речных водных масс, поступающих в заливы – в приустьевых зонах резко увеличивалось содержание силикатов.

В августе 2025 года исследования качественного и количественного состава фитопланктонных сообществ, а также концентрации хлорофилла *a* в фотическом слое в заливах Грэнфьорд, Исфьорд и Биллефьорд подтвердили их олиготрофный статус, характеризующийся низкими видовым разнообразием и биомассой, и дефицитом биогенных компонентов, ограничивающих развитие микроводорослей. Локальное увеличение биомассы наблюдалось лишь в зонах ледникового и речного стока, однако сопровождалось повышенной мутностью воды, затрудняющей фотосинтез и вызывающей усиленную выработку хлорофилла *a*. Наибольшие показатели биомассы были зафиксированы в районах влияния атлантических вод, при этом значительные скопления зоопланктона и инфузорий отмечались как фактор регуляции численности фитопланктона.

По данным исследований сделаны доклады на конференциях:

Алексеева Н.К., Новихин, А.Е., Никулина А.Л., Швед Я.В., Еремейко Т.Н., Махотин М.С. Биогеохимические исследования в заливе Грэнфьорд (Западный Шпицберген) в 2024 г. // Сборник докладов «Итоги экспедиционных исследований в 2024 году в Мировом океане и внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва.

Алексеева Н.К., Никулина А.Л., Швед Я.В., Еремейко Т.Н., Блошкина Е.В., Рыжов И.В. Оценка потоков углекислого газа в системе вода-атмосфера и состояние морской карбонатной системы во фьордах Западного Шпицбергена // Сборник тезисов XVI Международная научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», г Мурманск 23-24.10.2025. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 16-17 с.

Алексеева Н.К., Никулина А.Л., Швед Я.В., Еремейко Т.Н., Блошкина Е.В., Рыжов И.В. Сезонная изменчивость гидрохимических параметров и морской карбонатной системы во фьордах Западного Шпицбергена // Сборник тезисов XVI Международная научно-практическая конференция Морские исследования и образование - MARESEDU 2025.Россия, г. Москва. - готовятся к публикации.

Литература:

Robbins, L.L., Hansen, M.E., Kleypas, J.A. and Meylan, S.C. CO₂calc – A user-friendly seawater carbon calculator for Windows, Mac OS X, and iOS (iPhone). Reston: U.S.: Geological Survey, 2010. 17 p.

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

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

Минеева Н.М., Щур Л.А. Содержание хлорофилла в единице биомассы фитопланктона (Обзор)// Альгология, 2012. Т. 22. № 4. С. 423–435.

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

Паутова Л.А., Силкин В.А., Кравчишина М.Д., Якубенко В.Г., Чульцова А.Л. Летний фитопланктон северной части Баренцева моря (75–80° N) // Экология гидросферы, 2019. №2 (4). С. 8–19.

Хаусман К., Хюльсман Н., Радек Р. Протистология: Руководство. Под ред. С.А. Корсуна. Пер. с англ. С.А. Карпова. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

Мероприятие 3 выполнено полностью.

Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена

Основная цель исследований – комплексные наблюдения для определения балансовых характеристик, внутреннего строения и временной динамики ледников юго-западной части Шпицбергена. Исследования строения, термического состояния и динамики ледников выполняются также в сотрудничестве с Институтом Географии РАН.

В 2025 г. работы велись по двум направлениям: измерение сезонной абляции на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд (далее – З. Грэнфьорд), изучение состояния и динамики оледенения на Земле Норденшельда, необходимых для построения системы долгосрочных наблюдений за изменениями морфометрических и гидротермических параметров ледников и подстилающих их пород.

Задачи исследований в 2025 г. включали:

– измерения баланса массы ледников Альдегонда и З. Грэнфьорд в 2024–2025 балансовом году гляциологическим методом, наблюдения за ходом абляции и изменениями высоты снеговой линии на ледниках;

– определение изменений мощности, строения и термического состояния ледников Эрдмана, Тавле, Эльфенбейн;

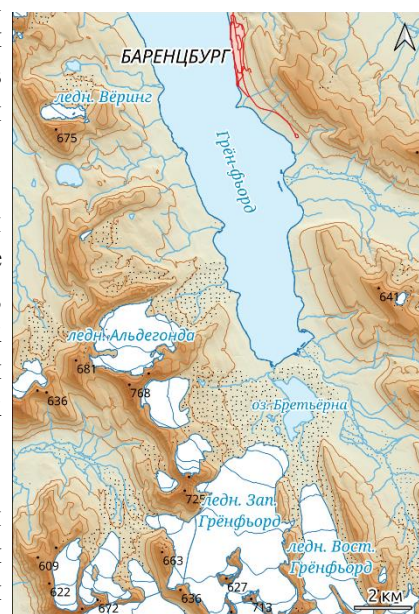


Рисунок 4.1 – Карта района проведения гляциологических массбалансовых наблюдений

- определение скоростей распространения электромагнитной волны методом ОГТ в ледниках с различными гидротермическими характеристиками (ледник Альдегонда);
- получение новых данных с термометрических кос на леднике Альдегонда и обновление элементов питания для продолжения наблюдений;
- определение толщины снежного покрова на леднике Восточный Грэнфьорд.

Расходная составляющая бюджета массы ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд

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

Для выполнения задач было совершено 6 маршрутов на ледник Альдегонда и 6 на ледник З. Грэнфьорд. В течение сезона абляции на ледниках забуривались новые рейки, параллельные тем, которые практически вытаяли. Снег на момент начала наблюдений 22.07.2025 на л. З. Грэнфьорд располагался только в трещинах. На леднике Альдегонда на момент начала наблюдений 25.07.2025 снег полностью отсутствовал.

На леднике Альдегонда измерение величины абляции велось по 12 точкам. Перевод измеренных значений стаявшего льда в слой воды (мм в.э.) производился путём умножения измеренных значений стаявшего льда (в см) на плотность чистого льда, равной $0,9167 \text{ г/см}^3$. Результаты наблюдений свидетельствуют о неравномерном таянии ледниковой поверхности при соблюдении основной тенденции уменьшения абляции с увеличением высоты (рис. 4.2). Отклонение обусловлено затенением южного правого борта долины, где рейки вытаивают медленнее, чем одновысотные рейки на открытых участках ледника, в особенности вдоль левого борта долины. В целом, максимальное таяние на леднике приходится на вторую половину июля – первую половину августа. В 2025 году особенно активно таяние шло в августе. Это связано, прежде всего, с наблюдавшимися в этот период максимумами годовой температуры воздуха (см. рис. 1.11), которая является для л. Альдегонда ведущим фактором абляции.

На леднике З. Грэнфьорд измерения велось по 6 рейкам. В 2025 г. шло активное таяние с поверхности, поэтому рейки регулярно перебуривались. Максимальное таяние на леднике З. Грэнфьорд также пришлось на вторую половину июля – первую половину августа. Результаты наблюдений также свидетельствуют о четком линейном соблюдении основной тенденции уменьшения абляции при увеличении высоты с коэффициентом зависимости 0,88. Такая упрощенная картина по сравнению с регистрируемым характером абляции на л. Альдегонда вызвана в первую очередь линейным, а не площадным расположением рек. Дополнительный вклад вносит ориентировка ледника З. Грэнфьорд по оси север-юг, исключая затенение с бортов долины средних и нижних высотных уровней.

Для измерения общих объемов поверхностной абляции в ArcGis с использованием снимков со спутника Sentinel-2 была рассчитана общая площадь и доли площадей различных высотных уровней л. Альдегонда и л. З. Грэнфьорд (исп. А. Терехов). Высоты рек были пересчитаны исходя из данных GNSS топосъемки 2024 г. для л. Альдегонда и 2019 г. для л. З. Грэнфьорд. На основании данных по усредненной абляции в пределах разновысотных уровней был составлен расчет объемов поверхностной абляции ледников (табл. 4.1 и 4.2). Для обоих ледников зона абляции, как видно из полученных данных, занимает все высотные уровни, что говорит об их активной деградации. Динамика абляции на ледниках за период наблюдений представлена на рисунке 4.3.

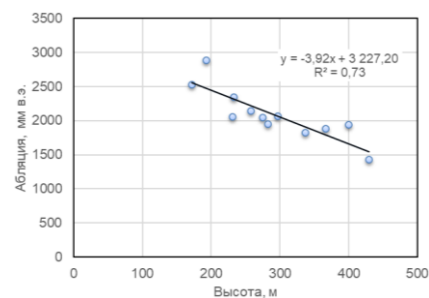


Рисунок 4.2 – Высотная зависимость суммарной абляции на л. Альдегонда в 2025 г.

Таблица 4.1 – Расчётные объёмы поверхностной абляции на л. Альдегонда в 2025 г.

Высота, м	Ср мм в.э.	Площадь, км ² GNSS 2024	Ср мм в.э. GNSS	W 10 ⁶ м ³ в.э GNSS
100-200	2530	0	0	0,00
100-250	2888	1,9	2454	4,66
250-300	2124	1,735	2051	3,56
300-350	1977	0,645	1824	1,18
350-400	1879	0,455	1879	0,86
>400	1943	0,265	1687	0,45
Сумма		5		10,70

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

Высота, м	Ср мм в.э.	Площадь, км ² GNSS	W 10 ⁶ м ³ в.э
0-100	3878	0,89	3,44
100-200	2943	1,95	5,75
200-300	2255	4,14	9,33
300-400	1448	5,24	7,59
>400	1485	4,20	6,24
Сумма		16,42	32,35

Георадиолокационные и термобуровые исследования

Полевые радиолокационные измерения были выполнены в рамках весенней части экспедиции РАЭ-Ш с 11 по 28 апреля 2025 года. Все измерения выполнены при устойчивых отрицательных температурах воздуха и до начала таяния снежного покрова. Измерения выполнялись коллективом в составе И.И. Лаврентьева, А.Л. Новикова, и О.В. Кочановой. Объем выполненных наблюдений представлен в таблице 4.3.

При проведении полевых измерений использовался имеющийся комплект георадиолокационной аппаратуры включающий георадар Pulse ЕККО Pro с антеннами 50 и 500 МГц. Для привязки получаемых данных использовался комплект геодезической аппаратуры (ГНСС система) Sokkia GRX2 с внешним модемом Sateline-EasyPro.

С целью определения изменений внутренней структуры ледников, выполнены повторные радиолокационные измерения на ледниках Тавле (интервал между съёмками 15 и 18 лет), Эрдмана (интервал между съёмками 13 лет) и Эльфенбейн (интервал между съёмками 11 лет) (рис. 4.4).

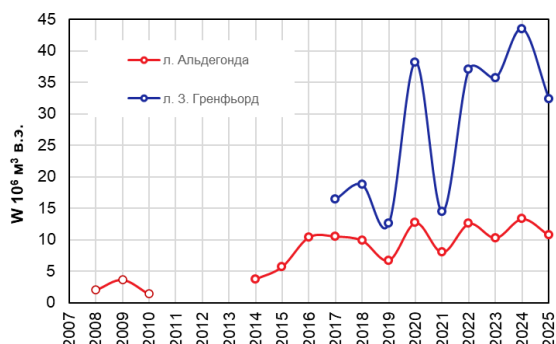


Рисунок 4.3 – Суммарная поверхностная абляции на л. Альдегонда и Западный Грэнфьорд

Таблица 4.3 – Перечень полевых работ весной 2025 г.

Ледник	Объем наблюдений, пог. м
Тавле	48280 (антенна 50 МГц)
Эрдмана	26980 (антенна 50 МГц)
Эльфенбейн	34100 (антенна 50 МГц)
Вост. Грэнфьорд	28440 (антенна 500 МГц)

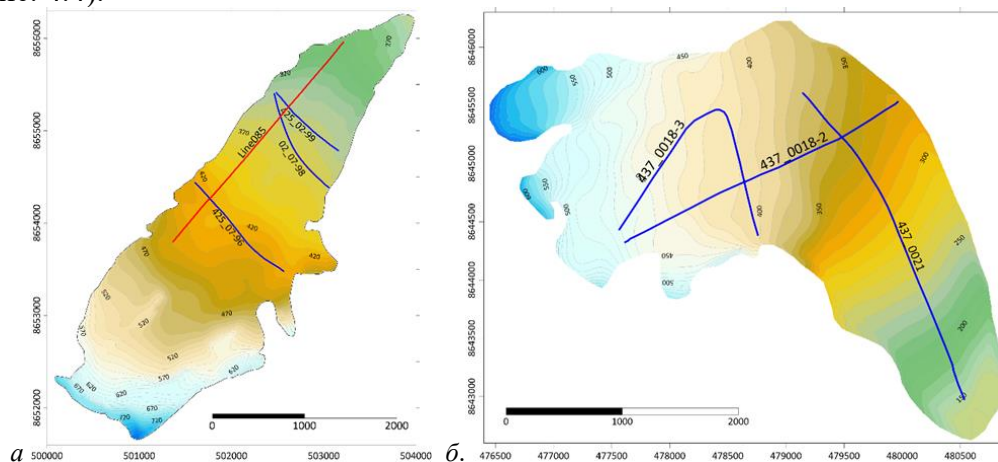


Рисунок 4.4 – Повторные профили радиолокации на ледниках Тавле (а) и Эрдмана (б)

Вместе с повторными данными, полученными на ледниках Западный Грэнфьорд и Восточный Дальфонна в 2024 году, на имеющемся массиве данных можно отметить

уверенную корреляцию величины снижения поверхности в зависимости от её высоты над уровнем моря. Так, на леднике З. Грэнфьорд, язык которого располагается наиболее низко, величина поверхностной абляции достигает 3-3,5 м/год, в то время как на высотах более 400 м снижение поверхности не превышает 0,4-0,9 м/год.

Вариации в величине таяния, вероятно, связаны с экспозицией различных частей склона и с затенённостью некоторых его участков окружающими горными вершинами. В то же время, сравнивая изменения, происходящие в слое тёплого льда с высотой над уровнем моря, такая закономерность не прослеживается. Так на ледниках З. Грэнфьорд и Восточный Дальфонна отмечается повсеместное сокращение тёплого ядра ледника со скоростью от 1 до 2 м/год вне зависимости от высотного положения. При этом на леднике Эрдмана на высотах более 330 м отмечено небольшое (в пределах 0.5 м/год) увеличение толщины тёплого льда (см. рис. 4.5).

Изменения толщины слоя холодного льда, находящегося ближе к поверхности, зависит как от скорости отступления тёплого ядра, так и от скорости абляции. На ледниках Западный Грэнфьорд и Восточный Дальфонна на высотах 250-500 м изменения толщины холодного слоя колеблется от -1 до 1 м/год, т.е. происходит относительно синхронное отступление кровли тёплого льда и таяния ледника с поверхности. Ниже 250 м наблюдается истончение слоя холодного льда, происходящее со скоростью до 3 м/год опережающее отступление тёплого ядра и связанное с высокой скоростью поверхностного таяния. При этом, на ледниках Эрдмана и Тавле, ускоренное сокращение слоя холодного льда происходит и на больших высотах (рис. 4.5).

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

Термометрия глубоких скважин на леднике Альдегонда

В весенне-летний сезон произведено обслуживание и считывание данных с термокос, установленных в глубоких скважинах на леднике Альдегонда. Была произведена замена элементов питания в логгере на скважине 2, а также восстановлена работа термокосы на

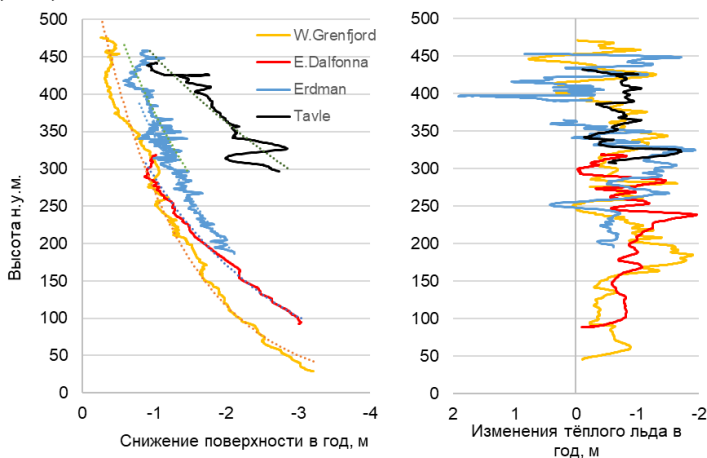


Рисунок 4.5 – Изменения высоты поверхности (слева) и толщины слоя тёплого льда (справа) в год на исследованных ледниках

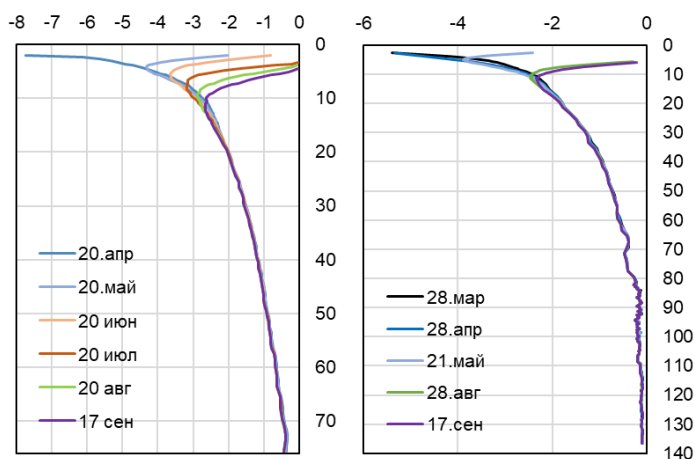


Рисунок 4.6 – Изменение температуры льда с глубиной на леднике Альдегонда в скв.1 (слева) и скв.2 (справа) (глубина показана от уровня установки в 2024 году)

скважине 1. Интервал записи в скважине 1 оставлен без изменений и составляет 6 часов, интервал записи в скважине 2 был изменён на 1 замер в сутки. Дополнительно, в конце сезона абляции, сотрудниками Коблашовым И.Д. и Демидовым В.Э. было произведено перебуривание крепёжных реек и укрепление их основания.

На рисунке 4.6 представлены обработанные данные с интервалом 1 месяц, полученные в скважинах 1 и 2. Глубина нулевых амплитуд температуры составляет около 13-15 м и не отличается в двух скважинах. Значимых изменений температуры на границы холодный-тёплый лёд в скважине 2 в изучаемом интервале времени не отмечено. Дальнейшие наблюдения в скважинах позволят отследить более длинные температурные циклы и зафиксировать опускание кровли тёплого льда, выделяемое по радиолокационным данным.

Результаты исследований приняты в печать:

Прохорова У.В., Блошкина Е.В., Махотин М.С., Весман А.В., Терехов А.В., Борисик А.Л., Ромашова К.В., Чернов Р.А., Василевич И.И., Демидов В.Э. Природная среда архипелага Шпицберген: состояние и динамика в начале 21-го века. // Лёд и Снег, 2025.

И представлены на конференциях:

Борисик А.Л. Обзор работ и некоторые результаты георадиолокационных исследований на архипелаге Шпицберген в рамках ежегодных экспедиций РАЭ-Ш ААНИИ. Цикл семинаров «Современные проблемы геофизики и рудной геологии», часть 50, 23-25 января 2025 года, Москва.

Терехов А.В., Борисик А.Л., Веркулич С.Р., Демидов В.Э., Никулина А.Л., Новиков А.Л., Прохорова У.В., Угрюмов Ю.В. Гляциологические исследования ФГБУ «ААНИИ» на архипелаге Шпицберген. Научно-практическая конференция «Научное и культурно-историческое наследие полярного исследователя В.А. Русанова в Арктике и на архипелаге Шпицберген», 21-22 августа 2025 года, п. Баренцбург.

Демидов В.Э., Демидов Н.Э., Терехов А.В., Борисик А.Л. Современные российские исследования ледников и вечной мерзлоты Шпицбергена. Научно-практическая конференция «Научное и культурно-историческое наследие полярного исследователя В.А. Русанова в Арктике и на архипелаге Шпицберген», 21-22 августа 2025 года, п. Баренцбург.

Борисик А.Л., Лаврентьев И.И., Глазовский А.Ф., Новиков А.Л. Изменения гидротермической структуры ледников Земли Норденшельда за последние 15 лет по данным повторных радиолокационных съёмок. XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», 23-24 октября 2025 года, Мурманск.

Терехов А.В., Прохорова У.В., Борисик А.Л., Демидов В.Э., Сидорова О.Р., Веркулич С.Р., Новиков А.Л., Угрюмов Ю.В., Ашик И.М. Основные результаты российского гляциологического мониторинга на архипелаге Шпицберген за первую четверть 21-го века. XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», 23-24 октября 2025 года, Мурманск.

Мероприятие 4 выполнено полностью.

Мероприятие 5. Палеогеографические исследования

Основной целью работ 2025 г. являлось получение новых данных о рельефе и строении четвертичных отложений для выполнения палеогеографических реконструкций и выявления основных параметров и механизмов изменения климата и природной среды архипелага Шпицберген с эемского межледниковья до голоцена (последние 150 000 лет). Для этого был выполнен комплекс полевых и аналитических исследований четвертичных отложений и рельефа архипелага. Исследования выполнялись в рамках проекта 3.2.2 Мониторинг изменений климата Арктики, основных влияющих факторов и разработка методов прогноза изменений на масштабах от сезона до нескольких десятилетий Плана НИТР Росгидромета на 2025-2029 гг.

Полевые работы в июле – сентябре 2025 года были сфокусированы на выполнении следующих задач:

- изучение и детальное описание рельефа в западной части Земли Хокона VII, в юго-западной части Земли Альберта I (п-ов Митра), на Земле Оскара II (п-ов Брюгера) и северной части о-ва Земля Принца Карла (рис. 5.1);
- изучение морских террасовых уровней, отбор проб морских отложений на различные типы анализов в районах исследования;
- изучение континентальных отложений с отбором проб;
- изучение крупных обнажений – ключевых разрезов на мысе Маквити (о. Земля Принца Карла) и западном побережье Кросс-фьорда;
- отбор поверхностных проб в рамках биоиндикационных исследований для создания наиболее достоверных реконструкций растительности и климата;
- в весенний экспедиционный период отбирались колонки донных отложений из озёр разного генезиса для последующих реконструкций осадконакопления и в целом климата в голоцене.

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

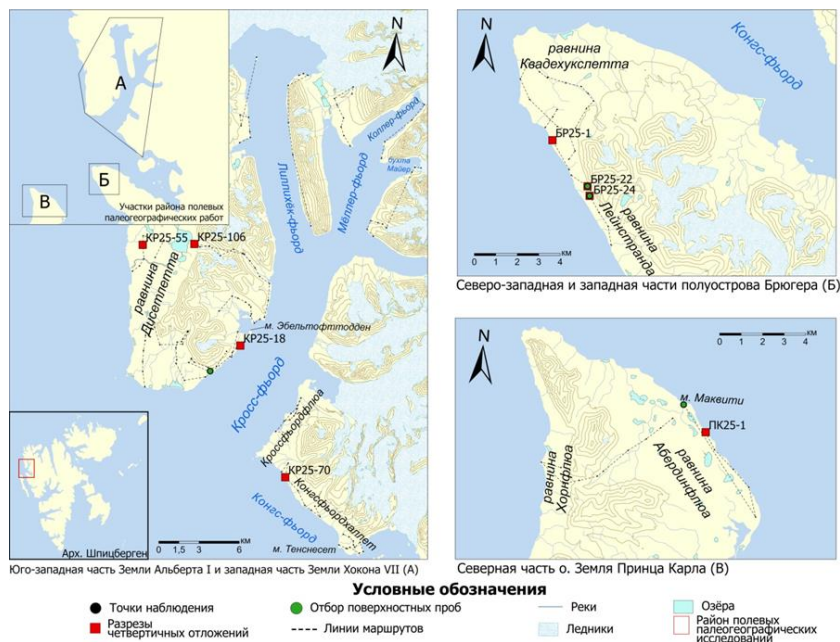


Рисунок 5.1 – Районы и маршрутные точки палеогеографических исследований в летний сезон 2025 г.

Полевые исследования в западной части Земли Хокона VII, в юго-западной части Земли Альберта I (п-ов Митра), на Земле Оскара II (п-ов Брюгера) и северной части о. Земля Принца Карла (рис. 5.1) выполнялись техникум-практикантом Бердинских Д.В. в период с 25 июня 2025 года по 10 сентября 2025 года совместно с сотрудниками отдела геологического картирования ФГБУ ВНИИОкеангеология.

Аналитические исследования проводились в «Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» СПбГУ (радиоуглеродное датирование), химико-аналитической лаборатории РНЦШ (диатомовый анализ, Фомичева Е.Д. с 16 апреля по 11 июня 2025 г.), отделе геологического картирования ВНИИОкеангеология (Куприянова Н.В., фораминиферовый анализ) и отделе географии полярных стран ААНИИ (Соловьева Д.А., обработка полевых и аналитических данных, спорово-пыльцевой анализ).

Полевые палеогеографические и геоморфологические исследования

Исследования были направлены на сбор материала для последующего проведения реконструкций изменения окружающей среды в северо-западных районах архипелага Шпицберген в неоплейстоцене - голоцене.

Работы включали в себя пешие маршруты с изучением особенностей рельефа и наземных четвертичных отложений. Всего было выполнено 23 маршрута, описано 166 точек наблюдения, расчищено и описано 8 разрезов четвертичных отложений (различных по мощности, литологическому строению и предполагаемому возрасту отложений), отобрано 185 образцов (93 – фораминиферовый анализ; 31 – радиоуглеродное датирование (в том числе AMS); 27 – спорово-пыльцевой (в том числе 4 поверхностные пробы); 14 – OSL-датирование; 14 – диатомовый; 6 – макрофаунистический; 4 – гранулометрический и минералогический; 4 – карпологический; 1 – уран-ториевый и 1 – анализ по зелёным водорослям).

Во время работ проводилась геоморфологическая съёмка с фиксацией морфологии и предположительного генезиса основных форм микро- и макрорельефа. Среди них: морские террасы, береговые валы, пляжи и бары, гроты и волноприбойные ниши; моренные комплексы в виде конечно-моренных гряд, боковых и насыпных морен; структурные грунты, сети морозобойных трещин, пинго и сезонные бугры пучения, нагорные террасы и многие другие формы. Особое внимание уделялось изучению морских террасовых уровней, которые представлены комплексами аккумулятивно-абразионных и абразионных террас.

В пределах полуострова Митра (юго-западная часть Земли Альберта I) изучена равнина Дисетлетта. Она представляет собой стрэндфлэт («приморская равнина»), перекрытый элювием, делювием и солифлюксием. На равнине отмечены отдельно стоящие глыбы высотой 2-3 м, вероятно, принесенные в результате дрейфа льда (айсберговый разнос). Также на высоте 1-2 м от уровня моря обнаружены китовые позвонки. Фрагменты морских террасовых уровней сильно эродированы и прослеживаются в северной части района, где с разной степенью уверенности можно выделить уровни – 5 м, 8-10 м и 18-20 м (рис. 5.2). На склонах террас были отобраны обломки раковин моллюсков.

На равнине Квадехуклетта (пов Брюгера) были прослежены террасовые уровни 25-30 м, 40-45 м, 56-60 м. Ниже 25 м террасы не обнаружены – здесь находится слабонаклонная равнина со слабовыраженными береговыми валами. На уровне 80 м, отмеченном в публикациях (Forman, Miller, 1984), были обнаружены морские абразионные формы – гроты и волноприбойные ниши, на поверхности субгоризонтальной площадки найдены обломки раковин моллюсков, однако, велика вероятность их переноса местной фауной.

На северо-западном побережье Земли Принца Карла, на равнине Хорнфлюа были зафиксированы останцы морских террас на высоте 30 м. Ниже (28-29 м над уровнем моря) прослеживаются останцовые формы, вероятно абразионной террасы. В остальном поверхность равнины значительно преобразована эрозионными и склоновыми процессами.

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

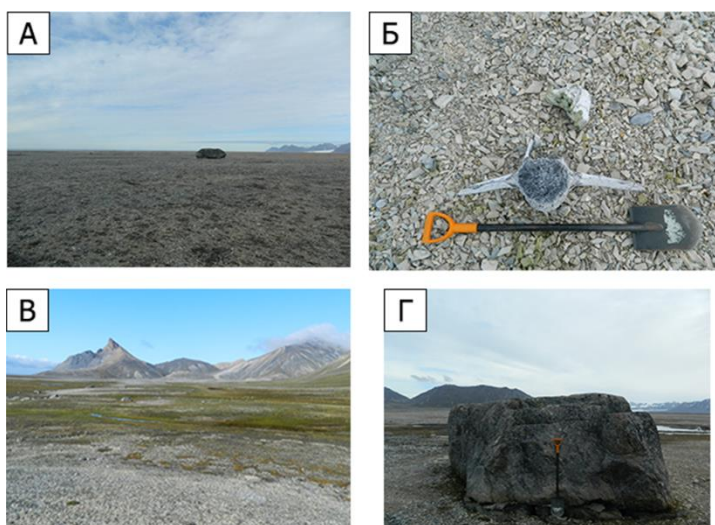


Рисунок 5.2 – (А) – стрэндфлэт с глыбой высотой около 2,5 метров, (Б) – китовые позвонки, (В) – пролювиальные конусы и останцы абразионной части морской террасы, (Г) – глыба, вероятно, принесенная дрейфом льда. Фото – Бердинских Д.В.

описаны разрезы различных генетических типов четвертичных отложений – морских, биогенных, ледниковых, ледниково-морских, дельтовых, озерных.

В северо-восточной части Земли Принца Карла производилось дополнительное изучение разреза на мысе Маквити, начатое в ходе полевых работ 2024 г. обнажение представляет собой 3-километровый абразионный уступ, высотой 15-20 м, сложенный позднеплейстоценовыми ледниково-морским галечно-валунным материалом и морскими песками, галечниками, которые перекрываются галечно-валунными морскими осадками позднеплейстоценового - раннеголоценового времени. В ходе полевых исследований 2025 г. осуществлен дополнительный пробоотбор: из верхней толщи (микрофаунистический анализ), линзы плохоразложившейся органики (спорово-пыльцевой и карпологический анализы) на контакте с нижележащим горизонтом и из средней и нижней частей разреза – пробы на ОСЛ-датирование, собраны образцы раковин моллюсков хорошей сохранности на уран-ториевое, радиоуглеродное и ЭПР-датирование

На высоте 40 метров в северо-восточной части равнины Дисетлетта обнаружено обнажение морских песков и алевритов, открывающееся на подмываемом склоне останца. Мощность вскрытых отложений составляет 7,7 метров. Описанные отложения были подробно опробовано на различные виды анализов.

На западном побережье Кроссфьорда примерно в 1 км на юго-запад от мыса Эбельтофттодден было обнаружено обнажение на склоне 25-метровой морской террасы. Мощность четвертичных отложений здесь составила около 12 м. Отложения имеют морской генезис с прослеженной сменой трансгрессивных и регрессивных условий осадконакопления. Для уточнения возраста взяты пробы на ОСЛ-датирование из линзы песков в основании разреза.

Вблизи мыса Тенснесет на высоте 2 м над уровнем моря обнаружен останец морской террасы с относительным превышением около 1 м. В стенке расчистки, заложенной в склоне останца, по всей мощности рассеяны обломки раковин *Balanus balanus*, *Mya truncata*, *Hiatella arctica* L. Датирование китовой кости, найденной в окрестностях м. Тенснесет, показало, что уровень моря в среднем голоцене здесь был примерно равен современному (Forman, et al., 2004). Таким образом, найденные останцы могут с большой долей вероятности относиться к среднему голоцену, что определяет их уникальность.

Южнее равнины Квадехукслетта (п-ов Брюгера) было произведено описание обнажения четвертичных отложений мощностью 14,1 м в склоне 30-метровой террасы. Верхние пачки здесь представлены косыми сериями, состоящими преимущественно из переслаивания валунной, галечной, гравийной и песчаной фракций. Нижележащие отложения отличаются субгоризонтальным залеганием и сложены песками с включениями гравия и гальки, подстилаемыми валунно-галечным и галечно-гравийным материалом с прослоями и линзами алевритов и песков с включениями детрита раковин моллюсков. Разрез был подробно опробован на различные виды анализов. Помимо этого, была проведена зарисовка обнажения по простиранию с пикетами через каждые 100 м.

На равнине Лейнстранда (Земля Оскара II) обнаружено два торфяника: один в пределах конуса выноса и второй в пределах активного развития морозобойных трещин. В обеих точках наблюдения были отобраны образцы как на спорово-пыльцевой, так и на радиоуглеродный анализы. Взяты поверхностные пробы.

В результате проведенных работ были получены новые данные о геоморфологии и строении покрова четвертичных отложений юго-западной части Земли Альберта I (в частности полуострова Митра), западной части Земли Хокона VII, Земли Оскара II (п-ов Брюгера) и северо-восточной части о. Земля Принца Карла, были выделены морские террасовые уровни, прослеживающиеся в изученных районах. Получены новые данные о строении континентальных и морских четвертичных образований. По результатам работ выполняется построение схем геоморфологического строения и четвертичных отложений изученных районов, геолого-геоморфологические профили, колонки и разрезы.

Аналитические исследования проб четвертичных отложений

Аналитические исследования включали в себя диатомовый, фораминиферовый и спорово-пыльцевой анализы, радиоуглеродное, ОСЛ и уран-ториевое датирование, анализ потерь массы при прокаливании, а также обобщение полученных результатов.

Диатомовый анализ и анализ потерь массы при прокаливании выполнялись ведущим инженером Фомичевой Е.Д. в химико-аналитической лаборатории РНЦШ в период с 16 апреля по 11 июня 2025 г. В ходе работ анализировались пробы морских и речных отложений из разрезов BM19-59, BM19-25 и BM19-26,

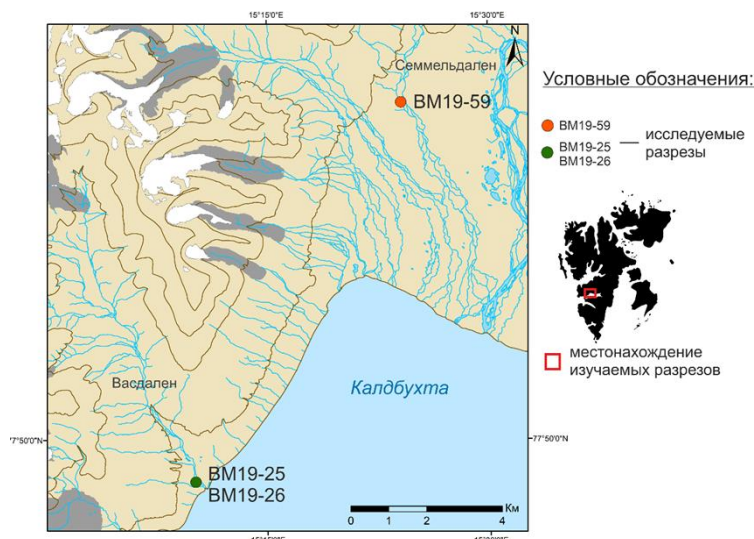


Рисунок 5.3 – Местоположение разрезов BM19-59, BM19-25 и BM19-26

отобранных в южной части Земли Норденшельда (рис. 5.3). Для разреза BM19-59 ранее были получены результаты спорово-пыльцевого анализа и 4 радиоуглеродные датировки. Для разрезов морских отложений в долине Васдален BM19-25 и BM19-26 также получена геохронологическая привязка (3 радиоуглеродные даты) и выделены комплексы фораминифер. Ранее, диатомовые комплексы были обнаружены в долине Грёндален (северо-западная часть Земли Норденшельда), разрез в которой схож с разрезом в долине Семмельдален. Хорошая сохранность органических включений, комплекс проведенных ранее аналитических исследований и известный возраст изученных отложений обуславливают перспективность выбранных объектов для проведения диатомового анализа.

Исследования ископаемой диатомовой флоры проводились по стандартной методике (Диатомовые ..., 1974) и включали помимо предварительного удаления органического компонента в осадке, закрепление постоянного препарата с помощью смолы NAPHRAX с коэффициентом преломления 1,65 и последующее микрофотографирование для оценки наличия диатомей и их обилия, создание микрофотографий для определения таксонов (рис. 5.4).

По результатам анализа проб из разреза BM19-59 было идентифицировано 40 видов диатомовых водорослей, а также цисты золотистых водорослей (*Chrysophyta*), створки диатомей обнаружены в 7 образцах. В соответствии с описанными диатомовыми комплексами разреза BM19-59 можно выделить следующие интервалы и соответствующие им условия осадконакопления:

1. В интервале 420-165 см диатомовая флора не обнаружена.
2. В интервале 165-160 см, в алевролитах отмечены как солоноватоводные (*Diploneis interrupta* (22% от общего состава диатомей), так и пресноводные диатомей (*Navicula Reinhardii* (20%), *Pinnularia curticostrata* (20%, рис. 5.4). Комплекс отличается наибольшим видовым разнообразием из всех выделенных. Вероятно, в этот временной промежуток существовал мелкий распресненный солоноватоводный палеоводоём, отделенный от моря.
3. В интервале 160-150 см в торфе, отложившемся 7860±120 л.н., обнаружены единичные пресноводные диатомей.

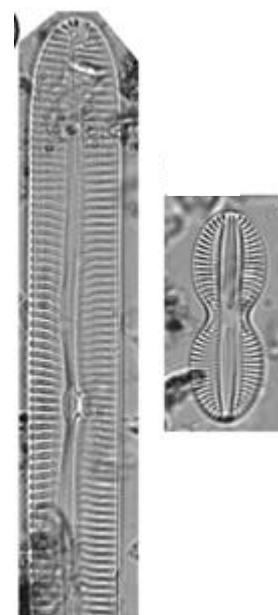


Рисунок 5.4 – Микрофотографии диатомей из разреза BM19-59 – *Pinnularia viridis* (слева) и *Diploneis interrupta* (справа)

4. В интервале 140-130 см в алевритах отмечен комплекс, схожий с описанным в интервале 165-160 см, но несколько беднее по видовому разнообразию. Данное сообщество диатомей отличается большим вкладом в общее количество мезогалобных видов (*Diploneis interrupta* (47%, рис. 5.4). Вероятно, существовал мелкий менее распресненный солоноватоводный палеоводоем, чем ранее.

5. В интервале 125-120 см в алевритах обнаруженный пресноводный бентосный диатомовый комплекс, представленный преимущественно ацидофильными эпифитными видами – *Tabellaria flocculosa* (40%), *Encyonema pausistriata* (31%), *Eunotia bidens* (17%), и большое количество цист *Chrysophyta* свидетельствуют о существовании мелкого холодного ацидофильного водоема.

6. В интервале 120-70 см диатомовые водоросли не обнаружены.

7. В интервале 70-60 см в линзах торфа отмечены малочисленные пресноводные диатомеи.

8. В интервале 55-60 см диатомеи отсутствуют.

9. В интервале 55-50 см в линзах торфа, образованных 3740+210 л.н. обнаружен пресноводный бентосный комплекс преимущественно с диатомеями, предпочитающими водную среду с нейтральным значением pH (*Pinnularia viridis* (48%) и *P. aff. spitzbergensis* (16%)). Предполагается существование неглубокого холодного пресного водоема, с заторфованными берегами.

В пробах, отобранных в точках VM19-25 и VM19-26 створок диатомовых водорослей не обнаружено.

Анализ потерь массы при прокаливании проведен по методике (Heiri 2001) для 44 образцов. В 11 пробах разреза VM19-25 потеря массы при прокаливании незначительна и колеблется в интервале от 5,3% до 6,5%. Содержание органического и неорганического углерода в осадке разреза VM19-26 ниже, чем в разрезе VM19-25, значения потери массы при прокаливании находятся в пределах от 3,1% до 5,0%. В речных отложениях разреза VM19-59 также отмечено относительно небольшое изменение процентного показателя данного параметра для основного числа образцов (от 5,1% до 9,8%), однако отмечены пики в линзах торфа – в нижней части разреза потеря массы при прокаливании составила 42,2%, в верхней части разреза – 14,8%.

Определение абсолютного возраста четвертичных отложений, изученных в ходе полевых сезонов 2022-2024 гг., выполнялось посредством оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ-датирование) в «Лаборатории оптически стимулированной люминесценции» ФГБУ «Институт Карпинского», уран-ториевого и радиоуглеродного датирования в «Научной лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» СПбГУ. По данным ОСЛ-датирования было выявлено, что отложения на мысе Маквити в нижней и средней части разреза формировались около 121-157 тысяч лет назад. Радиоуглеродное датирование отобранных здесь же костей белого медведя показало возраст, близкий к запредельному (около 40000 л.н.). Для западного побережья о. Западный Шпицберген (равнины Сарс и Каффейра) впервые были получены значения радиоуглеродного возраста около 16000 л.н.

По результатам фораминиферового анализа, выполненного в лаборатории геологического картирования ФГБУ «ВНИИОкеангеологии» Н.В. Куприяновой были выделены микрофаунистические комплексы для отложений мыса Маквити и Полипонтен, где вскрываются осадки, возрастом до 115 тыс. л.н. Выявлено, что отложения в базальной части разреза на мысе Полипонтен, сопоставимые по возрасту с эемскими-ранневислинскими, формировались в мелководном бореальном бассейне (залив или лагуна), который в дальнейшем испытывал значительное распреснение, обмеление, сопровождающееся общим похолоданием. Изучение фораминифер дельтовой толщи (средневислинской) показало, что отложения накапливались в холодном, солоноватоводном бассейне, находящемся под

воздействием распреснённых вод и активного придонного течения. Фораминиферовый анализ отложений на мысе Маквити, также имеющих средневислинский возраст, показал наличие схожего комплекса фораминифер, как и в отложениях того же возраста на мысе Полипюнтен, который перекрывается комплексом с единичными мелководными арктическими видами, отражающими холодные условия. Обнаруженный выше по разрезу водно-ледниковый комплекс замещается более разнообразным, относительно тёплым, нормально-морским, мелководным комплексом, связанным с потеплением. Полученные данные позволили скоррелировать эти обнажения.

Палеолимнологические работы

В период с 15 апреля по 9 мая вед. инженерами Ю.А. Кублицким и П.А. Леонтьевым 2025 г. в озерах Медален и Истьорна к востоку от п. Баренцбург были отобраны колонки донных отложений для последующего анализа, дополнительно были проведены батиметрические измерения. Мощность вскрытых отложений составила 94 см в оз. Медален и 164 см в оз. Истьорна. Отложения озер преимущественно сформированы за счет выноса ледникового материала, их изучение перспективно для понимания процессов осадконакопления современных перигляциальных зон. Особый интерес представляет возможность сопоставить современное наблюдаемое осадконакопление с реликтовыми отложениями ледниковых эпох, о механизмах формирования которых известно не так много. Керны озерных отложений хранятся в Баренцбурге до возможности транспортировки их ненарушенными в замороженном состоянии на материк.

В дальнейшем на базе РГПУ им. А. И. Герцена предполагается провести аналитические работы, включающие обработку полученных данных, выполнение гранулометрического анализа, определение содержания органической/ карбонатной/ минеральной составляющих осадка, датирование (^{210}Pb , ^{137}Cs , варвохронология) и определение скоростей осадконакопления. Полученные результаты помогут лучше понять механизм осадконакопления в условиях потепления, оценить влияние различных климатических компонентов на этот процесс, а также могут быть использованы для интерпретации более древних отложений-аналогов (ленточных глин).

Результаты проведенных палеогеографических и геоморфологических исследований были представлены на конференциях:

XI Всероссийская Конференция с международным участием по изучению четвертичного периода, 15-20 сентября, 2025 г., Санкт-Петербург, Россия.

Международная научная конференция, посвященная 100-летию договора о Шпицбергене «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025» 23–24 октября 2025 г. Мурманск, Россия.

Ежегодный семинар по результатам экспедиционных исследований «Рельеф и четвертичные отложения Арктики, Субарктики и северо-запада России» Санкт-Петербург, декабрь, 2025 г.

Полученные данные были опубликованы:

Соловьева Д.А., Веркулич С.Р., Пушина З.В., Савельева Л.А., Зазовская Э.П. Последледниковые изменения природных условий в северо-западной части Земли Норденшельда (о-в Западный Шпицберген) по результатам исследований отложений в долине Грёндален // Геоморфология и палеогеография, 2025. (в печати)

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

Соловьева Д.А., Окунев А.С., Куприянова Н.В., Веркулич С.Р. Палеоморские условия во время раннеголоценовой трансгрессии в западной части центрального Шпицбергена //

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. С. 94-95.

Соловьева Д.А., Окунев А.С., Куприянова Н.В., Веркулич С.Р. Основные черты строения покрова четвертичных отложений в центральной части Земли Норденшельда (о. Западный Шпицберген) // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода (15–20 сентября 2025 г., Институт Карпинского, Санкт-Петербург) / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб. Институт Карпинского, 2025. С.172.

Окунев А.С., Соловьева Д.А., Фомичева Е.Д., Куприянова Н.В., Максимов Ф.Е., Григорьев В.А. Новые данные о неоплейстоценовых отложениях Земли Принца Карла (арх. Шпицберген) // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода (15–20 сентября 2025 г., Институт Карпинского, Санкт-Петербург) / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб.: Институт Карпинского, 2025. С.129-130.

Литература:

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. – Л.: Наука, 1974. 403 с.

Forman, S.L., Miller, G.H. Time-dependent soil morphologies and pedogenic processes on raised beaches, Bröggerhalvöya, Spitsbergen, Svalbard Archipelago // Arctic and Alpine Research, 1984. 16, 381–394.

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. 25, 101-110.

Мероприятие 5 выполнено полностью.

Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты

В 2025 г. работы по исследования многолетней мерзлоты на арх. Шпицберген были направлены на продолжение долговременных наблюдений за динамикой температурного режима мерзлых пород на существующей наблюдательной сети, а также на ее расширение путем обустройства новых скважин. В 2025 г. задачи включали мониторинг температурного состояния мерзлоты, методические изыскания, исследование бугров пучения и других форм мерзлотного рельефа, отбор образцов подмерзлотных и надмерзлотных вод для оценки микробиологического состояния, геохимические исследования кернов и подземных вод.

Сеть мерзлотных наблюдений на Шпицбергене, создаваемая РАЭ-Ш ААНИИ с 2016 г., является базой для отработки технологий и методик мониторинга многолетней мерзлоты, которые находят применение на территории криолитозоны РФ. В связи с развертыванием Государственной системы фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты (ГСМ СММ) возникла потребность в оценке влияния конструкции скважины на температурное поле в приповерхностной части разреза. Для решения этой задачи было проведено бурение ряда опытно-методических неглубоких скважин в районе действующей площадки CALM и в районе термометрической скважины №8а. Сравнительный анализ различных типов оборудования скважин покажет, какую погрешность в измерения может вносить конструкция действующих скважин в системе ГСМ СММ. Большой интерес представляет выявление характера температурной кривой ниже глубины нулевых амплитуд, так как температурная кривая позволяет оценить флуктуации климата на протяжении последних десятков и сотен лет. Для этого первая глубокая опытно-методическая скважина была пробурена в районе г. Салехард в конце 2024 г. При этом, на Шпицбергене в сети РАЭ-Ш нет скважин, глубина которых бы превышала отметку в 25 м. В связи с этим одна из задач полевых работ – поиск и расчистка глубоких углеазведочных и мерзлотно-гидрогеологических скважин на юго-востоке от г. Олаф, плато на восток от по. Колсбей и в районе поселка Пирамида.

Полевые работы в весенний период проводились в период с 8 марта по 19 апреля 2025 г. коллективом из 3-х человек: Демидов Н.Э., Степанец А.А., Новиков А.Л. В соответствии с научной целью в рамках полевых работ проведено:

- бурение трех скважин глубиной 3,2 м колонковым способом на площадке мониторинга СТС в районе геофизического полигона: одна скважина обсажена полностью по методике ГСМ СММ, вторая – обсажена пластиковой трубкой внешним диаметром 3 см, и третья скважина не обсажена;

- бурение скважины глубиной 2,0 м рядом с скважиной 8а колонковым способом (скважина обсажена пластиковой трубкой внешним диаметром 3 см);

- в районе поселка Пирамида проведена термометрия 13 геотехнических и фоновых скважин;

- в районе Пирамида обследованы 20 углепоисковых скважин, на берегу бухты Петунья обнаружена скважина с чистым стволом глубиной 40 м, перспективная под оборудование термометрической косой;

- визуально обследованы 12 зданий в поселке Пирамида с фиксацией деформаций фундамента;

- георадиолокационное зондирование трех многолетних бугров пучения в долинах Холлендар, Рейндален, Хорбидален, там же отобраны 9 проб озерных, подмерзлотных и надмерзлотных вод для гидрохимических анализов;

- в грунтовой лаборатории проведена пробоподготовка 10 кернов для химического анализа водной вытяжки и выполнены измерения весовой влажности.

Полевые работы в летний сезон проводились Демидовым В.Э. и Провоторовой Е.А. (НИЦ «Курчатовский институт») и были сосредоточены на следующих задачах:

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

- мониторинг мощности сезонно-талого слоя (СТС) на площадках CALM Баренцбург и CALM Альхорн;

- мониторинг развития криогенных процессов в окрестностях п. Баренцбург;

- отбор и пробоподготовка образцов подземных и поверхностных вод в западной части Земли Норденшельда на микробиологический, гидрохимический, газовый и изотопный анализы.

Термометрические наблюдения в опорной скважине №12 показали, что на глубине затухания сезонных колебаний (14,25 м) 18 сентября 2025 г. температура составила $-2,43^{\circ}\text{C}$, на опорных скважинах в долине Грэндален в буграх пучения Кили и Нори на глубине 14,25 м температура составила $-3,18^{\circ}\text{C}$ и $-3,0^{\circ}\text{C}$ соответственно. В районе п. Пирамида данные термометрических кос показали температуры от $-2,12^{\circ}\text{C}$ до $-3,37^{\circ}\text{C}$ на глубинах до 14,25 м. Анализ изменения суммы среднегодовых температур в скважине №12 за период 2017-2025 гг. показывает незначительное отклонение с глубиной в сторону отрицательных температур (рис. 6.1), что свидетельствует о растеплении мерзлоты с поверхности в летний период.

Мониторинг СТС на площадке CALM Баренцбург показал средняя мощность СТС 152,78 см (рис. 6.2а), что является наибольшей величиной за период наблюдений. На торфянистой площадке CALM Альхорн измерения были проведены 09 сентября (рис. 6.2б).

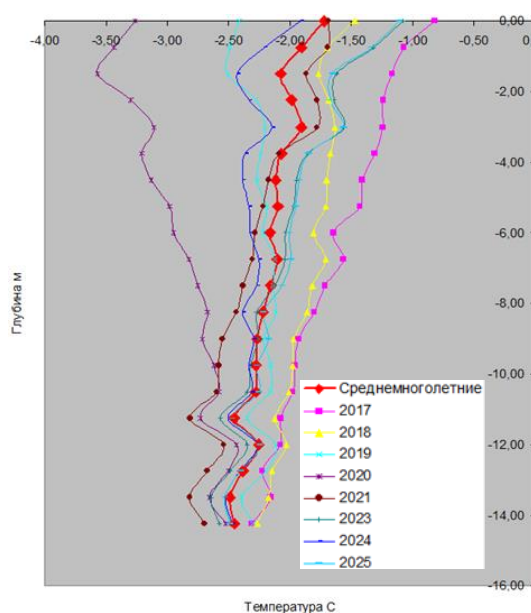


Рисунок 6.1 – Кривые среднегодовых и среднегодовой температур в скважине №12 (геофизический полигон п. Баренцбург)

Средняя мощность СТС составила 45,09 см, несколько меньше мощности СТС, зарегистрированной в 2024 г. Динамика мощности СТС на площадках CALM Баренцбург и Альхорн за период наблюдений представлена на рисунке 6.2в.

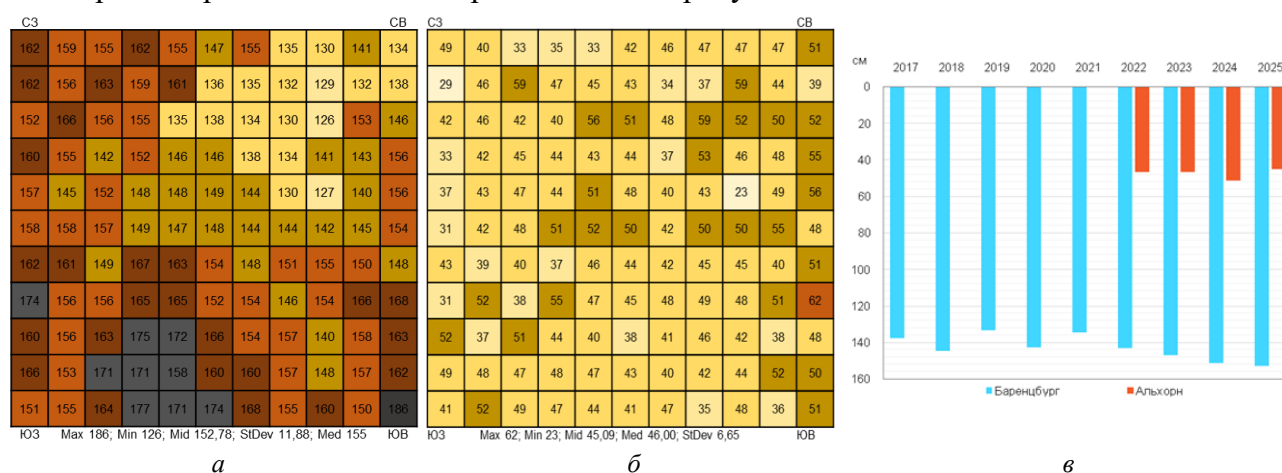


Рисунок 6.2 – Мощность сезонно-талого слоя на площадках CALM в п. Баренцбург 18-20.09.2025 (а) и мысе Альхорн 09.09.2025 (б), средняя мощность сезонно-талого слоя в 2017-2025 гг. (в)

Появления свежих оползней и селей за летне-осенний период 2025 года не отмечено. В долине Холлендар 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.

Маршрутное картирование минерализации водотоков и подземных вод (шахта пос. Баренцбург) велось в западной части Земли Норденшельда, Земле Диксона, Земле Оскара II и Земле Альберта I. Отбор образцов из источников подземных вод и поверхностных водотоков осуществлялся для последующего гидрохимического, изотопного, газового и микробиологического анализа.

Среди отобранных водотоков крайней низкими показателями степени насыщения кислородом выделялись источники пинго Оин (долина Грёндален), Конгресс 1 (сероводородный источник на оз. Конгресс), в д. Орустдален и на устье долины Тродален. Это свидетельствует о застойном режиме формирования питающих водоносных горизонтов и их расположении ниже подошвы мерзлоты, в связи с чем указанные источники представляют значительный интерес. Также значительный интерес для выявления метаногенных и метанотрофных микробных сообществ представляет проба глубинных рассолов, отобранная в шахте пос. Баренцбург. Микробиологические образцы (12) обработаны в химико-аналитической лаборатории и переданы в геномный центр НИЦ «Курчатовский институт» для дальнейших исследований.

По температурным данным в скважинах и динамике СТС в 2025 г. удалось:

- сделать первые выводы об изменении температурного состояния мерзлых грунтов на основании накопленных рядов данных измерений в скважинах;

- на основе совместного анализа данных по термометрическим скважинам на Шпицбергене и на других островах в Арктике определить специфику температурного режима грунтов на островах и побережье Северного Ледовитого океана и проследить закономерности формирования сезонно-талого слоя (СТС).

На рисунке 6.3 показаны термометрические кривые за три года измерений в скважине 8а. В верхних 4-х метрах разреза температура грунтов за период наблюдений не имеет четкой тенденции на изменение в большую или меньшую сторону, что связано с тем, что на этих глубинах температура грунта находится в большей степени в зависимости от температуры конкретного года, чем от многолетних колебаний климата. Ниже 4-х метров за период наблюдений прослеживается тенденция на возрастание температур, что, по-видимому,

является отражением цикла потепления климата на архипелаге и в Арктике в целом. Скорость роста при этом низкая порядка $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$. К забою скважины скорость роста температур грунта замедляется. Низкие скорости растепления грунтов можно связать с уменьшением амплитуды годовых колебаний температуры воздуха, что приводит к уменьшению отепляющего влияния снежного покрова.

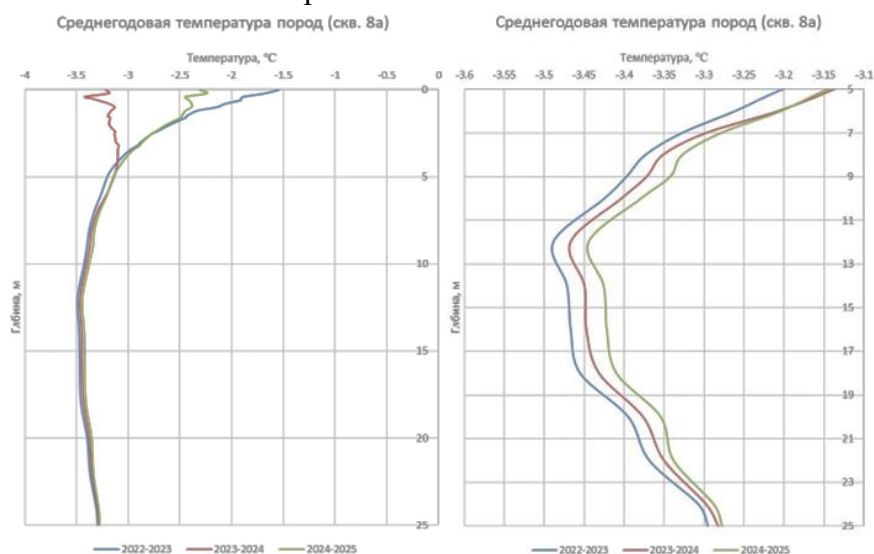


Рисунок 6.3 – Среднегодовые термометрические кривые за 2022-2025 гидрологические года по скважине №8а (справа укрупненная часть глубже 5 м)

Совместный анализ данных по скважине №8а на Шпицбергене с данными других скважин, открытых по программе ГСМ СММ показал, что на Шпицбергене, как и на других архипелагах в Арктике, среднегодовая температура грунта лишь на $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ выше среднегодовой температуры воздуха. Столь малая температурная сдвигка объясняется малым отепляющим влиянием снега за счет морского климата (малые амплитуды годовых колебаний температуры воздуха), его небольшой мощности и большой плотности, результирующимися в низком тепловом сопротивлении.

На рисунке 6.4 показаны графики термоизоуплет по скважинам на арктических островах (включая Шпицберген, скв. №8а), совмещенные с метеорологическими данными, позволяющие в подробности рассмотреть процесс формирования сезонного-талого слоя. В скважине 8а на Шпицбергене устойчивое протаивание начинается уже с конца мая, что является аномально ранним сроком для остальной Арктики.

Срок начала протаивания совпадает с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям. Полное смерзание СТС в скважине 8а произошло в начале октября при отрицательных среднесуточных температурах воздуха, тогда как на большинстве остальных пунктов – уже в сентябре. Переход верхней части СТС в мерзлое состояние совпадает с моментом устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха к отрицательным значениям. Судя по данным 2024 г. именно западное побережье арх. Шпицберген характеризуется особенно динамичным режимом СТС в Арктике. Глубокое по арктическим меркам протаивание здесь связано с длительным теплым периодом. Частые циклоны из Атлантики приносят оттепели с дождями, формирующие локальный во времени СТС даже в ноябре. Общая продолжительность существования СТС на островах Арктики варьирует от 82 до 96 суток, и только на Шпицбергене она возрастает до 129 суток.

В целом, анализ формирования СТС в скважине №8а вместе с скважинами на других островах показал наличие арктического эффекта – при равных среднегодовых температурах воздуха в континентальных районах и на арктических островах, на последних мощность СТС оказывается ниже. Арктический эффект, вероятно, вызван более сильным промораживанием зимой в условиях плотного маломощного снежного покрова и более коротким и холодным летом. Холодное лето в свою очередь объясняется не только высокоширотным положением,

но и буферным температурным влиянием морских льдов, туманами, дождями и затратами тепла на испарение в условиях высокой влажности и скорости ветра.

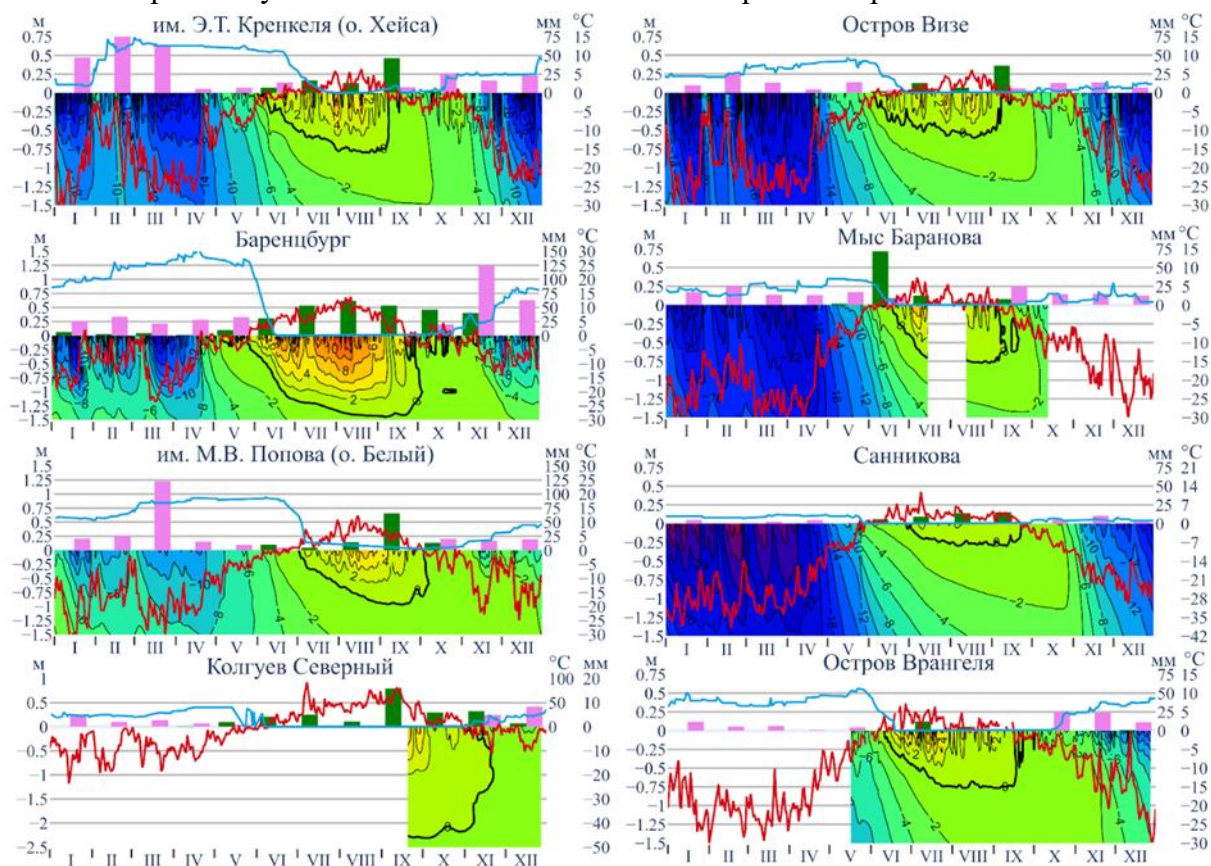


Рисунок 6.2 – Графики термоизополет по скважинам на островах Арктики, совмещенные с данными о среднесуточной температуре воздуха (красная кривая), мощности снега (голубая кривая) и месячных сумм твердых (фиолетовые столбцы) и жидких осадков (зеленые столбцы) на соответствующих метеоплощадках за 2024 г. Жирная линия соответствует изотерме 0°C

Для будущих исследований большой интерес представляет обустройство термокосой обнаруженной в бухте Петунья углеразведочной скважины, а также бурение многолетнего бугра пучения – гидролакколита в долине Рейндален, на котором удалось выявить отражения от границы ледяное ядро / вмещающие горные породы.

В 2025 г. результаты изучения мерзлоты Шпицбергена были представлены на конференциях и статьях.

Demidov N E, Anisimov O A, Anisimov M A, et al. Conception and first results of the Russian National System of Background Permafrost Monitoring // *Adv Polar Sci*, 2025. 36(1): 51-60, DOI: 10.12429/j.advps.2024.0036

Демидов Н.Э., Гунар А.Ю., Зайцева Д.К., Ежиков И.С., Масловский А.С., Морозов А.П., Сидорова О.Р., Степанец А.А., Угрюмов Ю.В. Формирование сезонно-талого слоя на островах Евразийского сектора Арктики // *Метеорология и гидрология*, 2025. № 9: 11-23.

Демидов Н.Э., Борисик А.Л., Веркулич С.Р., Гузева А.В., Гунар А.Ю., Демидов В.Э., Кошурников А.В., Никулина А.Л., Новиков А.Л., Угрюмов Ю.В. Сеть мониторинга многолетней мерзлоты на трассе северного морского пути как часть ГСМ СММ, тезисы конференции // Тезисы докладов XVI Международной научной конференции, посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 117 с.

Демидовым В.Э. защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук «Гидролакколиты архипелага Шпицберген».

Мероприятие 6 выполнено полностью.

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

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

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.



Рисунок 7.1 – Расположение ВППИ на арх. Шпицберген и внешний вид антенн

ВППИ представляет комплекс технических и программных средств приема, первичной обработки и передачи спутниковой информации. Управление работой комплекса осуществляется из удаленного пункта управления и тематической обработки ААНИИ в Санкт-Петербурге. Техническое обслуживание комплекса, первичную обработку и отправку информативных спутниковых данных, осуществляет инженер-оператор непосредственно из Баренцбурга, офис которого расположен в лабораторном корпусе №1. Основу комплекса составляют три станции MEOS производства норвежской компанией Kongsberg Spacetic AS, установленные на отроге горы Улаф (рис. 7.1):

- станция meos-bg1 для приема данных L-диапазона со спутников серии NOAA, METOP, FY-3;
- станция meos-bg2 для приема данных X-диапазона со спутников TERRA, AQUA, Suomi-NPP, JPSS-1, а также со спутников серии FY-3;
- станция meos-bg3 (резервная) для приема данных L-диапазона и X-диапазона со спутников серии NOAA, METOP, FY3, а также со спутников TERRA, AQUA, Suomi-NPP, JPSS-1.

В течение 2025 г. зимовочным составом РАЭ-Ш обеспечивались прием, первичная обработка и передача в ААНИИ и систему ЕСИМО гидрометеорологической информации (табл. 7.1) с использованием широкополосного интернет-канала, предоставляемого по контракту с ААНИИ норвежским оператором Telenor Svalbard AS. ВППИ работал круглосуточно, серьезных сбоев в его работе допущено не было, за исключением единичных случаев кратковременных плановых и внеплановых отключений электричества в п. Баренцбург. Работу ВППИ обеспечивал вед. инж. Сарсенов Н.С.

Таблица 7.1 – Объем переданной ВППИ гидрометеорологической информации за годовой период

Количественные показатели информации	2024	2025 г.			Всего
	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	
Количество сеансов приема информации с ИСЗ	8145	8504	8652	7420	32 721
Количество подготовленных и переданных в ААНИИ tif-файлов	45127	50224	68425	42986	206 762
Объем переданной информации, Гб	282	291,3	285,3	265,3	1 123,9

08 апреля и 21 октября 2025 г. работу ВППИ инспектировала комиссия Государственного департамента связи Норвегии (Nkom). Проверка работы наземных спутниковых станций проводилась в соответствии с Предписанием от 21 апреля 2017 года № 493 о создании, эксплуатации и использовании наземных станций спутниковой связи на Шпицбергене, §9. Результаты проверки положительные. Расчеты показывали, что прохождения спутников совпадают с записями в журналах станции.

Мероприятие 7 выполнено полностью.

Мероприятие 8. Геофизические исследования

Геофизические исследования объединяют наблюдение за пространственным распределением и вариациями магнитного поля Земли на поверхности и в околоземном пространстве, состояния ионосферы с точки зрения распространения радиоволн и ультрафиолетового излучения в зоне эрители активности. Наблюдения проводятся синхронно на полярных станциях Росгидромета в Арктике и Антарктиде.

В 2025 г. проводились непрерывные исследования ионосферы и параметров распространения радиоволн и воздействия вариаций солнечного излучения на приземную атмосферу. Магнитометрические измерения возобновились только в октябре 2025 г. в связи с выходом из строя оборудования и невозможности своевременно заменить его на новое.

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

Проведение ионосферных наблюдений методом наклонного зондирования (НЗ) на арх. Шпицбергене, в поселке Баренцбург, направлено на обеспечение систематического мониторинга состояния ионосферы на различных радиотрассах (Ловозеро-Баренцбург, Кипр-Баренцбург, Горьковская-Баренцбург, рис. 8.1). Исследования сосредоточены в средних точках этих радиотрасс, обозначенных на схеме чёрными маркерами, что позволяет детально анализировать вертикальную слоистую структуру ионосферы. Обсерватория Баренцбург обеспечивает контроль параметров высокоширотной ионосферы в акватории Баренцева моря, а также в зоне аврорального овала на севере Скандинавии. Таким образом, полученные данные позволяют не только характеризовать текущее состояние ионосферы, но и прогнозировать её поведение в условиях геомагнитной активности, что имеет важное значение для развития телекоммуникационных и навигационных систем.

Основные задачи включали:

- измерение числовых значений параметров ионосферы;
- проведение объективной оценки качества ионосферных явлений;

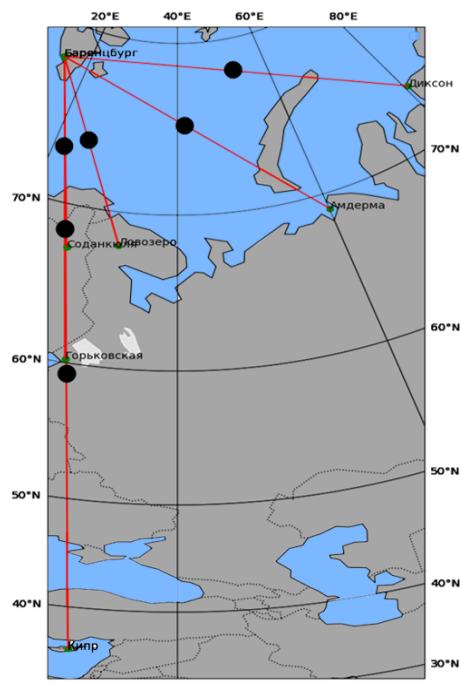


Рисунок 8.1 – Трассы наклонного зондирования, принимаемые на станции в п. Баренцбург

– обеспечение сопоставимости данных, полученных на различных трассах ионосферной сети, а также в различные временные интервалы, включая суточные, годовые и декадные периоды;

– регулярную и оперативную передачу всех результатов наблюдений ионосферных данных в центральные научно-исследовательские учреждения гелиогеофизической службы Росгидромета;

– хранение полученной ионосферной информации в специализированной базе данных.

Метод многочастотного наклонного зондирования (НЗ) ионосферы заключается в анализе параметров распространения радиоволн между разнесёнными передатчиком и приёмником НЗ в широком диапазоне частот, обычно от 3 до 30 МГц. Для проведения наблюдений необходима точная синхронизация передатчика и приёмника, которая обычно достигается с помощью GPS/Глонасс.

Этот метод позволяет получить данные о состоянии ионосферы и её реакции на различные гелиогеофизические процессы вдоль исследуемой радиотрассы, что способствует повышению точности прогнозирования условий радиосвязи. С помощью НЗ определяются ключевые характеристики линий радиосвязи: максимальная и минимальная наблюдаемые частоты (МНЧ и ННЧ), оптимальный диапазон частот и участки диапазона с минимальным воздействием многолучевого распространения.

Результаты наклонного радиозондирования ионосферы представляются в виде ионограммы НЗ, которая отображает зависимость группового запаздывания сигналов, проходящих различными путями в ионосфере, от частоты в точке приёма. Это позволяет определить модовую структуру волнового поля и амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) ионосферного канала.

Одним из значимых феноменов, регистрируемых в ходе наклонного зондирования ионосферы и отражающих её динамическое состояние, являются перемещающиеся ионосферные неоднородности (ПИНВ), представляющие собой слабоинтенсивные и непрерывно дрейфующие возмущения в ионосферной плазме. Эти неоднородности возникают в результате воздействия атмосферных гравитационных волн (АГВ), инициируемых как естественными, так и антропогенными источниками энергии. В зависимости от характеристик, таких как горизонтальная скорость, пространственная длина волны и временной период, ПИНВ классифицируются на два условных типа:

– Крупномасштабные ПИНВ, характеризующиеся длиной волны свыше 1000 км, наблюдаются относительно редко и демонстрируют миграцию от полярных регионов к экваториальным областям со скоростью в диапазоне от 0,4 до 1 км/с. Эти неоднородности обладают значительной пространственной протяжённостью, что позволяет им оказывать заметное влияние на глобальные ионосферные процессы (Колчев и др., 2022).

– Среднемасштабные ПИНВ отличаются более высокой скоростью перемещения, достигающей порядка 70 м/с, и имеют длину волны около 200 км. Эти возмущения характеризуются более интенсивной динамикой и могут оказывать существенное воздействие на локальные ионосферные условия (Polekh et al., 2010).

Таким образом, ПИНВ представляют собой важный элемент ионосферной динамики, отражающий сложные взаимодействия между атмосферой и ионосферой, вызванные гравитационными волнами различного происхождения. Перемещающиеся ионосферные возмущения оказывают существенное влияние на характеристики радиоволн в широком диапазоне частот — от ОНЧ до УВЧ (Иванова и др., 2011).

ПИНВ чаще всего появляются во время магнитных бурь и суббурь, в моменты сильного возмущения магнитного поля. Так, майские магнитные бури 2025 г. и ПИНВ, которые им сопутствовали, хорошо заметны на всех трассах наклонного зондирования ионосферы высокоширотной сети ионозондов. Но наибольшее их число отмечается на трассах, расположенных на долготных линиях, в том числе, на линии Кипр-Баренцбург (рис. 8.2а).

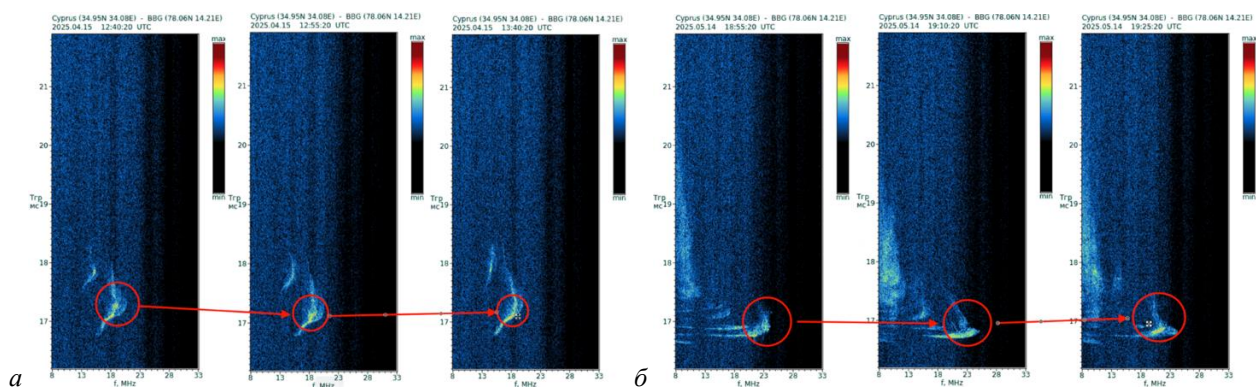


Рисунок 8.2 – ПИВ на трассе Кипр-Баренцбург 15 апреля 2025 г.(а) и 15 мая 2025 г. (б)

При этом на других долготных радиотрассах, таких как Ловозеро-Баренцбург, Горьковская-Баренцбург, Диксон-Баренцбург, данный тип эффектов в тоже самое время встречается значительно реже. Это связано с тем, что эффект ПИВов связан, в основном, с средними широтами и наиболее отчетливо наблюдается именно на трассах, где передающий пункт находится в средних широтах. Если средняя точка трассы, находится в области высоких широт, данный эффект будет менее заметным. Похожая картина присутствия ПИВов, отличием является только более низкая интенсивность сигнала, наблюдалась в мае (рис. 8.2б).

Несмотря на редкость появления ПИВов в высоких широтах, все же могут появляться и там. В ту же самую магнитную бурю, на трассе Ловозеро-Баренцбург также регистрировались данные эффекты (рис. 8.3).

Все ПИВы были зарегистрированы в дни с средним индексом геомагнитной активности за день $K_p = 4$ - и 5 - (слабовозмущенная геомагнитная активность).

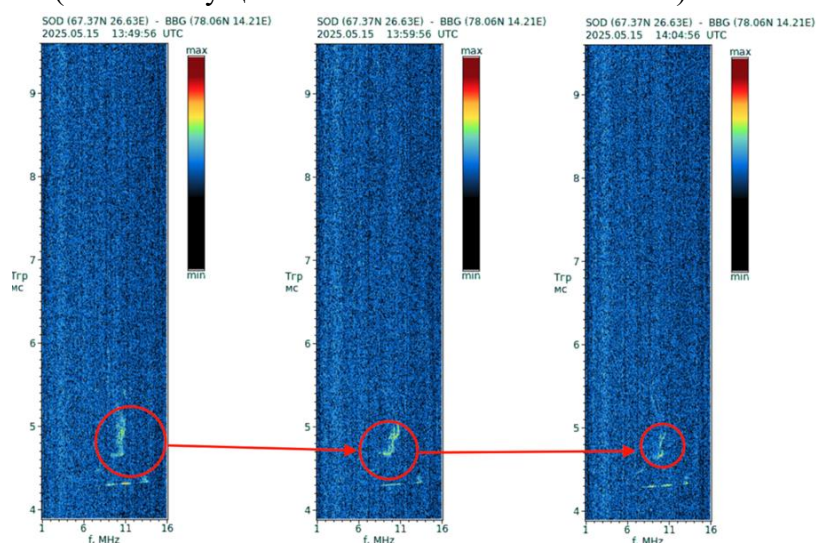


Рисунок 8.3 – ПИВ на трассе Соданкюля–Баренцбург 15 мая 2025 г.

В 2024-2025 гг. велись работы по модернизации системы визуализации данных со всех высокоширотных станций, оборудованных средствами геофизического мониторинга ААНИИ, в том числе и на арх. Шпицберген. Разработана модель прогноза параметров E-слоя ионосферы АИМ-E, которая позволяет рассчитывать плотность частиц и плазменную частоту для выбранной географической координаты, в том числе и для п. Баренцбург (рис. 8.4).

Другая не менее важная возможность системы сбора и визуализации данных, в которую включен пункт НЗИ на арх. Шпицберген, – построение карт критических частот спорадического слоя Es ($foEs$). Карты позволяют оценить пространственную изменчивость ионосферы во время геомагнитных возмущений. Пример одной из таких карт на рисунке 8.5. Черными большими кругами обозначены станции вертикального зондирования ионосферы, маленькими средние точки радиотрасс. Вверху цветной зоны можно обнаружить два маленьких черных круга, расположенных рядом, это центры двух трасс наклонного радиозондирования.

Пункт НЗИ на арх. Шпицберген обладает большой научной и практической значимостью, так как его географическое положение позволяет осуществлять систематическое исследование вертикальной слоистой структуры ионосферы в межрегиональном масштабе. Это касается акватории Баренцева моря, зоны Аврорального овала, а также северной границы среднеширотной зоны. Полученные данные критически важны для анализа динамики ионосферных процессов в условиях полярных и субполярных широт, а также для оценки их влияния на глобальные геофизические явления.

В ходе мониторинга параметров ионосферы методом наклонного зондирования, проведенного на приемном пункте в Баренцбурге (архипелаг Шпицберген) в 2025 г., были зарегистрированы как периоды с незначительными возмущениями ионосферы, так и временные интервалы с выраженными возмущениями. В указанные периоды фиксировались естественные ионосферные неоднородности, вызванные магнитными возмущениями, обусловленными мощными солнечными вспышками. Эффекты проявлялись как на траекториях, пересекающих среднеширотную зону, так и непосредственно над акваторией Баренцева моря. Проведенные наблюдения позволяют получить ценные данные о взаимосвязи между солнечными вспышками, магнитными бурями и изменениями в структуре ионосферы на различных широтах, что имеет важное значение для дальнейшего развития исследований в области геофизики и солнечно-земных связей.

По данным исследований опубликована статья:

Калишин А.С., Благовещенская Н.Ф., Борисова Т.Д., Долгачева С.А. Развитие и модернизация методов геофизического мониторинга в Арктике // Российские полярные исследования, 2025. № 1 (59). С. 26-30.

Спектральные наблюдения солнечного излучения УФ-Б и УФ-А в 25 цикле солнечной активности

Цель – исследование временных характеристик спектрального солнечного излучения в диапазонах UVB (280-315 нм)–UVA (315-400 нм) в высокоширотной Арктике. Основная задача – спектральные измерения интенсивности UVB-UVA и показателей приземной атмосферы в 25 цикле солнечной активности (СА Анализ интенсивности).

Спектральные наблюдения UVB-UVA выполнялись с помощью восьмиканального оптоволоконного спектрометра AvaSpec-3638 по зенитной методике. Каналы измерений (диапазоны):

- F1 Peak Wavelength 299-301 нм
- F2 Integral Master Channel 299-301 нм
- F3 Peak Wavelength 325-327 нм.

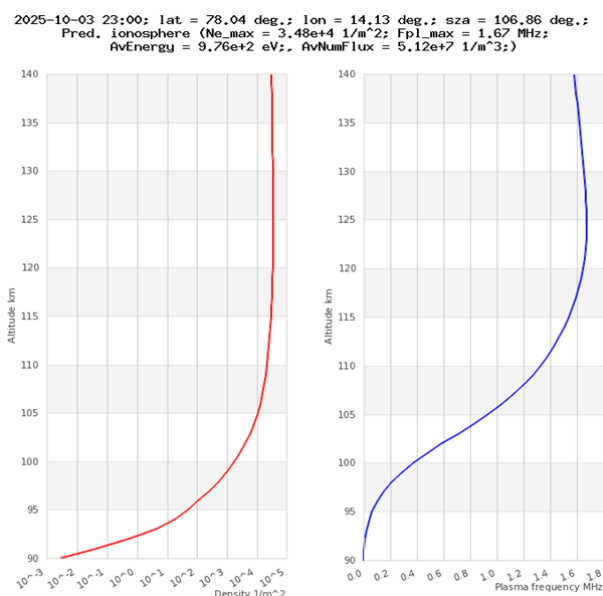


Рисунок 8.4 – Расчёт параметров по модели АИМ-Е для Баренцбурга (а)

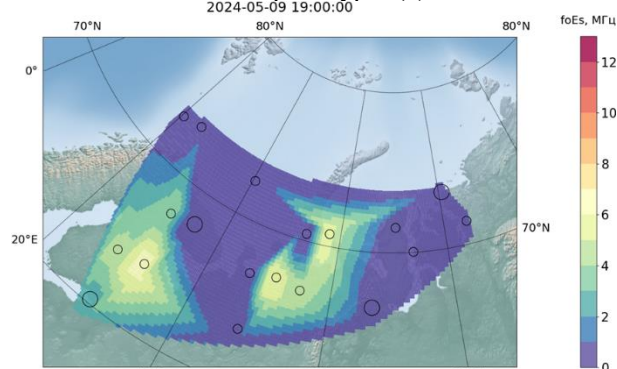


Рисунок 8.5 – Карта распределения foEs

- F4 Integral Master Channel 325-327 нм
- F5 Integral Master Channel 315-400 нм
- F6 Integral Master Channel 280-315 нм
- F7 Integral Master Channel 315-320 нм
- F8 Integral Master Channel 297-330 нм

Изменения поступающего к земной поверхности солнечного излучения UVB-UVA обусловлены следующими факторами: склонением Солнца; географической широтой; высотой над уровнем моря (на 1 км интенсивность UVB-UVA возрастает на $\sim 7-12\%$); облачным покровом; отражением поверхности; содержанием озона (O_3); солнечной активностью (СА). К малоизученным солнечным факторам, воздействующим на планетарную атмосферу, относятся солнечные осцилляции, которые передаются на все уровни атмосферы от крайнего UVC (10-280 нм) до длинноволнового UVA (315-400 нм). Солнечные осцилляции возникают вследствие действия газового давления во внутренних областях Солнца, а также силы Архимеда и охватывают все сферы Солнца.

На рис. 8.6 представлена периодограмма интенсивности UVB-UVA в интегральных каналах F2 и F4-F8 за 21.06.2025 г. (летнее солнцестояние). В периодограммах просматриваются гармоники в диапазоне 5-130 мин., что соответствует частотному диапазону солнечных осцилляций p-g mods. P-моды представляют наложение большого числа стоячих акустических волн на поверхности Солнца от $\sim 0,005R$ до 2 (сферические гармоники) и отражаются на всех участках спектральной светимости Солнца (SSI).

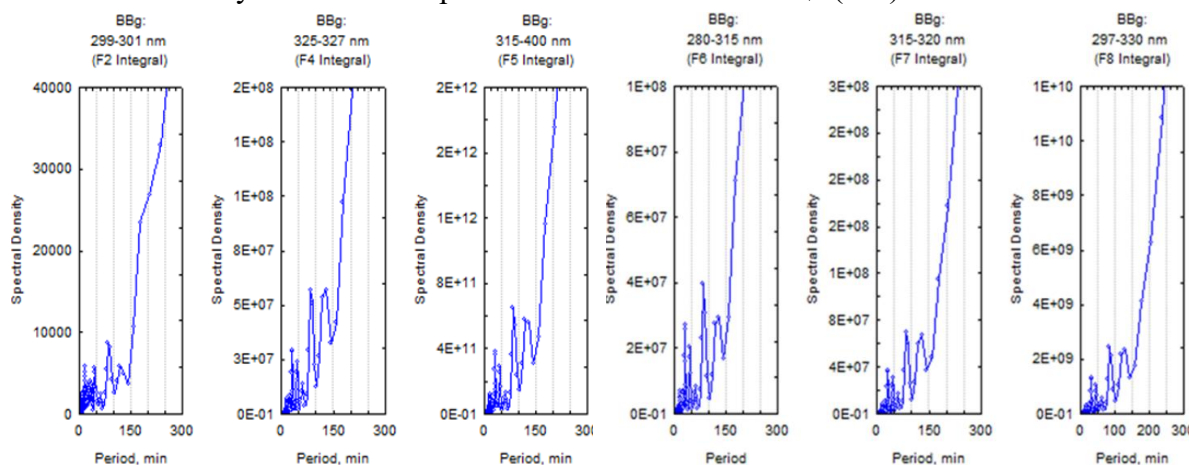


Рисунок 8.6 – Периодограммы интенсивности UVB-UVA в интегральных каналах F2 и F4-F8 по данным наблюдений в летнее солнцестояние 21.06.2025 г. (AvaSpec-3648, п.Баренцбург)

Для проверки глобального воздействия солнечных осцилляций на атмосферу 21.06.2025 г. проводились дублирующие наблюдения F2 и F4-F8 на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (арх. Северная Земля) (рис. 8.7).

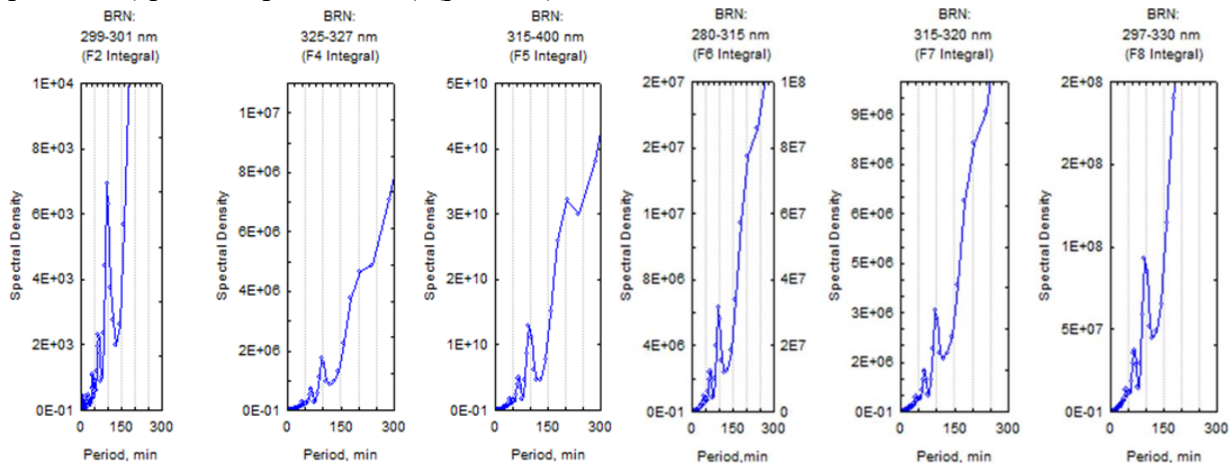


Рисунок 8.7 – Периодограммы интенсивности UVB-UVA в интегральных каналах F2, F4-F8 по данным наблюдений в летнее солнцестояние 21.06.2025 г. (AvaSpec-2048, НИС «Ледовая база Мыс Баранова»)

Как видно, режим колебаний в каналах F2 и F4-F8 на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» также находится в диапазоне 5-130 мин. Измерения в каналах Peak (F1) показали высокую спектральную плотность в диапазоне «пятиминутной» гармоник, что соответствует частоте p -mods $\sim 3,2$ mHz, т.н. «пятиминутные колебания» Солнца, или глобальные колебания Солнца (как звезды). На рисунке 8.8 показано сравнение периодограмм F1 (Peak) для пунктов ВВг и BRN.

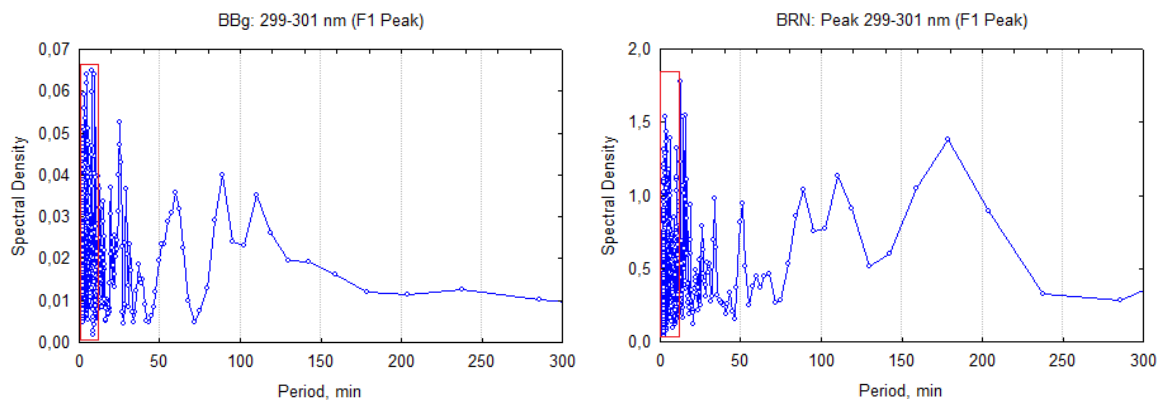


Рисунок 8.8 – Периодограммы флуктуаций энергии в каналах Peak (F1) в летнее солнцестояние 21.06.2025 г. в п. Баренцбург (AvaSpec-3648) и на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (AvaSpec-2048)

Обработка данных проводилась с преобразованием значений в стандартные отклонения (SD): $\sigma = \sqrt{(\sum(x - \mu)^2 / N)}$, где σ – стандартное отклонение генеральной совокупности; x – каждое значение в наборе данных; μ – среднее арифметическое всех значений; N – общее количество значений; Σ – знак суммы. На рисунке 8.9 представлено сопоставление SD F5-F6 за общий период наблюдений с 30.05.2025 г. по 16.07.2025 г. На графиках можно видеть соответствие максимального значения SD в летнее солнцестояние 21.06.2025 г.

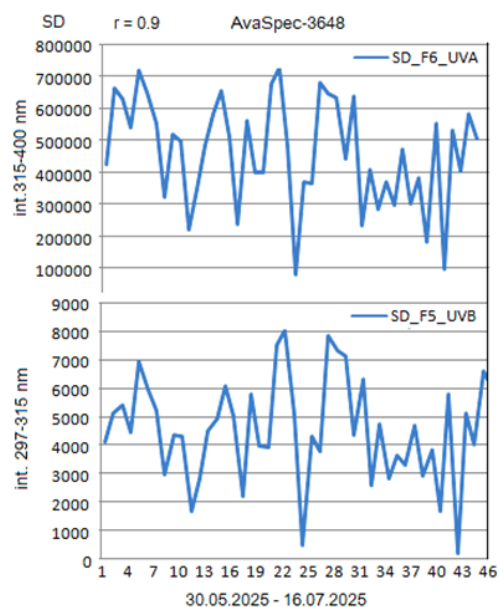


Рисунок 8.9 – Сопоставление временных распределений SD F5 (UVA) и F6 (UVB)

Таким образом, в периодограммах UVB-UVA установлен временной диапазон 5-130 мин, соответствующий набору гармоник в солнечных осцилляциях p - g mods. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии глобального солнечного механизма на временные характеристики нижней атмосферы.

Результаты исследований представлены:

Шаповалов С.Н. Солнечно-земные связи: спектральные наблюдения солнечного УФ излучения в Баренцбурге (РАЭ-Ш). Тез. конф. XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», 23-24.10.2025, г. Мурманск. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025.

Литература:

Колчев А.А., Зыков Е.Ю., Выборнов Ф.И., Чернов А.Г., Шумаев В.В. Оценка параметров перемещающихся ионосферных возмущений по сети ЛЧМ-ионозондов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. Науки, 2022. Т. 164, №1, 137-147.

Polekh N., Ivanova V., Kurkin V., Chistyakova L., Poddelsky I. Wave disturbance influence on HF-propagation-characteristics // Adv. Space Res., 2010. V. 46, N 3, 275–279.

Иванова В.А., Куркин В.И., Полех Н.М., Чистякова Л.В. Исследование крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений по данным наклонного зондирования // Солнечно-земная физика, 2011. № 18(131), 142-145.

Мероприятие 8 выполнено частично.

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

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

Наблюдения за гидрометеорологическими параметрами природной среды выполняются круглосуточно на базе Гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» ФГБУ «Мурманское УГМС» с 01.01.2025 по 31.12.2025. Основные результаты наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды в 2025 году:

1. Метеорологические наблюдения

В 2025 году метеорологические наблюдения на ГМО «Баренцбург» проводились 8 раз в сутки в стандартные сроки за следующими параметрами: температурой воздуха и подстилающей поверхности, характеристиками ветра, метеорологической дальностью видимости, количеством, формой и высотой облачности, атмосферным давлением, влажностью воздуха, атмосферными явлениями, количеством осадков, высотой снежного покрова. Всего по программе станции было выполнено 2920 комплексных наблюдений.

Климатические особенности 2025 года на архипелаге Шпицберген по данным ГМО «Баренцбург»:

За прошедшие девять месяцев 2025 года положительная аномалия средней месячной температуры воздуха отмечалась во все месяцы (в среднем +1,8 °С), кроме апреля. Апрель 2025 года со средней за месяц температурой воздуха –11 °С (что на 2,5 °С ниже нормы) стал самым холодным за последние 16 лет. Наибольшая положительная аномалия средней месячной температуры воздуха +7,1 °С отмечалась в феврале, который по значению средней за месяц температуры (–3,9 °С) стал вторым после 2014 года самым теплым февралем за весь период наблюдений (рис. 9.1).

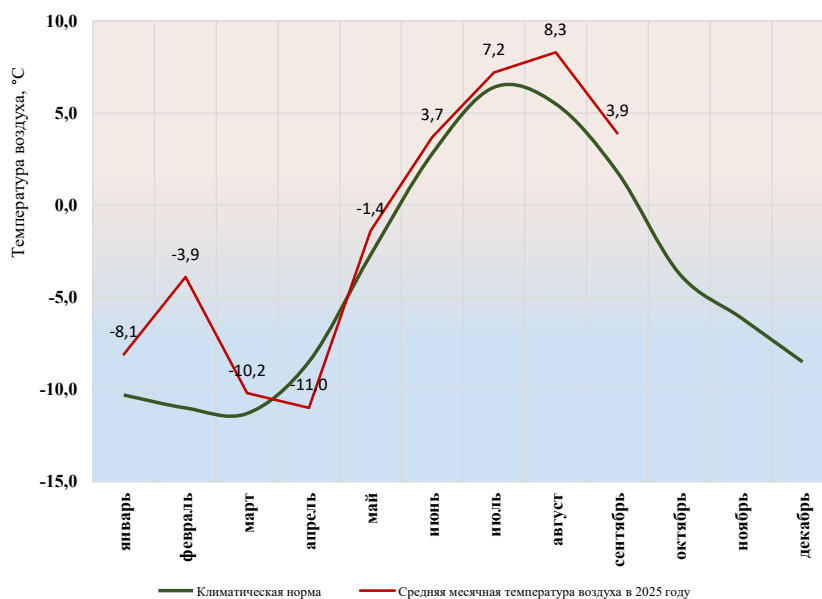


Рисунок 9.1 – Ход средней месячной температуры воздуха (°С) в 2025 году в сравнении с климатической нормой

Прошедшее лето можно назвать умеренно теплым, в июне и июле аномалия температуры воздуха составила 0,9°С и 0,8 °С соответственно; в августе +2,8 °С.

Максимальное значение +17,9 °С отмечалось 4 августа, а всего за лето среднесуточная температура воздуха превышала летнее значение (+10 °С и выше) лишь семь дней.

5 августа 2025 года в Баренцбурге впервые была зарегистрирована гроза.

За девять месяцев 2025 года количество выпавших осадков в Баренцбурге соответствовало климатической норме для данного периода (рис. 9.2).

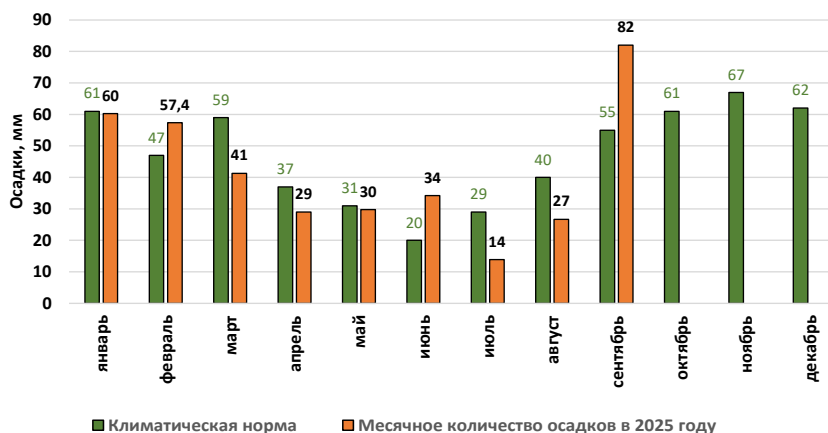


Рисунок 9.2 – Количество выпавших осадков (мм) в 2025 году в сравнении с климатической нормой

Наименьшее месячное количество осадков в абсолютном и относительном выражении отмечалось в июле (14 мм или 48 % от климатической нормы). Наибольшее количество осадков и относительном выражении – в июне, когда за месяц выпало 178 % от климатической нормы.

Опасные явления

С января по 15 октября 2025 г. наблюдалось одно опасное метеорологическое явление: 08 октября усиление южного ветра в порывах до 26 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; с 17.09.2025 в сроки 00, 06, 12, 18;

– наблюдения над уровнем моря по мареографу – ежечасно; 3-6.08.2025, 21.08.2025, 27.08.2025, 29-31.08.2025, 1-30.09.2025 мареограф не работал по техническим причинам;

– наблюдения за волнением визуально – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ; с 17.09.2025 в сроки 00, 06, 12, 18;

– определение температуры морской воды – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ; с 17.09.2025 в сроки 00, 06, 12, 18;

– ледовые наблюдения в заливах Грэн-фьорд и Ис-фьорд с измерением характеристик ледяного покрова в постоянной точке (толщина льда, глубина его погружения, высота и плотность снежного покрова на льду);

– отбор проб и определение солёности и плотности морской воды ареометрическим методом – ежедневно в 12 ВСВ;

– наблюдения за видимостью в сторону моря – ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ; с 17.09.2025 в сроки 00, 06, 12, 18;

– геодезические работы по нивелировке футштока – 2 раза в год.

Всего проведено 1201 комплексное наблюдение.

3. Радиационный мониторинг

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

выполнено 365 измерений. Данные передавались в МТ АСКРО – Мурманскую территориальную автоматизированную систему контроля радиационной обстановки. По данным наблюдений ГМО «Баренцбург» радиационный фон (мощность экспозиционной дозы на местности) изменялась в пределах колебаний природного фона от 0,06 до 0,16 мЗв/ч.

4. Гелиогеофизические наблюдения

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

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

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

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

Регистрация уровня космического радиоизлучения на частоте 30 МГц с оперативной передачей данных в прогностические организации Росгидромета для диагностики и прогнозирования условий коротковолновой радиосвязи в Арктическом регионе – 8760 часов.

Определение периодов аномального поглощения радиоволн – 365 сроков.

По состоянию на 15.10.2025 зарегистрировано 118 магнитных бурь.

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

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.

Материалы наблюдений ГМО «Баренцбург» обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Объем полученной информации за 2025 год составил 0,1 Гб. 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 (НЯ) и опасных (ОЯ) гидрометеорологических явлениях по всей зоне ответственности Мурманского УГМС (как морской, так и материковой зоны). Наибольшее число ОЯ (сильный снег, метель, штормовой ветер, быстрое обледенение судов) связано с циклонами, формирующимися в Грэнландском море и, углубляясь, стремительно смещающимися на юго-восток Баренцева моря.

В целях изучения и прогнозирования гидрометеорологических и геофизических процессов, происходящих в атмосфере и океане, климатических изменений Арктического региона, укрепления позиции российского присутствия на архипелаге Шпицберген необходимо продолжить в 2026 году проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

Мероприятие 9 выполнено полностью.

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

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

В рамках реализации задач мероприятия Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» в 2025 г. выполнялись исследования на архипелаге Шпицберген, включающие в себя работы по фоновому и локальному экологическому мониторингу загрязнения объектов окружающей среды в районе поселка Баренцбург и его окрестностях, в том числе на акватории и побережье залива Грэнфьорд, и обследование состояния загрязнения окружающей природной среды в районе пос. Пирамида. Исследования проводились в соответствии с планом НИТР Росгидромета на 2025–2029 гг., тема 4.3.3 «Оценка состояния и тенденций изменения загрязнения природных сред Арктической зоны Российской Федерации».

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

Цели работы:

Оценка состояния загрязнения компонентов окружающей природной среды (атмосферного воздуха, снежного покрова, морских вод и донных отложений, вод и донных отложений водоёмов суши, почвенных вод, почв и растительного покрова) на территориях и в ближайших окрестностях посёлков Баренцбург и Пирамида, других объектов инфраструктуры, включая сопредельные территории и акватории заливов.

Выявление источников загрязнения природной среды на территории действующих и ликвидированных производственных объектов, локализация, паспортизация, оценка их степени опасности.

К основным задачам относятся:

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

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

Полевые работы

Полевые работы включали отбор проб атмосферного воздуха и атмосферного аэрозоля; снежного покрова на территории п. Баренцбург и п. Пирамида и фоновых районов; морских поверхностных и придонных вод; морских водных взвесей на акватории залива Грэнфьорд и бухты Петунья (залив Исфьорд), поверхностных вод оз. Стемме и р. Грэндалсэльва, 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. Производились маршрутные визуальные наблюдения за состоянием поверхностного слоя почвы, размерами и характером зон нарушенности, наличием и месторасположением свалок мусора, и другими нарушениями компонентов природной среды. На водных станциях дополнительно проводились наблюдения за состоянием водной поверхности, включающие визуальные наблюдения за наличием и интенсивностью плавающих пятен и пленок, скоплений отмирающих водорослей, появления повышенной мутности воды, пены и т.д. Схемы расположения точек наблюдений и отбора проб при выполнении фонового и локального экологического мониторинга представлены на рис. 10.1 и 10.2.

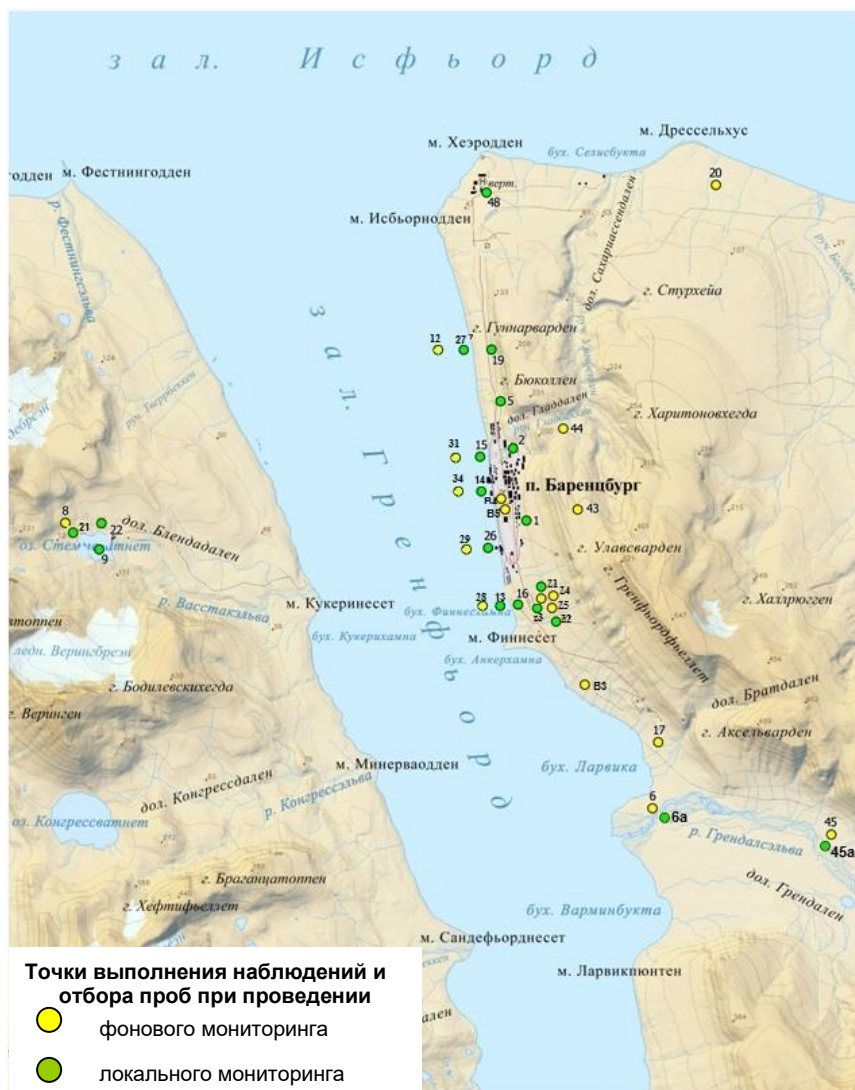


Рисунок 10.1 – Схема точек выполнения наблюдений и отбора проб при проведении фоновый и локального экологического мониторинга в районе п. Баренцбург

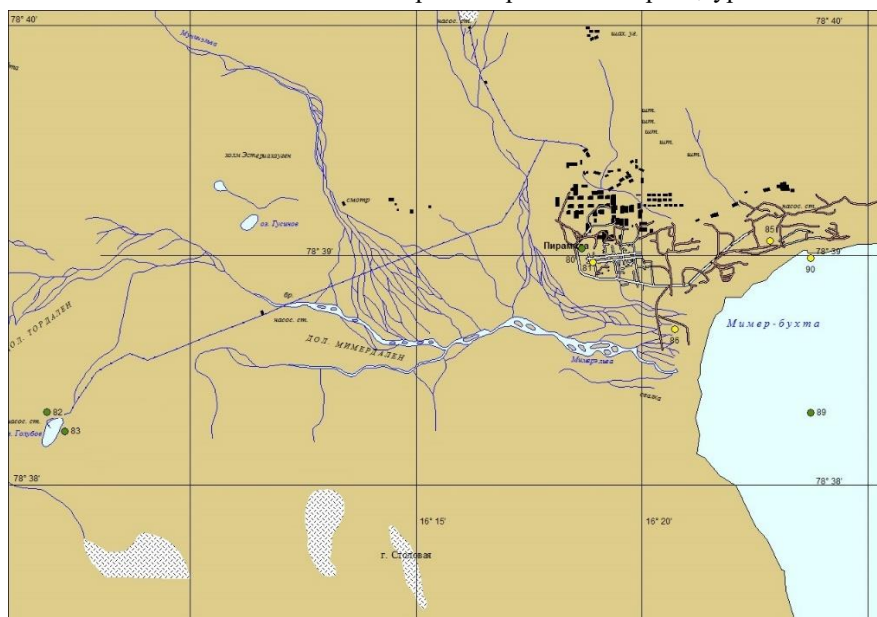


Рисунок 10.2 – Схема точек выполнения наблюдений и отбора проб при проведении фоновый и локального экологического мониторинга в районе п. Пирамида

Работы выполнялись специалистами Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун»: Голяков А.М. – начальник полевого отряда, Ким И.С. – ведущий инженер химик, Пядушкин С.А. – инженер эколог.

Зимне-весенний этап проходил в период с 11 апреля по 16 мая 2025 г. на 20 наземных и 3 водных точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург и его окрестностях, в районе оз. Стемме, в районе р. Грэндалсельва, в районе мыса Дрессельхус, на восточном склоне г. Стурхеда, северо-восточном склоне г. Грэнфьордфьеллет, в районе вертолетной площадки, в п. Пирамида и его окрестностях. На точках геоэкологического опробования произведены:

Отбор проб (образцов) для определения содержания загрязняющих веществ:

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

Летний этап выполнялся в период с 18 августа по 23 сентября 2025 г. на 20 наземных и 17 водных точках геоэкологического опробования в районе п. Баренцбург, п. Пирамида, район оз. Стемме, в заливах Грэнфьорд и Биллефьорд, на которых произведены:

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

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

Лабораторные работы

В полевой лаборатории были произведены следующие анализы:

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

Подготовка проб для дальнейшего определения содержания ХОС. В пробы добавляли суррогатный стандарт: по 20 мм³ 2,4,5,6-тетрахлорметаксилола (ТСМХ) с концентрацией 0,5 мкг/см³ и ПХБ #198 с концентрацией 0,5 мкг/см³, экстрагировали гексаном 30 минут на мешалке, экстракты высушивали прокалённым сульфатом натрия, концентрировали на ротационном испарителе и переносили в микровиалы.

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

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

Определение содержания компонентов минерального состава (нитраты, хлориды, сульфаты, натрий, калий, кальций, магний, аммоний) выполнялось с помощью аналитической

системы на базе высокоэффективного жидкостного хроматографа Shimadzu LC-20 с кондуктометрическим детектором. Пробы для проведения анализа предварительно фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

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

Определение содержания растворенной кремниевой кислоты, нитритов, фосфатов, общего фосфора проводилось с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 с непроточными кюветами.

Определение щелочности, проводимости, солености и минерализации велось на оборудовании Mettler Toledo.

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

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

Состав исследований в отобранных на архипелаге Шпицберген пробах

В пробах атмосферного аэрозоля выполнялись определения:

- содержание NH_3 , CO , NO_2 , SO_2 , H_2S ;
- тяжелых металлов (ТМ): Ni, Co, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, As и Hg;
- хлорорганических соединений (ХОС) включая полихлорбифенилы (ПХБ): альфа-ГХЦГ, бета-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, 2,4ДДЕ, 4,4ДДЕ, 2,4ДДД, 4,4ДДД, 2,4ДДТ, 4,4ДДТ, пентахлорбензола, гексахлорбензола, гептахлора, альдрина, октахлорстирола, гептахлорэпоксида, транс-хлордана, цис-хлордана, транс-нонахлора, цис-нонахлора, мирекса, фотомирекса; полихлорбифенилов (ПХБ): #28, #52, #101, #105, #118, #138, #153, #156, #180;
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ): нафталина, аценафтилена, флуорена, аценафтена, фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(б)флуорантена, бенз(к)флуорантена, бенз(а)пирена, дибенз(а,h)антрацена, индено(123cd)пирена, бенз(g,h,i)перилена.

В пробах морской воды выполняются определения:

- растворенного кислорода; биохимического потребления кислорода (БПК₅); химического потребления кислорода (ХПК); водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и щелочности.
- содержания тяжелых металлов (ТМ);
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);
- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);
- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);
- неполярных алифатических углеводородов C₁₅-C₃₁ (НАУ);
- индивидуальных фенолов: алкилфенолов (крезолы, ксиленолы), хлорфенолов (монохлор-, дихлор-, трихлор-, пентахлор-), нитрофенолов (мононитро-, динитро-);
- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);
- биогенных элементов (кремниевая кислота, нитритов, нитратов, аммония, общего азота, фосфатов, общего фосфора);
- концентрации взвеси.

В пробах морской взвеси выполняются определения:

- содержания тяжелых металлов (ТМ);
- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);

- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

В пробах воды водоемов суши выполняются определения:

- растворенного кислорода; биохимического потребления кислорода (БПК₅); химического потребления кислорода (ХПК); водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Еh) и щелочности.

- содержания тяжелых металлов (ТМ);

- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);

- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);

- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);

- неполярных алифатических углеводородов C₁₅-C₃₁ (НАУ);

- компонентов минерального состава: NO₂, NO₃, Cl, SO₄, Na, K, Ca, Mg и NH₄;

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

- индивидуальных фенолов;

- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);

- биогенных элементов;

- концентрации взвеси.

Снежный покров анализируется следующим образом:

- определение кислотности снежного покрова (величина рН);

- фильтрация пробы талой воды снежного покрова через мембранный фильтр 0,45 мкм для определения содержания твердых частиц;

- определение компонентов минерального состава;

- тяжелых металлов (ТМ);

- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);

- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);

- суммарного содержания нефтяных углеводородов (НУ);

- биогенных элементов;

- индивидуальных фенолов.

В пробах донных отложений водоемов суши определяются содержания:

- тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка;

- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);

- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);

- суммарного количества нефтяных углеводородов (НУ);

- неполярных алифатических углеводородов C₁₅-C₃₁ (НАУ);

- индивидуальных фенолов;

- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);

- гранулометрический состав.

В пробах почвенных вод выполняются определения содержания:

- тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка;

- хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ);

- полициклических ароматических углеводородов (ПАУ);

- суммарного количества нефтяных углеводородов (НУ);

- неполярных алифатических углеводородов (НАУ);

- летучих ароматических углеводородов (ЛАУ);

- синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ);

- индивидуальных фенолов;

- сероводорода;

- сульфидов;

- биохимического потребления кислорода (БПК₅);

- химического потребления кислорода (ХПК);

- водородного показателя (рН); окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и щелочности;
- биогенных элементов.

В пробах почв выполняются определения содержания:

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

В пробах наземной растительности выполняются определения:

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

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

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

Мероприятие 10 выполнено полностью.

Мероприятия Роснедр
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

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

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

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

Основными задачами, которые решались в ходе работ полевого сезона 2025 года, было доизучение региональных особенностей геологического строения и получение нового фактического материала в области стратиграфии, петрологии, тектоники, изотопной геохронологии и минерагении (закономерностей размещения полезных ископаемых) побережья Кросс-фьорда и прилегающей территории (западная часть Земли Хакона VII и южная часть Земли Альберта I, полуостров Брэггер и Земля Принца Карла) посредством работ на опорных участках, в том числе:

- уточнение возраста, состава, формационной принадлежности, степени регионального метаморфизма и тектонической позиции стратифицированных и нестратифицированных образований, границ и площадей развития картографируемых подразделений, отраженных в комплекте предварительных среднемасштабных карт-врезок геологического содержания (геологическая карта с пунктами проявления полезных ископаемых, карта четвертичных образований и геоморфологической карта);

- изучение характера, особенностей и возраста рельефообразующих процессов, сбор материалов для палеогеографических реконструкций четвертичного времени.

Ещё одной важной задачей было пополнение эталонной коллекции горных пород по разновозрастным структурно-формационным и магматическим комплексам, а также проявлениям полезных ископаемых Шпицбергена.

Полевая группа в составе 6 человек работала на Шпицбергене с 24 июня по 9 сентября 2025 года. Непосредственно на участке исследований (район Кросс-фьорда, Конгс-фьорда и Земля Принца Карла) группа работала с 9 июля по 30 августа. Объекты полевых работ: а) район Кросс-фьорда; б) северное побережье Конгс-фьорда; в) западная часть полуострова Митра; г) западная часть полуострова Брэггер; д) северная часть Земли Принца Карла (рис. 11.1 и 11.2). В полевых работах также принимали участие сотрудники ФГБУ «АНИИ», ПАБСИ КНЦ РАН (Апатиты) и ИА РАН (Москва). Доставка полевых групп к

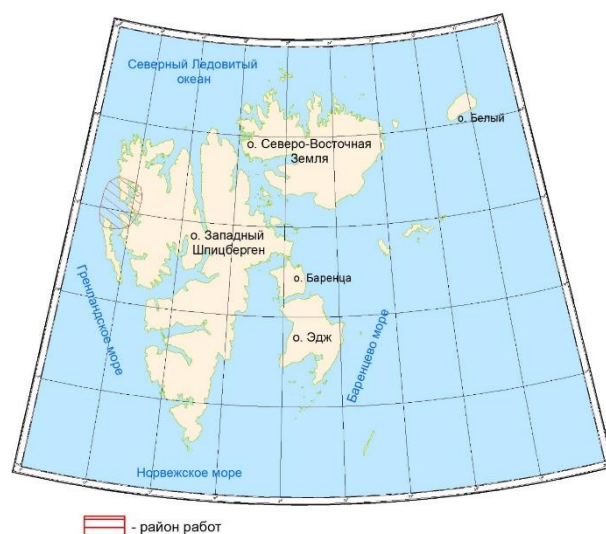


Рисунок 11.1 – Районы полевых работ 2025 года полевой партии ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

месту работ и обратно осуществлялась морским транспортом (катера «Баренцбург» и «Принцесса Лея» ФГУП «ГТ «Арктиуголь»).

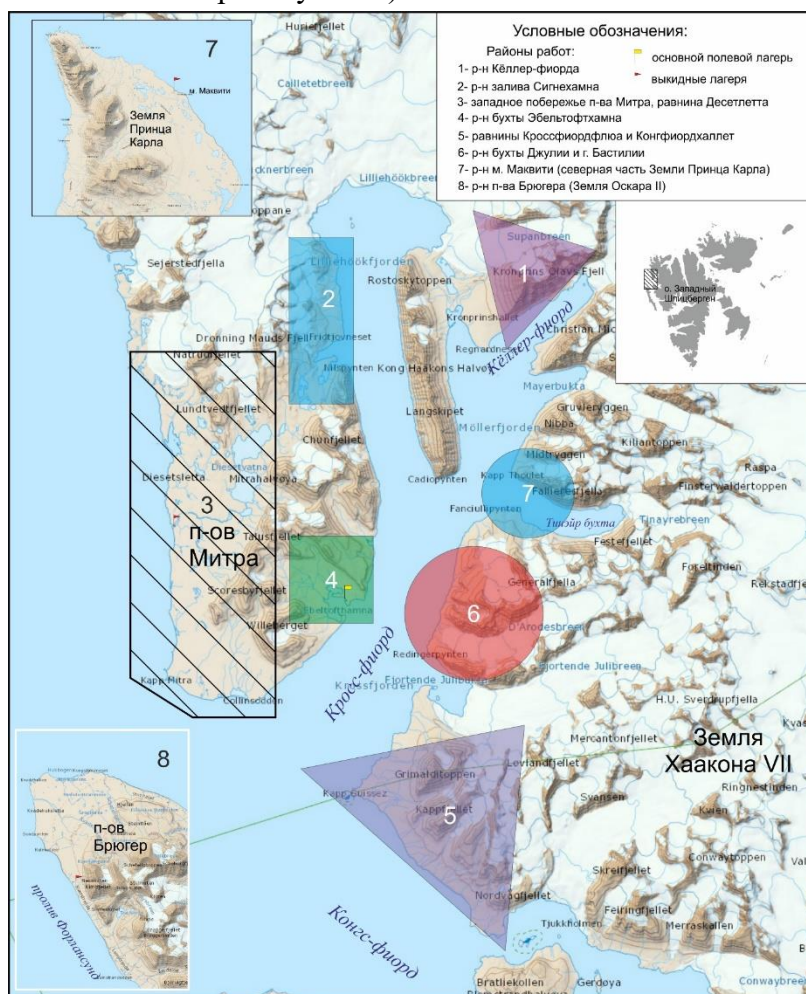


Рисунок 11.2 – Участки полевых работ: 1, 2, 4, 6, 7 – Кросс-фьорд; 3 – западная часть полуострова Митра; 5 – северный берег Конгс-фьорда; 7 – северная часть Земли Принца Карла; 8 – западная часть полуострова Брэггер

Методы полевых исследований: наземные и лодочные маршруты, в том числе: геологические ревизионно-увязочные маршруты, шлиховые маршруты, специализированные геолого-геоморфологические исследования, комплекс опробования (геохимическое, минералогическое, шлиховое, палеонтологическое, геохронологическое); пополнение предварительной эталонной коллекции образцов горных пород Шпицбергена.

Полевые лагеря были организованы: а) основной базовый лагерь в южной части Кросс-фьорда (залив Эбельтофтхамна); б) выкидные лагеря для проведения многодневных маршрутов: северная часть Земли Принца Карла, западная часть полуострова Брэггер, западная часть полуострова Митра (рис. 11.2).

Основные полученные результаты:

1. Составлены предварительные карты геологического содержания масштаба 1:100 000 для района Кросс-фьорда:

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

2. Собран материал для уточнения особенностей геологического строения архипелага Шпицберген по стратиграфии и вещественному составу пород ранне-среднерифейского и четвертичного комплексов; петрологии разновозрастных магматических (гранитных) комплексов; структурным и кинематическим характеристикам зон глубинных разломов, в том числе:

- реконструкции условий формирования, времени и степени метаморфизма, тектонической позиции метаморфических толщ (свит) Коллербреен и Сигнехамна;
- получения петрологических характеристик и определения абсолютного возраста гранитных массивов в восточной части Кросс-фьорда;
- описание состава разрезов, характеристики пород и характера структурных соотношений ранне-среднерифейских толщ свит Генералфьелла, Сигнехамна и Коллерфьорд;
- генетических типов четвертичных осадков и их возраста.

3. Детально описаны и опробованы крупные обнажения четвертичных осадков на севере Земли Принца Карла, северном побережье Конгс-фьорда и западе полуострова Брэггер, представляющие опорные разрезы неоплейстоцен-голоценовых осадков северо-западной части архипелага; впервые выявлены и изучены реликты террас с осадками неоплейстоценового возраста в западной части полуострова Митра.

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

5. Изучены особенности минерализации района; собран дополнительный материал по шлихо-минералогической характеристике отдельных участков площади.

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

Кроме полевых исследований сотрудниками ВНИИОкеангеология проведена одна тематическая лекция по геологии Шпицбергена для жителей п. Баренцбург, а также проведены работы по формированию музейной геологической экспозиции в местном музее.

Подготовлены для публикации две статьи:

Новые данные о проявлении байкальской (тиманской) тектоно-магматической активизации на острове Западный Шпицберген (журнал «Записки Горного института»);

Новые проявления вендских вулканитов на архипелаге Шпицберген: петрохимия, абсолютный возраст и геодинамика (журнал «Труды Карельского научного центра РАН», г. Петрозаводск).

Мероприятие 11 выполнено полностью.

Мероприятия организаций Минобрнауки России

Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)

Мероприятие 12. Современная изменчивость природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген

Основная цель проекта – оценка современных изменений криосферы, почв и динамики углерода в системе «почва-атмосфера» при разной антропогенной нагрузке для Западной Арктики в условиях современного климата в рамках реализации «Стратегии российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2030 года».

Основные решаемые задачи на 2025 г.:

– Оценка влияния изменчивости параметров снежного покрова на термический режим сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты на основе измерений на криосферном полигоне и математического моделирования.

– На основе измерений на леднике и моделирования расчет баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд для оценки современной тенденции изменения горного оледенения архипелага Шпицберген.

– На основе анализа отобранных образцов почв, включая радиоуглеродный анализ, в районе отступления ледника и в антропогенно измененных получение данных об особенностях формирования органического вещества почв.

– На основе проведенных измерений оценка величины и внутрисуточной изменчивости основных потоков биогенных парниковых газов и баланса углерода для арктической тундры и антропогенно-измененных участков.

– Мониторинг гнездовых группировок птиц в антропогенных местообитаниях и синантропных колониях и сравнение успешности и сроков их гнездования с природными местообитаниями.

– Выделение однородных природно-антропогенных ландшафтов в п. Баренцбург и окрестностях и их характеристика для дальнейшей оценки величины антропогенной нагрузки и возможного тренда их трансформации, в том числе и самовосстановления.

Экспедиционные исследования на архипелаге сотрудниками Института географии проводились с 15 июля по 1 сентября 2025 г. В связи с существенным усложнением, включая получение виз, и удорожание логистики (размер финансирования Институту не индексировался с 2017 г.) в экспедиционных исследованиях участвовало 6 сотрудников, в том числе 1 молодой.

Оценка влияния изменчивости параметров снежного покрова на термический режим сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты на основе измерений на криосферном полигоне и математического моделирования

Для получения температурного профиля в грунте и оценки скорости его промерзания и протаивания на криосферном профиле в районе обсерватории «Баренцбург» – г. Улаф на разной высоте над уровнем моря (НУМ) ежегодно устанавливаются термохроны, в точках: т. 1 расположена в 100 м на юго-запад от метеоплощадки (на высоте 70 м НУМ); т. 2 – около края первой террасы на высоте 100 м НУМ на юг от т. 1 на расстоянии 300 м; т. 3 – на склоне г. Улаф (400 м НУМ). Места расположения термохрон представлены на рис. 12.1. Точки расположены вдоль многолетнего маршрута проведения измерений в районе п. Баренцбург. Температуру грунта измеряли и записывали температурными логгерами iButtons DS1922L/DS1922T. Термохроны были установлены на глубинах 0, 10, 30, 50 и 70 см. Интервал измерения температуры грунта составлял 2 часа. Эти данные являются необходимой основой для отработки, проверки работоспособности и тарировки математической модели взаимодействия «атмосфера-снежный покров-грунт».

Для расчётов промерзания-протаивания грунта применялась математическая модель, представленная в работах (Сосновский, 2006; Осокин, Сосновский, 2015). Она позволяет учесть реальную изменчивость метеорологических параметров, динамику снегонакопления; изменчивость теплофизических характеристик снега и грунта. Распределение температуры в мерзлом слое горной породы рассчитывалась с учетом зависимости ее теплоемкости и теплопроводности от температуры и фазового состава (влажность/льדיстость). Движение границ мерзлого и талого слоя грунта определялось из условия Стефана на фазовой границе. Деформация грунта и миграция влаги не учитывалась. На верхней границе грунта (снежного покрова) задавалось условие теплообмена с атмосферой, а на нижней вводился геотермический поток тепла. Распределение температуры в снежном покрове, в мерзлой и талой зонах грунта описывается уравнением теплопроводности Фурье с переменными во времени теплофизическими параметрами снега и зависимостью соответствующих параметров грунта от его температуры и влажности. На границе контакта снег – грунт принимается граничное условие, задающее равенство температур и потоков тепла.

При расчетах применялся коэффициент эффективной теплопроводности снега в зависимости от его плотности по формуле, полученной путем обработки более 20 известных из литературы эмпирических зависимостей (Осокин, Сосновский, 2015). Для проверки работоспособности математической модели при принятых значениях входящих параметров были проведены тарировочные расчеты по данным измерений глубины промерзания грунта в районе метеостанции Баренцбург (рис.12.1, точка 1).

Результаты расчетов глубины и динамики промерзания грунта показали удовлетворительное совпадение с данными измерений (рис. 12.2). Время промерзания грунта до глубины 70 см в т. 1 по данным измерений и расчётов составило 46 суток.

Полученные результаты измерений на криосферном профиле позволили уточнить математическую модель для различных значений плотности снега и его толщины и получить наиболее распространенные пары значений этих величин, что позволило сократить объем вычислений. По результатам численных экспериментов рассчитано отношение температуры поверхности грунта и температуры воздуха. Установлено, что при изменении температуры воздуха в диапазоне от -20 до -40 °С это отношение практически не зависит от температуры воздуха, а только от параметров снежного покрова.

Измерения на леднике Восточный Грэнфьорд и моделирование для расчета баланса массы этого ледника

17 июля 2025 начался 14 сезон гляциологических наблюдений на леднике Восточный Грэнфьорд. Эти измерения были начаты в 2012 году, с тех пор информация о гляциологических характеристиках Восточного Грэнфьорда ежегодно отправляются во Всемирную Службу Мониторинга Ледников WGMS. 18-20 июля были выполнены подготовительные работы, проработана логистика. 22-23 июля был выполнен обход абляционных рек с измерением величины слоя абляции, а также организована новая речная



Рисунок 12.1 – Места расположения термохрон в точках 1, 2 и 3 (фото Н. Осокина)

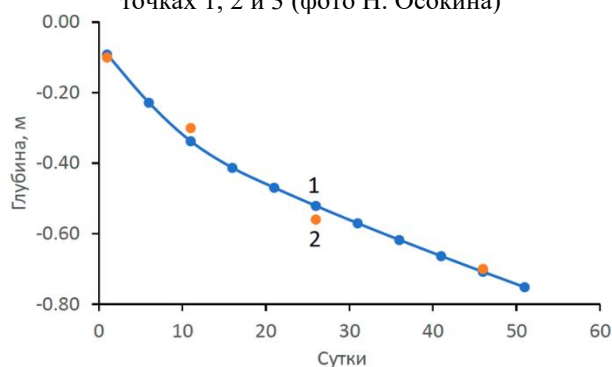


Рисунок 12.2 – Глубина промерзания грунта по данным расчетов и измерений (1 - данные расчетов, 2 - данные измерений)

сеть, включающая 11 рек. 30 июля на леднике был выполнен промежуточный обход рек. Последние измерения в сезоне проводились 7 августа. Они позволили оценить колоссальный вклад феновой циркуляции в таяние, которые в этот период было исключительно интенсивным.

В 2024 г. было забурено 12 деревянных рек на глубину вплоть до 3. Однако в начале полевых работ текущего года было обнаружено, что все рейки за год вытаяли. Соответственно, годовая потеря массы ледника Восточный Грэнфьорд составила более 3,3 м в.э. (в 2024/23 балансовом году значение баланса массы составило -3,3 м в.э.). Таким образом, кумулятивный баланс массы ледника за 2014-2025 гг. составил более -22 м в.э., и такая скорость потери массы наиболее высокая среди всех ледников, на которых проводится мониторинг (по данным WGMS). Площадь ледника в 2025 году составила 4,6 км². По сравнению с предыдущим 2024 годом площадь сократилась на 0,7 км². В последние годы отмечено полное отсутствие зоны аккумуляции. Отступление ледника за последний год составило 140 м (учитывая только чистый лед, не находящийся под мореной). С 2019 по 2025 гг. отступление ледника увеличилось 1,5 раза по сравнению с периодом с 2012 по 2018 гг. С 2012 по 2025 гг. ледник сократился с 7,1 км² до 4,6 км².

2025/24 балансовый год характеризовался на Шпицбергене аномально теплой погодой. Среднемесячное значение температуры за август и сентябрь 2024 г. составило +10 и +3°C соответственно, что на 3...4 °C выше нормы. При этом в октябре, ноябре 2024 г., а также в феврале 2025 г. отмечались продолжительные оттепели, и осадки на поверхности ледника нередко выпадали в жидком виде, что подтверждено как натурными данными, так и результатами моделирования. Рекогносцировочное бурение выявило наличие жидкой воды на глубине 3-4 метра даже в верхних морфологических зонах. Ввиду этих обстоятельств было решено обновить речную сеть и забурить 11 новых рек на глубину вплоть до 4 м., используя полуметровые секции полых пластиковых труб, гибко сочлененные между собой (рис. 12.3). Это предотвратит всплытие рек на поверхность ледника во время эпизодов аномально сильного таяния и обводнения всей ледниковой толщи.



Рисунок 12.3 – Карта речной сети на леднике Восточный Грэнфьорд, обновленной в 2025 г. на фоне снимка Landsat 28 августа 2025 г. Розовой линией обозначена площадь ледника за 2025 г., голубой – 2024 г. Данные наблюдений на леднике Восточный Грэнфьорд в 2024 г. подготовлены для подачи во Всемирную службу мониторинга ледников (WGMS)

Особенности формирования органического вещества почв и внутрисуточная изменчивость основных потоков биогенных парниковых газов и баланса углерода для арктической тундры и антропогенно-измененных участков

В 2025 г. проводились отбор образцов естественных и антропогенно-измененных почв, формирующихся в условиях урбанизированных территорий на архипелаге Шпицберген (п. Баренцбург, п. Пирамида) и оценка нетто-баланса и основных потоков биогенных парниковых газов и С-баланса в условиях арктической тундры и антропогенно-измененных участках (окрестности п. Баренцбург), поверхности ледника Альдегонда и в его пригляциальной зоне

на основе прямых измерений в ключевых точках многолетнего мониторинга на максимуме вегетации.

Исследовались естественные и антропогенно-измененные почвы, формирующиеся в условиях урбанизированных территорий. Измерения потоков биогенных парниковых газов проводились на 13 многолетних мониторинговых ключевых участках в поселке Баренцбург и окрестностях на основе прямых измерений на максимуме вегетации, из них 2 в супрагляциальной и перигляциальной зонах ледника Альдегонда и 1 участок в супрагляциальной зоне ледника Эсмарка, 6 – антропогенных на территории поселка Баренцбург и 4 – в естественной арктической тундре, а также 4 новых ключевых участка в селитебной зоне поселка Пирамида и 1 новый ключевой участок в поселок Колсбей (всего 18 ключевых участков). Заложены почвенные разрезы на новых ключевых участках мониторинга потоков биогенных парниковых газов в антропогенно-измененных экосистемах – 2 разреза в селитебной зоне поселка Пирамида, 1 разрез в селитебной зоне поселка Колсбей. Отобраны 32 почвенных образца для комплексных микробиологических и физико-химических исследований.

Измерения потоков проводили модифицированным полевым инфракрасным газоанализатором закрытого типа на базе AZ-77535 (AZ Instruments, Тайвань) методом закрытых камер, влажность почвы на глубине 0-7 см определялась полевым влагомером SM-150 (Delta-T, Великобритания), температура приземного воздуха, почвы на глубинах 1 и 10 см определялась полевым всесредовым термометром Checktemp-1 (Hanna Instruments, США). Для оценки нетто-баланса CO₂ (NEE) использовались прозрачные камеры и непрозрачные – для измерения дыхания R экосистем. На каждом участке устанавливали по 8 баз-оснований с водным затвором. Измерения проводили в дневное время. Одновременно записывались показатели окружающей среды: температура воздуха, почвы, влажность почвы. GPS-регистратор фиксировал координаты баз-оснований. Проективное покрытие определялось методом фотофиксации. Почвенные разрезы закладывались до материнской породы или кровли многолетнемерзлых пород, почвенные образцы отбирались стерильно из генетических горизонтов для последующих лабораторных почвенных физико-химических и микробиологических исследований.

Средние показатели эмиссии CO₂ (R) по выделенным группам антропогенно-измененных и естественных экосистем в течение срока наблюдений в июле-августе 2025 гг. распределились следующим образом (рис. 12.4): самые высокие величины R отмечены на антропогенно-измененных ключевых участках от 81,4 до 398,4 мгС м⁻² ч⁻¹, среднее значение 198,1 мгС м⁻² ч⁻¹. Дыхательная активность экосистем естественной тундры (без перигляциальных участков) составила соответственно 169,2 (от 28,3 до 332,8) мгС м⁻² ч⁻¹.

На морене с криоконитовым суглинистым материалом с малым количеством щебня и гравия близ ледника Альдегонда, освободившейся 24 года назад, эмиссия CO₂ на заселенных мохово-злаково-разнотравной растительностью участках соответствовала естественным тундровым экосистемам – 118,4±48 мгС м⁻² ч⁻¹, а на свободных от видимой биоты участки щебнистой морены без криоконитового материала минимальные значения 53,0±32,9 мгС м⁻² ч⁻¹. Эмиссия диоксида углерода на скоплении криоконитового мелкодисперсного суглинистого материала на поверхности ледников Альдегонда и Эсмарка в 2025 г. как и в 2024 г. была положительной 7,8±12,3 мгС м⁻² ч⁻¹.

Средняя эмиссия CO₂ в конце июля - начале августа 2025 г. в антропогенно-измененных (152,3±19,3 мгС м⁻² ч⁻¹) и естественных (151,1±25,2 мгС м⁻² ч⁻¹) экосистемах оказалась близкой, ниже чем в 2024 г. (максимальные значения за ряд наблюдений с 2014 г.), что связано с менее благоприятными гидротермическими условиями. При этом эти показатели оказались выше средних за исследованный период 2014-2025 гг.

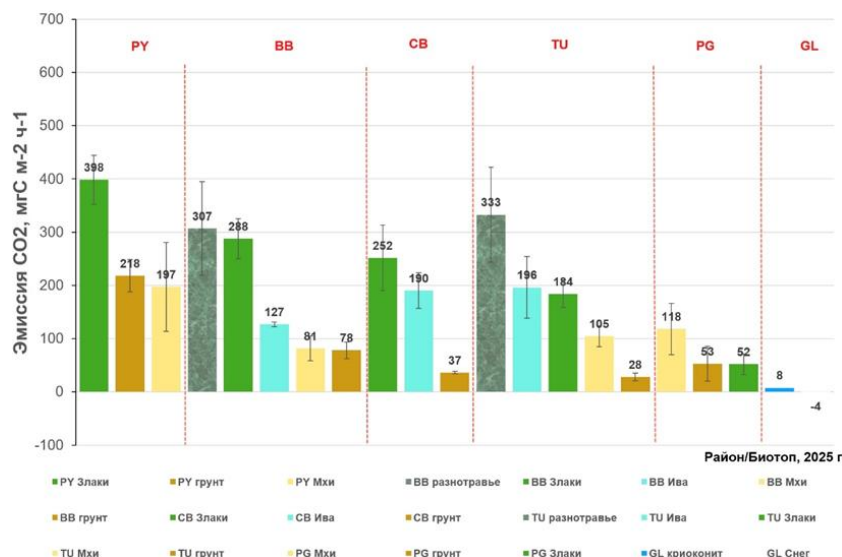


Рисунок 12.4 – Валовое дыхание (R) на исследованных ключевых участках антропогенно-измененных (PY – п. Пирамида, BB – п. Баренцбург, CB – п. Колсбей) и естественных экосистем (TU – фоновая тундра, PG – перигляциальная зона ледников, GL – супрагляциальная зона ледников)

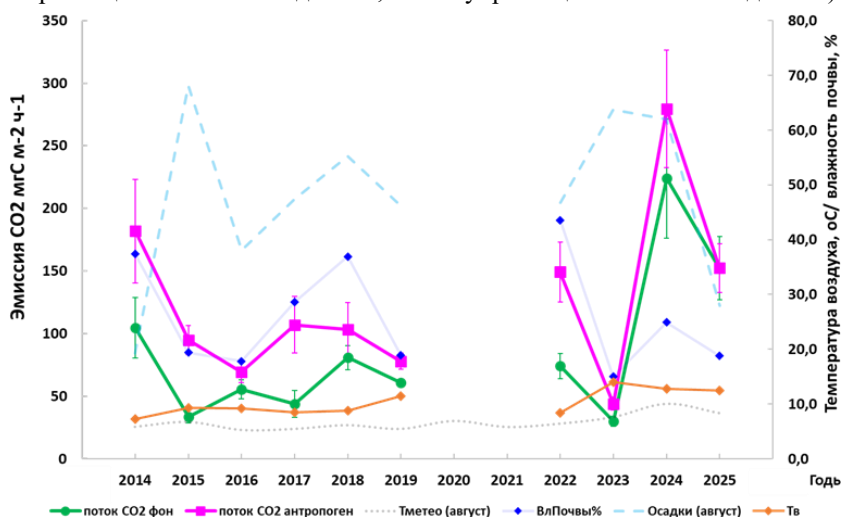


Рисунок 12.5 – Средняя эмиссия CO₂ в естественных и антропогенно-измененных экосистемах 2014-2025 гг.

Чистый экосистемный обмен измерялся только на заселенных растениями (фанерогамами и криптогамами) участках. На антропогенных ключевых участках средние значения нетто-баланса С составили +179 мгС м⁻² ч⁻¹ (от +113,7 до +371,1 мгС м⁻² ч⁻¹). На всех исследованных ключевых участках экосистемы показали положительный нетто-баланс С за период полевых измерений. Положительные значения NEE свидетельствуют, что антропогенно-измененные экосистемы Баренцбурга, Пирамиды и Колсбей являются С-источником для атмосферы.

Для антропогенно-измененных селитебных зон поселков Пирамида и Колсбей характерны серогумусовые грубогумусовые урбитсратифицированные почвы, сходные с староосвоенными участками селитебной зоны поселка Баренцбург, исследованного в 2024 г. На территории крупного объекта зеленой инфраструктуры в п. Пирамида исследованы самые северные искусственные почвенные конструкции с привезенным торфяным материалом.

Результаты мониторинга гнездовых группировок птиц в антропогенных местообитаниях и синантропных колониях и сравнение успешности и сроков их гнездования с природными местообитаниями

Современная изменчивость природной и антропогенной среды, связанная с таянием ледников и человеческой деятельностью, создают ряд дополнительных местообитаний для

птиц, которые на наших глазах с разной степени активности ими заселяются. Изучение птиц в природных и антропогенных местообитаниях Западного Шпицбергена начато в 2022 г.

В 2025 г работы были проведены с 9 по 26 августа преимущественно на побережьях залива Грёнфьорд (п. Баренцбург, склоны гор Копань, устьевые участки рек восточного берега, дельта р. Грэн, прибрежная полоса литорали от мысов Финнесет до мыса Фестинген, кутовая часть залива Грёнфьорд, приледниковые морены близ ледника Веринг, п. Колсбей, дом Русанова); во время однодневных выездов в заливы Эбельтофхамма, Кроссфьорд и Решершфьорд. Также собраны опросные материалы по фенологии, численности и видовому составу птиц весной в окрестностях п. Баренцбург и обследованию островов залива Нью-Олесунн с фотодокументацией. В п. Лонгийр проведены кратковременные маршруты 9 и 26 августа. 27 Августа в г. Тромсе удалось посетить колонию моевок на специально созданных искусственных сооружениях для их гнездования (Проект NINA, Benjaminsen et al., 2022).

Данные по птицам получены с помощью бинокля Zeiss x10 и подзорной трубы Swarovski x50 и обработки фотографий, полученных фотоаппаратом SONY DSC-HX80 и смартфоном REALME RMX3286 через подзорную трубу. В результате был оценен характер пребывания видов и их пространственное размещение в естественной природной среде, в том числе в «новых» местообитаниях – приледниковых моренах, проведены учеты моевок в синантропной колонии на ТЭЦ п. Баренцбург. в том числе индивидуально меченых моевок. Результаты находятся в стадии обработки.

Маршруты были проведены в составе и при помощи следующих участников: Костовска С.К. (ИГ РАН, Москва), Бетчер Т.И. (Музей п. Баренцбург), Федоров А.С., Колесников А.Б., Чалая Н.В. (Институт археологии РАН, Москва), Шарков Г.А. (ААНИИ, Санкт-Петербург). Использованы опросные сведения: Бетчер Т.И (музей, п. Баренцбург), Попова З.М. (обсерватория «Баренцбург», п. Баренцбург), Колесников А.Б. (ИА РАН, Москва) и Гусев Е.А. (ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург).

Всего в Грён-фьорде в составе *фауны птиц в природных ландшафтах* зарегистрирован 31 вид морских, водоплавающих и околоводных птиц, среди которых ведущая роль принадлежит отрядам ржанкообразные *Charadriiformes* и гусеобразным *Anseriformes*. Нами в августе 2025 г. встречено 22 вида из 28 отмеченных нами ранее, из них предполагается или доказано гнездование 17 видов. В 2025 г впервые для Баренцбурга обнаружен новый вид на весенней миграции – черный дрозд, гнездящийся в Исландии и на севере Норвегии, по информации Т.И. Бетчер, ей же получены сведения о прилете стай люриков в колонию на склоне горы Копань в конце мая (около 30 птиц), которых мы уже не встретили после 9 августа. Зарегистрирован залет вьюрка (данные З.М. Поповой) (рис. 12.5).

В августе 2025 г. наиболее многочисленны в окрестностях Баренцбурга были моевка, обыкновенная гага, глупыш, короткоклювый гуменник, морской песочник, полярная крачка, пуночка. Большинство птиц находились в постгнездовом статусе, готовились к миграциям, собирались в предотлетные стаи или кормящиеся стайки, или образовывали скопления на акватории залива. Полярные крачки носили корм птенцам в кутовой части залива и на вертолетной площадке. Выводок краснозобой гагары найден в Лонгийре близ дороги на периферии поселка.

Птицы приледниковых территорий. Обследованы молодые морены ледника Веринг и берега озера Стемме (обнаружено 10 видов птиц: краснозобая гагара, обыкновенные гаги, белошекие казарки, гуменники, глупыши, морские песочники, короткохвостый поморник, моевки, полярные крачки, пуночки и др.), собраны опросные сведения от работников водонапорной станции о встрече 5 лебедей в июле 2019 г. и фенологии (Д. Дексгеймер). Получены опросные данные от геологов о появлении новых островов в местах таяния выводящего ледника в заливе Лиллихекфьорд (79° 19,925' с.ш. 11° 33,930' в.д.) и Коллерфьорд и гнездовании на них большого поморника (9 августа 2025, инф. Е.А. Гусева) и полярных крачек. Начато обсуждение о дополнении материалов анализом данных космических снимков, дешифрировании и картировании приледниковых молодых морен.



Рисунок 12.6 – (а) Полярная крачка у л. Альдегонда; (б) Птенец полярной крачки на вертолетной площадке п. Баренцбург; (в) Краснозобая гагара с птенцом в п. Лонгийр; (г) Вьюрок в здании ремонтной мастерской п. Баренцбург. а,б,в – фото Е.Г. Лаппо, г – фото З.М. Попова

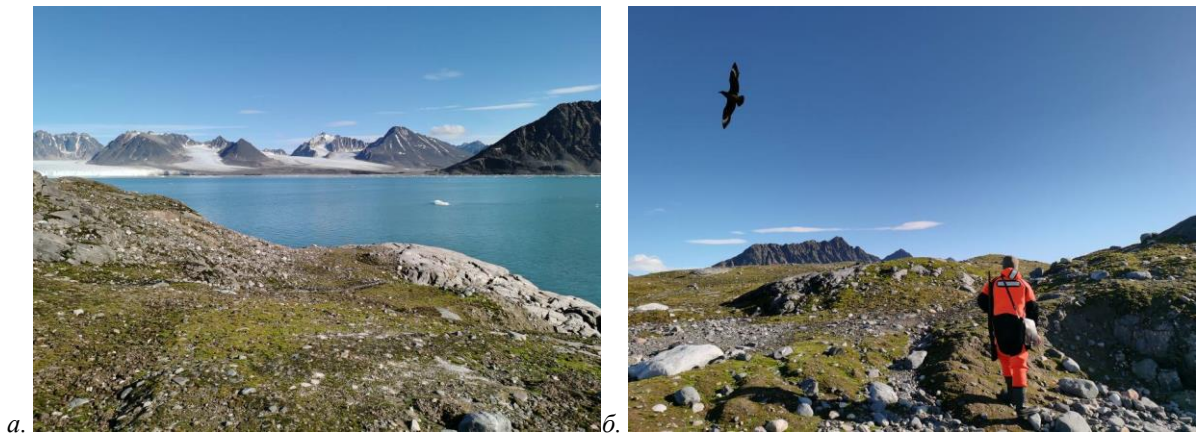


Рисунок 12.7 – (а) «Новый» остров в местах таяния выводного ледника в заливе Лиллихекфьорд (район залива Кроссфьорд), (б) Беспокоящийся у гнезда большой поморник на л. Лиллихекфьорд. Все фото Е.А. Гусев



Рисунок 12.8 – (а) Синантропная колония моевок на ТЭЦ в п. Баренцбург; (б) Искусственные постройки для привлечения на гнездовании моевок в г. Тромсе. Все фото – Е.Г.Лаппо

Синантропные колонии. Массово гнездящаяся в Баренцевом море моевка еще 70 лет назад синантропных колоний на зданиях на российском побережье бассейна не имела. В настоящее время синантропизация моевки растет экспоненциально, что наносит вред жилым домам и памятникам архитектуры: порче фасадов зданий, излишней нитрификации субстрата, постоянному превышению шумового порога. Проведен мониторинг численности моевок в синантропной колонии на ТЭЦ в пос. Баренцбург, прочитано 2 цветных кода. Первые летные молодые птицы отмечены 24 августа. К сожалению, в 2025 г. не удалось посетить п. Пирамида и заброшенные строения в Груманте для проведения мониторинга. Однако в г. Тромсе удалось посетить колонию моевок на искусственных сооружениях, созданную в 2019, чтобы принять ряд мер, препятствующих моевкам гнездиться на жилых зданиях (Проект NINA, Benjaminsen et al. 2022). В искусственной колонии мы обнаружили жилые гнезда и молодых птиц, и нашли небольшие колонии моевок на жилых и промышленных зданиях в близости от порта.

По данным предыдущих 3 лет наблюдений сдана в печать статья в журнал «Проблемы Арктики и Антарктики»: Птицы новых приледниковых территорий залива Грэнфьорд (Шпицберген) (Е. Г. Лапко, Р. А. Чернов).

Выделение однородных природно-антропогенных ландшафтов в п. Баренцбург и окрестностях и их характеристика для дальнейшей оценки величины антропогенной нагрузки и возможного тренда их трансформации, в том числе и самовосстановления

Ландшафты (экосистемы, геосистемы) архипелага Шпицберген представляют собой комплексные системы, состоящие из различных взаимодействующих между собой компонентов. И их изучение необходимо проводить в ходе комплексных исследований, играющих ключевую роль в понимании как динамики природных и природно-антропогенных геосистем, так и их реакции на внешние воздействия.

Изучение отдельных компонентов, их взаимосвязей и взаимозависимостей помогает предсказывать, как изменения в одном компоненте могут повлиять на другие и на весь ландшафт в целом. Взаимодействие между отдельными компонентами определяет характер функционирования ландшафтов (геосистем) и влияет на их устойчивость. Изучение как отдельных компонентов, как и всего комплекса в целом, является ключевым для эффективного управления природными ресурсами и охраны окружающей среды.

Изменчивость и устойчивость являются одними из основных свойств ландшафтов, понимание которых невозможны без изучения отдельных компонентов. Важно при этом понимать, что изменчивость ландшафтов обусловлена как пространственными, так и временными изменениями в структуре и функциях природных и антропогенизированных систем. Устойчивость ландшафтов – их способность сохранять структуру и функции в условиях внешних изменений, направленная на сохранение адаптации систем к изменениям, происходящим в окружающей среде. При этом ландшафт продолжает сохранять свои ключевые характеристики, легче восстанавливается после стрессов, предоставляет экосистемные услуги (обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие, культурные). Учитывая то, что необходимым условием при планировании хозяйственной деятельности, разработке стратегий охраны природы, управлении территориями является понимание изменений, происходящих в ландшафтах, их реакции на внешние воздействия (как природного, так и антропогенного характера), актуальной становится именно комплексное изучение пространственных изменений.

Многокомпонентный анализ изменчивости ландшафтов – методологический подход, учитывающий не только широкий спектр факторов (природных, антропогенных, социально-экологических), но и их взаимодействие (например, вклад климатических факторов в изменение влияния антропогенных факторов), позволяет более глубоко понять процессы, приводящие к изменениям среды. Обеспечивается это тем, что при многокомпонентном анализе используются разнообразные подходы смежных научных направлений, такие как: сравнительный (сопоставление и выявление сходства и различий), исторический (анализ

изменений во времени), картографический (анализ карт, аэро- и космоснимков), системный (изучение отдельных составляющих системы как ее структурных частей).

Важным аспектом осуществления комплексных исследований является выполнение мониторинга состояния отдельных компонентов ландшафтов (геосистем) на наиболее характерных площадках (ключевых участках), в ходе которого выявляются тренды и закономерности неочевидные при краткосрочных исследованиях. Так, для арктической зоны, в том числе архипелага Шпицберген, объектом мониторинга, являются механические и тепловые взаимодействия сооружений с гидрогеологической средой на многолетнемерзлых грунтах, деградация ледников в результате климатических изменений, и как следствие изменение гидрологического режима водных объектов, формирование приледниковых моренных комплексов с последующими первичными сукцессиями почвенного и растительного покрова, изменение местообитаний и численность животных и др.

Проведение мониторинговых наблюдений и построение прогнозных моделей на их основе позволяют получать объективную картину пространственных и временных изменений, оценивать локализацию ландшафтных выделов, формирующихся в криогенных условиях, сохранять историко-культурные объекты, разрабатывать меры по минимизации рисков промышленного освоения.

Таким образом, основной целью полевых исследований, проведенных на архипелаге Шпицберген в августе 2025г. было выявление ключевых участков, представляющих наибольший интерес для последующего проведения комплексного мониторинга геосистем. Для решения поставленной цели, в ходе экспедиции были проведены маршруты различной протяженности (как пешие, так и с привлечением автомобильного и водного транспорта), позволившие получить общее представление о состоянии ландшафтов (геосистем). На рисунках 12.9 и 12.10 представлены маршруты, в ходе которых выполнялись фото и видеофиксация береговой зоны, ледникового покрова, растительности и животного мира, что позволило наметить возможные места (ключевые участки) для последующей закладки мониторинговых площадок. Собран картографический и статистический материал по отдельным намеченным участкам.

Немаловажным стал опыт организации совместных выездов с организациями-участниками исследований на архипелаге, входящих в Консорциум РНЦШ, а также понимание логистических сложностей, недоучёт которых может ограничить возможности посещения намечаемых объектов мониторинга.



Рисунок 12.9 – Общий вид архипелага Шпицберген с треками выполненных маршрутов



Рисунок 12.10 – Трек одного из пеших маршрутов

Результаты исследований на архипелаге Шпицберген опубликованы в реферируемых журналах:

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Методика оценки температуры поверхности грунта под снежным покровом по данным измерений на Шпицбергене // Лёд и Снег, 2025. 65(1):93-102. DOI:10.31857/S2076673425010079

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние поверхностных покровов на тепловые потоки в грунте на Западном Шпицбергене // Лёд и Снег, 2025. 65(2):282-294. DOI:10.31857/S2076673425020073

Лаппо Е.Г., Чернов Р.А. Птицы новых приледниковых территорий залива Грэн-фьорд (Шпицберген) // Проблемы Арктики и Антарктики, 2025. 71(3):359–367. DOI:10.30758/0555-2648-2025-71-3-359-367

И представлены на конференциях:

Научно-практическая конференция «Научное и культурно-историческое наследие полярного исследователя В.А. Русанова в Арктике и на архипелаге Шпицберген» 21-22 августа 2025 г., п. Баренцбург – 4 доклада.

XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа» 23-24 октября г. Мурманск – 6 докладов.

Литература:

Осокин, Н.И., Сосновский, А.В. Влияние динамики температуры воздуха высоты снежного покрова на промерзание грунта. Криосфера Земли, 2015. 19 (1), 99-105.

Сосновский, А.В. Математическое моделирование влияния толщины снежного покрова на деградацию мерзлоты при потеплении климата. Криосфера Земли, 2006. 10(3), 83-88.

Benjaminsen S, Reiertsen TK and Jacobsen K-O (2022) Urban kittiwakes in Tromsø. Effects of facilitation or mitigation. NINA Report 2235. Norwegian Institute for Nature Research.

Мероприятие 12 выполнено полностью.

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН)

Мероприятие 13 Комплексные исследования среды и биоты морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген

В рамках комплексных экосистемных исследований в 2025 г. ученые ММБИ проводили исследования по следующим направлениям:

1. Исследования термохалинных характеристик водных масс и выявление возможных изменений в прибрежной зоне и прилегающих акваториях Баренцева, Грэнландского морей и Северного Ледовитого океана (СЛО) в районе Шпицбергена;

2. Анализ структуры, межгодовой изменчивости и обилия сообществ планктона; бентоса и ихтиофауны в прибрежных и фьордовых экосистемах;

3. Изучение особенностей аспектов биологии и экологии макрофитов и донных беспозвоночных во фьордах и в береговой зоне архипелага;

4. Оценка видового состава, численности и особенностей распределения морских млекопитающих и птиц;

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

6. Изучение хроностратиграфических характеристик разнородных участков на шельфе Шпицбергена;

7. Определение уровней химического и радиоактивного загрязнения в среде и биоте архипелага;

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

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

- сбор научного материала в трех экспедициях в районе архипелага Шпицберген;
- аналитическая обработка полевого материала в лабораториях РНЦШ (Баренцбург) и ММБИ (Баренцбург, Мурманск);
- публикация научных статей в российских и зарубежных изданиях, а также популяризация проводимых на архипелаге исследований.

Сбор научного материала в экспедициях в районе архипелага Шпицбергене

Полевые работы в районе архипелага Шпицберген в 2025 г. выполнялись в районе Баренцбурга в рамках трех экспедиционных выездов:

В период с 6 по 24 мая 2025 г. пятью сотрудниками (Н.И. Мещеряков, к.г.н. ст.н.с. лаб. океанографии и радиоэкологии, И.С. Усягина, к.г.н. вед.н.с. лаб. океанографии и радиоэкологии, И.В. Берченко, к.б.н. ст.н.с. лаб. планктона, О.Л. Зиминая, н.с. лаб. зообентоса, Н.С. Иванова, аспирант, ст.-иссл. лаб. океанографии и радиоэкологии) выполнен сбор научного материала в заливе Грэн-фьорд на базе стационара ММБИ РАН в п. Баренцбург:

– проведены экспериментальные исследования влияния скорости изменения температуры воды на показатель суточной продукции яиц самками копепод вида *Calanus finmarchicus*, выловленных в центральной и северной частях акватории;

– выполнена оценка биоразнообразия и популяционных характеристик сообществ микрзообентоса в прибрежной экосистеме залива;

– изучен гранулометрический состав поверхностного слоя донных отложений литоральной зоны;

– для оценки качества среды в разных частях залива отобраны пробы воды для определения содержания взвешенного вещества и загрязнения тяжёлыми металлами;

– для геохронологических и палеоклиматических исследований отобраны образцы осадочной толщи, комплексный анализ которых (определение природных и антропогенных радионуклидов, датирование по избыточному свинцу-210, микропалеонтология, элементный анализ) позволит определить влияние климатических флуктуаций на седиментацию и реконструировать историю загрязнения залива Грэн-фьорд тяжёлыми металлами и радионуклидами в период активного освоения арх. Шпицберген (рис. 13.1).

В период с 1 по 18 июля 2025 г. двумя сотрудниками (Салахов Д.О. м.н.с. лаб. альгологии; Лебедева Н.В. д.б.н., проф., гл. н. с. лаб. орнитологии и паразитологии) велось изучение:

– фауны и экологии птиц на антропогенно измененной территории на примере п. Баренцбург и в его окрестностях;

– беспозвоночных в почвах трансформированных местообитаний на примере заброшенной теплицы;

– накоплению тяжёлых металлов в скорлупе яиц гусей двух видов из трех местообитаний;

– накоплению радионуклидов в трофической цепи: растительность - олени и птицы;

– накоплению тяжёлых металлов в двух видах водорослей макрофитов на разных участках литорали: контроль (вблизи устья Грёндален) и загрязнённый участок (вблизи стоков в районе ТЭЦ Баренцбурга) (рис. 13.2)

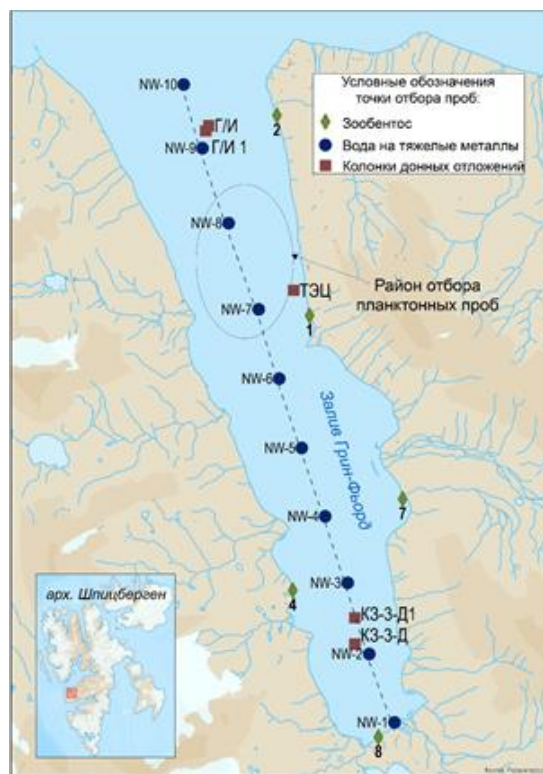


Рисунок 13.1 – Карта-схема морских и прибрежных экспедиций в заливе Грэн-фьорд (о. Западный Шпицберген), 6–24 мая 2025 г.



Рисунок 13.2 – Схема пунктов наблюдений, отбора проб 2-16 июля 2025 г. в окрестностях п. Лонггир и Баренцбург (арх. Шпицберген). Датчик температуры – белая точка; район орнитологических наблюдений – зелёная точка; фотоловушка для наблюдений за птицами – голубая точка; отбора проб на радионуклиды (РН) – красная точка; на тяжёлые металлы (ТМ) – жёлтая точка

В период с 1 по 20 августа 2025 г. одним сотрудником (Намятов А.А., к.г.н. вед.н.с. лаб. планктона) в сотрудничестве в АНИИ:

– проведены гидрологические и гидрохимические исследования в акватории заливов Грэн-фьорд и Ис-фьорд;

– в заливе Биллефьорд отобрана колонка донных отложений для геохронологии седиментации и установления палеоклиматических характеристик окружающей среды (рис. 13.3).

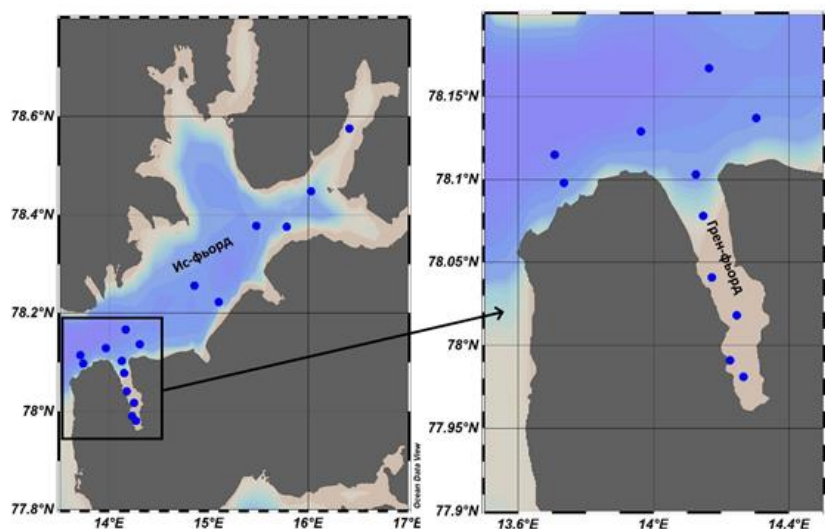


Рисунок 13.3 – Карта-схема района работ, выполненных в ходе экспедиции с 1 по 20 августа 2025 г.

По результатам всех экспедиционных выездов подготовлены подробные отчеты, которые будут размещены в РИНЦ на платформе НЭБ. Экспедиционные группы ММБИ РАН благодарят сотрудников РАЭ-Ш АНИИ за помощь в проведении экспедиционных работ, а также за решение ряда логистических задач.

Аналитическая обработка полевого материала в лабораториях ММБИ в Мурманске проводилась в течение января-октября 2025 г.

Проведенные ранее исследования на арх. Шпицберген позволили сделать следующие выводы:

В целом, донные отложения Грэн-фьорда не показали значительного загрязнения большинством тяжелых металлов. Однако было обнаружено умеренное и высокое содержание мышьяка на всех станциях отбора проб, что является неожиданным и постоянным фоновым признаком, также было зарегистрировано повышенное содержание ртути в центральной части фьорда, что указывает на локальный источник загрязнения.

Реконструкция показала два различных типа поведения элементов в водной среде за последние 100 лет:

Группа 1 (As, Pb, Fe, Zn, Co, V, Ni): концентрации оставались относительно стабильными ($\pm 10-14\%$), без выраженных трендов. Небольшие всплески содержания Ni (1995-2005 гг.) и Co, V (2015-2022 гг.) могут указывать на более поздние или локальные воздействия.

Группа 2 (Cd, Hg, Cu, Mn): концентрации демонстрировали сильные колебания, четко связанные с антропогенной деятельностью. Пики Cd и Hg (1925-1945 гг.) и последующий рост Cu напрямую коррелируют с периодами интенсивной добычи угля и восстановлением промышленности после Второй мировой войны. Марганец (Mn) показал постоянный рост, связанный не с прямым загрязнением, а с изменением гранулометрического состава осадков (увеличением доли мелких пелитовых фракций).

В отношении радиоактивного загрязнения (^{137}Cs) выяснено, что пиковые значения удельной активности в донных отложениях (до 26 Бк/кг после корректировки) пришлось на период 1975-1995 годов. Максимальные концентрации в воде (до 12,6 Бк/м³) были

реконструированы для периода 1985-1995 годов. Это однозначно связывается с двумя основными источниками: последствиями аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году и выбросами с завода в Селлафилде (Великобритания).

Проведенное исследование радиоактивного и химического загрязнения донных осадков подчеркивает важность учета гранулометрического состава осадков. Было установлено, что коэффициент распределения (Kd) ^{137}Cs более чем удвоился с 1945 года, что напрямую связано с увеличением содержания мелкодисперсных пелитовых фракций, которые эффективнее сорбируют загрязняющие вещества. Использование фиксированных значений Kd без учета этого фактора может привести к неточностям в реконструкциях.

После Малого ледникового периода (МЛП) климатические изменения трансформировали режим осадконакопления во всех водных бассейнах архипелага Шпицберген. Процесс начался в озерах и заливах сразу после МЛП, к середине XX века достиг шельфа, а к концу XX – началу XXI века стал повсеместным, включая ранее стабильные устьевые зоны рек. Наиболее чувствительными бассейнами с точки зрения количественного отклика являются озера и заливы арх. Шпицберген: здесь изменения выражаются в увеличении скорости седиментации почти на порядок. В то же время шельфовая зона архипелага характеризуется меньшим диапазоном значений скорости седиментации, но более ярко выраженным качественным откликом.

Периоды климатических оптимумов являются основными фазами накопления осадков в позднем голоцене (до 90% в устьях и фьордах и 75% на шельфе). Учитывая, что арх. Шпицберген является областью с наиболее динамичными климатическими изменениями в Арктике после МЛП, можно предположить, что отклик высокоширотной седиментации на последние климатические изменения должен начинаться именно с северо-западной окраины Евразийского Арктического шельфа.

По материалам экспедиционных работ на Шпицбергене в 2025 году опубликовано 16 печатных работ:

Namyatov, A.A., Usyagina, I.S., Meshcheriakov, N.I., Ivanova, N.S., Boyko, V.V. A reconstruction of radioactive and chemical pollution of the Grønfjorden (bay), West Spitsbergen Island (Svalbard archipelago) // *Environ Sci Pollut Res*, 2025. 32, 12408-12440. DOI: 10.1007/s11356-025-36303-9

Meshcheriakov N.I. Influence of Climate Change on Sedimentation Processes of the Spitsbergen Archipelago in the Late Holocene (by the Example of the Little Ice Age and Modern Warming) // *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2025. 33, No 6, 768-782. DOI: 10.1134/S0869593825700315

Берченко И.В. Определение плодовитости *Calanus finmarchicus* (Gunnerus, 1770) в водах Шпицбергена (залив Грён-фьорд) в мае 2025 г. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 20-22 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Воскобойников Г.М., Метелькова Л.О., Салахов Д.О. Сравнительный анализ содержания нефтяных углеводородов у доминантных видов водорослей-макрофитов прибрежной зоны арктических морей. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 25-26 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Гудимов А.В. Биоиндикация и поведенческие реакции двустворчатых моллюсков Грён-фьорда, Западный Шпицберген. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию

вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 28-30 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Дикаева Д.Р. Распределение сообществ полихет в заливе Ис-фьорд (Западный Шпицберген). Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 41-43 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Зими́на О.Л. Литоральная фауна залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) в 2016–2025 гг.: состав, количественная характеристика, временная динамика. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 44-46 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Иванова Н.С., Усягина И. С., Мещеряков Н. И. Осадконакопление в южной части залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген). Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 46-47 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Колбеева С.В. Эпифитизм в сообществах макроводорослей Грён-фьорда и Мурманского берега. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 51-53 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Лебедева Н.В. Орнитологические исследования ММБИ РАН на Шпицбергене: 2000–2025 гг. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 65-67 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Матишов Г.Г., Казанин А.Г., Макаров М.В., Макаревич П.Р., Шкарубо С.И., Мещеряков Н.И., Тарасов Г.А. Три десятилетия седиментологических исследований ММБИ РАН на архипелаге Шпицберген: результаты мониторинга (1994–2025 гг.) Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 70-73 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Моисеев Д. В. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 5-13 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Носкович А. Э. Двустворчатые моллюски фьордов архипелага Шпицберген. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 77-78 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Павлова Л. В., Дворецкий А. Г., Фролов А. А., Зими́на О. Л., Дикаева Д. Р., Евсеева О. Ю., Гарбуль Е. А., Пантелеева Н. Н., Румянцева З. Ю. Особенности инфаунных донных сообществ Стур-фьорда (восточное побережье Шпицбергена). Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф.,

посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 80-82 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Пантелеева Н. Н. *Sarsia occulta* Edwards, 1978 из Грён-фьорда (Западный Шпицберген) – новый для фауны арктического региона вид гидроидных (Cnidaria, Hydrozoa). Проблема идентификации. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 82-85 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Усягина И. С., Ильин Г. В., Лебедева Н. В., Мещеряков Н. И., Намятов А. А., Иванова Н. С. Радиоэкологические исследования Мурманского морского биологического института на архипелаге Шпицберген в 2015–2025 гг. Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа – 2025: Тез. докл. XVI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2025. 99-101 с. ISBN 978-5-91137-550-8 DOI: 10.37614/978.5.91137.550.8

Результаты исследований были представлены на конференциях:

Итоги экспедиционных исследований в 2024 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка. (г. Москва, 27–28 марта 2025 г.):

Моисеев Д.В. Результаты комплексных экосистемных исследований ММБИ РАН в районе архипелага Шпицберген в 2001–2024 годах;

Макаревич П.Р. Влияние климато-океанологических факторов на межгодовую и сезонную изменчивость биоты арктических морей: итоги экспедиционных исследований ММБИ РАН на НИС «Дальние Зеленцы».

XVI Международная научная конференция, посвященная 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025» (г. Мурманск, 23–24 октября 2025 г.):

Берченко И.В. Определение плодовитости *Calanus finmarchicus* (Gunnerus, 1770) в водах Шпицбергена (зал. Грён-фьорд) в мае 2025 г.

Воскобойников Г.М. Сравнительный анализ содержания нефтяных углеводородов у доминантных видов водорослей-макрофитов прибрежной зоны Арктических морей.

Намятов А.А. Тренды температуры и солености поверхностных морских вод, омывающих архипелаг Шпицберген, за последнее столетие.

Гудимов А.В. Биоиндикация и поведенческие реакции двустворчатых моллюсков Грён-фьорда, Западный Шпицберген.

Дикаева Д.Р. Современное распределение полихет в районе Западного Шпицбергена.

Мещеряков Н.И. Три десятилетия седиментологических исследований ММБИ РАН на архипелаге Шпицберген: результаты мониторинга (1994-2025 гг.).

Носкович А.Э. Двустворчатые моллюски фьордов архипелага Шпицберген.

Иванова Н.С. Осадконакопление в южной части залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген).

Павлова Л.В. Особенности инфаунных донных сообществ Стур-фьорд (восточное побережье Шпицбергена).

Усягина И.С. Радиоэкологические исследования Мурманского морского биологического института на архипелаге Шпицберген в 2015-2025 гг.

Клиндух М.П. Растительность литоральной зоны острова Кильдин.

Пантелеева Н.Н. *Sarsia occulta* Edwards, 1978 из Грён-фьорда (Западный Шпицберген) – новый для фауны арктического региона вид гидроидных (Cnidaria, Hydrozoa). Проблема идентификации.

Макаревич П.Р. Исследования ММБИ РАН состояния морских и наземных экосистем архипелага Шпицберген в условиях современной климатической и антропогенной изменчивости.

Лебедева Н.В. Орнитологические исследования ММБИ РАН на Шпицбергене: 2000-2025 гг.

Колбеева С.В. Эпифитные макроводоросли в донных фитоценозах Западного Шпицбергена и Мурмана.

Матишов Г.Г. Исследования Шпицбергена и прилегающего шельфа заполярными организациями Мурманска.

Мероприятие 13 выполнено полностью.

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

Мероприятие 14. Изучение видового разнообразия и структурно-функциональных особенностей растений в арктических экосистемах архипелага Шпицберген

Цель проекта – оценка современного состояния биологического разнообразия криптогамных организмов высокоарктических районов архипелага Шпицберген.

Задачи проекта:

– Инвентаризация видового состава фототрофной биоты архипелага Шпицберген, выявление новых для региона и Арктики видов растений; составление карт распространения видов.

– Выявление и описание новых для науки видов, изучение филогении арктических таксонов на внутривидовом и интравидовом уровнях (генетический и эволюционный аспекты).

– Классификация экологического разнообразия; анализ экологических особенностей отдельных видов; сравнительный анализ морфолого-анатомических параметров листа двух видов рода *Taraxacum*: аборигенного – *Taraxacum arcticum* и адвентивного – *Taraxacum officinale*, произрастающих в разных экотопах в районе п. Баренцбург (Западный Шпицберген).

Экспедиционные работы на архипелаге проведены в период с 1 по 30 июля 2025. Камеральные работы по обработке данных выполнялись в течение всего года. Изучались фототрофные представители биоты: цианопрокариоты, лишайники, печеночники, сосудистые растения; грибы. Выполнением исследований руководили:

Давыдов Д.А., к.б.н., зам. дир. по научной работе d.davydov@ksc.ru

Константинова Н.А., д.б.н., гл.н.с. nadya50@list.ru

Шмакова Н.Ю., в.н.с., д.б.н. shmanatalya@yandex.ru

При проведении исследований использовались следующие *методы*:

Идентификация лишайников проводилась с использованием световых микроскопов (МБС-10, Zeiss NU 2, Zeiss Primo Star) с применением стандартных химических реактивов (К, С, КС, КI, HNO₃) и ультрафиолетовой лампы (UV, длина волны 350 нм). Для анализа химического состава критически важных видов применялся метод высокоэффективной тонкослойной хроматографии (HPTLC). В 2025 году этим методом было изучено 8 образцов из родов *Lepraria* и *Ochrolechia*.

Исследования печеночников включали работу с неидентифицированными сборами прошлых лет и ревизию уже хранящихся в гербарии ПАБСИ (КРАВГ) образцов. Для сравнения привлекался материал из других северных регионов: Мурманской области, Урала, Таймыра, Аляски, а также из высокогорий Южной Сибири и Дальнего Востока.

Для уточнения идентификации, изучения внутривидовой дифференциации и решения таксономических вопросов был проведен молекулярно-генетический анализ печеночников и мхов. Всего было исследовано 14 образцов с южного побережья залива Инвика. 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 с использованием информационной системы L. (<http://kpabg.ru/cris/>) Картирование распространения видов осуществляется с применением ГИС QGIS.

Было изучено около 120 новых образцов печеночников и проведена ревизия 30 гербарных образцов. Для морфологического анализа использовались стереомикроскопы (Nikon SMZ800, Olympus SZX-16) и световые микроскопы (Nikon Eclipse 50i, Leitz Wetzlar

Orthoplan), оснащенные цифровыми камерами. Для создания четких изображений трехмерных объектов применялась focus-стекинг программа Helicon Focus.

Анатомическую структуру листьев *Taraxacum* изучали при помощи световых микроскопов МИКМЕД-6 (ЛОМО, Россия) и Scope A1 (ZEISS, Германия) с увеличением объектива 4x, 10x, 40x. Изучение морфометрических параметров мезоструктуры листа проводили по методике А.Т. Мокроносова и Р.А. Борзенковой (1978).

Основные полученные результаты и научные выводы:

Изучение лишайников

В июле 2025 г. выполнялись экспедиционные исследования, сбор лишайников и макроскопических грибов в районе залива Krossfjorden (окрестности Mitrahalvoja, мыса Collinsodden, Наугенхютта) (рис. 13.1), а также в районе Grøn fjorden (Grøndalen, окрестностей пос. Баренцбург). Собрано ок. 239 конвертов лишайников (в каждом конверте от 1-2 до 10-15 образцов, собранных в одной точке с одного типа субстрата). К настоящему времени идентифицирована примерно десятая часть материала.

Изучение лишайников в районе залива Krossfjorden проведено впервые. В ходе определения лишайниковых материалов выявлено 99 видов лишайников и 4 вида лишайнофильных грибов, все они являются новыми для исследуемой территории. Лишайник *Parmeliella triptophylla* (Ach.) Müll. Arg. ранее упоминался в работах Olech (1990) и Olech, Alstrup (1989) для района Sørkapp, однако эти образцы были переопределены в 2004 г. Р.М. Jørgensen как *Placynthium* sp. (Øvstedal et al., 2009). Других достоверных данных о наличии вида на архипелаге до настоящего времени не было. Мы подтверждаем наличие *Parmeliella triptophylla* на Шпицбергене. *Stictis radiata* (L.) Pers., также обнаруженный нами в ходе работы, редок на архипелаге и ранее был известен только для окрестностей бухты Колес (Konoreva, Chesnokov, 2024). Таким образом, наша находка является самым северным местообитанием вида в мире. Определение лишайнофильных грибов выполнено С.В. Чесноковым (БИН РАН).

Совместно с С.В. Чесноковым и М.П. Журбенко (БИН РАН) проведена обработка лишайнофильных грибов для окрестностей бухты Колсбей (Colesbay) (Chesnokov et al., 2025). Подготовлен список из 28 видов (это около 20% от известного на сегодняшний день (142 вида) разнообразия лишайнофильных грибов архипелага. *Endococcus complanatae* Arnold впервые отмечен в Арктике; *Cercidospora cecidiiformans* Grube & Hafellner, *Echinothecium reticulatum* Zopf, *Endococcus stigma* (Körb.) H. Olivier, *Sphaerellothecium soechtingii* Zhurb. & Alstrup и *Stigmatidium fuscatae* (Arnold) R. Sant. являются новыми для Шпицбергена. Еще семь видов впервые отмечены на Земле Норденшельда. Выявлен и

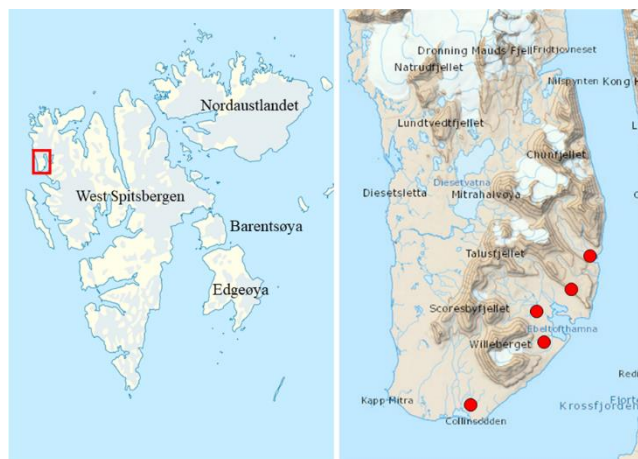


Рисунок 13.1 – Район проведения полевых исследований в 2025 г. – о. Западный Шпицберген, восточное побережье Кроссфьорда

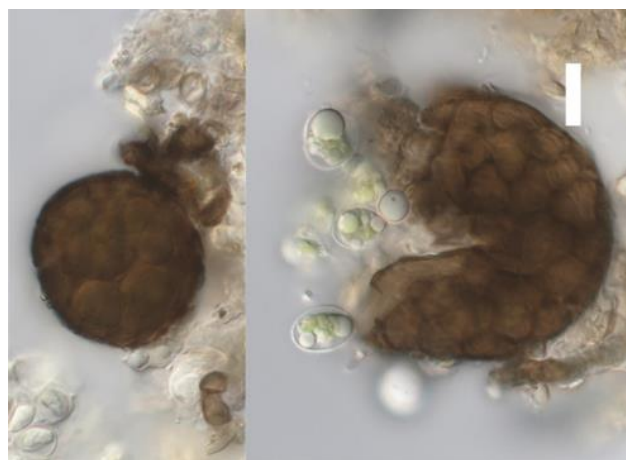


Рисунок 13.2 – Лишайниковоподобный организм, растущий на талломе *Pilophorus cereolus* (LE F-355660). Перитициеподобные структуры, заполненные водорослями, образуются на хорошо развитых поверхностных коричневых гифах. Масштабная линейка: 10 мкм. Фото М. П. Журбенко

проиллюстрирован необычный лишайникоподобный организм, растущий на другом лишайнике и морфологически напоминающий виды рода *Sphaerellothecium* (рис. 13.2).

Обобщены данные о разнообразии лишайников в районе Colesbukta, где всего выявлено 234 вида (Konoreva, Chesnokov, 2025). Из них впервые указано для этой территории 112 видов. Среди них *Arthonia granitophila* Th. Fr. (рис. 13.3А,В), *Ionaspis obtecta* (Vain.) R. Sant., *Micarea denigrata* (Fr.) Hedl., *Poeltinula interjecta* (Leight.) Hafellner (рис. 13.3D,Е), *Rhizocarpon infernulum* (Nyl.) Lynge, *R. subgeminatum* Eitner, *Rinodina mniaroea* var. *cinnamomea* Th. Fr., *Sagedia zonata* Ach. (рис. 13.4В) и *Sarcogyne lapponica* (Ach. ex Schaer.) K. Knudsen & Kocourk. (рис. 13.4С,Д), новые для Шпицбергена. *Arthonia granitophila* и *Poeltinula interjecta* впервые зарегистрированы в Арктике.

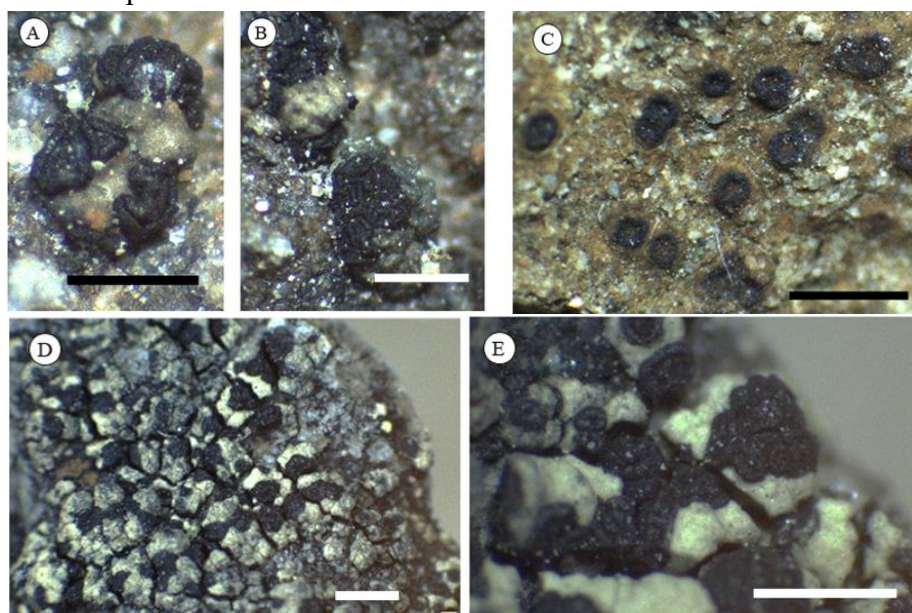


Рисунок 13.3 – Новые и редкие виды из окрестностей Colesbukta: А, В – *Arthonia granitophila*, С – *Ionaspis obtecta*, D, Е – *Poeltinula interjecta*. Масштабная линейка: А, В – 0,6 мм, С–Е – 1 мм

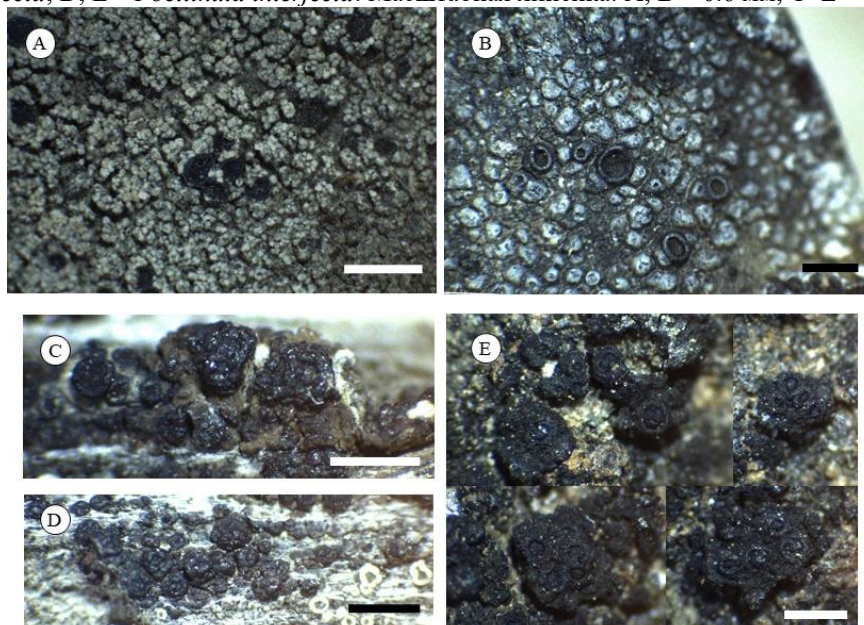


Рисунок 13.4 – Новые и редкие виды из окрестностей Colesbukta: А – *Sagedia simoensis*, В – *Sagedia zonata*, С, D – *Sarcogyne lapponica*, Е – *Thelignya lignyota*. Масштабная линейка: А – 2 мм, В–D – 1 мм, Е – 0,7 мм

Экологические условия района Colesbukta, включая его уникальные микроместообитания и доступность субстрата, существенно влияют на биоразнообразие лишайников и состав растительности, зависящий от условий местообитания. Проведенные исследования показывают, как некоторые виды лишайников могут произрастать за пределами своих типичных ареалов благодаря специфическим факторам окружающей среды – субстрату,

высоте над уровнем моря, антропогенному воздействию, удаленности от ледников, влажности. Примерно половина выявленных видов известна только из исследуемого района или из нескольких мест на Шпицбергене. В гербарий ПАБСИ инсерировано 280 образцов лишайников.

Изучение клавариоидных грибов

Многолетняя динамика таксономической и экологической структуры комплексов клавариоидных грибов Шпицбергена изучались в 2008 г. (Shiryayev, Mukhin, 2010), повторные исследования проведены в текущем сезоне. Исследования охватили п. Баренцбург и его окрестности, Землю Альберта I, п-ов Митра (о-в Западный Шпицберген). Очевидно, что за прошедшие 17 лет стало меньше антропогенных субстратов в п. Баренцбург, причем некоторые полностью исчезли. Это отразилось на численности находок массовых и редких видов. Например, исчезновение антропогенного зонтичного *Anthriscus sylvestris* во флоре архипелага привело к исчезновению ассоциированного с ним вида *Typhula sclerotioides*. Резко снизилась численность злаков *Deschamsia caespitosa* и др., что привело к резкому снижению численности гриба *Typhula graminis*. Отсутствие завоза новых древесных материалов с материка привело к исчезновению гриба *Artomyces pixydata*, который ранее был собран на мертвых стволах привезенной *Betula pendula*. В естественных условиях видовой состав не изменился, хотя можно отметить тренд к увеличению численности вида *Typhula setipes* на местном *Betula nana*, что связано с увеличением биомассы карликовой березки. Местные напочвенные виды грибов, которые ранее были выявлены в регионе, найдены в полном составе. Первичный анализ материала свидетельствует об отсутствии изменений видового состава и незначительном росте численности отдельных видов клавариоидных грибов в естественных условиях, но также об объективном снижении видового состава и численности в антропогенных условиях на заносных субстратах.

Изучен комплекс афиллофоровых грибов, вызывающих коричневую гниль исторических и хозяйственных деревянных строений, а также на топляке (плавнике) вдоль океанических побережий. По сравнению с нашими данными на 2008 г., а также результатами исследований коллег (Gulden, Torkelsen, 1996; Kosonen, Huhtinen, 2008), можно констатировать, что число видов грибов выросло на 19%, преимущественно за счет снижения хозяйственной активности. Существенно увеличилось число заброшенных деревянных хозяйственных строений, а также разложение старых жилых домов. На крупномерных бревнах и брусе растет число не только традиционной северной группы афиллофоровых - кортициоидных грибов, но также пороидных (трутовых). Ранее на архипелаге было известно 5 видов трутовиков, в настоящий момент это число возросло до 9. Появились крупноплодные виды, которые раньше невозможно было пропустить. Также впервые отмечен ряд опасных «домовых и шпальных грибов», например, *Serpula lacrimans*, *Coniophora puteana*, *Neolentinus lepideus* и др. В конце 1990-х и начале 2000-х гг. в Баренцбурге на завозных опилках и соломе развивался пусть небольшой, но закономерный северный спектр видов (*Antrodia sinuosa*, *Artomyces pixydata*, *Fibroporia vaillantii*, *Hydnomerulius pinastris* и др.), к настоящему времени полностью исчезнувший в связи с уничтожением животноводческих и тепличных комплексов.

В целом, обновленный список видов афиллофоровых грибов Шпицбергена увеличился, как минимум на 70%, достигнув 65 видов. Это самый крупный список данной группы грибов для всех высокоарктических островных микобиот Евразии.

Данные по биогеографии и экологии афиллофоровых грибов Шпицбергена и других высокоширотных островов Северного полушария впервые в мире были обобщены в работах (Ширяев, 2015; Ширяев, Змитрович, Ежов, 2018). Установлено, что на температурном пределе распространения жизни развиваются лишь симбиотические (базидиолишайники) и склероциальные виды. Показано сходство и различие структуры микобиоты с Антарктическим полуостровом. В связи с происходящим быстрым потеплением климата в Арктике всё больше видов проникают на север, что приводит к изменению структуры биоразнообразия, и как следствие, происходит изменение высокоширотных биотических

циклов, включающих разложение органики, повышается вероятность выживания новых «таежных» растений. Таким образом, Шпицберген мы рассматриваем как «точку отсчета»: это важнейший полигон для изучения самой бедной микобиоты в широтно-зональном градиенте, но, с другой стороны, это самая богатая микобиота в долготно-секторальном градиенте Евразии.

Вероятно, чужеродные виды грибов пока не распространяются в природу. Следовательно, изучение возможности выживания и натурализации заносных видов в естественных условиях архипелага – важнейшая актуальная задача.

Изучение печеночников

Завершены работы по уточнению положения видов *Lophozia savicziae* и *L. silvicoloides*. Исследования показали, что настоящая *L. savicziae* встречается только в Мурманской области, а на Шпицбергене все найденные образцы принадлежат к *L. silvicoloides*. Анализ ДНК показал, что *L. savicziae* является гибридом между *L. silvicoloides* и другим, неизвестным видом *Lophozia*. У *Lophozia savicziae* сохранились копии ITS1-2 обоих родительских видов, что свидетельствует о незавершенности концертной эволюции этого аллополиплоидного вида (Konstantinova, Vilnet, 2025). Молекулярно-генетические исследования нескольких образцов рода *Lophozia* с комплексом морфологических признаков, не позволявших их достаточно четко отнести к тому или иному виду, выявили возможность гибридизации между *Lophozia fuscovirens* и *Lophoziaopsis polaris*.

Образец из Инвики не является единственным случаем, ранее были секвенированы два образца с подобной гибридной природой из других районов архипелага. Дальнейшее исследование позволит уточнить распространение этих гибридов, описать их морфологические признаки и принять таксономические решения, т.к. это первый случай межродовой гибридизации у печеночников (рис. 13.5).



Рисунок 13.5 – Филогенетическое древо для родов *Lophozia* и *Lophoziaopsis*, построенное методом максимального правдоподобия по нуклеотидным последовательностям а) ITS1-2 и б) *trnL*-F. Образцы с архипелага Шпицберген выделены жирным шрифтом. Предполагаемый гибрид *Lophozia fuscovirens* и *Lophoziaopsis polaris* отмечен красным цветом. Показано гибридное происхождение *Lophozia savicziae*

Флористические исследования

В 2025 г. было завершено определение коллекции, собранной нами в 2011 г. на Земле Оскара II, где было обследовано южное побережье залива Инвика (рис. 13.6), и составлен список видов, включающий 43 таксона, в том числе редкие на архипелаге виды и виды, внесенные в Красный список мохообразных Европы. Сравнение с флорами других изученных территорий на о. Северо-Восточная Земля показывает, что флора южного побережья залива Инвика на данном этапе исследований самая богатая из всех изученных флор не только Северо-Восточной Земли, но и всего архипелага. Число выявленных видов (43) составляет около 68% видов печеночников, известных на Северо-Восточной Земле. Баркодирование выявило наличие в исследуемой флоре видов *L. silvicoloides* и *L. longidens* (рис. 13.5). Идентификация двух образцов *Scapania* K373-4-11 и K309-1b-11 как редкого на архипелаге *Scapania kaurinii* подтверждена молекулярными данными.

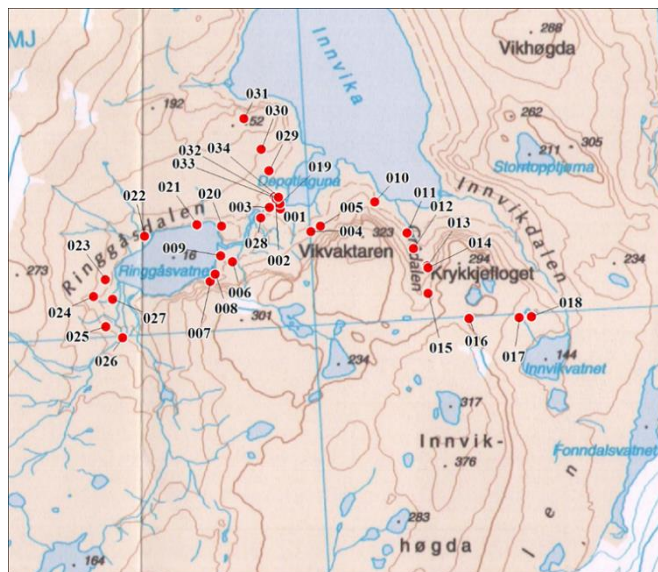


Рисунок 13.6 – Точки сборов печеночников на Земле Оскара II, побережье залива Инвика, о. Северо-Восточная Земля

Анализ распространения на Шпицбергене редких видов

В ходе идентификации и ревизии собранных ранее коллекций были выявлены новые для архипелага таксоны. В частности, в повторно исследованных образцах с *Lophozia silvicoloides* обнаружена *Tritomaria exsectiformis* (Breidl.) Schiffn. ex Loeske. subsp. *arctica* R.M.Schust. Этот таксон выявлен на Земле Оскара II, Värmlandryggen, на западном берегу бухты Имер. Типовая форма *Tritomaria exsectiformis* ранее указывалась для Шпицбергена из одной точки Арнелем и Мортенсоном (Arnell & Mårtensson, 1959) из окрестностей Нью-Олесунна. В собранном нами образце растения очень мелкие 4-6мм длиной и 0,5-0,7 мм шириной, имеют вогнутые листья с шириной равной длине са. 0,6-0,75 × 0,65-0,75 мм, мелкие клетки середины листа, са. (12)15-17(19) X 17-20(22) мкм, многочисленные красные до красно-коричневых угловато-полигональные выводковые почки, са. (10)12-14 X 15-18 (23) мкм и, таким образом, полностью соответствуют subsp. *arctica* (Konstantinova & Savchenko, 2025).

Обобщены данные по распространению наиболее редких и фитогеографически интересных видов печеночников, которые подробнее рассмотрены ниже. На всех картах зелеными квадратами показаны точки известные до наших работ, красными кругами отмечены наши находки.

Mesoptychia badensis (Gottsche ex Rabenh.) L.Söderstr. & Vána (*Leiocolea badensis* (Gottsche) Jørg.). Арктобореомонтанный циркумполярный вид, характеризующийся как очень редкий на Шпицбергене (Frisvoll & Elvebakk, 1996). Раньше приводился для Решерш-фьорда (Karczmarz & Świąż, 1990, Świąż & Karczmarz, 1991) и Конгс-фьорда (Arnell & Mårtensson, 1959). Нами обнаружено, что вид нередок в местах с карбонатными породами, в частности в окрестностях п. Пирамида, а также на северном берегу Мэрчиссо-фьорда (Konstantinova, Savchenko, 2012) и на побережье залива Инвика (рис. 13.7). Скорее всего, вид нередок на Шпицбергене в подходящих условиях, но пропускается из-за очень мелких размеров и особенностей экологии: отдельными побегами в мельчайших трещинках или в смеси с частицами песчаной почвы. Кроме типовой разновидности, вид представлен также

var. *apiculata* R.M. Schust. Изученные растения характеризуются заостренными до острых лопастями, оканчивающимися заострением из 2 удлиненных клеток, крупными субапикальными клетками от 30×30 до 33×38 и 36×47, единичными зубцами по краю листа и очень крупными клетками стебля: (28) 32-40 мкм шириной и 40-60 мкм длиной, имеющих тонко папилезную кутикулу. Эта разновидность описана Р.М. Шустером (Schuster, 1969) из западной Грэнландии и до настоящего времени из других регионов не приводилась.

Lophoziaopsis polaris (R.M.Schust.) Konstant. & Vilnet (*Lophozia polaris* (R.M. Schust.) R.M. Schust. et Damsh.). Арктомонтанный циркумполярный вид. Для Шпицбергена впервые приводился для долины оз. Конгресс (Nadač, 1989). Нами обнаружен в Бок-фьорде (Константинова, Савченко, 2006), долине оз. Линне, на восточном берегу Биллефьорда в окрестностях п. Пирамида, на земле Принца Оскара II, а также на северном берегу Мэрчиссон-фьорда (Konstantinova, Savchenko, 2012).

На побережье Ис-фьорда представлен var. *sphagnorum* (Константинова, Савченко, 2008). По-видимому, вид нередок на Шпицбергене (рис. 13.8), а местами, в районах с преобладанием карбонатных пород может быть обилён. Для образцов K306-9-11 и K307-3-11 (Инвика), а также K129-07, CA19-29-3 и CA 367-2b-11 получены нуклеотидные последовательности ITS1-2 и *trnL-F*, которые характеризуют *Lophoziaopsis polaris* как маловариабельный вид в пределах архипелага.

Marsupella arctica (Berggr.) Bryhn et Kaal. – арктический почти циркумполярный таксон, описанный со Шпицбергена. Ранее на архипелаге был известен из типового местонахождения Смеренбург на о. Амстердам, а также Кобб-фьорд на о. Датский (Berggren, 1875) и Бьорндален (Fugle fjella) и Адвентдален (Bolternosa) (Frisvoll & Elvebakk, 1996). В 2006 году вид обнаружен нами на Северо-Восточной Земле, на Земле Оскара II (Konstantinova, Savchenko, 2008), где он занимает местами значительные площади. А в 2012 году найден на земле Орвина (рис. 13.9). Кроме того, вид оказался нередким и местами обильным на южном побережье залива Инвика. Вид рассматривается как угрожаемый (VU) в Европе (Hodgetts et al., 2020). Несомненно, распространён

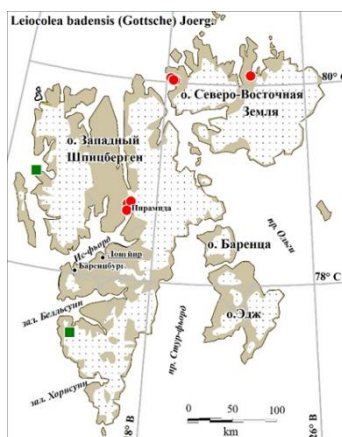


Рисунок 13.7 –

Распространение *Mesoptychia badensis*

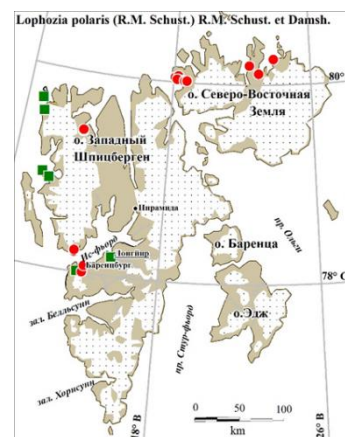


Рисунок 13.8 –

Распространение *Lophoziaopsis polaris*

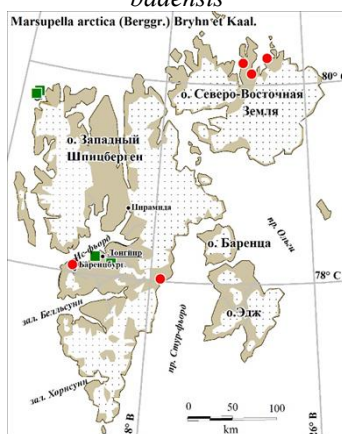


Рисунок 13.9 –

Распространение *Marsupella arctica*

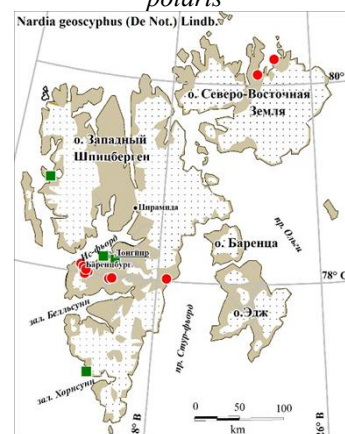


Рисунок 13.10 –

Распространение *Nardia geoscyphus*

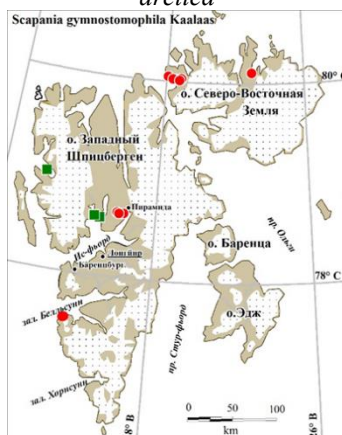


Рисунок 13.11 –

Распространение *Scapania gymnostomophila*

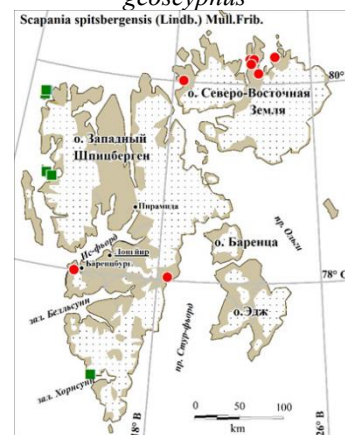


Рисунок 13.12 –

Распространение *Scapania spitsbergensis*

на Шпицбергене значительно шире, чем известно в настоящее время и по нашим наблюдениям угрозы его существования на Шпицбергене нет.

Nardia geoscyphus (De Not.) Lindb. – до наших работ вид приводился на Шпицбергене из Bratteggdalen (Hornsund), Bjørndalen и Gluudneset (Kongsfjorden) и Tredalshytta (Adventdalen) и рассматривался Frisvoll & Elvebakk (1996) как очень редкий на архипелаге. Наши данные показывают, что вид на Шпицбергене, видимо, нередок в местах с преобладанием «кислых» пород, таких как граниты, гнейсы, песчаники, сланцы и пр. Вид выявлен в окрестностях п. Баренцбург, в долине Рейндален, в Агарбухте, а также на южном побережье залива Инвика. На о. Северо-Восточная Земля он обнаружен в нескольких точках в бухте Инвика, где собран неоднократно (Земля Оскара II) и в одной точке на Земле Орвина (рис. 13.10).

Scapania gymnostomophila Kaalaas - Вид был известен из Экман-фьорда, Норд-фьорда (Frisvoll, Blom, 1993) и одной точки в Конгс-фьорде (Arnell, Mårtensson, 1959). Нами обнаружен в нескольких точках окрестностях п. Пирамида (Константинова, Савченко, 2008) и на северном берегу Мэрчисон-фьорда (Konstantinova, Savchenko, 2012), а также на берегу бухты Инвика (рис. 13.11). Несмотря на очень мелкие размеры (около 3-5 мм длиной) печеночник легко узнаваем в поле по очень мелкой спинной лопасти и обычно почти черно-зеленому цвету. Под микроскопом сразу идентифицируется по наличию одного (реже 2-3) крупного, заполняющего практически всю полость клетки и долго сохраняющегося масляного тельца. Однако, собрать вид непросто из-за мелких размеров и встречаемости преимущественно единичными экземплярами. Скорее всего вид нередок на Шпицбергене. Отличия нуклеотидных последовательностей ITS1-2 образца K307-4-11 составляют 0,3% при идентичности *trnL-F* в сравнении с другими шпицбергенскими образцами K41-2-10 и K49-10, и не превышают 1% с образцами ЗФИ, Мурманской области, Германии.

Scapania spitsbergensis (Lindb.) Müll.Frib. – вид, описанный со Шпицбергена в Смеренбурге, выявленный затем для Хорнсунне, Конгс-фьорде, островах Датский и Амстердам (Frisvoll, Elvebakk 1996), характеризуется как редкий, но локально обильный на Шпицбергене. Нами этот вид был собран на северном склоне Григфьелет (долина Линне), где он представлен в небольшом количестве и в Агар бухте. На острове Северо-Восточная Земля вид до наших работ найден не был. Нами он найден во всех исследованных районах за исключением окрестностей п. Кинвика (рис. 13.12), где для него нет подходящих условий. Вид встречается преимущественно на камнях и мелкоземье и приурочен к крупно глыбовым каменистым россыпям, где в углублениях под крупными валунами, в сырых, с поздно стаивающим снегом темных углублениях, он образует обширные куртины. Как уже упоминалось, вид описан со Шпицбергена, но потом был найден во многих точках севера Евразии и Северной Америки. В настоящее время показано, что он является циркумполярным арктомонтанным печеночником (Константинова, 2000).

Изучение мхов

Завершено определение образцов мхов, собранных маршрутным методом в 2008 г. (около 620 образцов) и 2013 г. (540 обр.) в п. Пирамида, в долинах Мимердален, Муиндален, Тордален и прилегающих к ним склонах гор, на восточных склонах гор и морских террасах на западном побережье бухты Петунья и в Мимербухте. Проведена ревизия ранее определенных образцов с учетом новых таксономических обработок ряда таксонов. За отчетный период обработано около 100 образцов. Сделан молекулярно-генетический анализ найденных впервые на архипелаге видов мхов, а также ряда уклоняющихся по морфологическим признакам образцов. Аннотированный список составлен в соответствии с современными списками мхов Европы (Hodgetts et al., 2020; Lönnel et al., 2025) и России (Флора мхов..., 2017, 2018, 2020, 2022, 2025).

Всего в окрестностях Пирамиды найдено 149 видов мхов и 3 разновидности. Впервые в окрестностях Пирамиды отмечены *Tortella spitsbergensis* (Bizot & Thér.) O. Werner, Köckinger & Ros, *Cratoneuron curvicaule* (Jur.) G.Roth., *Hymenostylium recurvirostrum* (Hedw.) Dixon,

Orthothecium lapponicum (Schimp.) C.Hartm. и *Campylium longicuspis* (Lindb. & Arnell) Hedenäs. Последние два вида являются редкими на архипелаге.

Определены образцы мхов рода *Schistidium*. Выявлены виды *Schistidium frisvollianum* H.H.Blom, *Schistidium* cf. *grandirete* H.H.Blom, *Schistidium papillosum* Culm., *Schistidium sordidum* I.Hagen, *Schistidium tenerum* (J.E.Zetterst.) Nyholm, *Schistidium* cf. *venetum* H.H.Blom. Найдены новые точки произрастания ранее известных *Schistidium frigidum* H.H.Blom, *Schistidium platyphyllum* (Mitt.) H.Perss., *Schistidium rivulare* (Brid.) Podp. Собранный на леднике Бертиль *Schistidium abrupticostatum* (Bryhn) Ignatova & H.H.Blom оказался довольно распространенным видом, выявлены его новые местонахождения на горах Пирамида, Одинфьеллет и на склонах северной экспозиции долины Мимерэльва. Это означает, что уникальная популяция данного вида, произрастающая на льду ледника, могла появиться в результате попадания современных диаспор мха в криоконит с окружающих склонов, а не в результате понижения уровня ледника и регенерации замороженных в нем побегов и спор, как это наблюдалось на некоторых ледниках Северной Америки.

Проведена ревизия образцов родов *Oncophorus* и *Tomentypnum* из окрестностей п. Пирамида (архипелаг Шпицберген) согласно современному пониманию систематики этих родов. В результате во флоре Пирамиды выявлены виды – *Oncophorus demetrii* (Renauld & Cardot) Hedenäs и *Oncophorus integerrimus* Hedenäs. Первый вид собран в нескольких точках, второй – только в одной, на северо-западном берегу бухты Петунья (склон горы Мумиен). Повторный просмотр образцов широко распространенного *Tomentypnum nitens* s.l. показал, что подавляющее большинство их относится к недавно описанному виду *Tomentypnum involutum* (Limpr.) Hedenäs & Ignatov. Этот вид является содоминантом растительных сообществ с преобладанием кустарничков *Dryas octopetala* L. и *Cassiope tetragona* (L.) D.Don, которые часто встречаются в изученном районе.

Найдено 5 новых для архипелага видов мхов. Проведен молекулярно-генетический анализ части образцов.

Blindiadelphus subimmersus (Lindb.) Fedosov & Ignatov [*Seligeria subimmersa* Lindb.] – 3,5 км к запад-юго-западу от п. Пирамида, правобережье Мимердален, 115 м над ур. моря, выходы сланца 2 м высотой. Местонахождение подтверждено молекулярно-генетическим анализом.

Brachythecium dahuricum Ignatov – травяные сообщества в поселке и окрестности юго-восточного склона горы Одинфьеллет. Анализ имеющихся сведений в Генбанке (GenBank) показал близость данного вида к *Brachythecium erythrorrhizon* Schimp., но несколько замен в ITS-локусах отличает *B. dahuricum* от *B. erythrorrhizon*. Этот новый для науки вид ранее был отмечен только в нескольких точках в России.

Calliergon giganteum (Schimp.) Kindb. – несколько точек в районе юго-восточного склона горы Одинфьеллет и одна – на морской террасе у подножия горы Свенбрехёгда (Svenbrehøgda). Данные молекулярно-генетического анализа показали высокую степень сходства с *Calliergon giganteum* ssp. *sibiricum* Ignatova & Chernjad., подвидом, известным из азиатской части России.

Helodium blandowii (F.Weber & D.Mohr) Warnst. – единственное местонахождение на территории поселка – на злаковой луговине вблизи бывшей конюшни.

Schistidium sordidum I.Hagen – окрестности юго-восточного склона горы Одинфьеллет и нижняя часть долины Тордален. Сделано молекулярно-генетическое исследование образцов, результаты которого пополняют генетический банк данных.

Сравнение видового состава мхов в антропогенно измененных и в естественных местообитаниях показало, что 62 вида найдено вне посёлка и нарушенных человеком участках. Среди них есть не только редкие, но и довольно распространенные виды, такие как *Catoscopium nigratum* (Hedw.) Brid., *Cinclidium arcticum* (Bruch & Schimp.) Schimp., *Loeskytnum badium* (Hartm.) H.K.G.Paul, *Schistidium abrupticostatum*.

Только в поселке и прилегающих антропогенно трансформированных сообществах обнаружено 15 видов. Среди них, например, *Polytrichum hyperboreum* R.Br. и *Psilopilum laevigatum* (Wahlenb.) Lindb., произрастающие на зарастающей куче каменного угля. В дельте Мимерэльвы, на участке, захлампленном железными канатами, брусками и прочим мусором, обитает многочисленная популяция *Tortula cernua* (Huebener) Lindb. со спорофитами.

72 вида были отмечены в обеих группах местообитаний. На территории поселка распространены мхи обнаженной или слабо задернованной почвы (эксплеренты), например, *Encalypta* spp., *Ptychistomum* spp., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson, а также виды с широкой экологической амплитудой, напочвенные широко распространенные мхи - *Drepanocladus turgescens* (T.Jensen) Broth., *Orthothecium chryseon* (Schwägr.) Schimp., *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, *Tomentypnum involutum*.

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

В 2025 г. изучен фракционный состав жирных кислот (ЖК) липидов. Понимание механизмов адаптации растений к условиям Арктики, связанное с проблемами происхождения видов, процессом видообразования и потенциалом жизнедеятельности в экстремальных условиях среды, остается актуальной темой, как для систематиков, так и для физиологов растений. Особый интерес представляют те роды, которые включают в Арктике как аборигенные, так и адвентивные виды, что позволяет понять особенности адаптации на арктических территориях.

Территория Фенноскандии является основным или одним из основных центров разнообразия сразу нескольких секций рода *Taraxacum*. Во флоре архипелага Шпицберген встречаются 3 аборигенных вида рода *Taraxacum* – *T. arcticum* (Trautv.) Dahlst., *T. brachyceras* Dahlst. и *T. cymbifolium* H. Lindb. ex Dahlst., из которых на территории Западного Шпицбергена широко распространенным является *T. arcticum* (Trautv.) Dahlst. К адвентивным, заносным видам относится *T. officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg.

Рассмотрены морфолого-анатомические особенности листьев аборигенного вида *Taraxacum arcticum* в сообществах арктических тундр и адвентивного вида *Taraxacum officinale* (Asteraceae) во вторичных сообществах на о. Западный Шпицберген.

T. arcticum представлен популяциями низкорослых особей с мелкими толстыми листьями. Популяции *T. officinale* состоят из крупных растений с большими по площади и тонкими листьями. Удельная плотность листа растений этих видов различались в пределах 30%. Оба вида, несмотря на разные биометрические размеры, имеют сходные анатомо-морфологические характеристики листа. Листья *T. arcticum* и *T. officinale* имеют разный тип строения мезофилла: дорсовентральный у адвентивного вида и гомогенный у арктического вида, что является типичным признаком анатомического строения листовой пластинки у растений Арктики. Для *T. officinale* такое строение листовой пластинки обуславливает высокую экологическую пластичность, которая определяет широкий ареал данного вида, произрастающего в большом диапазоне условий местообитаний в разных природных зонах. Однако оба типа строения обеспечивают условия успешной адаптации к высокому дефициту влаги, низкой температуре и особенностям полярного освещения. Тип листовой пластинки является наследственно закрепленным признаком и имеет достаточно широкую норму реакции, которая обеспечивает адаптацию к изменяющимся условиям среды, как на уровне целого организма, так и в онтогенезе отдельно взятого органа.

Установлено, что виды *Taraxacum* различаются по организации устьичного аппарата – структуры, обеспечивающей связи внутренней структуры и функций растения со средой. У аборигенного вида (*T. arcticum*) почти в 2 раза меньшее количество устьиц занимают площадь в 2 раза больше, чем у адвентивного вида (*T. officinale*), что обеспечивает более высокие значения поглощенной световой энергии. Это свидетельствует о разных путях адаптации

растений на уровне фотосинтетического аппарата. В ответ на круглосуточное освещение у адвентивного вида отмечается вариант «избегания» избытка световой энергии за счет увеличения объема светособирающего комплекса (ССК), а у аборигенного вида отмечается высокая активность хлорофиллов реакционных центров, где за счет диссипации избыточной энергии идет оптимизация метаболических процессов. Высказана гипотеза о функциональных различиях и стратегиях адаптации на уровне фотосинтетического аппарата растений (ФСА). Показана связь между параметрами устьичного аппарата и структурой ФСА растений: для *T. arcticum* увеличение площади устьиц оказалось связано с увеличением активности реакционных центров, а у *T. officinale* увеличение числа устьиц способствовало активизации ССК. Различия в структуре устьичного аппарата обеспечивают обоим видам успешное произрастание в условиях Арктики; для *T. arcticum* в широком спектре экотопов, а *T. officinale* только в локальных, антропогенно трансформированных экотопах на Западном Шпицбергене.

Выводы

1. Полученные результаты свидетельствуют о значительном богатстве лишенобиоты архипелага Шпицберген, часть территории которого, несмотря на значительную историю лишенологических исследований (более 200 лет), все еще остается мало- или вовсе неизученной. Продолжение лишенологических исследований на территориях, имеющих обширную историю исследований, позволяет уточнять ареалы отдельных видов и их динамику, а также экологические особенности таксонов. Накопление таких данных является основой мониторинговых исследований в Арктике, а также работ по обоснованию и созданию природоохранных территорий, что в современных условиях климатических и антропогенных трансформаций является особенно актуальным.

2. Образцы, соответствующие типу *Lophozia savicziae*, на Шпицбергене, были отнесены к *L. silvicoloides*, которая имеет гибридное происхождение.

3. Для территории Земли Оскара II на Шпицбергене составлен предварительный список видов печеночников (43 вида), выявлены редкие для архипелага виды, а также виды, занесенные в Красный список мохообразных Европы.

4. Актуальный список видов мхов поселка Пирамиды и окрестностей насчитывает 149 видов. На территории бывшего поселка и прилегающих территориях, затронутых антропогенным воздействием, отмечено 87 видов, из них в других местонахождениях не найдено 15 видов. Это свидетельствует о высоком разнообразии местообитаний в пределах поселка и наличии участков, слабо измененных в результате хозяйственной деятельности человека. Только на ненарушенных участках в окрестностях Пирамиды зарегистрировано 62 вида. Пять видов мхов, найденных в районе Пирамиды, являются новыми для архипелага Шпицберген.

5. Обновленный список видов афиллофоровых грибов Шпицбергена увеличился на 70%, достигнув 65 видов. В настоящий момент это самая крупная микобиота среди всех высокоарктических островных территорий Евразии.

6. Два вида одного рода *Taraxacum* в условиях Арктики различаются, прежде всего, по биометрическим показателям. Если у *T. arcticum* отмечается свойственный всем растениям Арктики карликовый рост, то у *T. officinale* ростовая функция не ингибирована, и размеры особей сходны с растениями таежной зоны. Аборигенный вид *T. arcticum* представлен в арктической тундре в широком спектре экотопов и имеет, как большинство видов Арктики, семенное размножение. Адвентивный вид *T. officinale* имеет ограничения для произрастания в различных экотопах Западного Шпицбергена, поддержание популяции идет в основном за счет только вегетативного размножения.

7. Следует отметить, что при отсутствии заметных изменений морфолого-физиологических параметров, адаптивная стратегия, по-видимому, затронула наиболее лабильную структуру фотосинтетического аппарата – светособирающий комплекс (ССК), варьирование которого входит в адаптацию видов разных климатических зон к условиям

освещенности. Однако этот вариант адаптации не обеспечивает возможность полного онтогенетического развития, и распространение ограничено локальным экотопом. Перспектива его расселения в другие экотопы Западного Шпицбергена маловероятна.

Результаты исследований опубликованы в 6 работах:

Chesnokov S.V., Konoreva L.A., Zhurbenko M.P. New records of lichenicolous fungi from the vicinity of Colesbukta Bay (Svalbard Archipelago) // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2025. Vol. 59(2). (In press).

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

Konoreva L.A., Chesnokov S.V. Is a newly reported presence of *Stictis radiata* in Svalbard a result of global climate change, or is it due to the availability of a suitable substrate? // *Czech Polar Reports*, 2024. Vol. 14(2). P. 297-304. DOI: 10.5817/CPR2024-2-18.

Konoreva L.A., Chesnokov S.V. Lichens in the vicinity of Colesdalen, one of the “hot points” of the Svalbard archipelago // *Czech Polar Reports*, 2025. Vol. 15(1). P. 146–166. DOI: 10.5817/CPR2025-1-9

Konstantinova N.A., Vilnet A.A. *Lophozia savicziae* Schljakov Lophoziaceae, Marchantiophyta) – one more allopolyploid species of liverworts // *Arctoa*, 2025. Vol. 34. P. 44–51. DOI: 10.15298/arctoa.34.04

Sofronova E.V., Afonina O.M., Bakka S.V., Bezgodov A.G., Czernyadjeva I.V., Doroshina G.Ya., Dudov S.V., Dulin M.V., Dzizyurova V.D., Fedosov V.E., Freydin G.L., Garin E.V., Ginzburg E.G., Glazkova E.A., Goldstein M.S., Grishutkin O.G., Ignatova E.A., Kapitonov V.I., Kapitonova O.A., Khairetdinova V.O., Konstantinova N.A., Kotkova V.M., Kurbatova L.E., Kushnevskaya E.V., Kuzmina E.Yu., Lavrskaya E.A., Mamontov Yu.S., Moseev D.S., Philippov D.A., Pisarenko O.Yu., Popova N.N., Potemkin A.D., Ryzhova E.M., Savchenko A.N., Shestakova A.A., Schuryakov D.S., Selivanov A.E., Shkurko A.V., Shubina T.P., Smirnova E.V., Voronova O.G., Zhelezнова G.V., Zhuzenova K.A. New bryophyte records. 24 // *Arctoa*, 2025. Vol. 34. P. 73–92. <https://doi.org/10.15298/arctoa.34.08>

Литература:

Константинова, Н. А. Анализ ареалов печеночников севера Голарктики. *Arctoa*, 2000. 9, 29-94.

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).

Мокроносоев А.Т., Борзенкова Р.А. 1978. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтетических тканей и органов. – В кн.: *Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 61 (3): 119–133.

Флора мхов России. Том 2. Oedipodiales – Grimmiaceae. / М.С. Игнатов (отв. ред.). Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2017. 560 с. (*Arctoa* том 26, приложение 1)

Флора мхов России. Том 4. Bartramiales – Aulacomniales. / М.С. Игнатов (отв. ред.). Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2018. 543 с. (*Arctoa* том 27, приложение 1)

Флора мхов России. Том 5. Hypopterygiales – Hypnales (Plagiotheciaceae – Brachytheciaceae). / М.С. Игнатов (отв. ред.). Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2020. 600 с. (*Arctoa* том 29, приложение 1)

Флора мхов России. Том 3. Dicranates. / М.С. Игнатов (отв. ред.). Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2025, 687 с. (*Arctoa* том 34, приложение 1)

Ширяев, А. Г. Пространственная дифференциация таксономической и морфологической структуры биоты афиллофоридных грибов: предварительные результаты изучения средней тайги Евразии // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*, 2015. (3), 39-50.

Ширяев, А. Г., Змитрович, И. В., Ежов, О. Н. Таксономическая и экологическая структура биоты базидиальных макромицетов полярных пустынь Северного полушария // *Сибирский экологический журнал*, 2018. 25(5), 526-544.

Arnell, S., Mårtensson, O. A contribution to the knowledge of the bryophyte flora of W. Spitsbergen and Kongsfjorden (Kings Bay, 79° N) in particular // *Ark. Bot.* 1959. 4: 105–164.

Berggren, S. Undersökning af mossfloran vid Disko-bugten och Auleitsivikfjorden i Grönland (Vol. 13). PA Norstedt & Söner, 1875.

Chesnokov S.V., Konoreva L.A., Zhurbenko M.P. New records of lichenicolous fungi from the vicinity of Colesbukta Bay (Svalbard Archipelago) // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2025. Vol. 59(2).

Frisvoll, A.A., Blom, H.H. Trua moser i Norge med Svalbard; raud liste. NINA utredning, 1993. 42: 1–55.

Frisvoll, A. A., Elvebakk, A. A catalog of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Part 2. Bryophytes // *Skrifter-Norsk Polarinstitutt*, 1996. (198), 57-172.

Gulden, G., Torkelsen, A. E. A catalog of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Part 3. Fungi I. Basidiomycota: Agaricales, Gasteromycetales, Aphyllophorales, Exobasidiales, Dacrymycetales and Tremellales // *Skrifter-Norsk Polarinstitutt*, 1996. (198), 173-206.

Hadač, E. Notes on plant communities of Spitsbergen // *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 1989. 24 (2), 131-169.

Hodgetts, N. G., Söderström, L., Blockeel, T. L., Caspari, S., Ignatov, M. S., Konstantinova, N. A., ... Porley, R. D. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus // *Journal of Bryology*, 2020. 42(1), 1-116.

Karczmarz, K., Świąć, F. Bryophytes collected in arctic tundra of the eastern slopes of Activekammen (Western Spitsbergen) in 1987–1988. Polar session, Periglacial phenomena of western Spitsbergen. Lublin, Poland–April 1990, 175-183.

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

Konoreva L.A., Chesnokov S.V. Lichens in the vicinity of Colesdalen, one of the “hot points” of the Svalbard archipelago // *Czech Polar Reports*, 2025. Vol. 15(1). P. 146–166.

Konstantinova, N., Savchenko, A. Contributions to the hepatic flora of Svalbard // *Lindbergia*, 2008. 13-22.

Konstantinova, N., Savchenko, A. Contribution to the hepatic flora of the Nordaustlandet (Svalbard). I. Hepatics of the north coast of Murchison Fjorden // *Polish Botanical Journal*, 2012. 57 (1).

Konstantinova, N.A., Savchenko A.N. Contribution of the hepatic floras of Svalbard IV: Hepatics of the coast of the Sætherbukta (Orvin Land, Duvefjorden, Nordauslandet) // *Arctoa*, 2022., 31(1), 44-51.

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

Kosonen, T., Huhtinen, S. Wood-rotting basidiomycetes of Svalbard (Norway) // *Karstenia*, 2008. 48(1), 21-28.

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.

Olech, M. Preliminary studies on ornithocoprophilous lichens of the Arctic and Antarctic regions (Eleventh Symposium on Polar Biology). In *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*, National Institute of Polar Research, 1990. Vol. 3, pp. 218-223.

Olech, M., Alstrup, V. Lichens new to Spitsbergen // *Graphis Scripta*, 1989. 2 (4), 146-148.

Øvstedal, D., Tønsberg, T., Elvebakk, A. The lichen flora of Svalbard // *Sommerfeltia*, 2009. 33, 3.

Schuster, R. M. Problems of antipodal distribution in lower land plants // *Taxon*, 1969. 18(1), 46-91.

Shiryayev, A. G., Mukhin, V. A. Clavarioid-type fungi from Svalbard: their spatial distribution in the European High Arctic // *North American Fungi*, 2010. (5), 67-84.

Świąć, F., Karczmarz, K. Bryophytes collected in arctic tundra of the Logne region (Western Spitsbergen) in 1988 // *Spitsbergen geographical expeditions. Polar Session “Arctic environment research”*, 1991. 145-162.

Мероприятие 14 выполнено полностью.

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

Мероприятие 15. Сейсмический и инфразвуковой мониторинг опасных природных явлений на архипелаге Шпицберген

Основная цель исследований – детализация представлений об опасных природных процессах, происходящих в литосфере и криосфере высокоширотной Арктики на основе данных регистрации сейсмических и низкочастотных акустических (инфразвуковых) сигналов, а также контроль уровня геодинамического риска в районе размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь» и российских поселков на архипелаге Шпицберген.

Задачи, поставленные в 2025 г.:

1. Поддержание работоспособности российской сети сейсмических и инфразвуковых наблюдений на геофизических полигонах в п. Баренцбург и Пирамида.

2. Сбор, обработка и накопление в базе данных ФИЦ ЕГС РАН результатов сейсмологического и инфразвукового мониторинга импульсных сигналов, генерируемых деструктивными процессами в криосфере и литосфере архипелага и прилегающих акваторий за 2025 год.

3. Развитие на базе собираемых данных методологических основ дистанционного геофизического контроля наиболее опасных типов деструктивных процессов в криосфере – отколы айсбергов, подвижки ледников, обрушения и оползни, взрывные выбросы метана при нарушении стабильности газогидратных резервуаров.

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

5. Проведение экспедиционных работ для регламентного обслуживания станций.

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

Сейсмический мониторинг района архипелага Шпицберген

В 2025 году продолжался непрерывный мониторинг сейсмичности на архипелаге Шпицберген и в прилегающей части европейского сектора Арктики. Также продолжались работы по инфразвуковым наблюдениям на архипелаге Шпицберген.

Работы выполнялись в рамках темы НИР «Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген». Для указанных работ использовались данные сети станций ФИЦ ЕГС РАН на Шпицбергене, расположенных в пос. Баренцбург, а также данные станций зарубежных сейсмологических организаций: Университет Бергена (Норвегия), NORSAR (Норвегия), Институт геофизики Польской академии наук. Карта сети использованных станций приведена на рисунке 15.1.

В 2025 году сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН была выполнена одна экспедиция на Шпицберген с целью технического обслуживания геофизического оборудования для поддержания работоспособности

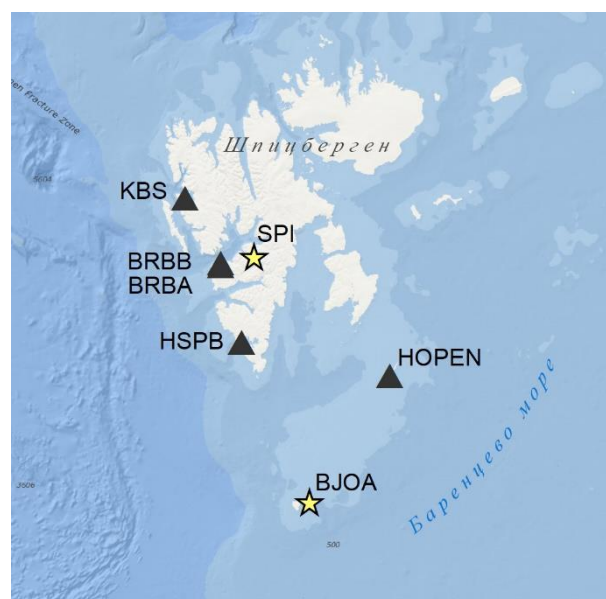


Рисунок 15.1 – Карта сейсмических и инфразвуковых станций международной сети сейсмического и инфразвукового мониторинга на арх. Шпицберген

российского сегмента региональной сейсмологической сети. В ходе экспедиционных работ был выполнен комплекс сервисных работ на оборудовании сейсмической станции «Баренцбург А» и сейсмоинфраструктурном комплексе «Баренцбург Б».

По данным наблюдений в 2025 году (данные на 01.10.2025) зарегистрировано и обработано более 10 000 записей сейсмических событий различной энергии. Подавляющее большинство зарегистрированных сейсмических событий имели малые энергии (магнитуда $M_L < 1$) и ассоциировались со слабой тектонической сейсмичностью и процессами разрушения ледников Шпицбергена. На рисунке 15.2 представлена карта эпицентров умеренных и относительно сильных сейсмических событий, зарегистрированных в 2025 году, с магнитудой $M_L > 1$.

По данным наблюдений в 2025 году наиболее сейсмоактивной зоной оставалась область океанического дна вдоль Срединно-Атлантического хребта (хребет Мона, хребет Книповича, Шпицбергенская зона разломов, хребет Гаккеля). Также высокая интенсивность тектонической сейсмичности отмечена в зоне пролива Стур-фьорд и о. Северо-Восточная Земля.

На рисунке 15.3 представлено расположение эпицентров сильнейших землетрясений региона с магнитудой $M_L \geq 3$. Таких событий в 2025 году зарегистрировано 30. Большинство эпицентров сильнейших землетрясений приурочено также к зоне Срединно-Атлантического хребта и континентального склона.

Сильнейшее землетрясение региона произошло 22 мая 2025 года в 08:40:34 местного времени (6:40:34 UTC) на окраине Баренцевоморской шельфовой плиты всего в 23 км к западу от п. Баренцбург. Данное событие имело магнитуду $M_L = 4.7$, глубина гипоцентра 6 км, координаты эпицентра $77,972^\circ$ с.ш., $13,284^\circ$ в.д. Землетрясение ощущалось интенсивностью до 4-5 баллов на территории поселка и шахты Баренцбург. Запись данного события ближайшими региональными станциями приведена на рисунке 15.4.

В отчётный период продолжались наблюдения за сейсмическими проявлениями деструкции ледников архипелага Шпицберген. Наибольшая интенсивность таких процессов в 2025 году отмечается в районе залива Конгсфьорд на северо-западе о. Западный Шпицберген. В Конгсфьорд стекают пять крупных ледников. Во многом, доминирующее количество регистрируемых льдотрясений в этом районе обусловлено близким взаимным расположением

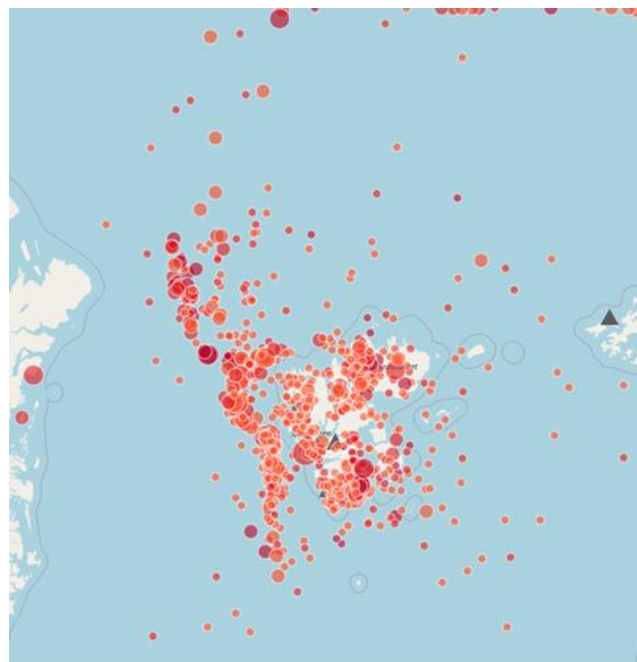


Рисунок 15.2 – Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген в 2025 г., $m_l > 1$ (по состоянию на 01.10.2025)

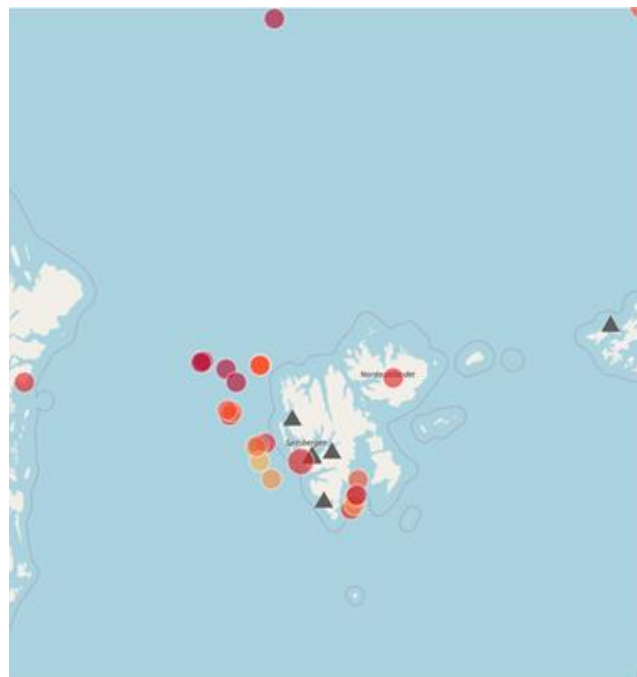


Рисунок 15.3 – Расположение эпицентров сильнейших землетрясений региона с магнитудой $M_L > 3$

сейсмической станции KBS (Кингсбэй) и местных ледников, что обеспечивает регистрацию даже самых слабых сейсмических событий, порождённых ледниковой активностью. Также отмечены более компактные области проявления ледниковой сейсмичности, приуроченные к крупным выводным ледникам Хорнсунн-фьорда на юге, а также на восточном побережье о. Западный Шпицберген и в его центральной части.

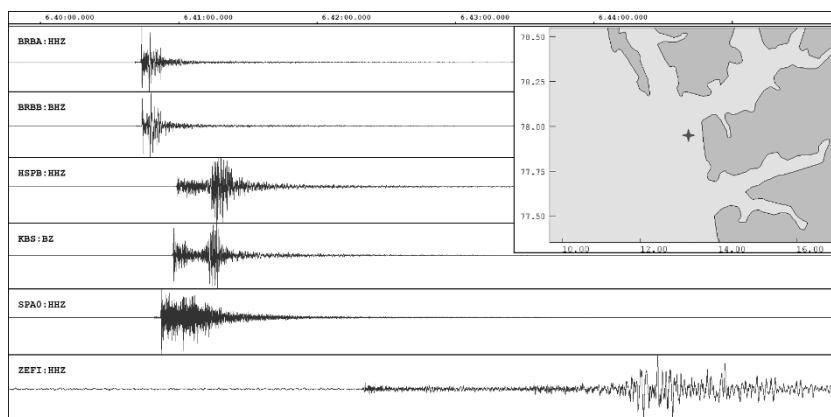


Рисунок 15.4 – Запись землетрясения 22 мая 2025 г. в 6:40:34 UTC, ML=4.7

Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»

В 2025 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения российского посёлка Баренцбург и одноименного угольного рудника государственного треста «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся по данным двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН (BRBA и BRBB), установленных вблизи шахты. За 9 месяцев 2025 года в районе размещения угольного рудника «Баренцбург» зарегистрировано 1382 сейсмических события. Годом ранее за аналогичный период времени количество таких событий составило 644.

Распределение количества зарегистрированных вблизи шахты «Баренцбург» сейсмических событий по месяцам 2025 года показывает традиционный прирост числа событий в летне-осенний период (рис. 15.5), что возможно обусловлено ростом обводнённости массива горных пород в результате увеличения и накопления жидких осадков.

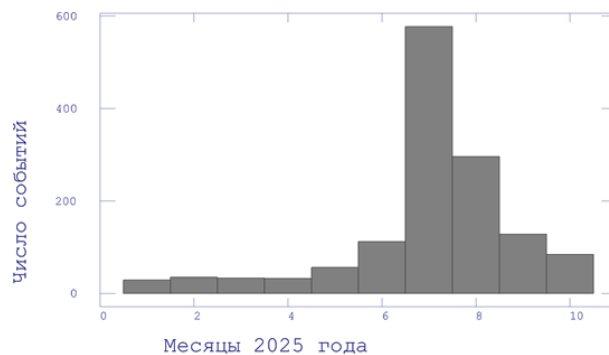


Рисунок 15.5 – Распределение количества сейсмических событий, зарегистрированных в районе размещения шахты «Баренцбург», по месяцам 2025 года

Стоит отметить, что магнитуды подавляющего числа упомянутых сейсмических событий были крайне малы ($m_l < 0$) и не представляли опасности для инфраструктуры шахты или объектов посёлка.

Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген

В отчётный период на архипелаге Шпицберген продолжались наблюдения за инфразвуковыми сигналами, распространяющимися в атмосфере. Наблюдения производились на сейсмо-инфразвуковой группе «Баренцбург Б» (BRBB). Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» расположена в 3 км к северу от пос. Баренцбург и состоит из трёх разнесённых в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции (рисунок 15.6).

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

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

За отчётный период инфразвуковой группой BRBB было обнаружено 651 инфразвуковых событие. Доминирующие направления указывают на терминальные части выводных ледников, расположенных на северном берегу Ис-фьорда и с большой долей вероятности порождены процессами деструкции этих ледников (рисунок 15.7).

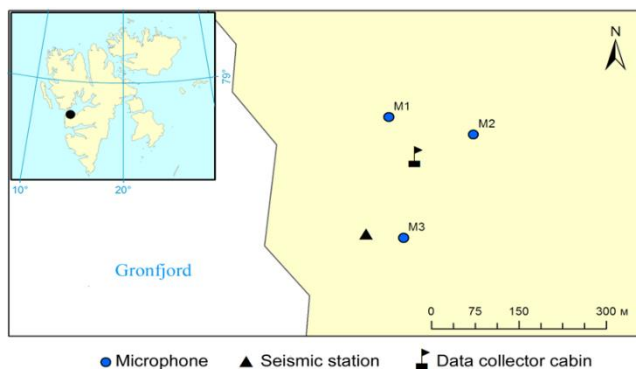


Рисунок 15.6 – Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург Б» на местности

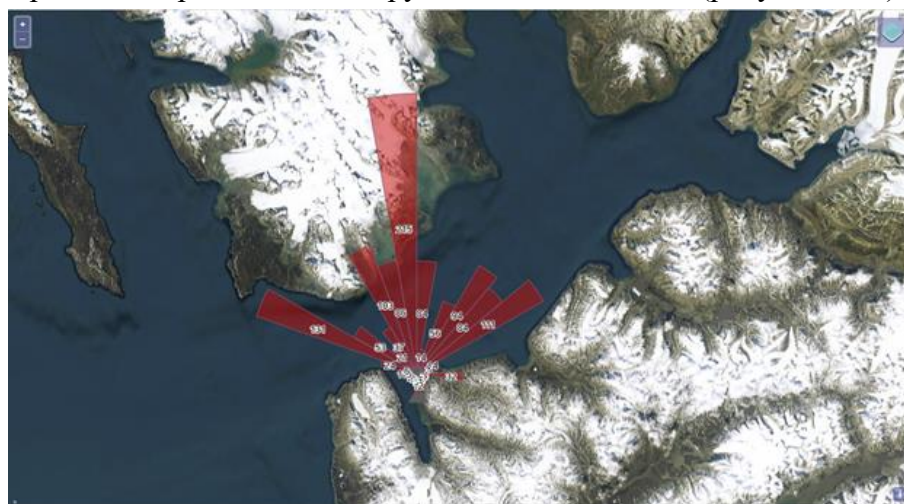


Рисунок 15.7 – Карта-график количественного распределения зарегистрированных в 2025 году группой «Баренцбург» инфразвуковых событий по азимутам на источник

Заключение

В ходе работ в 2025 году в рамках реализации Мероприятия 15 Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН непрерывно проводился мониторинг сейсмической обстановки и инфразвуковых сигналов в районе архипелага. По результатам мониторинга актуализирован каталог и схема пространственного распределения землетрясений в контролируемом регионе, получена детальная пространственно-временная характеристика сейсмического процесса архипелага Шпицберген.

Пополнены базы данных сейсмических событий, ассоциируемых с процессами деструкции ледников Шпицбергена.

Проведена оценка геодинамического риска в районе расположения посёлка и шахты Баренцбург. В указанном районе уровень сейсмической активности оставался на низком уровне. Одно ощутимое землетрясение зарегистрировано в отчетный период. Данное событие произошло 22 мая в 8:40 по местному времени, магнитуда события составила 4.7 ед. локальной шкалы, интенсивность сотрясений в пос. Баренцбург – 4-5 баллов шкалы МСК-64.

Выполнена одна экспедиция на архипелаг группой в составе двух человек, продолжительностью 9 дней. В рамках экспедиции выполнено обслуживание и ремонт аппаратуры сейсмического и инфразвукового мониторинга.

Результаты исследований опубликованы:

Федоров А.В., Баранов С.В., Асминг В.Э., Федоров И.С. Наблюдения активизации ледника Бломстранд на севере о. Западный Шпицберген по данным одиночной сейсмической станции // Физика Земли. 2025. № 4, С. 80–92. DOI: 10.31857/S0002333725040066

Федоров А. В., Асминг В. Э., Виноградов Ю.А., Федоров И. С., Пятунин М.С. Новый пункт геофизического мониторинга в высокоширотной Арктике – сейсмоинфразвуковая группа на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа // Russian Journal of Earth Sciences, 2025 (в печати)

Морозов А.Н., Антоновская Г.Н., Асминг В.Э., Баранов С.В., Ваганова Н.В., Виноградов Ю.А., Конечная Я.В., Старкова Н.Н., Федоров А.В., Шibaев С.В. Сейсмичность Арктики в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии, 2025. Вып. 28 (2021). DOI: 10.35540/1818-6254.2025.28

Асминг В.Э., Баранов С.В., Асминг С.В. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2023 году: Ежегодник. – Обнинск: Единая геофизическая служба РАН, 2025. С. 136-138.

Асминг В.Э., Баранов С.В., Ковалева И.С. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2023 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2025. С. 200.

Морозов А.Н., Антоновская Г.Н., Асминг В.Э., Баранов С.В., Ваганова Н.В., Виноградов Ю.А., Дуленцова Л.Г., Конечная Я.В., Старкова Н.Н., Федоров А.В., Шibaев С.В. Арктика // Землетрясения России в 2023 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2025. С. 42-46.

Морозов А.Н. (отв. сост.), Баранов С.В., Ваганова Н.В., Дуленцова Л.Г., Конечная Я.В., Старкова Н.Н. Арктика // Землетрясения России в 2023 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2025. С. 163-164.

И представлены на конференциях:

Федоров А.В. Геофизический мониторинг опасных природных процессов в Арктике // XXVI уральская молодежная научная школа по геофизике. Пермь. 17-20 марта 2025. <http://pts.mi-perm.ru/conf/>

Федоров А.В. Результаты изучения сейсмической активизации ледника Бломстранд, о. Западный Шпицберген // XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025». 23-24 октября 2025. г. Мурманск. <https://mmbi.info/konferencii/xvi-mezhdunarodnaya-nauchnaya-konferenciya-kompleksnye-issledovaniya-prirody-shpicbergena-i-prilegayushhego-shelfa-2025/>

Мероприятие 15 выполнено полностью.

Полярный геофизический институт (ПГИ)

Мероприятие 16. Проведение наблюдений за электромагнитным полем и потоками высыпающихся частиц на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высоких широтах атмосферы Земли

Обеспечение российского научного присутствия на архипелаге Шпицберген является одним из стратегических приоритетов в политике Российской Федерации в Арктике. Уникальное положение архипелага Шпицберген позволяет проводить на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург» непрерывные долговременные и регулярные стационарные наблюдения за магнитными и оптическими явлениями, происходящими в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной атмосферы, что является основой для исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

Целью работ являлось изучение и описание процессов, протекающих в высокоширотной ионосфере и атмосфере Арктической зоны (архипелаг Шпицберген), геофизические процессы и явления, солнечно-земных связей, а также электромагнитных полей в широком частотном диапазоне.

В 2025 году в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проводились непрерывные долговременные стационарные наблюдения за магнитными и оптическими явлениями, которые являются основой для исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

Задачами стационарных наблюдений являлись:

- Исследование развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной ионосферы на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург»;
- Исследование естественных резонансных структур в широком диапазоне;
- Исследование характеристик космических лучей;
- Исследование параметров высокоширотной ионосферы;
- Исследование характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

Стационарные наблюдения в обсерватории ПГИ «Баренцбург» в 2025 году проводились в полном объеме. Научный руководитель темы: заместитель директора по научной работе, к.ф.-м.н. Орлов Константин Геннадьевич, e-mail.: orlov@pgia.ru

В 2025 г. сотрудниками института в поселке Баренцбург также проведено техническое обслуживание оборудования обсерватории ПГИ «Баренцбург», его настройка (в том числе ремонт некоторых вышедших из строя деталей, выборочная калибровка и тестирование) и отладка после обслуживания. Установлено новое оборудование. Проведен комплекс мероприятий и работ по подготовке объектов инфраструктуры обсерватории ПГИ «Баренцбург» к их эксплуатации в осенне-зимнем периоде 2025/2026 г.

Научные исследования

Галахов А.А. Примеры измерения импульсной компоненты электромагнитного поля ОНЧ-диапазона на фоне сейсмической активности // Современная электроника. 2025. N 7. С.39-43:

В работе приводятся экспериментальные данные импульсной компоненты естественного электромагнитного поля ОНЧ-диапазона (И.К. Э-М. П.), зарегистрированного на авроральной обсерватории ПГИ Баренцбург (78,08°, 14,2°; арх. Шпицберген), магнитограмм геомагнитного поля Земли, полученных на норвежской авроральной станции LYR TGO (78,20°, 15,82°; арх. Шпицберген), и сейсмические данные норвежской сети NORSAR.

В качестве примера приведены синхронные записи двух массивов 01–10.11.2019 и 01–10.11.2021 экспериментальных данных И.К. Э-М. П., магнитограмм земного поля, которые сопоставляются во времени с моментами начала землетрясений. Высказано предположение, что рассматриваемые импульсные излучения, которые значительно (в 3–9 раз) превосходят по амплитуде поле атмосфериков, являются результатом сейсмических событий (пьезоэлектрический эффект).

В качестве приёмно-регистрирующей аппаратуры использованы два приёмника ОНЧ-диапазона (400...7500 Гц) со взаимно ортогональным расположением приёмных рамочных антенн и последовательный анализатор спектра импульсных сигналов. Аппаратура была разработана в ПГИ (г. Апатиты), выполнена на основе программируемых аналоговых (AN221E04) и цифровых (PIC18F452) интегральных микросхем. Данная структура построения аппаратуры дала возможность реализовать режим динамической реконфигурации ПАИС, что позволило в реальном времени менять функциональную схему устройства и его технические характеристики, тем самым получать высокую точность и стабильность результатов обработки исследуемых сигналов.

Balabin Yu.V., Gordienko A.N., Mingalev I.V. Some aspects of the development of cosmic ray monitoring in the Svalbard archipelago at the present stage // Russia-UAE conference on applied and interdisciplinary research: Proceedings of the International University Scientific Forum, UAE, 18 июня 2025 года. UAE: Инфинити, 2025. P. 151-158. DOI: 10.34660/INF.2025.20.97.001:

В статье представлен обзор геофизических исследований, проведенных (с 2000 года - непрерывно) сотрудниками Полярного геофизического института (ПГИ) на самой северной в мире геофизической станции, расположенной в поселке Баренцбург на архипелаге Шпицберген (78°04' северной широты. 14°13' восточной долготы). Исследования ПГИ сосредоточены на компонентах вторичных космических лучей (ВКЛ), которые оказывают наибольшее воздействие на атмосферу и подстилающую поверхность. Значительное внимание уделяется мягкой составляющей ВКЛ – γ -излучению, которое генерируется в атмосфере космическими лучами (КЛ). Это излучение, которое сильно поглощается атмосферой, может служить надежным инструментом для изучения процессов в атмосфере. ВКЛ рассматривается как индикатор состояния γ -излучения, которое, в свою очередь, определяет некоторые факторы безопасности жизни и деятельности человека. Заявлена необходимость развития российской сети мюонных телескопов и установки такого оборудования в самой северо-западной точке российских научных исследований. Развитие аппаратной инфраструктуры ПГИ в исследовательском районе на архипелаге Шпицберген позволит получать ценные данные об изменениях потоков КЛ и их модуляции в районе северного полюса эклиптики, что, несомненно, обогатит гелиогеофизический сегмент как российской, так и мировой науки.

Никитенко А.С., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г. Анализ пространственной динамики аврорального хисса и продольных токов по данным наблюдений в обсерватории Баренцбург и проекта AMPERE // Известия РАН. Серия физическая, 2025, том 89, № 5, с. 745–752:

Представлены результаты анализа положения области у земной поверхности, засвеченной авроральным хиссом, по данным наблюдений в обсерватории Баренцбург (ВAB). Полученные результаты сопоставлены с положением области усиления продольных токов, установленным по наблюдениям спутникового проекта AMPERE, и положением полярных сияний по данным all-sky камеры в ВAB. Обнаружено событие, когда одновременно существует две разнесенные области усиления продольных токов, при этом гистограммы распределения азимутальных углов прихода в ВAB имеют два максимума, соответствующих направлению прихода волн в точку наблюдений со стороны этих областей. Также обсуждается событие перемещения области засветки хисса по долготе с востока на запад одновременно с перемещением пятна сияний и области продольных токов в том же направлении, а также событие одновременного смещения области засветки и области усиления вытекающих продольных токов вниз по широте, в сторону авроральных широт. По результатам

проведенного анализа сделан вывод о возможной связи появления хисса у земной поверхности с положением продольных токов и их присутствием.

Despirak I.V., Kleimenova N.G., Lubchich A.A., Setsko P.V., Malysheva L.M. “Polar” Substorms During Slow Solar Wind // Journal of Geophysical Research: Space Physics, 130, e2024JA033555. DOI: 10.1029/2024JA033555:

“Полярные” суббури идентифицируются как суббуревые возмущения, которые наблюдаются только на высоких геомагнитных широтах ($>70^\circ$ геомагнитной широты) при отсутствии возмущений на более низких широтах. Хотя “полярные” суббури обычно возникают в спокойные периоды, до сих пор неясно, могут ли они развиваться в экстремально спокойных геомагнитных условиях, когда геоэффективные параметры космической погоды очень низки. По данным сети IMAGE в долготном секторе архипелага Шпицберген ($\approx 108-114^\circ$), мы исследовали 92 «экстремально спокойных геомагнитных» интервала с 2010 по 2020 год, которые были связаны с интервалами экстремально медленного солнечного ветра (ESSWs, $V < 300$ км/с). Мы обнаружили, что «полярные» суббури могут возникать во время ESSW, но только при наличии отрицательной компоненты B_z ММП. Всего было выявлено 32 таких события из 17 интервалов ESSW ($\approx 19\%$ от всех интервалов ESSW). При этом «полярные» суббури во время ESSWs обладают основными признаками обычных суббурь: они сопровождаются геомагнитными Pi1B пульсациями, положительными магнитными бухтами в средних и субавроральных широтах, движением западного электроджета и полярных сияний к полюсу на фазе экспансии. Кроме того, было обнаружено, что большинство «полярных» суббурь во время ESSW ($\approx 82\%$) были изолированными событиями, развивавшимися только в вечернем секторе без других суббуревых возмущений в иных долготных секторах. Более подробно рассмотрено несколько примеров «полярных» суббурь во время ESSW.

Работа сектора космических лучей ПГИ на станции космических лучей в Баренцбурге

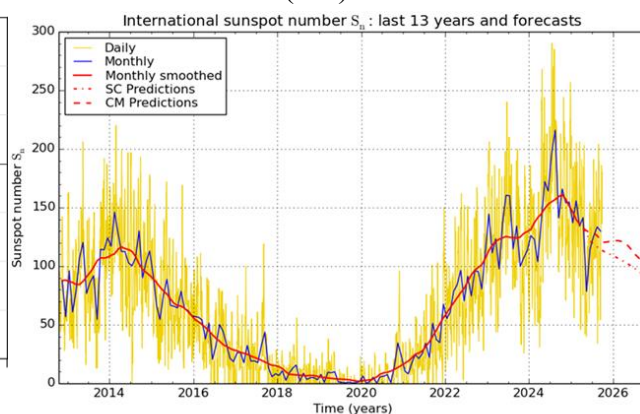
В Апатитах и Баренцбурге проводится мониторинг космических лучей лабораторией Космических лучей ПГИ. Мониторинг выполнялся в различных компонентах вторичных КЛ, что повышает достоверность получаемых данных, а также позволяет изучать влияние атмосферных процессов на разные компоненты. На станции Баренцбург мониторинг естественного гамма-излучения проводится в трех пунктах, разнесенных до 4 км.

Регистрация космических лучей с помощью нейтронного монитора:

Нейтронный монитор (НМ) в Баренцбурге продолжал работать в непрерывном режиме, обеспечивая ПГИ данными о потоках КЛ, приходящих из области северного полюса эклиптики. Данные поступали на сервер в Апатитах. Рисунок 16.1 представляет вариации КЛ за 2013-24 г., охватывающие 24 и 25 циклы солнечной активности (СА).



Рисунок 16.1 – Вариации счета нейтронного монитора в Баренцбурге на протяжении 24-го и 25-го солнечных циклов (2013-2025) г. Суточное усреднение



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2025 October 3

Рисунок 16.2 – Показатель активности Солнца: количество солнечных пятен на протяжении 2013-2025 г. Как видим, СА в 25-м году явно пошла на спад. Среднемесячные значения

Видно, что 25-й цикл существенно сильнее 24-го (поток КЛ в 25-м значительно меньше в максимуме, чем в максимуме 24-го). Кроме того, данные КЛ показывают, что текущий цикл СА прошел максимум, активность пошла на спад. Это подтверждают и данные наблюдений солнечных пятен (см. рис. 16.2).

Вариации потоков КЛ в 2024-25 г. в Баренцбурге показаны на рисунке 16.3. Интенсивность КЛ достигла минимума и наметился рост, что указывает на то, что СА находится на фазе спада. Отметим, что данные о СА по КЛ являются «интегральными». На потоки КЛ влияет общее состояние гелиосферы, начало роста КЛ говорит о том, что большая часть ее находится уже не в столь возмущенном состоянии, как в максимуме СА. В 2025 г. зарегистрированы два Форбуш-эффекта, превысившие 10%, один более 8%. На Земле эти форбуш-понижения сопровождались сильными магнитными бурями. Также 07.09.25 на сети нейтронных мониторов (в том числе в Баренцбурге) зарегистрирован необычный эффект: внезапное падение интенсивности КЛ на 15% и восстановление прежнего уровня спустя 2-4 часа. Регистрация его мировой сетью НМ указывает, что это не локальный эффект, а тот факт, что он наблюдался на НМ, у которых жесткость обрезания составляет 5-10 ГВ, указывает, что эффект также не может иметь магнитосферное происхождение: магнитосфера Земли не способна удержать или значительно изменить поток частиц с такими энергиями.

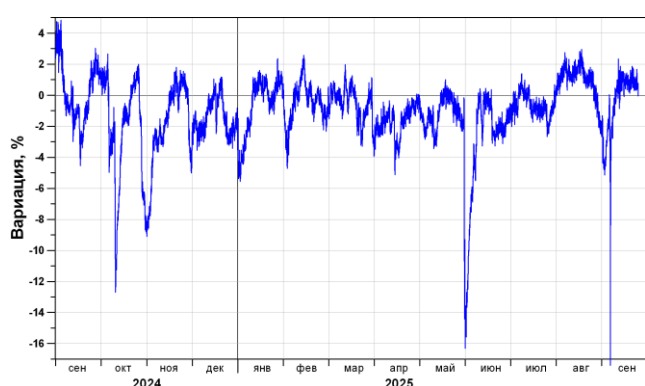


Рисунок 16.3 – Вариации счета НМ в Баренцбурге в течение 2025 г. Произошло несколько сильных форбуш-понижений. Часовое усреднение

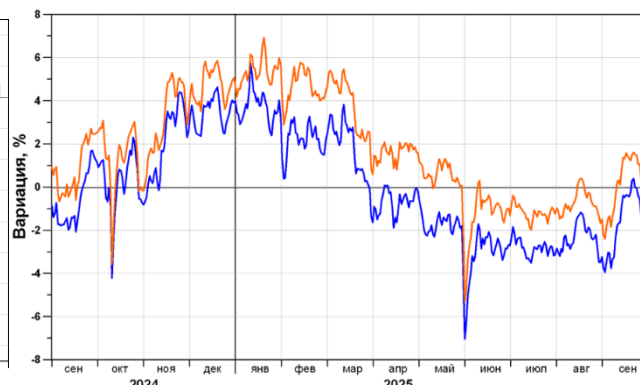


Рисунок 16.4 – Вариации потоков заряженной компоненты КЛ на ст. Баренцбург в течение 2024-25 г. по данным мюонного телескопа. Вариации потока электронов сдвинуты на 2% вверх. Суточное усреднение. Синяя линия – потоки мюонов, оранжевая – поток заряженной компоненты по данным верхней пластины

Важной частью потока вторичных космических лучей являются мюоны. Лабораторией Космических лучей в Апатитах и в Баренцбурге установлены мюонные телескопы (МТ). Мюоны представляют собой заряженную компоненту высокой проникающей способности. Она вызывает ионизацию атмосферы. Ионизация создает проводимость атмосферы, а также приобретшие заряд частицы аэрозоля образуют центры конденсации водяного пара, что ведет к формированию облачности. Верхняя пластина МТ служит детектором заряженных частиц всех типов (мюоны, электроны, позитроны), а схема совпадений выделяет из общего потока высокоэнергичные мюоны.

На рисунке 16.4 показаны вариации потоков легких частиц и мюонов в течение года. Они примерно совпадают, поскольку электроны и позитроны производятся распадающимися мюонами, однако, в некоторые периоды могут различаться в силу разного воздействия толщи атмосферы. Наблюдается типичная сезонная вариация, связанная с разным состоянием атмосферы зимой и летом. На профиле потоков мюонов присутствуют Форбуш-эффекты, созданные вспышками на Солнце. В силу того, что МТ имеют эффективный диапазон энергии 50-100 ГэВ, Форбуш-эффект на них проявляется в меньшей степени. Так Форбуш-эффект 01.06 на НМ вызвал падение КЛ на ~15 %, а на МТ всего ~5 %.

Мониторинг мягкой электромагнитной компоненты КЛ

ПГИ проводит мониторинг мягкого гамма-излучения (20-600 кэВ), возникающего в приземном слое атмосферы от космических лучей. Мягкая электромагнитная компонента (ЭМК) подвержена влиянию метеорологических и других местных процессов, происходящих в атмосфере. Целью этих наблюдений является изучение воздействия метеорологических процессов в атмосфере на мягкую электромагнитную компоненту с возможностью в последующем использовать естественное гамма-излучения для получения информации и процессах в атмосфере. Баренцбург служит в качестве эталонной точки наблюдения, поскольку архипелаг подвержен минимальному антропогенному воздействию. За 2025 г. зарегистрировано несколько возрастаний потока гамма-излучения во время осадков. В 2024 г. наблюдения за ЭМК были расширены. Дополнительный детектор гамма-излучения, аналогичный работающему на станции космических лучей, был установлен на плато над Баренцбургом, разность высот составила 200 м. Также на расстоянии около 4 км был установлен спектрометр гамма-излучения в диапазоне 0,1-6 МэВ, имеющий выходные интегральные каналы, близкие к первым двум детекторам. Это позволяет сравнить события возрастаний ЭМК в трех различных точках, имеющих различную высоту над уровнем моря. На рисунке 16.5 показаны профили возрастаний на двух детекторах и спектр во время возрастания.

Дифференциальный спектр, полученный во время возрастания 21.09.25 в Баренцбурге, показывает, что при возрастании линии каких-либо радионуклидов не появляются на спектре. Это означает, что в осадках отсутствуют радионуклиды в значимых количествах. На спектре присутствуют только линия аннигиляции позитронов 511 кэВ, линия калия-40 (1460 кэВ) и таллия-208 (2600 кэВ). В основном спектр образован непрерывной убывающей зависимостью, соответствующей тормозному излучению.

Работа сектора оптических методов ПГИ в Баренцбурге

Подготовка к сезону 2025–2026 гг. геофизических наблюдений на арх. Шпицберген производилась для обеспечения непрерывности работы оборудования в условиях ограниченной логистики и автономности. Сотрудники выезжали на архипелаг с целью профилактики и ремонта систем сбора электромагнитных и оптических данных, восстановления работоспособности измерительных каналов ОНЧ-приемника с последующей калибровкой, изготовления и установки риометрической фазированной антенной решётки размерностью 2×2 элемента для получения более узкой диаграммы направленности (ДН) с

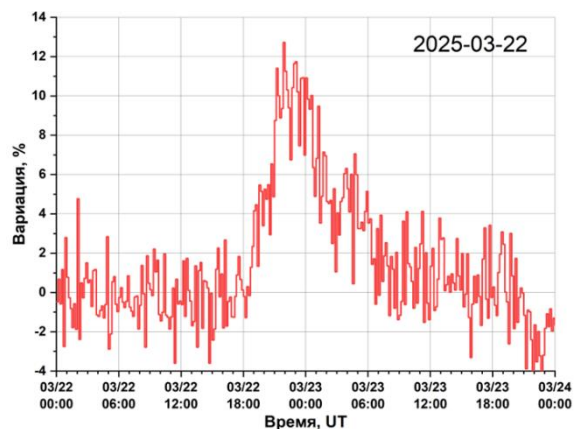


Рисунок 16.5 – Профиль возрастания в Баренцбурге. Основной детектор

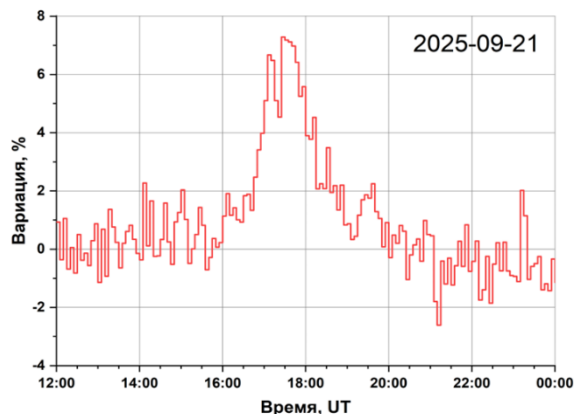


Рисунок 16.6 – Профиль возрастания, полученный по интегральным каналам спектрометра

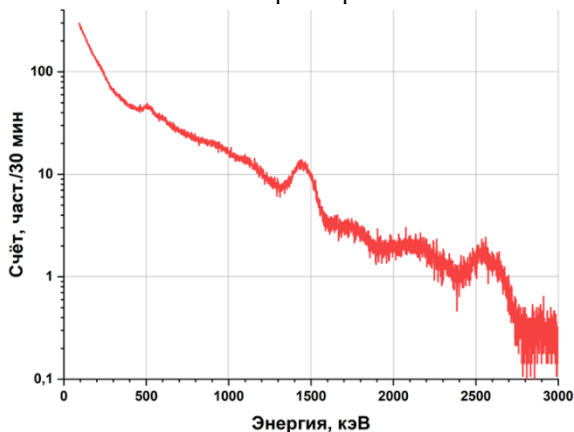


Рисунок 16.7 – Дифференциальный спектр гамма-излучения в диапазоне 0,1-3 МэВ во время события возрастания 21.09.25

низкими боковыми лепестками ДН для повышения помехоустойчивости, а также проведения общих инфраструктурных мероприятий.

Техническое обслуживание систем сбора электромагнитных данных

Проведен полный осмотр антенной системы ОНЧ-приемника и проведено профилактическое ТО. Внешних дефектов на кабельной линии антенны Ez и на узлах её подключения и собственно антенны не обнаружено.



Рисунок 16.8 – ТО кабельной линии антенны Ez и точек её подключения и профилактика узлов крепления магнитных рамочных антенн

Рисунок 16.9 – Состояние антенной системы ОНЧ приемника после проведения ТО

Калибровка измерительных каналов проводилась по методике, применявшейся ранее: амплитудно-фазовые характеристики измерялись при помощи разработанного в ПГИ автономного калибровочного устройства, фаза выходного сигнала которого синхронизирована с универсальным координированным временем, предоставляемым приемником GPS/ГЛОНАСС. Измерения выполнялись с учётом всех задержек процессов в ЦАП генератора и АЦП приемника.

Выполнена *калибровка магнитных рамочных антенн* ОНЧ-приемника. Для калибровки была использована новая однослойная тороидальная катушка круглого сечения с воздушным сердечником: число витков – 111; внутренний диаметр 50 мм; внешний – 110 мм; диаметр медного проводника 1 мм (с изоляцией). Схема подключения и пространственная ориентация относительно рамочных антенн выполнены аналогично прошлому году: клеммы тороида запитывались от автономного калибровочного генератора через ограничивающий ток резистор (550 Ом), калибровочный магнитный поток формировался в направлении северо-восток и был пропорционален опорному напряжению генератора.

Калибровка вертикальной электрической антенны выполнена следующим образом: калибровка канала Ez в составе с «Основным» предусилителем по стандартной методике: АЧХ и ФЧХ антенны измерялись с точностью до постоянного коэффициента, подавая на вход усилителя через конденсатор гармонический сигнал от генератора.

В результате калибровки получены согласованные с прошлогодними измерениями АЧХ и абсолютные ФЧХ, не содержащие признаков неисправности измерительных трактов или нестабильности их коэффициентов передачи. Это дополнительно подтверждает работоспособность восстановленного канала Ez и каналов магнитных рамочных антенн. ОНЧ приемник подготовлен к эксплуатации в новом наблюдательном сезоне 2025-2026, общее техническое состояние удовлетворительное.

КНЧ приемник. Выполнена ревизия линии подключения магнитных индукционных датчиков и мест их установки. Кабельная прокладка полностью под слоем грунтовой защиты, крышки колодцев в удовлетворительном состоянии. Контроль качества данных, осуществлявшийся удалённо, в течение предыдущего периода наблюдений, не выявил деградации сигнала; характерные динамические спектры сохраняли стабильную структуру. Дополнительных вмешательств в измерительный тракт не потребовалось.

Система регистрации компонент магнитного поля в КНЧ диапазоне работала штатно, датчики и линия подключения к регистратору в удовлетворительном состоянии, дополнительные вмешательства в работу приёмника не проводились.

Контейнер оптический многофункциональный (КОМ) и его системы для размещения и функционирования оптической аппаратуры обсерватории обследован: конструкции КОМ, бетонных опор, лестниц, кабельной сети, блистеров, кронштейнов блендирующих экранов. Обследование показало удовлетворительное состояние вертикальных поверхностей конструкции КОМ и рабочее помещение (см. рис.16.10).



Рисунок 16.10 – КОМ: внешний вид и рабочее помещение

Техническое обслуживание камеры всего неба (КВН)

В качестве камеры всего неба использован прибор КВН-07м15.17 обс. «Ловозеро». Прибор смонтирован, установлен, сориентирован и отгоризонтирован, настроен, оттестирован по искусственным источникам, интегрирован в обсерваторскую систему сбора (рис. 16.11). Сняты технологические параметры камеры прибора: темновых кадров, параметры «электронного нуля» матрицы камеры, линейности камеры в рабочем динамическом диапазоне для всех планируемых режимов работы. Сняты технологические параметры оптической системы КВН – т.н. «плоское поле». Технические характеристики КВН-07м15.17 приведены в таблице 16.1.

Таблица 16.1 – Технические характеристики КВН

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	180 °	
Формат матрицы	800×800 пикс	Возможно 1200×1200
Угловое разрешение	0,225 °	возможно 0,15°/пикс
Рабочий спектральный диапазон	400-690 нм	
Динамический диапазон	14 бит	
Скорость следования кадров	1 кадр/с	стандартная
Тип данных	RGB	панхром. возможен
Порог чувствительности	100 рэлей	для 557,7 нм
Информац. поток	1,28 Мбайт/с	для 1 кадр/с
Интервалы работы	09.09–01.04	при зенитном угле ≥97 град



Рисунок 16.11 – слева направо: общий вид КВН, КВН под блистером, вид на блистер КВН, кадр КВН

Техобслуживание меридионального аврорального спектрометра общего назначения (МАСон)

МАСон-10м14.19, отработавший сезон 2024-25 гг. демонтирован, проведена чистка оптики, электрических контактов, очистка и смазка вентиляторов. МАСон заново смонтирован, установлен, настроен, оттестирован, прибор интегрирован в обсерваторскую систему сбора данных (рис. 16.12). Сняты технологические параметры камеры прибора: темновых кадров, параметры электронного «нуля» матрицы камеры, линейности камеры в рабочем динамическом диапазоне для всех планируемых режимов работы. Сняты технологические параметры оптической системы: т.н. плоского поля и распределение интегральной освещённости вдоль саггитальной плоскости.

Таблица 16.2 – Технические характеристики КВН

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	180×0,5°	180° вдоль меридиана
Формат матрицы	360×720 пикс	возможно 360×1440
Угловое разрешение	0,5 °	
Рабочий спектральный диапазон	415-670 нм	возможно 385-770 нм
Динамический диапазон	1,0 нм	
Скорость следования кадров	14 бит	зависит от усиления
Тип данных	1 кадр/мин	
Порог чувствительности	300 рэлей	для 557,7 нм
Информац. поток	0,0146 Мбайт/с	для 1 кадр/мин
Интервалы работы	09.09-01.04	при зенитном угле ≥97 град

Отмечена нестабильность работы усилителей камеры прибора, указывающая на потенциально возможную, в обозримом будущем, критическую неисправность. Прибор переведен в щадящий режим работы при пониженном уровне усиления в его камере. Технические характеристики МАСон-10м14.19 приведены в таблице 16.2.



Рисунок 16.12 – слева направо: общий вид МАСон, МАСон под блистером, вид на блистер МАСон, кадр МАСон

Техобслуживание панорамной узкоугольной камеры (ПУК)

ПУК53-09м18.23, отработавшая сезон 2024-25 гг. демонтирована, проведена чистка оптики, электрических контактов. ПУК заново смонтирована, установлена, сориентирована и отгоризонтирована, настроена, оттестирована, интегрирована в систему сбора данных. Проведено снятие технологических параметров камеры прибора: темновых кадров, параметры электронного «нуля» матрицы камеры, линейности камеры в рабочем динамическом диапазоне для всех планируемых режимов работы. Сняты технологические параметры оптической системы - т.н. плоского поля. Технические характеристики ПУК53-09м18.23 приведены в таблице 16.3. На рисунке 16.13 показан пункт размещения ПУК, размещение камеры и вид системы сбора данных, а также пример кадра ПУК.

Таблица 16.3 – Технические характеристики КВН

Параметр	Значение	Комментарии
Угол поля зрения	44×33,5×53,5°	
Формат матрицы	780×580 пикс	
Угловое разрешение	0,06 °/пикс	
Рабочий спектральный диапазон	400-780 нм	
Динамический диапазон	14 бит	
Скорость следования кадров	1 кадр/сек	стандартная
Тип данных	RGB	панхром. возможен
Порог чувствительности	100 рэлей	для 557,7 нм
Информац. поток	1,28 Мбайт/с	для 1 кадр/с
Интервалы работы	09.09– 01.04	при зенитном угле ≥97 град

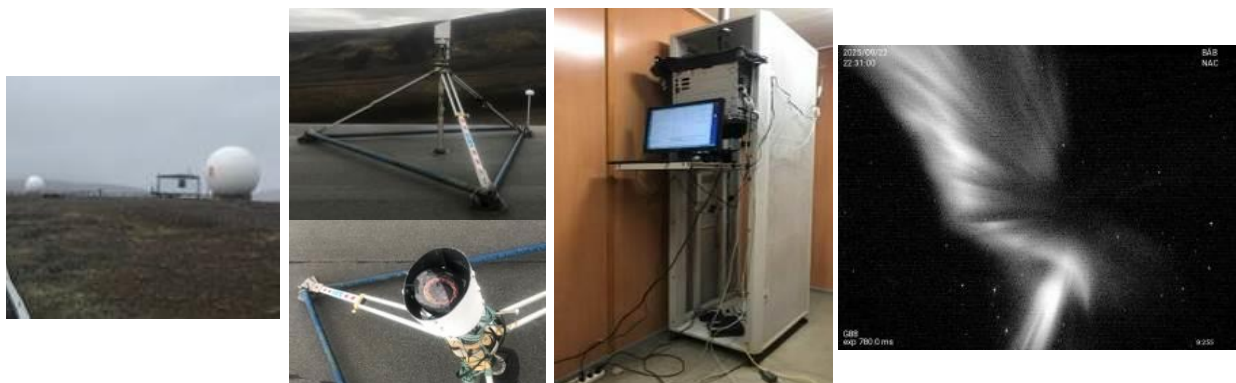


Рисунок 16.13 – слева направо: площадка антенных постов спутниковой связи – пункт размещения ПУК, размещение ПУК на крыше технического здания наземной спутниковой станции ААНИИ, общий вид ПУК, система сбора данных и кадр ПУК

Таким образом в результате работ на научной станции «Баренцбург» арх. Шпицберген была произведена подготовка электромагнитной и оптической аппаратуры к наблюдательному сезону 2025-2026. Изготовлена и установлена согласованная антенная решетка для проведения риометрических наблюдений. Проведена модернизация и профилактика оптической аппаратуры и антенно-фидерных систем электромагнитной аппаратуры. Обновлено операционные системы, произведена профилактика компьютерного парка обсерватории. Аппаратура и оборудование обсерватории «Баренцбург» готово к наблюдательному сезону 2025-26 гг.

По результатам исследовательских работ опубликованы статьи:

Галахов А. А. Примеры измерения импульсной компоненты электромагнитного поля ОНЧ-диапазона на фоне сейсмической активности // Современная электроника. 2025. N 7. С. 39-43.

Balabin Yu.V., Gordienko A.N., Mingalev I.V. Some aspects of the development of cosmic ray monitoring in the Svalbard archipelago at the present stage // Russia-UAE conference on applied and interdisciplinary research: Proceedings of the International University Scientific Forum, UAE, 18 июня 2025 года. – UAE: Инфинити, 2025. P. 151-158. DOI: 10.34660/INF.2025.20.97.001

Никитенко А.С., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г. Анализ пространственной динамики аврорального хисса и продольных токов по данным наблюдений в обсерватории Баренцбург и проекта AMPERE // Известия РАН. Серия физическая, 2025, том 89, № 5, с. 745–752.

Despirak I.V., Kleimenova N.G., Lubchich A.A., Setsko P.V., Malysheva L.M. “Polar” Substorms During Slow Solar Wind // Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2025. 130, e2024JA033555. DOI: 10.1029/2024JA033555

Мероприятие 16 выполнено полностью.

Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)

Мероприятие 17. Неинвазивные археологические методы в сохранении российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген

В 2025 году продолжены работы Шпицбергенского археологического отряда ИА РАН, ведущиеся на архипелаге Шпицберген с 1978 года. В 2025-2027 гг. археологические исследования осуществляются по теме «Неинвазивные археологические методы в сохранении российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген» и фокусируются на использовании неинвазивных археологических методов в сохранении российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген (№ НИОКТР 125010600057-3).

Основной целью исследований является изучение памятников освоения архипелага Шпицберген русскими промышленниками – поморами XVI/XVII – XIX вв., а также российскими научными экспедициями XVIII–XX вв. Отдельным направлением исследований является поиск и изучение известных объектов культурного наследия, связанным с угледобывающим производством. Помимо поиска и выявления ранее не изученных памятников, проводится мониторинг состояния ранее изученных памятников, фото- и топографическая фиксация их современного состояния, уточняются данные о местоположении и культурной принадлежности.

Задачи:

– проведение археологических разведок и обследований с целью выявления и мониторинга состояния известных памятников поморской культурной принадлежности (становища, погребения, остатки крестов, судовое дерево);

– обследование известных памятников, связанных с деятельностью российских научных экспедиций XVIII–XX вв.;

– исследование объектов на Шпицбергене, связанных с русским и зарубежным угледобывающим производством конца XIX – первой половины XX века;

– определение геоморфологических особенностей расположения на архипелаге поморских памятников;

– фотофиксация обследованных объектов с помощью перспективной фотосъемки с малых высот;

– подготовка ортофотопланов и топографических планов обследованных объектов;

– оцифровка индивидуальных археологических находок со становищ Шпицбергена, находящихся на хранении в музее «Помор» в п. Баренцбург.

Полевые работы проводились в июле – августе 2025 г., участники н.с. Колесников А.Б., м.н.с. Федоров А.С. (sholaland@inbox.ru), м.н.с Чалая Н.В.

В 2025 г. археологические разведки и мониторинг проведены в ряде районов архипелага Шпицберген (хронологический порядок, рис.17.1):

1. Юго-восточный берег Ис-фьорда в районе Русановодден (Домик Русанова, 1.1) и Грумантдален (п. Грумант, 1.2).

2. Западный берег Кросс-фьорда в районе бухты Эбельтофтхамна.

3. Южная часть Земли Принца Карла в районе бухты Кингхамна.

4. Восточный берег Грён-фьорда от Грэндален до Грёнфьорддален.

5. Западный берег Решерш-фьорда в районе мыса Томодден.

6. Северо-западный берег Ис-фьорда в районе бухты Трюггхамна.

Разведочные исследования проводились для выявления новых памятников, фиксации фрагментов судов и иных артефактов русской промысловой материальной культуры, уточнения атрибуции ряда памятников, выявленных норвежскими исследователями. При выявлении объектов культурного наследия производилась их фотофиксация, обмеры и

графическая фиксация. Мониторинг состояния ранее изученных памятников осуществлялся с целью фиксации их современного состояния.

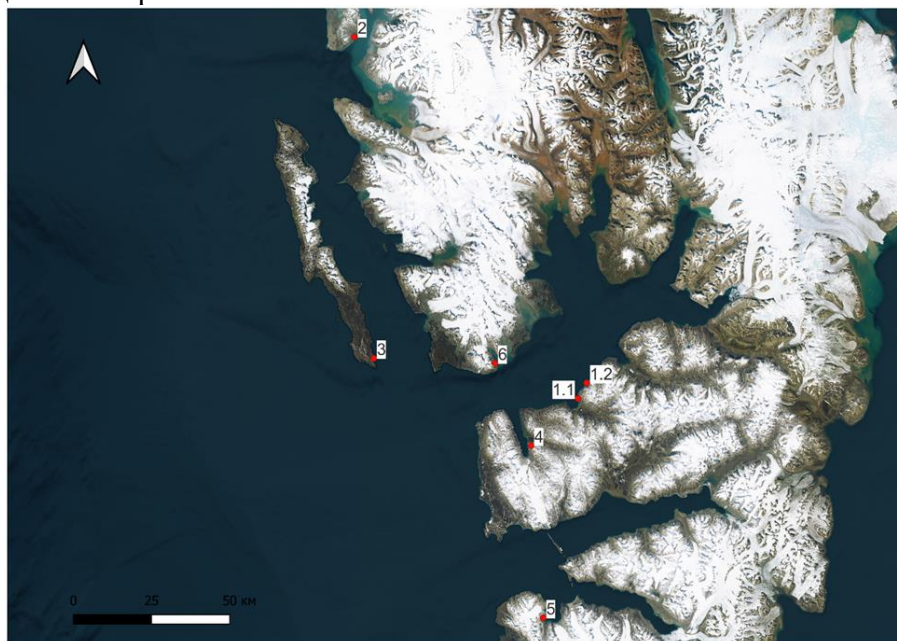


Рисунок 17.1 – Картограмма обследованных объектов в 2025 г.

1. Обследование памятников поморской историко-культурной принадлежности

С целью обследования ранее не изученных объектов и мониторинга сохранности известных памятников поморской культурной была осуществлена многодневная поездка морским транспортом в Кросс-фьорд в район бухты Эбельтофтхамна. Проживание в районе проведения разведочных работ было организовано на базе палаточного лагеря геологов в рамках неформального сотрудничества со Шпицбергенской партией ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга» (ВНИИОкеангеология; г. Санкт-Петербург), под руководством А.Н. Сироткина.

В районе бухты Эбельтофтхамна расположен куст объектов археологического наследия. Сама бухта сложной двухчастной формы, вытянута с юго-запада на северо-восток на 1,4 км; с северо-запада на юго-восток на 1,8 км; отсечена от Кросс-фьорда серпообразной косой.

На северном берегу бухты, на безымянном мысу, расположено кладбище китобоев и остатки разновременных жилищ (в том числе временных, собранных из подручных материалов), которые ориентировочно можно датировать XIX–XX вв.

На косе, именуемой Эбельтофтодден, отходящей от южного берега бухты в северо-восточном направлении расположены остатки китобойной станции и жиротопной печи. Данные объекты интересны с точки зрения китобойного промысла на Шпицбергене. В связи с ограниченным временем пребывания на данном участке работ объекты обстоятельно не обследовались.

Комплекс объектов, важный для изучения поморского освоения территории Шпицбергена, расположен на южном берегу бухты Эбельтофтхамна. Здесь находятся пять объектов культурного наследия, отображенные на норвежском национальном портале Kulturminnesøk.no, содержащем информацию об объектах культурного наследия. По данным портала все четыре объекта атрибутированы как памятники русской – поморской принадлежности. Пятый – песцовая ловушка.



Рисунок 17.2 – Комплекс становища и некрополя Эбельтофтхамна

1. Становище и некрополь Эбельтофтхамна

Становище и некрополь интерпретированы как взаимосвязанные объекты. Становище расположено за гребнем морской террасы в укромной бухте, защищенной от ветров. Некрополь расположен на площадке террасы, здесь же размещались кресты, которые могли использоваться как морские навигационные знаки. Между становищем и некрополем (смотровая площадка) проложены тропки: прямая и по краю террасы.

1.1 Некрополь Эбельтофтхамна

Первый поморский объект – кладбище с остатками крестов расположен на берегу Кросс-фьорда, именуемом как пляж Энджалбалстранда. По данным портала Kulturminnesøk.no имеется описание «Кладбище с несколькими могилами и остатками русского креста. Протяженность примерно 48 м с северо-востока на юго-запад и ширина 15 м. Несколько костей и черепов лежат на открытом пространстве»¹. Памятник норвежской стороной обследовался дистанционно на основе фотографий с дрона 2018 года и эскиза карты 2004 года.

Членами Шпицбергенского археологического отряда впервые проведено детальное обследование объекта в ходе натурного изучения. Объект расположен на берегу морской террасы со стороны Кросс-фьорда. Высота террасы от уровня моря составляет 8-10 м. На верхней площадке террасы, ориентированной по направлению юго-запад – северо-восток зафиксировано три ряда объектов. Первый – удаленный от берега, сформирован четырьмя остатками поморских крестов (остатки деревянных столбов), обложенных камнем-обломочником. Еще два всхолмления в данном ряду фиксируются, но остатков столбовых конструкций в них не зафиксировано. Терраса сложена в основном обмытым, окатанным камнем, и камень-обломочник сюда был принесен специально. Второй и третий ряды сформированы размытыми могильными холмиками по берегу террасы. Второй ряд насчитывает семь могильных холмиков, заканчивается восьмым всхолмлением с каменной кучей по верху – возможно основание креста. Погребение на краю береговой террасы частично размыто – видны доски гроба в изножной части. В одном из погребений частично раскрыт череп. Третий ряд – непосредственно по берегу террасы. В нем насчитывается четыре могильных холмика. Все три ряда имеют ориентировку, отличны от площадки террасы –

¹ <https://www.kulturminnesok.no/kart/?q=&am-county=&lokenk=location&am-lok=&am-lokdating=&am-lokconservation=&am-enk=&am-enkdating=&am-enkconservation=&bm-county=&cp=1&bounds=79.14481992601942,11.591555178165436,79.14438600817965,11.591823399066925&zoom=21&id=0c1ba186-544d-11eb-818d-005056bf3d73>

практически с юга на север. К западу от объектов, сформированных рядами, имеется разграбленное погребение, на поверхности которого лежат разрозненные гробовые доски. К востоку расположена пара округлых всхолмлений с камнем-обломочником на вершине, которые могут быть интерпретированы как остатки крестов. Весь комплекс вытянут с юга на север на 30 м, ширина – 15 м.

Объект интерпретирован как поморское кладбище. Датировка объекта затруднена в связи с отсутствием датирующих материалов и может быть отнесена к широкому хронологическому диапазону XVII-XVIII вв.

1.2 Становище Эбельтофтхамна

Становище расположено на западном берегу бухты Эбельтофтхамна в 200 м к северо-западу от некрополя Эбельтофтхамна. Становище занимает пониженный участок морской террасы, высотой около 2 м над уровнем моря.

Становище состоит из трех жилищных комплексов, расположенных на расстоянии 17-37 м по береговой линии. Береговая линия бухты на данном участке ориентирована по направлению юго-восток – северо-запад. Жилищные комплексы на местности читаются по интенсивной окраске растительности – яркие зеленые пятна на серой поверхности арктического рельефа.

Первый жилищный комплекс расположен в 200 м от некрополя и соединен с ним прямой тропкой. Жилищный комплекс наименьший по размеру – 15,3×7,3 м, ориентирован вдоль по береговой линии. Состоит из двух построек, примыкающих вплотную друг к другу. Постройки квадратной формы, размером примерно 6×6 м. По периметру жилища оканавлены. В западной постройке зафиксировано подпечье, размером 1,4 на 1,8 м, сложенное из камня-обломочника. По верху подпечья лежат обломки красного кирпича. Кирпичной кладки не зафиксировано.

На береговой осыпи со стороны бухты обнаружен подъемный материал – багор железный кованый.

Судя по большим размерам построек и наличию в одной из них большого подпечья, постройки могли использоваться как хозяйственные, где располагались площади для обработки добытых животных, а с большим подпечьем – для топки.

Второй жилищный комплекс расположен в 250 м от некрополя и соединен с ним прямой тропкой. Жилищный комплекс размером 34×24 м ориентирован вдоль по береговой линии. Часть жилищного комплекса по береговой линии размывается. С учетом бревен, выступающих из размыва берега, ширина жилищного комплекса могла достигать 26 м и более. Состоит из двух рубленых построек, бревна которых выступают из размыва участка берегового склона. Две бревенчатые постройки, размером около 5×5 м расположены по береговой линии вплотную друг к другу. Постройки оканавлены. В глубину берега фиксируются две постройки квадратной формы, размером 6×6 м. Еще одна постройка квадратной формы, размером 6×6 м фиксируется в северо-западной части жилищного комплекса.

Бревенчатые постройки меньшего размера интерпретированы как жилые. Постройки большего размера интерпретированы как хозяйственные.

Жилищный комплекс со стороны береговой линии активно размывается водами бухты во время штормов. В размывах берега фиксируется переотложенный культурный слой с большим количеством археологических предметов: фрагменты кожаных изделий, кованые крепежные изделия (гвозди и скобы), фрагменты керамической горшков. Под воздействием ветровой эрозии изделия из органических материалов и даже фрагменты керамики уносит в глубину берега.

Третий жилищный комплекс расположен в 320 м от некрополя. Жилищный комплекс размером 30×27 м, ориентирован вдоль по береговой линии. Часть жилищного комплекса по береговой линии размывается.

В жилищном комплексе фиксируется четыре постройки.

Наиболее полно сохранилась бревенчатая, квадратной формы размером 4,5×4,5 м. В северном углу постройки зафиксирован способ рубки – в чашу с остатком. В средней части жилищного пространства имеется провал грунта, в котором виден половой настил из плах толщиной 4-5 см. Под настилом имеется пустое пространство высотой 20-25 см.

В 5 м к юго-востоку фиксируется еще одна квадратная постройка размером 4,5×4,5 м. По северной и южной стенам имеются тонкие бревна. Способ рубки не зафиксирован.

В южной части жилищного комплекса зафиксировано две западины, размером около 3×1,7-1,8 м, назначение которых без проведения раскопок неясно.

Третий жилищный комплекс, как и второй, подвержен размыву штормовыми волнами залива Эбельтофтхамна. В размывах берега обнаружено большое количество археологических предметов: фрагменты кожаных изделий, фрагменты тканей, фрагменты керамических горшков, кости животных и рыб, морского зверя. Примечательны находки датирующих находок. Среди массового материала следует отметить фрагменты венчиков горшков, по типологическим признакам датирующиеся XVIII в. В общей массе поздних венчиков примечательна находка венчика с вертикальной профилировкой – признак керамики XVI в. Среди индивидуальных находок необходимо отметить два фрагмента голландских трубок. Первый – фрагмент чубука с надписью «...OF KAMP». Второй – обломок чашки с закрытым устьем – признак голландских курительных трубок XVII в. и ранее.

Особенностью третьего жилищного комплекса, в отличие от первого и второго, является наличие комплекса погребений, примыкающих к объекту с восточной стороны. На основании визуального осмотра жилищного комплекса складывается впечатление, что комплекс погребений перекрывается жилищным культурным слоем. Погребения могут относиться к раннему периоду бытования жилищного комплекса.

В ходе визуального осмотра зафиксировано три погребения, выраженных в рельефе в виде продолговатых холмиков. В одном из холмиков прослеживаются гробовые доски.

На основании представленных материалов становище Эбельтофтхамна датировано периодом XVII-XVIII вв. Наиболее ранним объектом является третий жилищный комплекс, из которого происходят единичные находки керамики с вертикальной профилировкой венчика и чашка голландской трубки с закрытым устьем. Можно предположить, что в существовании становища присутствовало два периода. Первый – ранний, когда существовал жилищный комплекс 3, рядом с которым возник некрополь. Данный период можно датировать XVII в. Второй связан с расширением становища до трех жилищных комплексов и появлением отдельного некрополя на берегу Кросс-фьорда. Данный период можно датировать XVIII в.

На памятнике присутствуют приметные ориентиры (железная арматура с алюминиевыми этикетками), свидетельствующие о ведущемся мониторинге состояния памятника с норвежской стороны.

Комплекс становища и некрополя Эбельтофтхамна представляет значительный интерес для изучения истории освоения архипелага Шпицберген поморами XVII-XVIII вв. Объект культурного наследия находится в аварийном состоянии и требует проведения спасательных археологических работ.

2. Становище Кингхамна

В ходе возвращения с места базирования лагеря геологов на Базу КНЦ в п. Баренцбург была предпринята попытка посещения памятников на острове Земля Принца Карла.

Планировалось посетить поморские памятники на северной и южной оконечностях острова. В связи с сильным северным штормовым ветром посещение северной оконечности острова было невозможно – была велика вероятность смещения судна на скалы. Юг острова физически посетить не удалось – капитан ожидал усиления ветра, а бухта Кингхамна известна сложным рельефом дна и малыми глубинами дна. В связи с этим было принято решение провести мониторинг памятника с судна с помощью дистанционного визуального обследования.

Становище Кингхамна открыто в 1985 г. Шпицбергенской экспедицией ИА РАН под руководством В.Ф. Старкова. Поселение расположено на восточном берегу Земли Принца

Карла и состояло из двух разновременных жилищ, двух погребений и остатков креста. Памятник датируется XVII-XVIII вв.

В ходе дистанционного мониторинга установлено современное состояние памятника. После раскопок и раскрытия деревянных конструкций была нарушена естественная археологизация объекта, в следствие чего началось активное разрушение древесины построек. Для объективной фиксации современного состояния памятника требуется натурное обследование объекта – надлежит запланировать посещение памятника в предстоящем полевом сезоне.

3. Становище Трюггхамна

Памятник раскопан комплексной Скандинавской экспедицией («Або университет», г. Турку) в 1960 г.² и визуально исследован Шпицбергенской экспедицией ИА РАН в 1983 г.

Становище расположено на западном берегу залива Трюггхамна (северо-западное побережье залива Ис-фьорд). В состав поселения входило 6 жилищных построек, мусорная куча, четыре погребения и крест.

Поселение вскрыто полностью. Одна из построек содержала два строительных горизонта. К нижнему относится одно многокамерное жилище, четкую планировку которого выяснить не удалось: теплая изба, срубленная в обло с остатком, где находилась печь и сени.

Основное число построек имело двухкамерную конструкцию. Они сооружены в той же строительной технике, что и первое жилище

В 175 м от становища на высоте 1 м над уровнем моря и в 15 м от берега в тылу берегового вала располагался рубленый в обло с остатком однокамерный дом размером 6×6 м, ориентированный углами по сторонам света. Диаметр бревен 20-25 см. Кирпичная печь (1,1×0,8 м) располагалась в северном углу избы.

В 1982 г. Шпицбергенской экспедицией ИА РАН удалось зафиксировать остатки двух жилищ, раскопанных Скандинавской экспедицией в 1960 г. Поселение датируется XVIII в.

В ходе посещения объекта в сезоне 2025 г. произведена фиксация современного состояния памятника. Установлено несоответствие в объеме зафиксированных ранее погребений. Под террасой, на которой размещается основной комплекс становища зафиксировано три погребения, а не четыре. При этом в значительном отдалении к юго-востоку от становища зафиксировано еще два погребения, которые совершены в гробах из досок со следами шитья вицей, что свидетельствует об использовании досок бортовой обшивки поморских судов при строительстве гробов.

Состояние памятника удовлетворительное, стабильное.

II. Обследований памятников, связанных с деятельностью российских научных экспедиций XVIII–XX вв.

В ходе освоения арктических пространств российские научные экспедиции неоднократно посещали территорию архипелага Шпицберген. Места стоянок экспедиций представляют несомненный интерес с точки зрения изучения архипелага Шпицберген российскими учеными.

В 2025 году было осуществлено посещение двух объектов:

- Лагерь Чичагова;
- Домик Русанова и поселок Грумант.

1. Лагерь Чичагова

Экспедиция В.Я. Чичагова была организована в 1764 г. по проекту М.В. Ломоносова с целью найти северный проход в Тихий океан. Корабли должны были пройти между Шпицбергеном и Грэнландией и, минуя Северный Полюс, выйти к Берингову проливу. Трехлетняя работа экспедиции началась в 1764 г., когда на Шпицбергене, в бухте Решерш отрядом моряков под руководством лейтенанта Немтинова была построена экспедиционная

² Tegengren H., 1962; Stora N., 1983, 1987.

база, на которой был оставлен отряд зимовщиков под командованием унтер-лейтенанта Тимофея Рындина. Моряки провели здесь две суровые зимы. На месте стоянки были построены жилые дома, баня, амбар.

Стоянка находится на западном берегу бухты Решерш в 3 км от ее устья. Она расположена на слабо выдающемся мысу и занимает большую ровную площадку, наиболее возвышенную в этой части. Площадка вытянута вдоль берега, с севера и юга она ограничена глубокими руслами ручьев.

Памятник исследован Шпицбергенской археологической экспедицией ИА РАН под руководством В.Ф. Старкова в 1979 г. Произведены раскопки стоянки экспедиции В.Я. Чичагова 1764 г. Прослежены остатки четырех жилищно-хозяйственных комплексов, в состав которых входили 10 жилых помещений (клетей) и баня. Помимо этого, на прибрежном участке поселения были выявлены основания двух мощных крестов, укрепленных небольшими срубами и камнями. Еще 2 основания крестов были зафиксированы на соседнем с севера мыске. Общая площадь поселения 2,5 тыс. кв. м.

Раскопками были вскрыты 3 лучше сохранившиеся постройки №№ 1, 2, 3. Остальные, по-видимому, уничтоженные пожаром, от которых почти не сохранились деревянные конструкции, раскопкам не подвергались.

В ходе посещения объекта в сезоне 2025 г. произведена фиксация современного состояния памятника. На памятнике присутствуют приметные ориентиры (железная арматура с алюминиевыми этикетками), свидетельствующие о ведущемся мониторинге состояния памятника с норвежской стороны.

Состояние памятника удовлетворительное, стабильное.

2. Домик Русанова

Экспедиция В.А. Русанова в 1912 году провела масштабную геологическую программу и закрепила за Россией угленосные участки Шпицбергена. Важным историческим объектом, оставшимся от деятельности экспедиции В.А. Русанова является так называемый «Домик Русанова», построенный для руководителя экспедиции Р.Л. Самойловичем – ближайшим помощником руководителя. В настоящее время объект является музейной экспозицией, подготовленной сотрудниками краеведческого музея г. Орла, откуда и был родом В.А. Русанов.

Первое посещение объекта археологами состоялось в 1978 г., когда Шпицбергенской археологической экспедицией ИА РАН под руководством В.Ф. Старкова были произведены архитектурные обмеры дома, фотографирование его фасадов и интерьера, сделано подробное описание.

В ходе посещения объекта в сезоне 2025 г. произведена фиксация современного состояния домика Русанов, сделаны ортофотопланы его фасадов.

На сегодняшний день домик Русанова является туристическим объектом. В 2025 году сотрудниками ГТ «Арктикуголь» произведен косметический ремонт дома – покрашены фасады.

Состояние памятника хорошее.

3. Поселок Грумант

Грумант – пустующий советский поселок на архипелага Шпицберген, основанный в 1912 году и заброшенный в 1965 году. В 1951 году численность населения, включая Колсбей, который обслуживал порт поселения, достигла 1106 человек.

Название Грумант имеет поморское происхождение и также используется для обозначения всего архипелага Шпицберген.

Порт Колсбей и поселок Грумант связывала узкоколейная железная дорога, сохранившаяся до настоящего момента. Рельсы с дороги частично демонтированы со стороны Колсбея. На отдельных участках над дорогой сохранились деревянные короба, защищавшие

магистраль от снежных заносов и оползней. Участок железной дороги со стороны поселка Грумант проходил через подземный тоннель в скальной породе. На сегодняшний день тоннель непроходим – забит льдом, который не оттаивает и в краткосрочный летний период. Проход к поселку Грумант осуществляется по пешеходным тропам в горах над тоннелем. Прохождение данного участка требует наличие значительной физической подготовки. На отдельных участках – альпинистского оборудования.

В самом поселке сохранилось 4 двухэтажных дома. Детально обследованы три дома на правом берегу Грумантдален.

Наиболее крупное здание расположено в северной части поселка. Здание обладает рядом архитектурных особенностей. Главный фасад, выходящий на море украшен разорванным фронтоном с прямоугольным окном. Первый и второй этажи имеют по шесть прямоугольных окон, смещенных в южную часть фасада. Кровля здания двускатная, устроена с использованием бетонных перекрытий. Здание стоит на квадратных бетонных сваях, впущенных в заглубленные деревянные короба.

Особенности кровли здания и фундамента – требование арктических условий. Бетонные перекрытия кровли позволяют выдержать значительную снеговую нагрузку. Свайные фундаментные конструкции использованы с учетом особенностей мерзлотных грунтов.

Второе здание в первом ряду по берегу схоже по архитектуре с первым, но не имеет архитектурных приемов в оформлении фасадов.

Третье здание, расположенное во втором ряду застройки, отличает вальмовая кровля.

В долине Грумантдален имеют разрушенные выходы шахт и тоннеля.

В настоящий момент поселок заброшен, здания не функционируют, что приводит к их активному разрушению. Поселок изредка посещается неорганизованными туристами. Водным транспортом, без высадки на берег, поселок посещают организованные группы туристов.

III. Восточный берег Грэн-фьорда от Грэндален до Грэнфьордален.

В ходе пешего обследования восточного берега Грэн-фьорда от Грэндален до Грэнфьордален были посещены известные объекты различной историко-культурной принадлежности.

На берегу фьорда зафиксировано состояние известной детали обивки поморского судна.

На осыпях горного массива были посещены выходы разведочных шахт начала XX в. Произведена фотофиксация современного состояния объектов и обнаруженных находок.

IV. Создание цифровых моделей археологических предметов поморской материальной культуры

Одной из задач полевого сезона 2025 г. стало создание цифровых моделей археологических предметов поморской материальной культуры, представленных в экспозиции музея «Помор» в п. Баренцбург. Подобная цифровизация объектов культурного наследия позволяет проводить неинвазивное исследование артефактов, фиксировать их текущее состояние и обеспечивать доступ к информации для широкой аудитории, способствуя популяризации научных исследований на Шпицбергене.

Археологическая коллекция музея «Помор» уникальна и представляет особый интерес для цифровизации. Основу собрания составляют находки Шпицбергенской археологической экспедиции Института археологии РАН, проводившей раскопки на архипелаге с 1979 по 2003 гг. Коллекция включает в себя разнообразные предметы материальной и духовной культуры поморов, относящиеся к XVII-XIX вв. Согласно норвежскому Закону об охране окружающей среды, все найденные археологические находки должны храниться на Шпицбергене и не

могут быть вывезены на материк, что делает невозможным работу с коллекцией за пределами архипелага. Вследствие этого оцифровка музейной коллекции является одним из приоритетных направлений работ ИА РАН на Шпицбергене.

Работы по оцифровке коллекции велись сотрудниками ИА РАН и ранее³, однако создание трехмерных цифровых моделей проводилось впервые.

Построение трехмерных моделей выполнено с использованием метода фотограмметрии, который позволяет получать высокоточные объемные модели с сохранением оригинальной текстуры и цветопередачи, что важно как для получения представления о предметах в рамках виртуальной онлайн-выставки, так и для дальнейших научных исследований артефактов. Фотограмметрический метод был выбран среди других технологий оцифровки вследствие своих преимуществ: высокой точности, относительно низкой стоимости оборудования, мобильности и возможности работы с объектами любых размеров и форм.

Рабочий процесс на этапе фотофиксации был организован в помещениях музея «Помор» (рис. 17.3), что позволило минимизировать возможное нарушение целостности предметов при их перемещении. Поскольку оцифровать всю коллекцию музея за один полевой сезон представляется невозможным, из коллекции отбирались наиболее репрезентативные предметы, иллюстрирующие материальную культуру поморов. Далее проводилась съемка предметов на цифровую фотокамеру с различных ракурсов.

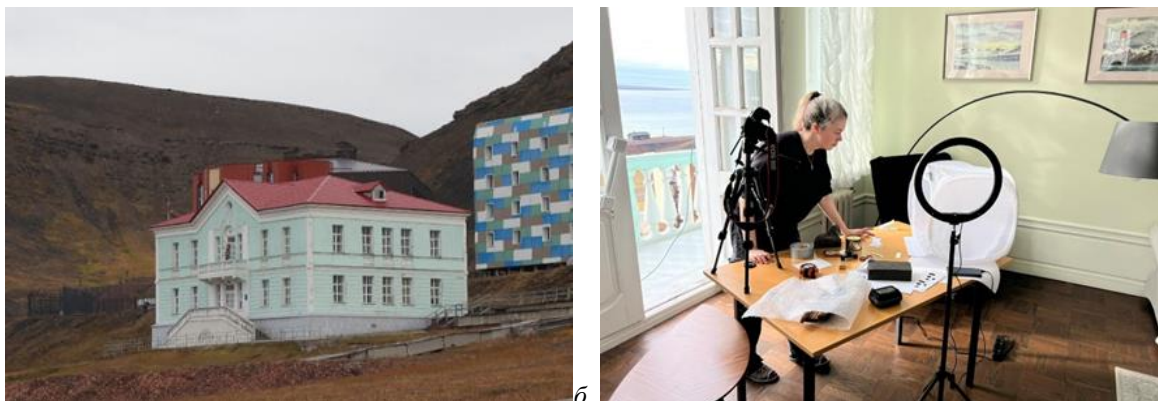


Рисунок 17.3 – Здание бывшего консульства, в котором в настоящий момент размещается музей «Помор» (а); процесс съемки археологического предмета (б)

Полученные изображения проходили постобработку, включающую в себя цветокоррекцию, коррекцию теней и шумов, фокус-стекинг, обрезку и создание масок, после чего на базе обработанных фотографий создавались полигональные модели и текстура (рис. 17.4).

В ходе работ оцифровано 15 предметов различной сложности преимущественно малого размера, относящихся как к орудиям промысла и предметам быта (рыболовный крюк, футляр наконечника копья, посуда и др.), так и к духовной культуре и досугу поморов (крест, киот, азбука, календарь и др.). Полученные модели готовятся к публикации в 2025 г. в качестве экспонатов виртуальной онлайн-выставки на сайте ИА РАН, а также будут использованы для продолжения научных исследований коллекции. В дальнейшем планируется расширение базы цифровых моделей экспозиции музея «Помор».

Следует отметить, что часть находок Шпицбергенской экспедиции ИА РАН, относящихся к предметам поморской материальной культуры, но не вошедших в экспозицию археологической коллекции музея «Помор», передана летом 2007 г. в объединенное хранилище Лонгйирбюена (Свальбардмузеум), что подтверждает Акт передачи находок, подписанный начальником экспедиции ИА РАН В.Ф. Старковым и зам. губернатора

³ Державин В.Л., Колесников А.Б. Археологическая коллекция музея «Помор» на Шпицбергене. Исследования в Арктике Института археологии Российской академии наук// Москва: ИА РАН, 2020.160 с.

Свальбарда в присутствии консула Российской Федерации на Шпицбергене. Данные находки также представляют интерес для создания трехмерных моделей, однако в настоящий момент взаимодействие с дирекцией Свальбардмузеума осложнено.



Рисунок 17.4 – Примеры построенных трехмерных моделей в рабочем интерфейсе ПО Agisoft Metashape

Результаты работ представлены на конференциях:

Державин В.Л., Колесников А.Б., Федоров А.С., Чалая Н.В. Памятники поморской материальной культуры на архипелаге Шпицберген по материалам исследований Института археологии РАН последних лет // Международная научно-практическая конференция «Научное и культурно-историческое наследие полярного исследователя В.А. Русанова в Арктике и на архипелаге Шпицберген», посвященной 150-летию со Дня рождения выдающегося полярного исследователя, геолога В.А. Русанова (21-22 августа 2025 г., п. Баренцбург, Шпицберген). Тезисы в печати.

Колесников А.Б., Федоров А.С., Чалая Н.В. Новые данные о памятниках поморской материальной культуры на архипелаге Шпицберген по материалам исследований Института археологии РАН последних лет // XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», посвященная 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (23-25 октября 2025 г., г. Мурманск). Тезисы в печати.

Чалая Н.В., Федоров А.С., Колесников А.Б. Создание цифровых моделей археологических предметов поморской материальной культуры // XVI Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», посвященная 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене (23-25 октября 2025 г., г. Мурманск). Тезисы в печати.

Державин В. Л., Колесников А. Б. Опыт составления археологической коллекции в музее Баренцбурга (Шпицберген) // Подлинник. Вопросы атрибуции и реставрации. 2025. № 3(7). С. 120–134.

В рамках мероприятий по популяризации российских научных исследований на архипелаге Шпицберген 22.08.2025 г. проведена экскурсия по археологической экспозиции музея «Помор».

Мероприятие 17 выполнено полностью.

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

Мероприятие 18. Исследование энергетического баланса и ветрового режима арх. Шпицберген в условиях таяния ледников

Основная цель проекта – параметризация для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах для моделирования погоды и климата и исследование микроклимата прибрежных территорий с неоднородным рельефом. Исследования включают следующие задачи:

– Изучение турбулентного режима приземного слоя атмосферы над ледником, в том числе: а) оценка турбулентного теплообмена атмосферы с поверхностью ледника при различных погодных режимах; б) изучение природы нестационарной турбулентности и противогradientных потоков над ледником; в) оценка параметров шероховатости; г) оценка интегрального масштаба турбулентности.

– Изучение влияния мезо- и микромасштабной циркуляций (фён, кататический ледниковый ветер) на турбулентный режим приземного слоя атмосферы.

– Верификация аэродинамических формул для расчета потоков тепла и импульса.

– Верификация и настройка мезомасштабной модели атмосферы для моделирования теплового баланса и локальных циркуляций над ледниками Шпицбергена.

Работы шли по двум направлениям:

– экспериментальные работы в п. Баренцбург (19 июля – 18 августа 2025 года, 4 человека);

– моделирование природных процессов на архипелаге Шпицберген (2 человека).

Исследования выполняли И.А. Репина (repina@ifaran.ru), Д.Г. Чечин, А.А. Шестакова, А.И. Нарижная, А.Е. Мамонтов, А.Ю. Артамонов.

Методы

Для выполнения поставленных задач в рамках экспедиционных работ ИФА РАН проводил измерения метеорологических параметров с помощью автоматических метеостанций (АМС) в двух точках на леднике Западный Грэнфьорд (рис. 18.1) в период с 19 июля по 18 августа 2025 г. На одной из точек (далее – нижняя станция, см. рис.18.1) на высоте около 1 м над поверхностью льда был установлен акустический анемометр АМК-04 (производитель «Сибаналитприбор», г. Томск). Прибор регистрировал три компоненты скорости ветра, относительную влажность, давление и температуру с частотой 80 Гц. На другой точке (верхняя станция, см. рис.18.1) была установлена АМС «Ново» (производитель «Onset», США), которая записывала усредненные за 1-мин интервал значения температуры воздуха,



Рисунок 18.1 – Карта-схема района исследований. Красными точками обозначено положение двух метеостанций ИФА РАН на леднике Западный Грэнфьорд, на врезках показаны их фотографии и обзорная карта центральной части Западного Шпицбергена. Топографическая основа TopoSvalbard (Норвежский полярный институт, <https://toposvalbard.npolar.no>), границы ледников указаны по данным за 2008 г.

относительной влажности, скорости и направления ветра, приходящей коротковолновой радиации, а также максимальные значения скорости за этот интервал (порывы). Датчики были установлены на высоте 1,8 м, однако высота в течение периода измерений менялась из-за протаивания льда (штанга с датчиками была забурена в лед).

Дополнительно на обеих точках устанавливались несколько цифровых датчиков температуры: на нижней станции на уровне 2 см и 1 м над поверхностью ледника, на верхней станции на уровне 2 см над поверхностью. Температура записывалась с дискретностью 1 мин. Также проводились эпизодические измерения температуры поверхности с помощью портативного ИК-датчика.

Для расчета турбулентных потоков на нижней станции была проведена первичная обработка данных акустического анемометра. Турбулентные пульсации выделялись методом удаления среднего по различным интервалам (от 2 до 60 мин). Предварительно были выполнены удаление выбросов и трехмерная коррекция поворота осей. Также проводилась проверка стационарности турбулентности по методу (Foken and Wichura, 1996). На основе полученных пульсаций был выполнен расчет потоков тепла и импульса с использованием метода ковариации турбулентных пульсаций.

Также для выполнения поставленных задач проводилось моделирование атмосферы с помощью мезомасштабной модели WRF-ARW. Для параметризации приземного и пограничного слоя в модели использовалась схема QNSE, специально разработанная для устойчивых погранслоев (Sukoriansky et al., 2005). В качестве параметризации деятельного слоя суши использовалась схема Noah-MP (Niu et al., 2011), которая позволяет задавать 4 слоя почвы/льда и 3 слоя снега. В экспериментах использовались три вложенные друг в друга области с горизонтальным разрешением сетки 10 км, 2 км и 0,4 км, соответственно. В качестве начальных и граничных условий использовался реанализ ERA5, а также данные о типах поверхности Global Land Cover Database (<https://zenodo.org/records/3518036>) с разрешением 100 м, данные типизации ландшафтов на основе спутниковых данных Sentinel (<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer>) с разрешением 20 м, данные о рельефе ASTER (<https://www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/lpdaac-ecs-ast14dem-003>) с разрешением 30 м. Расчеты с мезомасштабной моделью выполнялись за период с 18 июля по 18 августа, результаты во внутренней области сохранялись с интервалом 1 ч.

Основные полученные результаты и научные выводы

По результатам первичного анализа турбулентных данных было выявлено 30% случаев, когда режим стационарной турбулентности нарушался, эти периоды не рассматривались в дальнейшем анализе. Во всех стационарных случаях поток тепла направлен от атмосферы к поверхности ледника, что соответствует наблюдаемому градиенту температуры и характерно для сезона абляции. При окне осреднения 20 мин средний за весь период турбулентный поток тепла составляет 46 Вт/м^2 , поток импульса $0,04 \text{ Н/м}^2$. В таблице 18.1 также приведены среднеквадратическое отклонение и максимальные значения потоков.

Таблица 18.1 – Средние характеристики турбулентных потоков по данным наблюдений на нижней станции. Потоки рассчитывались с окном осреднения 20 мин.

	Поток явного тепла, Вт/м^2			Поток импульса, Н/м^2			Длина ряда	Процент стационарных потоков
	Среднее	СКО	Макс	Среднее	СКО	Макс		
Весь период	47	52	400	0.04	0,07	0,8	1349	70
Фён 4-5 августа	171	82	400	0.18	0,15	0,66	66	96
Фён 6-7 августа	68	32	137	0.12	0,18	0,8	48	67

Средние значения потоков слабо меняются в зависимости от окна осреднения. Медианное (наиболее повторяемое) значение потока явного тепла составляет около 10 Вт/м^2 , потока импульса $0,015 \text{ Н/м}^2$. Для сравнения, на соседнем леднике Альдегонда характерный средний поток тепла в сезон абляции составляет 12 Вт/м^2 (Прохорова 2023), что близко к медианному значения по нашим измерениям. Значительно более высокое среднее значение потока явного тепла по сравнению с предыдущими измерениями связано с влиянием фёнов, которые более подробно будут рассмотрены ниже.

Выполненные по методике, описанной в (Прохорова и др., 2024), оценки параметров динамической z_{0m} и термической z_{0t} шероховатостей, выявили существенный разброс этих параметров. Их распределение является существенно ненормальным, поэтому медианные значения являются более показательными. Медианные значения динамической и термической шероховатости составляют $0,4 \cdot 10^{-3}$ м и $0,001 \cdot 10^{-3}$ м, соответственно (табл. 18.2). Таким образом, динамическая и термическая шероховатость отличаются на два порядка, что типично для ледников (Носк 2005). Оценки $z_{0m}=0,8 \cdot 10^{-3}$ м и $z_{0t}=0,08 \cdot 10^{-3}$ м, выполненные для Альдегонды также по данным пульсационных измерений (Прохорова и др., 2024), отличаются от полученных нами значений – параметр термической шероховатости на Западном Грэнфьорде почти на два порядка меньше. Максимальные значения параметров шероховатости достигали 0,7 и $1,5 \cdot 10^{-2}$ м, соответственно. В целом, параметр динамической шероховатости при З, ЮЗ направлениях ветра меньше, чем при других направлениях ветра (рис. 18.2), и в большинстве случаев лежит в интервале от 0,1 до 1 мм. Параметр термической шероховатости достигает наибольших значений при южном направлении ветра.

Таблица 18.2 – Характеристики параметров шероховатости для случаев со стационарной турбулентностью и нейтральной стратификацией

	z_{0m}				z_{0t}				Длина ряда
	Среднее	СКО	Макс	Медиана	Среднее	СКО	Макс	Медиана	
Весь период	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	0,7	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	10^{-6}	539
Фён 4-5 августа	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	53
Фён 6-7 августа	0,12	0,19	0,7	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	20

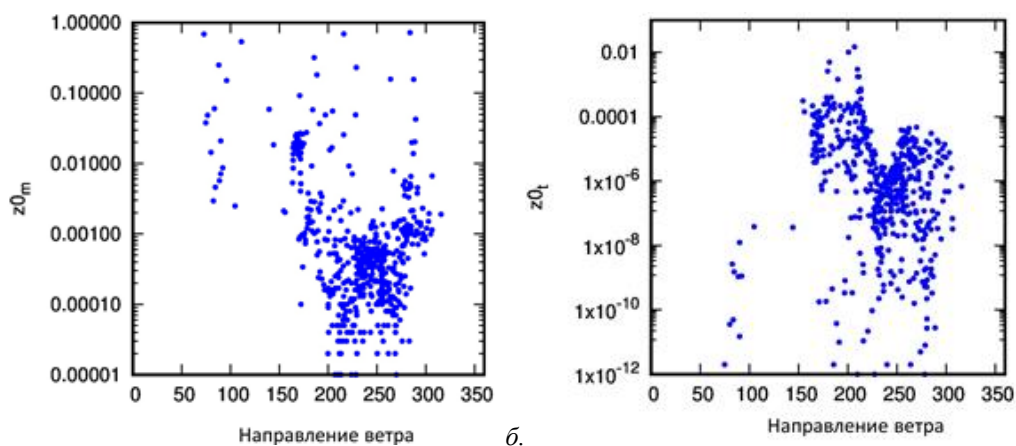


Рисунок 18.2 – Диаграммы рассеяния параметра динамической (а) и термической (б) шероховатости в зависимости от направления ветра (по оси абсцисс)

В течение периода наблюдений на нижней станции преобладал ЗЮЗ и ЮЗ ветер (рис. 18.3а). Такая роза ветров обусловлена преобладанием ветров западных румбов в натекающем потоке, которые легко попадают на ледник через перевал в западной части. Западные (от ЮЗ до СЗ) ветры в крупномасштабном потоке наблюдались в период с 19 июля по 3 августа и с 15 по 18 августа, юго-восточные и южные в период с 4 по 14 августа. Из-за относительно высоких скоростей крупномасштабного потока собственно ледниковый ветер практически не проявился: повторяемость ЮЮЗ и Ю ветра со скоростями до 4 м/с, характерными для ледниковых ветров, составляет не более 10%.

Среди локальных типов циркуляции за период наблюдений ярко проявилась фёновая циркуляция. Фён относится к типу подветренных бурь и характеризуется резким усилением скорости и порывистости ветра на подветренных склонах, ростом температуры воздуха и уменьшением относительной влажности. Самый сильный эпизод фёна наблюдался при юго-восточном ветре 4-5 августа, а также 6-7 августа при восточном ветре, совсем короткие фёновые эпизоды отмечались на леднике 9 и 11 августа.

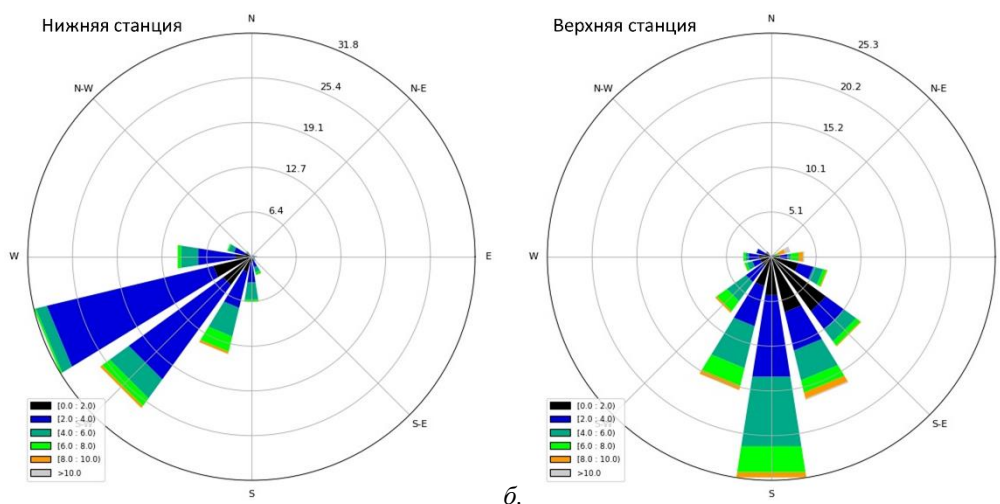


Рисунок 18.3 – Розы ветров на нижней (а) и верхней (б) станциях на леднике Западный Грэнфьорд. Цветом показана повторяемость скорости ветра данного направления по градациям (м/с)

Все эпизоды фёна сопровождались значительным усилением турбулентных потоков (табл. 18.1). Во время фёна 4-5 августа наблюдалось максимальное за весь период значение потока явного тепла (400 Вт/м^2), а во время фёна 6-7 августа – максимальный поток импульса ($0,8 \text{ Н/м}^2$). Для этих фёнов характерны значения параметра динамической шероховатости выше среднего (медианные значения 2-5 см), параметр термической шероховатости в первом случае оказался выше среднего, во втором – значительно ниже среднего (табл. 18.2). Для второго фёна характерно аномально большое отношение параметра динамической шероховатости к термической.

На основе данных наблюдений и результатов мезомасштабного моделирования выполнен детальный анализ случая фёна 4-5 августа и проведены расчеты скорости абляции (таяния льда) под действием фёна. В первой половине дня 4 августа наблюдалась преимущественно безоблачная погода, а в натекающем юго-восточном потоке на высоте 1-1,5 км отмечалось низкотропосферное струйное течение с максимальной скоростью 15–20 м/с, находившееся в слое приподнятой инверсии. Пик фёна пришелся на вечер 4 августа, когда юго-восточный ветер наблюдался во всей тропосфере. Средняя скорость ветра на станции Баренцбург на высоте 10 м составляла 10 м/с (в порывах до 13 м/с), а на верхней станции на леднике Западный Грэнфьорд на высоте 2 м – 12 м/с (в порывах до 19 м/с). В Баренцбурге температура воздуха повысилась до $+17,9 \text{ }^\circ\text{C}$, на леднике – до $+10...+11 \text{ }^\circ\text{C}$, а относительная влажность уменьшилась до 63% (рис. 18.3). При непосредственном прохождении фронта в ночь с 4 на 5 августа наблюдалась кучево-дождевая облачность, в Баренцбурге была зафиксирована гроза, а направление ветра в натекающем потоке изменилось на южное, что привело к затуханию фёна. По результатам мезомасштабного моделирования, пик фёна также пришелся на вечер 4 августа. Ось струи фёна в это время опустилась до высоты 100-300 м над поверхностью и находилась в середине слоя мощной температурной инверсии толщиной около 700 м.

Для оценки влияния фёна на величину слоя стаивания на леднике Западный Грэнфьорд в точке нижней станции с использованием уравнения теплового баланса были использованы наблюдаемые потоки явного тепла и приходящей коротковолновой радиации (последняя взята с верхней АМС), а остальные потоки были рассчитаны. Измерения температуры поверхности в районе нижней станции 19, 21 июля и 7 августа с помощью портативного инфракрасного датчика показали значения близкие к нулю. В связи с этим температура поверхности была задана равной $0 \text{ }^\circ\text{C}$, а расчетное собственное излучение поверхности оставалось постоянным. Встречное излучение атмосферы взято из данных мезомасштабного моделирования в ближайшей к станции ячейке модели. Альбедо задано константой, равной 0,3 (характерное значение для чистого льда в сезон абляции). Кондуктивный поток тепла, направленный от поверхности в толщу льда, задан константой, равной $-5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (согласно характерным

значениям (Hock and Holmgren, 1996). Турбулентный поток скрытого тепла был рассчитан по аэродинамической формуле. При этом для расчета коэффициентов турбулентного обмена использовались измеренные на нижней станции значения скорости ветра, температуры воздуха и удельной влажности, а в качестве коэффициентов динамической и термической шероховатости использованы оценки этих величин, выполненные по данным пульсационных измерений для каждого срока. Во время фёна преобладали условия нейтральной стратификации, однако для случаев с устойчивой стратификацией для поправки коэффициентов обмена использовались функции, предложенные (Grachev et al., 2007). Для всех расчетов использованы осредненные за 60 мин значения метеорологических параметров.

В начале фёна доминирующую роль играл коротковолновый радиационный баланс. Во второй половине эпизода из-за увеличения облачности вклад коротковолнового баланса уменьшился, а длинноволновый радиационный баланс принимал положительные значения в ночные часы (рис. 18.4). Максимальная интенсивность таяния (9 мм/ч) совпала с кульминацией фёна вечером 4 августа и была обеспечена в первую очередь турбулентными потоками тепла. Несмотря на дефицит относительной влажности, поток скрытого тепла был направлен от атмосферы к поверхности, что обусловлено адвекцией теплого влажного воздуха. После завершения основного эпизода фёна (5 августа) интенсивное таяние продолжилось вследствие сохраняющейся высокой скорости ветра за фронтом и продолжающейся адвекции тёплого и влажного воздуха.

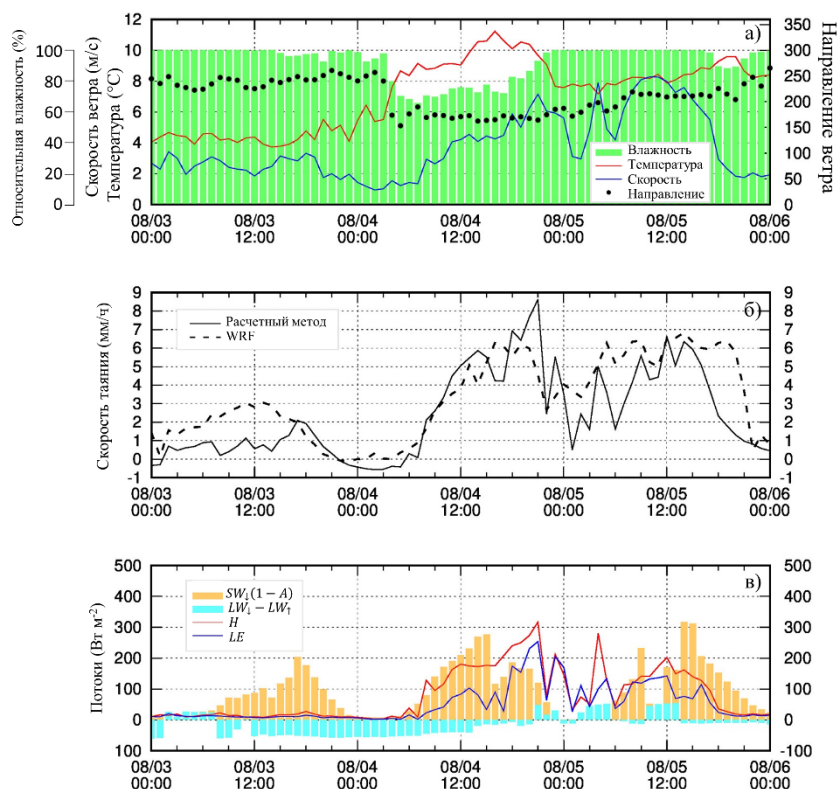


Рисунок 18.4 – Временной ход некоторых параметров на нижней станции в период 3–5 августа 2025 г.: а) метеорологические параметры, б) скорость таяния льда (мм/ч) по расчетному методу (сплошная линия) и по результатам мезомасштабной модели (пунктир), в) компоненты теплового баланса

В итоге, за сутки фёна (06:00 4 августа — 05:00 5 августа) расчетный слой стаивания на нижней станции составил 9,7 см, что превышает максимальные значения экстремального таяния, зафиксированные в 2022 г. (Prokhorova et al., 2025). По данным мезомасштабного моделирования за тот же период в ближайшей к станции ячейке модели слой стаивания составил 9,8 см (рис. 18.5б). Временной ход интенсивности таяния в модели существенно сглажен, однако общее согласие с расчетами на основе наблюдений оценивается как хорошее (см. рис.18.4б).

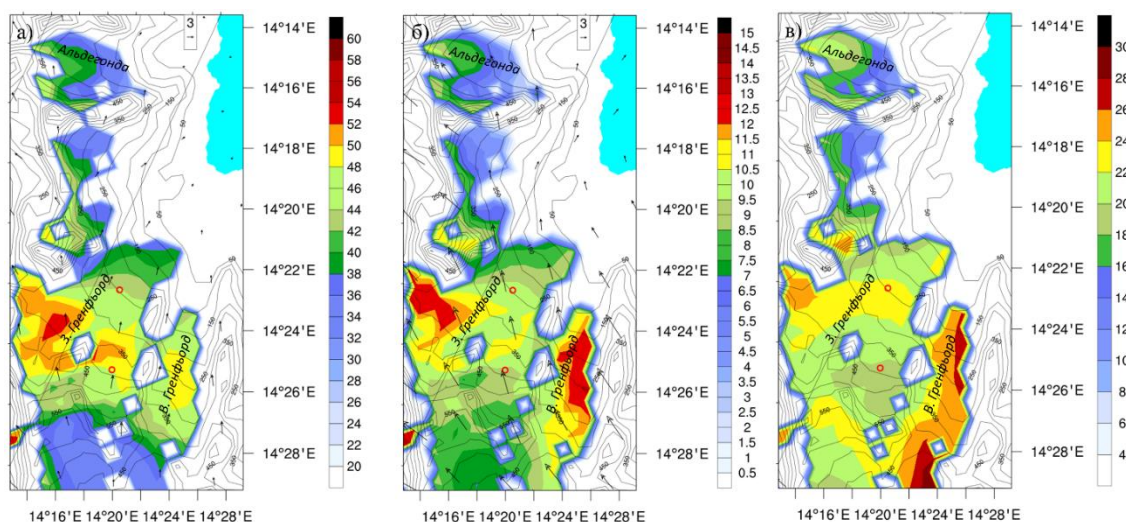


Рисунок 18.5 – Суммарный слой стаивания за период 30 июля – 7 августа (а) и сутки с фёном (б) и вклад суток с фёном в суммарное таяние за 8 суток (в) по результатам мезомасштабного моделирования. Векторами показано среднее поле ветра за рассматриваемые периоды, изолиниями - высота рельефа (интервал 50 м). Красными кружками отмечено положение метеостанций

По результатам мезомасштабного моделирования, вклад фёна в суммарное таяние за 8 суток наибольший на леднике Западный Грэнфьорд (до 27 %) и наименьший на леднике Альдегонда (до 22%) (см. рис. 18.5в). Эти различия объясняются расположением ледников относительно натекающего потока: Западный Грэнфьорд находится непосредственно на подветренном склоне, где скорость ветра максимальная, в то время как Альдегонда расположена существенно «ниже по потоку».

Основные выводы:

– Полученный по измерениям на леднике Западный Грэнфьорд средний за весь период наблюдений турбулентный поток тепла составляет 46 Вт/м^2 , поток импульса $0,04 \text{ Н/м}^2$. Медианное (наиболее повторяемое) значение потока явного тепла составляет около 10 Вт/м^2 , потока импульса $0,015 \text{ Н/м}^2$. Значительно более высокое среднее значение потока явного тепла по сравнению с предыдущими измерениями связано с влиянием фёнов.

– Оценки параметров динамической z_{0t} и термической z_{0t} шероховатостей, выявили существенный разброс этих параметров. Их распределение является существенно ненормальным, поэтому медианные значения являются более показательными. Медианные значения динамической и термической шероховатости составляют $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $0,001 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, соответственно. Максимальные значения параметров шероховатости достигали 0,7 и $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, соответственно. В целом, параметр динамической шероховатости при 3, ЮЗ направлениях ветра меньше, чем при других направлениях ветра, и в большинстве случаев лежит в интервале от 0,1 до 1 мм. Параметр термической шероховатости достигает наибольших значений при южном направлении ветра.

– Эпизоды фёна сопровождались значительным усилением турбулентных потоков. Для этих случаев также характерны значения параметра динамической шероховатости выше среднего и аномально большое отношение параметра динамической шероховатости к термической.

– На основе данных наблюдений и результатов мезомасштабного моделирования выполнен детальный анализ случая фёна 4-5 августа и проведены расчеты скорости абляции (таяния льда) под действием фёна. По результатам мезомасштабного моделирования, вклад фёна в суммарное таяние за 8 суток наибольший на леднике Западный Грэнфьорд (до 27 %) и наименьший на леднике Альдегонда (до 22%). Эти различия объясняются расположением ледников относительно натекающего потока: Западный Грэнфьорд находится непосредственно на подветренном склоне, где скорость ветра максимальная, в то время как Альдегонда расположена существенно «ниже по потоку».

Результаты ранее проведенных исследований опубликованы:

Prokhorova U.V., Terekhov A.V., Demidov V.E., Romashova K.V., Barskov K.V., Chechin D.G., Vasilevich I.I., Tretiakov M.V., Ivanov B.V., Repina I.A., Verkulich, S. R. Impact of Extreme Weather Events on the Surface Energy Balance of the Low-Elevation Svalbard Glacier Aldegondabreen // *Water*. 2025, 17(2): 274. DOI:10.3390/w17020274

Сотрудники ИФА РАН приняли участие в конференциях с докладами:

Шестакова А.А., Нарижная А.И., Репина И.А., Чечин Д.Г., Артамонов А.Ю. Исследование особенностей теплового баланса ледников Архипелага Шпицберген в летний период. «Итоги экспедиционных исследований в 2024 году в Мировом океане и внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка». 27–29 февраля 2024, Минобрнауки России, Москва.

Чечин Д.Г., Шестакова А.А., Люпкес К. Моделирование мезомасштабных циркуляций над океаном внутри морских холодных вторжений. Международная школа-конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде СИТЕС-25, 16-27 июня 2025 г., Москва.

Repina I.A., L. Zhou, Chechin D.G. The influence of the underlying surface structure in the Arctic on exchange processes in the atmospheric surface layer. 17th Conference of Atmospheric Physics, Climate and Environment. Сириус, Россия 15-18 октября 2025.

Zhou L., Repina I., Zhu J., Ma Sh., Li F., Li P., Zhang Z., Shestakova A. Extreme wind over the Arctic passage and Svalbard and its possible influential factors. 17th Conference of Atmospheric Physics, Climate and Environment. Сириус, Россия 15-18 октября 2025.

Литература:

Прохорова, У. В., Барсков, К. В., Терехов, А. В., Чечин, Д. Г., Репина, И. А., Иванов, Б. В., Варенцов, М.И., Артамонов, А. Ю. Роль турбулентного теплообмена в структуре теплового баланса ледников центральной части о. Западный Шпицберген, на примере ледника Альдегонда. *Лёд и Снег*, 2024. 64(4), 481-496.

Прохорова У.В. Тепловой баланс ледников земли Норденшельда на примере ледника Альдегонда (о. Западный Шпицберген). Диссертация, Санкт-Петербург, 2023.

Foken, T., Wichura, B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and forest meteorology* 1996. 78(1-2), 83-105.

Grachev A.A., Andreas E.L., Fairall C.W., Guest P.S., Persson, P.O.G. SHEBA flux–profile relationships in the stable atmospheric boundary layer // *Boundary-layer meteorol.* 2007, 124(3), 315-333. DOI:10.1007/s10546-007-9177-6

Hock, R. Glacier melt: a review of processes and their modelling. *Progress in Physical Geography* 2005, 29(3), 362–391.

Hock R., Holmgren B. Some aspects of energy balance and ablation of Storglaciaren, northern Sweden // *Geografi ska Ann.: Ser. A. Phys. Geography.* 1996, 78(2–3):121–131. DOI:10.1080/04353676.1996.11880458.

Niu, G.-Y., Yang Z.-L., Mitchell K.E., Chen F., et al. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah–MP): 1. Model description and evaluation with local–scale measurements. *J. Geophys. Res.* 2011, 116, D12109. DOI:10.1029/2010JD015139

Prokhorova U.V., Terekhov A.V., Demidov V.E., Romashova K.V., Barskov K.V., Chechin D.G., Vasilevich I.I., Tretiakov M.V., Ivanov B.V., Repina I.A., Verkulich, S. R. Impact of Extreme Weather Events on the Surface Energy Balance of the Low-Elevation Svalbard Glacier Aldegondabreen // *Water*. 2025, 17(2): 274. DOI:10.3390/w17020274

Sukoriansky, S., Galperin B., Perov V. Application of a new spectral theory of stably stratified turbulence to the atmospheric boundary layer over sea ice. *Boundary-Layer Meteorol.* 2005, 117, 231-257.

Мероприятие 18 выполнено полностью.

Институт физико-химических и биологических проблем Российской академии наук (ИФХиБП РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН)

Мероприятие 19. Комплексное исследование ископаемых почв палеозоя и современных почвенно-мерзлотных комплексов архипелага Шпицберген с целью изучения процессов формирования и функционирования почвенного покрова в геологической истории Земли

Ключевая задача проекта состоит в получении новых знаний об эволюции биосферы, формировании и функционировании почвенного покрова в геологической истории Земли. Исследования проводятся согласно Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на период 2021-2030 гг., подразделы: 2.4.5.2. «Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли; палеопочвы как индикаторы состояния и эволюции биосферы в различные геологические и исторические эпохи».

Задачи полевых исследований в 2025 г.:

– Продолжение работ по исследованию геологического разреза девона в окрестностях п. Пирамида с целью детального исследования палеопочв в долинах Муиндален, Тордален и продолжение поиска палеопочв в отложениях нижнего девона в долинах р. Эльза и Хугиндален (Земля Диксона); детальное описание палеопочвенных объектов и отбор образцов палеопочв и палеоботанических объектов для дальнейшего лабораторного исследования комплексом минералогических и геохимических методов. Получение геохимической и минералогической характеристики биогенных преобразований отложений и формирования почвенного покрова архипелага Шпицберген в девонский период, реконструкция наземных экосистем и климата, базируясь на свойствах ископаемых почв и растительном покрове в девоне.

– Охарактеризовать строение почвенно-мерзлотных комплексов на основных типах морских берегов в районе исследований (организация структуры почвенного покрова, морфологическое строение почвенных профилей и диагностических горизонтов, характеристика ведущих трендов педогенеза). Провести отбор образцов почв, многолетнемерзлых пород, аллохтонного органического и минерального материала для дальнейших комплексных аналитических исследований.

Полевые работы 2025 года по изучению дочетвертичных палеопочв проходили в окрестностях п. Пирамида в долинах рек Муиндален, Тордален, Хугиндален (Земля Диксона) в период с 10 июля по 28 июля (чл.- корр. РАН Алексеев А.О. alekseev@issp.psn.ru, д.г.-м.н., г.н.с. Алексеева Т.В. alekseeva@issp.serpukhov.su, н.с. Безносков П.А., к.г.-м.н., с.н.с. Калинин П.И., м.н.с.Мальшев В.В.).

Исследование современных почв вблизи зал. Грён-фьорд и бух. Колсбей с 11 по 22 июля. Для заложения почвенных разрезов выбирались участки маршей, пойм и аллювиально-морских террас с задернованными поверхностями (к.б.н., с.н.с. Лупачев А.В. a.lupachev@gmail.com, аспирант, м.н.с. Гинзбург А.П.).

Методы

Для достижения целей проекта задействованы в равной степени геолого-геоморфологические, палеогеографические и палеопочвенные методы полевые методы и методы камеральной обработки.

Полевые почвенные и геолого-геоморфологические методы: детальное изучение строения почвенных и палеопочвенных разрезов девона, включающее выделение почвенных горизонтов, их описание и фото документирование. Применение комплекса методов полевой диагностики почв, таких как детальное морфологическое описание почвенных профилей согласно российским и международным стандартам.

Камеральная обработка: применение комплекса инструментальных методов для изучения химического, минерального состава, магнитных свойств, состояния соединений железа в палеопочвах, подстилающих и перекрывающих отложениях, изотопного состава углерода захороненного органического вещества. В деталях изучаются почвенные макро- и микрообразования (конкреции, ризолиты): морфология, строение, элементный и минеральный составы (электронная микроскопия СЭМ с энергодисперсионным микроанализом, рентгеновская дифрактометрия, рентген-флуоресцентный метод). Валовой химический анализ почв определяли методом рентген- флуоресцентного анализа (XRF) на приборе Bruker Jaguar S6. Минеральный состав образцов палеопочв и пород изучали методом рентгеновской дифрактометрии (D2 Phaser Bruker и ДРОН-3). Анализ состояния соединений железа и их распределения в палеопочвах проведен на основании данных Мёссбауэровской спектроскопии (ЯГРС). Субмикроскопическое исследование почвенного материала и строения растительных остатков проводили методом сканирующей электронной микроскопии с микрозондом (SEM-EDX Tescan Vega 3, Чехия). Состав стабильных изотопов углерода растительных остатков изучен масс-спектрометрическим методом (Thermo Scientific Delta V Isotope Ratio Mass Spectrometer, США). Возраст изученных объектов основан на имеющихся данных геологической съемки. Дополнительно было проведено выборочное датирование отобранных образцов на основании данных спорового анализа.

Основные полученные результаты и научные выводы

Основной блок проекта связан с *исследованием дочетвертичных палеопочв*. В задачи работ 2025 года входили исследования геологического разреза девона в окрестностях п. Пирамида на предмет детального исследования палеопочв в долинах рек Муиндален, Тордален, обнаруженных в ходе работ 2024 г. и продолжение поиска палеопочв в отложениях нижнего девона в долинах рек Эльза и Хугиндален (Земля Диксона). Общая протяженность пешеходных маршрутов составила ~140 км. В ходе полевого сезона был выполнен отбор образцов палеопочв девона в долинах рек Муинэльва, Эльза, Торэльва и Хугиндален (рис. 19.1).



Рисунок 19.1 – Карта-схема региона исследований с полигонами наблюдения палеопочв в ходе экспедиционных исследований 2025 года в долинах (1) р. Эльза, (2) р. Хугиндален; (3) Мимердален; (4) р. Муинэльва и (5) р. Торэльва; (6) р. Одидален

В долине р. Торэльва и ее притоков в песчаниках и алевролитах живетского (формация Tordalen подсвита Estheriahaugen) и франского (формация Tordalen подсвита Fiskeklofta) ярусов обнаружены палеопочвы в лессовидных и скальных породах. В ходе полевых работ 2024 и 2025 гг. были отобраны образцы из пяти почвенных профилей (Tor-1; Tor-2; Tor-3; Tor-4; Tor-5). Палеопочва в обнажении Tor-1-24 (D2gv) (78°37,917'N и 16°03,237'E) мощностью до

0,4 м, содержит большое количество углефицированных растительных остатков. Представленные углефицированные растительные макрофоссилии проникают на всю видимую мощность палеопочвы. По данным СЭМ, они принадлежат примитивным несосудистым – предположительно мохообразным растениям. Изучение изотопного состава углерода органического вещества показало значения $\delta^{13}\text{C} = -25,30 \pm 1,2 \text{ ‰}$, что характерно для наземной растительности с C3 типом фотосинтеза.

Завершен анализ материала из палеопочвенных профилей, отобранного в ходе первого рекогносцировочного выезда в 2024 г. и дополненного в ходе работ текущего полевого сезона. В обнажении Тор-2 (78°37,776'N и 16°04,407'E) по притоку р. Торэльва в алевролитах живетского (формация Tordalen подсвита Estheriahaugen) выделяется палеопедокомплекс с общей мощностью более 4 м. Педокомплекс, состоящий из 4-5 палеопочв и педосидементов, формировался на аллювии и лёссовидных суглинках. Наблюдается характерная для лёссов столбчатая отдельность. Профиль педокомплекса содержит несколько наложенных профилей палеопочв. Анализ комплекса спор, выделенных из образцов палеопочв, позволяет отнести их к живетскому ярусу (D2gv). Выделенные комплексы спор сходны по таксономическому составу с палинокомплексом муллинского горизонта живетского яруса D2 Центрального девонского поля Русской платформы, включая виды-индексы подзоны *Cristatisporites triangulatus* - *Corystisporites serratus* (палинозона *Geminospora extensa*).

К настоящему времени определен полный валовой химический состав (XRF, ICP-MS), проведен минералогический анализ, включая детальное состояние соединений железа (XRD и Мессбауэровская спектроскопия), определен гранулометрический состав и содержание общего углерода (0,1 -0,3%). Палеопочвы педокомплекса разреза Тор-2 имеют однородный минеральный состав, преобладающими фазами являются кварц, иллит и каолинит. Хлорит присутствует в следовых количествах. Палеопочвы характеризуются высоким содержанием гематита, наибольшее его количество содержится в палеопочве PS2 (рис.19.2). Минимальные количества гематита обнаружены в песчаниках, разделяющих палеопочвы. Данные мессбауэровской спектроскопии подтверждают этот результат. В спектрах палеопочв PS2, PS3 и PS4 гематит является основной железосодержащей фазой, составляя от 50 до 90% от общего содержания железа (рис. 19.2). Согласно параметрам секстета, $\text{Beff} (T) = 50,5-51,0$, гематит представлен хорошо окристаллизованными фазами. В песчаниках, разделяющих палеопочвы, содержание гематита снижается до 3-10% от общего содержания железа. Однако обращает на себя внимание общее увеличение содержания железа в палеопочве PS2 до 10-15%. В палеопочве PS1 в нижней части профиля зафиксирован гётит с $\text{Beff} (T) = 30,0$, его содержание составляет до 45% от общего содержания железа (рис. 19.2).

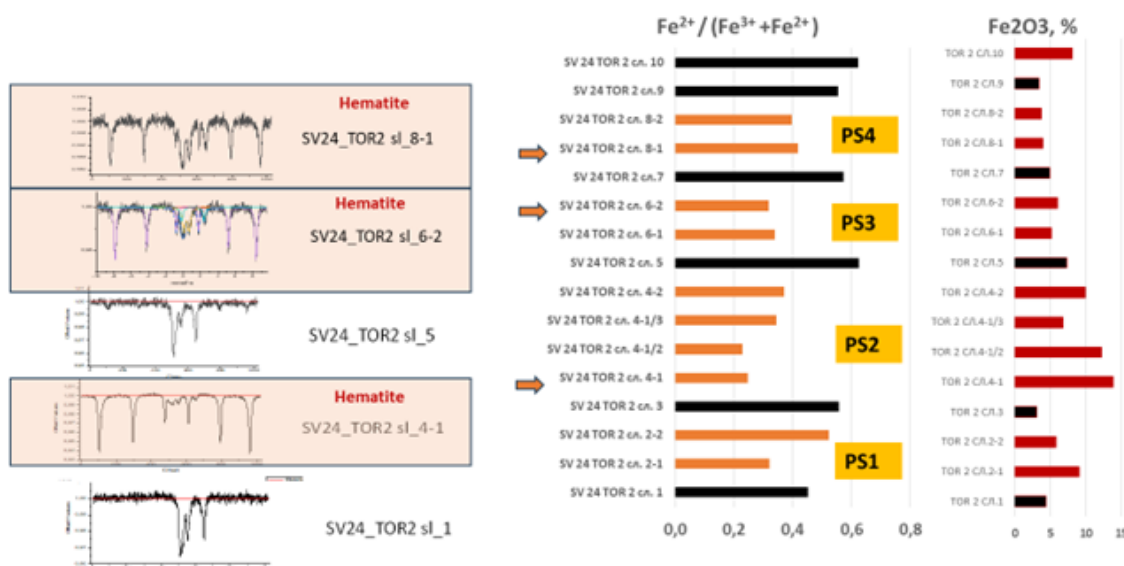


Рисунок 19.2 – Результаты минералогического анализа материала палеопедокомплекса разреза Тор-2 (XRD и Мессбауэровская спектроскопия)

Дополнительно к вышесказанному, используя результаты мессбауэровской спектроскопии, можно оценить соотношение $Fe^{2+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$ в структуре минеральных компонентов почв и пород, что позволяет оценить степень выветривания субстрата. В песчаниках, разделяющих палеопочвы, величина этого отношения составляет 0,5–0,6, а в горизонтах палеопочв оно до 0,2–0,4.

Изучение изотопного состава углерода органического вещества показало значения $\delta^{13}C = -25,90 \pm 0,7 \text{ ‰}$, что характерно для наземной растительности с C3 типом фотосинтеза. В отдельных почвенных горизонтах комплекса выделяются тонкие ветвистые растительные отпечатки длиной до 20 см, представляющие собой отпечатки корней; местами обнаруживаются сохранившиеся углефицированные ткани.

Палеопочва в обнажении Tor-1-24 (D2gv) ($78^{\circ}37,917'N$ и $16^{\circ}03,237'E$) франского (формация Tordalen подсвета Fiskeklofta) яруса мощностью до 0,4 м, содержит большое количество углефицированных растительных остатков. Они проникают на всю видимую мощность палеопочвы. По данным СЭМ, они принадлежат примитивным несосудистым растениям. Изучение изотопного состава углерода органического вещества показало значения $\delta^{13}C = -25,30 \pm 1,2 \text{ ‰}$, что характерно для наземной растительности с C3 типом фотосинтеза. Кроме того, в кровле почвенного профиля обнаружены крупные фрагменты *Bergeria timeterensis* (Mimerdalen, Planteklofta) и *Calamites* (см. рис. 19.4). В минеральном составе этой палеопочвы преобладающей фазой является кварц с небольшими примесями иллита и каолинита. Оксиды железа не фиксируются, все железо представлено Fe^{3+} .

Для разреза Tor-4, находящегося несколько выше по течению реки, в почвенном профиле ярко представлен ветвящийся тонкий углефицированный мицелий, проникающий до глубины 50 см. К нему приурочены черные шарообразные образования, имеющие сложный минеральный состав. Биоморфные структурные элементы имеют зональное распространение: ядро сложено карбонатом железа – сидеритом и большой долей фосфата, представленного апатитом, дополнительно в составе образований фиксируются кварц и иллит (рис. 19.3).

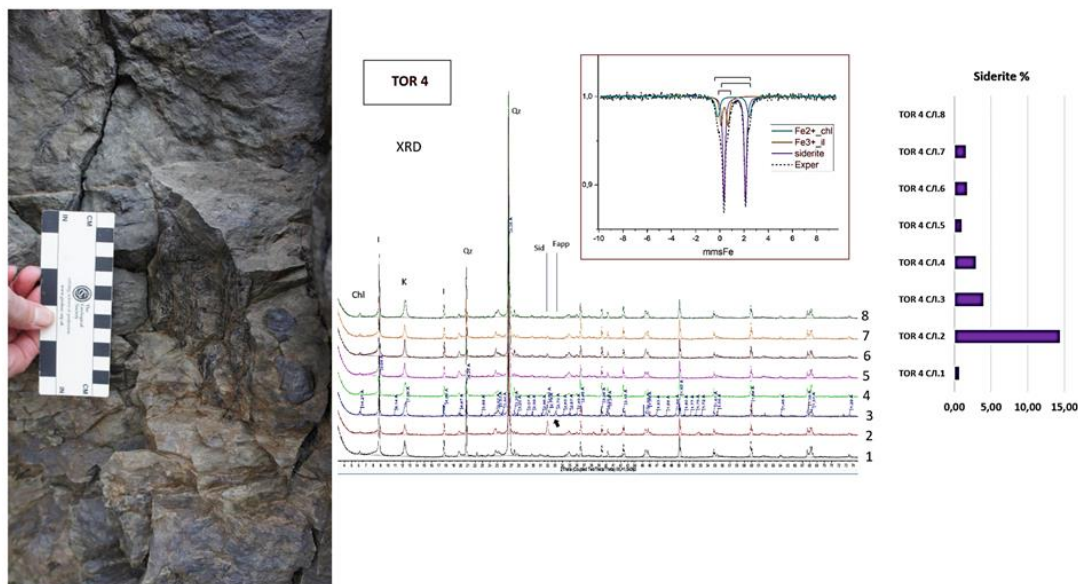


Рисунок 19.3 – Результаты минералогического анализа материалов палеопедокомплекса разреза Тор-4 (XRD и Мессбауэровская спектроскопия)

Ярко выраженная зональность скорее всего обусловлена бактериальной активностью. Формирование сидерита контролировалось высоким содержанием захороненного органического вещества в исходном субстрате. Кроме того, наличие во всем почвенном профиле значительного содержания сидерита свидетельствует о формировании профиля в гидроморфных, болотистых условиях. На основании полученных данных о вещественном составе палеопочв в долине реки Торэльва и её притоков в песчаниках и алевролитах живетского (Tordalen Formation, Estheriahaugen Member) и франского (Tordalen Formation, Fiskeklofta)

Member) ярусов фиксируется смена условий почвообразования, связанных вероятнее всего с геоморфологической позицией почв или нарастанием увлажненности территории во времени.

В долине р. Муниэльва в отложениях низов франского яруса (формации Planteryggen и Planteklofta) обнаружено протяженное обнажение песчаников, алевролитов и аргиллитов с присутствием многочисленных окаменелых стволов и подземных частей растений. В этом районе ранее были обнаружены ископаемые останки тропического леса, возраст которого составляет 380 млн. лет (Berry & Marshall, 2015). Найденные окаменелости указывают на то, что главной лесообразующей породой Шпицбергена в эпоху позднего девона были деревья, относящиеся к отряду плауновидных – Lycopsidea. По серии обнажений, расположенных по обоим берегам долины р. Мунидален составлено подробное описание геологического разреза. Породы представлены преимущественно алевролитами, песчаниками и конгломератами, слои которых образуют регрессивные последовательности. Характер отложений позволяет заключить, что они сформировались в условиях заболоченной низменности, на которую с окрестных возвышенностей сбегали ручьи и реки, а также периодически сходили селевые потоки. Всё это позволяет рассматривать их как молассовые образования, видимой мощностью в несколько десятков метров (общая мощность около 100 м). Высокие темпы осадконакопления способствовали захоронению комлевых частей древовидных растений в положении, близком к прижизненному. Фаунистических остатков в разрезе не встречено. В ходе экспедиционных работ 2025 г. на этой территории описано более десяти палеопочвенных комплексов (отобраны 7 профилей, педокомплексов), локализованных на площади более 0,5 км². Все палеопочвы приурочены к уровням резкой смены ландшафтных обстановок, как правило, они перекрываются слоями аллювия. Практически все палеопочвы приурочены к трещиноватому слою аргиллита с несколькими (как правило двумя) углистыми прослоями. Сохранившиеся лycopсиды почти всегда связаны с верхним углистым прослоем, который является наименее мощным. В некоторых разрезах корни проникают в слой трещиноватого аргиллита. Палеопочвы залегают в сложных циклитах, материал которых отлагался очень быстро, но не катастрофично, так как стволы деревьев оставались в прижизненном положении. Палеопочвы представлены педокомплексами, возможно, что после каждой стадии растения заселяли именно заболоченные участки. Фактически, вся эта толща является синлитогенной палеопочвой.

В ходе полевых работ 2025 года отобрано большое количество палеоботанического материала, демонстрирующего биоразнообразие на этой территории (рис. 19.4).



Рисунок 19.4 – Фото палеоботанических находок в районе п. Пирамида (отложения пражского и франского ярусов девона)

В ходе работ 2025 г. дополнительно отобрана серия образцов палеопочв в долине Хугиндален в речных обнажениях. Породы нижнего девона (пражский и эмский ярусы –

Dicksonfjorden Member, Wood Bay Formation, Andrée Land Group) представлены песчаниками, алевролитами, красноцветными и зеленоцветными аргиллитами (рис. 19.5). Наблюдается горизонт с хорошо сохранившимися отпечатками разветвленных корневых систем длиной до 20 см и толщиной до 1 см, с остатками углефицированных растительных тканей. Общая мощность профиля достигает 1,5 м, он перекрыт горизонтально залегающими плотными аргиллитами. По всей вероятности, мы наблюдаем педокомплексы, как и в случае палеопочв в долине р. Торэльва (Тог-2), которые связаны с циклами континентального осадконакопления (рис. 19.5). В долине р. Эльза в породах нижнего девона (пражский и эмский ярусы) также обнаружены и отобраны образцы палеопочвы.

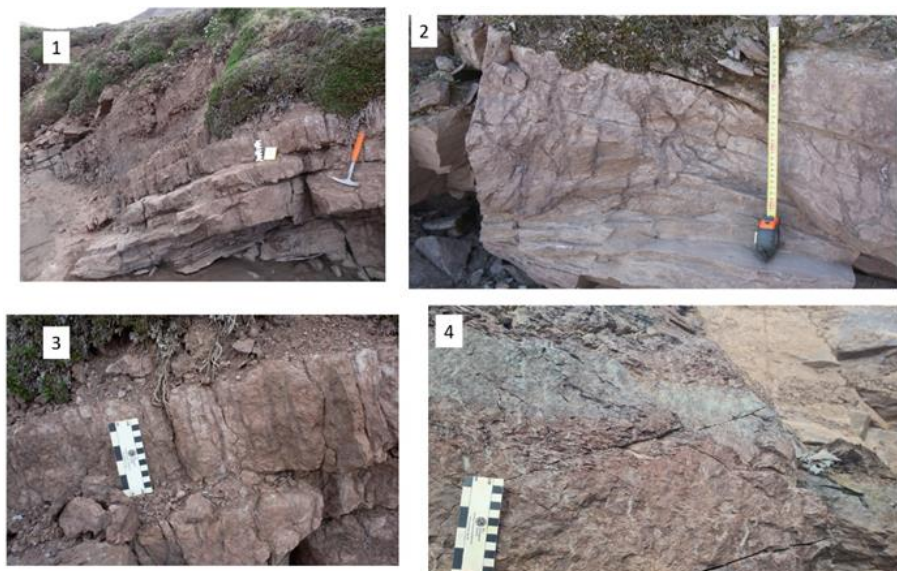


Рисунок 19.5 – Фото палеопочв в районе Земли Диксона (D1 – пражский и эмский ярусы – Dicksonfjorden Member, Wood Bay Formation, Andrée Land Group). 1,2,3 – долина р. Хугиндален; 4 – палеопочва в долине р. Эльза

Результаты экспедиционных исследований 2024- 2025 гг. свидетельствуют о широко представленной в отложениях девона архипелага континентальной формации, которая формировалась под воздействием речных, склоновых и эоловых процессов в результате перемещения материала с возвышенностей в предгорные прогибы и приморские низменности. Подобные (близкие к катастрофическим) обстановки благоприятствуют формированию педокомплексов и сохранению палеопочв. Обнаруженные палеопочвы девонского времени отличаются полнотой профиля и сохранностью растительных отпечатков, а в отдельных случаях – и растительных тканей. Отобранные палеоботанические образцы на исследуемой территории свидетельствуют о существовавшем биоразнообразии. Изученные объекты представляют собой палеопочвы различного генезиса. Получение аналитических минералогических и химических данных по уникальным образцам палеопочв позволит детализировать процессы почвообразования и климатические условия на архипелаге в геологическом интервале от раннего до позднего девона.

Продолжено *изучения строения мерзлотных почв и подстилающих многолетнемерзлых пород* архипелага Шпицберген. В ходе проведенных в июле 2025 г. полевых работ на архипелаге было проведено около 50 км пеших и лодочных маршрутов, заложено 15 почвенных разрезов (рис. 19.6), отобрано 77 образцов почв, в т.ч. 8 из надмерзлотных горизонтов почв и 11 из горизонтов, мерзлых на момент проведения работ – мерзлой части сезонноталого слоя и переходного слоя мерзлых пород. Также было отобрано 6 образцов погребенного органоминерального материала – прослоев торфа, – для ^{14}C -датирования.

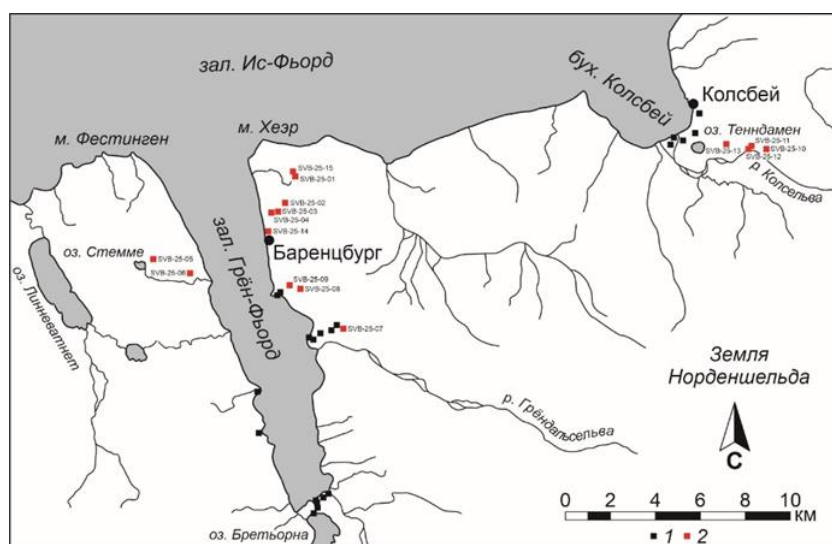


Рисунок 19.6 – Картограмма территории исследований с указанием местоположений почвенных разрезов: 1 – разрезы 2024 г.; 2 – разрезы 2025 г.

Разрезы мерзлотных почв и почвенно-мерзлотных комплексов (ПМК) закладывались по принципу почвенно-геохимических катен, намеченных в ходе работ в июле 2024 г., где верхняя часть находилась на склонах залива Грэнфьорд и долины реки Колесэльва. Целью выбора этих мест заложения разрезов является дополнение имеющихся данных о строении мерзлотных почв, ПМК и криогенной комплексности почвенного покрова в окраинных частях прибрежно-морских криогенных экосистем острова Западный Шпицберген. В ходе исследований, проведенных в 2024 г., было выяснено, что в нижних частях склонов прибрежно-морских криогенных экосистем этой территории мощность сезонноталого слоя (СТС) колеблется в районе 80–90 см. Щебнистость и завалуненность почв препятствуют формированию информативных для диагностики переходного слоя (ПС) и промежуточного слоя (ПрС) многолетнемерзлых пород (ММП) криотекстур. В связи с этим уверенное полевое криостратиграфическое разделение ПМК и характеристика криогенного строения и свойств структурных элементов ПМК затруднены, в т.ч. в связи с отсутствием хорошо выраженных естественных обнажений ММП. Особенностью, препятствующей отбору образцов из ПС, ПрС и ММП в профиле ПМК, также является то, что в непосредственной близости от морского берега над верхней границей мерзлых пород в почвенных разрезах вскрываются грунтовые воды.

В ходе полевых исследований в 2025 г. было установлено, что на большей части территории в заливе Грэн-фьорд мерзлотные почвы являются высокощебнистыми и завалуненными, в результате чего установление мощности СТС традиционным щуповым методом практически невозможно, к тому же верхние горизонты ММП, согласно литературным данным, имеют высокие температуры и вяломерзлое сложение (Romanovsky et al., 2010; Демидов и др., 2016). Лыдность многолетнемерзлых отложений также невысока (Втюрин, 1990). В результате ПС ММП в его классическом виде (Шур, 1988), может иметь здесь крайне ограниченное распространение и достаточно слабо выраженные морфологические свойства. В долине реки Колесэльва существуют литологические и геокриологические условия для формирования хорошо морфологически выраженных ПС и ПрС ММП. Здесь распространены супесчано-суглинистые отложения, сформированные при совместном участии склоновых и флювиальных процессов (Шарин и др., 2022). Эти отложения в гораздо меньшей степени завалунены и защебнены, а также, вероятно, имеют более низкие температуры в верхней части (Romanovsky et al., 2010). Долина реки Колесэльва является более перспективным местом с точки зрения дальнейшего изучения ПМК, чем район залива Грэн-фьорд.

Большая часть мерзлотных почв, изученных в районе залива Грэн-фьорд, имеет профиль, развитый на высокощебнистых и завалуненных отложениях, в основном склонового

происхождения. Об этом свидетельствует слабая окатанность валунов и щебня, а также признаки протекания склоновых процессов на участках заложения разрезов – выраженные в рельефе оползневые, солифлюкционные, пролювиальные конусы выноса, сплывины, делювиальные шлейфы и т.п. Вероятно, по завершении стадии развития склонового процесса почвы претерпевали также стадию активного влияния криогенеза. Об этом свидетельствуют следующие признаки почв: икряная (ооидная) структура верхних и срединных горизонтов, в некоторых случаях – криотурбации в виде погребенных фрагментов поверхностных органогенных горизонтов, а также достаточно хорошо выраженный криогенный микро- и нанорельеф поверхности почв (рис. 19.7). Наиболее вероятно, что к началу формирования таких форм криогенного микро- и нанорельефа, как тундровые пятна-медальоны, каменные кольца и многоугольники, полигонально-валиковые комплексы и т.п. поверхность полностью стабилизировалась.

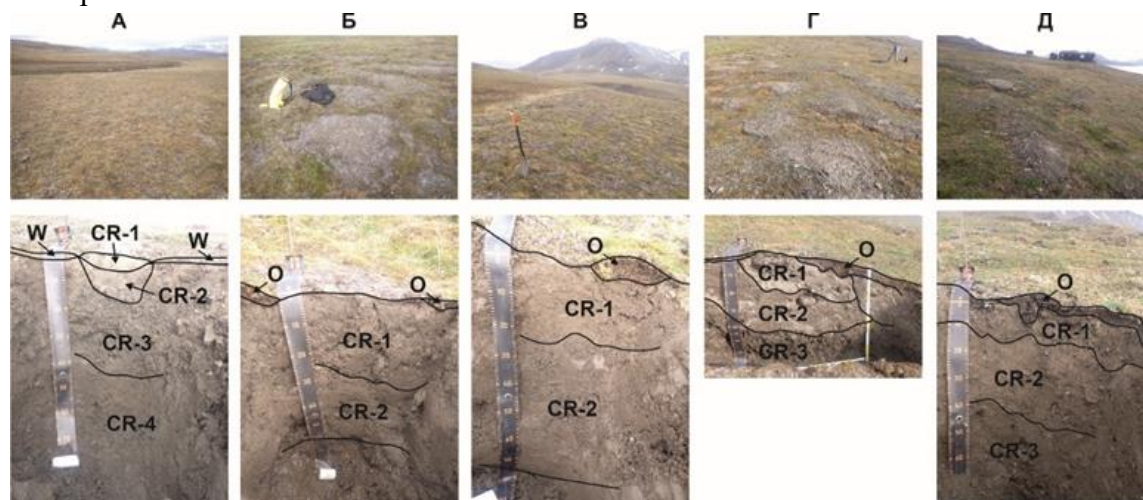


Рисунок 19.7 – Примеры организации криогенных горизонтов CR в криоземах в районе залива Грэн-фьорд и общий вид соответствующих им мерзлотных экосистем: А-Б) район м. Хеэр (SVB-25-01, -04); В) западный берег залива в районе оз. Стемме (SVB-25-05); Г) приустьевая часть долины р. Грёмдальсельва (SVB-25-07(1-2)); Д) м. Финнесет (SVB-25-09)

По классификации почв России (Полевой определитель..., 2008), большая часть описанных в районе залива Грэн-фьорд почв относится к типу криоземов. В строении профиля этих почв достаточно четко выделяются криогенные горизонты CR в виде бесструктурной слабооглеенной, зачастую влажной и сырой, изредка тиксотропной, минеральной массы холодных оттенков (сизовато-серой, темно-серой и т.д.), местами с рыжевато-бурыми пятнами ожелезнения. Эта минеральная масса чаще всего завалунена и защебнена, из-за чего достаточно ярко проявляются признаки процессов криогенной сортировки материала. На поверхности этих почв наблюдаются многочисленные тундровые пятна-медальоны и полигонально-валиковый криогенный микро- и нанорельеф, что также является дополнительным диагностическим признаком криоземов.

Часть почв, маломощный органогенный горизонт W которых подстилается непосредственно плотным высокощебнистым горизонтом, были отнесены к отделу слаборазвитых почв, типу петроземов.

Мощность СТС была достоверно установлена шуповым методом и подтверждена при заложении разреза лишь в 4 из 10 разрезов. Она составила 70, 72, 80 и 100 см в разрезах SVB-25-01, -04, -05 и -08, соответственно. Верхние горизонты ММП чаще всего малольдистые, криотекстуры массивные и корковые. В разрезе SVB-25-05 в верхнем горизонте ММП чередуются участки мерзлых малольдистых ММП с массивной криотекстурой и охлажденные, не содержащие льда, фрагменты слоистых плотных песчаников.

В долине реки Колесэльва почвы развиваются на рыхлых супесчано-суглинистых отложениях, сформированных при совместном участии флювиальных и склоновых процессов. На участке правого борта долины реки в рельефе выделяются многочисленные солифлюкционные сплывины и пролювиальные конусы выноса. Их поверхности рассечены

многочисленными тонкими руслами временных и постоянных ручьев. Некоторые сухие русла заняты темноцветной дресвой и мелкой галькой. Содержание в этих отложениях крупной гальки, щебня и валунов значительно ниже, чем в почвах в районе залива Грэн-фьорд. Характерный микро- и нанорельеф поверхности сформирован при криогенной сортировке рыхлого минерального материала. На поверхности почв представлены супесчано-суглинистые тундровые пятна-медальоны с выпученными мелким щебнем и дресвой, изредка с более крупными валунами.

По классификации почв России (Полевой определитель..., 2008), почвы в долине реки Колесэльва были отнесены к криоземам по совокупности признаков, аналогичной тем, что были описаны выше. Особенностью их строения является наличие погребенных в минеральной толще средней и высокой степени разложения прослоев растительных остатков – торфа и детрита, захороненных в процессе криотурбации и солифлюкции. Прослои изогнуты дугообразно, их крайние части конвективно поднимаются от краев пятна (наполюгона) к его центральной части. Минеральная масса горизонта CR имеет буровато-серые оттенки цвета, содержит как пятна оглеения, так и ожелезнения. Мощность СТС в их профилях не превышает 60-67 см (рис. 8 А-В).

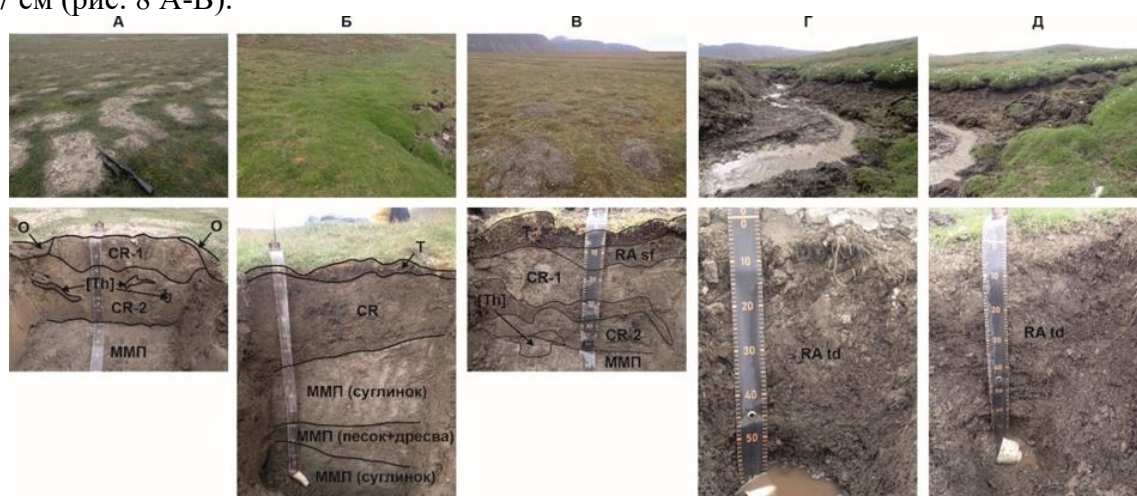


Рисунок 19.8 – Строение профилей мерзлотных почв в долине р. Колесэльва: А) криозем (SVB-25-10); Б) криозем и подстилающие его ММП, предположительно, ПС ММП (SVB-25-11); В) криозем солифлюкционно-стратифицированный (SVB-25-13; Г-Д) стратоземы термоденудационно-аккумулятивные (SVB-25-12(1-2))

В точке заложения разреза SVB-25-13 описан профиль торфяно-криозема стратифицированного, поверхность которого перекрыта слоем солифлюкционно-пролювиального наноса в виде дресвяно-мелкогалечникового материала. Нанос имеет мощность до 10 см, ниже горизонты CR криозема, аналогичные описанным в разрезе SVB-25-10.

В верхней части крутого термоэрозионного склона оврага, заложенного по сетке полигонально-жильных льдов, была проведена зачистка SVB-25-11, в которой был описан профиль ПМК, сочетающий профиль торфяно-криозема глееватого со значительной мощности мерзлой частью СТС (на момент проведения работ) и ПС средней льдистости с крупносетчатой криотекстурой. На глубине 100 см от поверхности происходит резкая смена литологических свойств отложений – их состав сменяется с супесчано-суглинистого на слоистый песок крупнозернистый с высоким содержанием дресвы, с признаками ожелезнения. На глубине 115 см вновь происходит резкая смена состава отложений на оглеенный тяжелый суглинок малольдистый с массивной криотекстурой.

В нижних частях склона долины ручья в том же овраге описаны два профиля синлитогенных почв, сформированных на материале, снесенном к базису эрозии оврага в процессах термоденудации и термоэрозии. Мощность наносного материала достигает 60-80 см, материал рыхлый, бесструктурный, содержит большое количество щебня и гальки, поверхность разбита системой трещин усыхания. Ниже, под наносом, располагается

погребенный горизонт средне-тяжелосуглинистых отложений, оглеенный, не содержащий включений. Верхняя граница этого горизонта отмечается ярко-красно-бурыми пятнами окисленных соединений железа. Наиболее подходящее классификационное название этого типа почв – стратозем термоденудационно-аккумулятивный.

Продолжались работы по совместному проекту AMP'D (Arctic Microbial Permafrost Degradation) с коллегами из университета Теннесси (США), посвященному вопросам интенсификации микробной жизнедеятельности при деградации мерзлоты, полевые работы проводились в 2019 и 2021-2022 годах в районе поселения Нью-Алесунд. Отобранные в ходе полевых работ керны мерзлых пород и почвенные профили анализировались на предмет таксономического и функционального разнообразия методами метагеномики. Проведены исследования термальных источников Шпицбергена с целью изучения структуры сообществ и их метаболического потенциала по метагеномным данным.

Все собранный в ходе полевых работ 2025 г. образцы (более 150) доставлены в Институт для проведения аналитических исследований. Выражаем благодарность ГТ «Арктикуголь» за логистическую поддержку при выполнении работ и коллективу РАЭ-Ш АНИИ за консультации и помощь в проведении полевых и лабораторных работ в поселке Баренцбург.

По теме исследований опубликованы статьи:

Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Демидов В.Э., Калинин П.И., Малышев В.В. Находки палеопочв в обнажениях пород девонского возраста на архипелаге Шпицберген. Доклады академии наук. Науки о Земле, 2025, том 520, № 2, с. 160–167.

Гинзбург А.П., Лупачев А.В. Почвенно-Геоморфологическое строение и некоторые физико-химические свойства почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов Западного Шпицбергена // Арктика и Антарктика, 2025. № 1. С. 60-81. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.72689

Литература:

Втюрин Б.И. Криогенное строение рыхлых отложений Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1990. № 70. С. 43-49.

Демидов Н.Э., Караевская Е.С., Веркулич С.Р., Никулина А.Л., Саватюгин Л.М. Первые результаты мерзлотных наблюдений на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ) // Проблемы Арктики и Антарктики, 2016. №4 (110). С. 67-79.

Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

Шарин В.В., Гусев Е.А., Зыков Е.А. Карта четвертичных образований архипелага Шпицберген масштаба 1:1000 000 // Рел. и четв. образ. Аркт., Субаркт. и Сев.-Зап. России, 2022. Вып. 9. С. 291-295.

Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мёрзлых пород и термокарст. Новосибирск: Изд-во АН СССР. Сиб. отд-ние, 1988. 214 с.

Berry, C.M., Marshall, J.E. Lycopoid forests in the early Late Devonian paleoequatorial zone of Svalbard // Geology, 2015. 43(12), 1043-1046.

Romanovsky, V. E., Smith, S. L., Christiansen, H. H. Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis // Permafrost and Periglacial processes, 2010. 21(2), 106-116.

Мероприятие 19 выполнено полностью.

Мероприятие 20. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене

Научное сотрудничество с Норвегией и другими недружественными странами приостановлено по их инициативе с марта 2022 г. В то же самое время в 2025 г. продолжало развиваться научное сотрудничество с КНР. В международные сети данных передавались данные о состоянии многолетней мерзлоты (CALM, GTN-P) и ледников (WGMS).

Так, в апреле 2025 г. ММБИ РАН посетила делегация Генконсульства КНР в Санкт-Петербурге во главе с Генконсулом. Во время встречи обсуждались, в том числе, вопросы научного сотрудничества на Шпицбергене. ФГБУ «ААНИИ» совместно с Институтом полярных исследований Китая (PRIC) и Шанхайским университетом Цзяотун запланировали проведение совместных полевых работ по направлению гляциология-гидрология-геохимия (не состоялись в связи с отказом китайским ученым в визе для въезда в Норвегию), обсуждалась организация на базе РИЦШ совместной летней школы по изучению криосферы.

ИФА им. А.М. Обухова РАН сотрудничал с Институтом физики атмосферы Китайской академии наук в области исследований теплового баланса ледников и ветрового режима архипелага: велся обмен данными, полученными в Баренцбурге и Нью-Олесунне, подготовлена совместная публикация «Extreme wind over Svalbard and its possible influential factors», представлено два доклада на российско-китайской конференции «17th Conference of Atmospheric Physics, Climate and Environment».

ИФХиБПП РАН продолжил работы по совместному проекту AMP'D (Arctic Microbial Permafrost Degradation) с коллегами из университета Теннесси (США), посвященному вопросам интенсификации микробной жизнедеятельности при деградации мерзлоты.

Несмотря на то, что Китай является наиболее перспективным партнером на архипелаге Шпицберген, и на активное налаживание научных контактов, подготовку проектов для билатерального финансирования, планирование совместных полевых работ, российско-китайские научные проекты не переходят в практическую фазу в связи со сложной логистикой и ограничениями для работы китайских ученых на архипелаге норвежской стороной. Можно заметить, что в настоящий момент успешно функционируют совместные проекты ИФА им. А.М. Обухова РАН и ИФХиБПП РАН, опирающиеся на обработку ранее полученных на архипелаге данных и не включающих современные активные полевые исследования.

Организована и успешно проведена XVI Международная научная конференция, посвященная 100-летию вступления в силу договора о Шпицбергене, «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2025», г. Мурманск, Россия, 23–24 октября 2025 г. По материалам конференции издан сборник тезисов: https://rio.ksc.ru/data/documents/78_SPITSBERGEN_2025.pdf

24 октября 2025 г. прошла Специальная совместная сессия «Шпицберген – территория международного сотрудничества и исследований в Арктике», организованная в рамках XVI Международной научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа» и VI Международной научно-практической конференции «Безопасность арктических рубежей: экология, история, образы будущего» и посвященная 100-летию вступления в силу Договора о Шпицбергене. Трансляция сессии шла с синхронным переводом на английский язык.

Заключение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на арх. Шпицберген в 2025 году включала 20 мероприятий, выполняемых 12 научными организациями Консорциума РНЦШ. Введенные Норвегией санкционные ограничения на провоз научного оборудования и расходных материалов, оплату услуг и товаров на архипелаге, общее усложнение и удорожание логистики создавали трудности при выполнении экспедиционных исследований. Это привело к уменьшению количества ученых и длительности их пребывания на архипелаге, а также уменьшению количества молодых ученых, которые смогли принять участие в полевых исследованиях. Важно отметить, что существенную логистическую поддержку участникам Консорциума оказал ФГУП ГТ «Арктикуголь».

В 2025 г. были получены новые данные по гидрометеорологическому режиму, океанологии, гидрологии, гляциологии, геофизики, геологии, палеогеографии, мерзлотоведению, 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 проводили ФГБУ «ААНИИ» и ФГБУ «Мурманское УГМС» Росгидромета. Сбор информации и наблюдения в дистанционном режиме продолжили Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН и Полярный геофизический институт. Собранные данные, после проведения необходимого анализа, позволят оценить современное состояние природной среды архипелага, выявить взаимосвязи между протекающими в ней процессами и тенденции происходящих изменений.

Полностью выполнены наблюдения ГМО «Баренцбург» ФГБУ «Мурманское УГМС». Материалы наблюдений обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Отмечено, что положительная аномалия среднемесячной температуры (в среднем $+1,8^{\circ}\text{C}$) наблюдалась во все месяцы 2025 г., за исключением апреля, который стал самым холодным за последние 16 лет. Количество выпавших осадков незначительно отклонялось от климатической нормы, только в июне выпало 178% от климатической нормы. Летний сезон был умеренно теплым, с максимальной температурой $+17,9^{\circ}\text{C}$, зарегистрированной 4 августа 2025 г., а 5 августа 2025 г. в Баренцбурге впервые была зарегистрирована гроза, связанная с сильным эпизодом фёна. Равномерные летние температуры воздуха привели к некоторому снижению объема таяния ледников в районе Баренцбурга (ИГ РАН, ФГБУ «ААНИИ») за 2024/2025 расходный год, при этом наибольшие объемы стаивания наблюдались в первой половине августа в связи с повторяющимся эпизодами фёна (ИФА им. А.М. Обухова РАН), что привело и к увеличению речного стока в этот же период. Мощность сезонно-талого слоя также не увеличивалась по сравнению с предыдущими годами наблюдений.

Зимовочным составом ФГБУ «ААНИИ» выполнены в полном объеме спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного Ледовитого океана и арктических морей при помощи расположенного в Баренцбурге антенного комплекса, непрерывные специальные метеорологические и геофизические наблюдения, а также постоянные химико-аналитические исследования.

Гидрологический мониторинг на водосборах рек и ледниках бассейна залива Грэнфьорд показал, что в 2025 г. относительно снежный зимний сезон с небольшим количеством оттепелей привел к формированию более мощного и плотного снежного покрова в долинах рек, в то время как влагозапас ледников был ниже среднеголетних значений. Гидрологический режим рек характеризовался низким межленным стоком в начале наблюдений, тепловыми паводками в августе и выраженным дождевым паводком в сентябре. В связи с поздним началом наблюдений на водосборах (пропущено весеннее половодье), рассчитанный общий слой стока оказался ниже среднегодовых значений. Продолжались экспериментальные измерения испарения с поверхности снега и поверхности почвы для последующего уточнения расчетов водного баланса.

В рамках океанографических исследований проведено весеннее и летнее зондирование заливов Исфьорд и Грэнфьорд для оценки затока атлантических вод, исследованы параметры карбонатной системы, распределение биогенных компонентов в водной толще заливов (совместно с ММБИ РАН), закономерности распределения фитопланктона, сделан расчет первичной продукции в заливах.

Сотрудники ФГБУ «ААНИИ» продолжили комплексное изучение ледников, включающее как мониторинг поверхностной абляции на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд, так и изучение свойств льда и теплового баланса поверхности. Изучение внутреннего строения и динамики геофизическими методами (совместно с ИГ РАН) позволило выявить некоторые закономерности изменения в объемах теплого и холодного льда на разных ледниках. Теплобалансовые наблюдения, дополненные данными об облачности, показали четкую зависимость между баллом облачности и потоками нисходящего длинноволнового излучения и суммарной солнечной радиации, влияющими на поверхностное таяние ледника.

Сеть наблюдений состояния многолетней мерзлоты, созданная и расширяемая с 2016 г. была дополнена скважинами для методических исследований, кроме того найдена перспективная глубокая скважина для отслеживания температуры ниже глубины нулевых амплитуд, проведено георадиолокационное зондирование многолетних бугров пучения в долинах рек Холлендар и Рейн, выполнен отбор подмерзлотных и надмерзлотных вод для изучения их микробиологических характеристик. Мониторинг температуры мерзлоты и мощности сезонно-талого слоя наряду с климатическими характеристиками позволил сделать предположения о формировании и развитии мерзлоты на Шпицбергене в сравнении с мерзлотой, сформировавшейся на архипелагах АЗРФ.

Палеогеографические и геоморфологические полевые исследования ФГБУ «ААНИИ» выполнялись совместно с ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в западной части Земли Хокон VII, в юго-западной части Земли Альберта I (п-ов Митра), на Земле Оскара II (п-ов Брюгера) и северной части о. Земля Принца Карла, собран материал для дальнейших аналитических исследований. В химико-аналитической лаборатории выполнен химический и диатомовый анализ ранее отобранных образцов четвертичных отложений на юге Земле Норденшельда. В весенний период проведены палеолимнологические работы (совместно с РГПУ им. А. И. Герцена): отобраны колонки донных отложений из озер разного генезиса для последующей реконструкции механизма осадконакопления в условиях потепления.

Анализ данных геофизических наблюдений ФГБУ «ААНИИ» выявил эпизоды появления перемещающихся ионосферных возмущений на трассах наклонного зондирования ионосферы, вызванные магнитными возмущениями, позволил оценить параметры E-слоя ионосферы и изучить спектральные характеристики солнечного излучения в диапазонах UVB и UVA.

СЗФ ФГБУ «НПО «Тайфун» успешно выполнил экологический мониторинг загрязнения объектов окружающей среды в районах хозяйственной деятельности российских предприятий. В ходе полевых работ отобраны образцы различных природных сред, подготовка и частичный анализ образцов выполнены в химико-аналитической лаборатории в п. Баренцбург. Дальнейший химический анализ образцов для оценки содержания органических и минеральных загрязняющих веществ ведется в базовой лаборатории в Санкт-Петербурге.

Сотрудники ФГБУ «ВНИИОкеангеология» успешно провели полевые исследования на побережье заливов Кросс-фьорд и Конгс-фьорда (Земля Хакон VII, Земля Альберта I, Земля Оскара II) и северо-западе Земли Принца Карла, составили предварительные карты геологического содержания на ключевые участки, собрали материал для уточнения особенностей геологического строения архипелага Шпицберген по стратиграфии и вещественному составу пород ранне-среднерифейского и четвертичного комплексов; петрологии разновозрастных магматических (гранитных) комплексов; структурным и кинематическим характеристикам зон глубинных разломов. Детально описаны и опробованы

крупные обнажения четвертичных осадков на севере Земли Принца Карла, северном побережье Конгс-фьорда и западе полуострова Брэггер, представляющие опорные разрезы неоплейстоцен-голоценовых осадков северо-западной части архипелага; впервые выявлены и изучены реликты террас с осадками неоплейстоценового возраста в западной части полуострова Митра. Пополнена эталонная коллекция горных пород.

Сотрудники ИГ РАН продолжили мультидисциплинарные исследования природных и антропогенных ландшафтов в районе п. Баренцбург. Результаты измерений на криосферном профиле позволили уточнить математическую модель для различных значений плотности снега и его толщины, по результатам численных экспериментов рассчитано отношение температуры поверхности грунта и температуры воздуха. Оценена абляция на леднике Восточный Грэнфьорд, рекогносцировочным бурением выявлено обводнение ледниковой толщи, в связи с чем обновлена речная сеть. Получены оценки потоков углекислого газа в селитебных почвах Баренцбурга, Пирамиды и Колсбея в сравнении с моренными участками и ненарушенной тундрой, отобраны образцы почв для комплексных микробиологических и физико-химических исследований. Проведен мониторинг гнездовых группировок птиц в синантропных колониях и естественной природной среде, в том числе на молодых ледниковых моренах, обнаружены новые виды на весенней миграции, в исследования успешно интегрированы данные, полученные местными жителями и учеными при попутных исследованиях. Впервые проведена работа по выделению ключевых участков, представляющих наибольший интерес для последующего проведения комплексного мониторинга геосистем и закладки мониторинговых площадок.

Комплексные морские исследования проводились ММБИ РАН. В весенний период велись полевые работы по сбору материала в заливе Грэнфьорд, в частности экспериментальные работы по изучению влияния температуры на зоопланктон, оценка биоразнообразия и популяционных характеристик микрозообентоса на литорали, палеоклиматические исследования и изучение загрязнения донных отложений залива. В летний период велись орнитологические исследования, изучение беспозвоночных в почвах, оценка накопления тяжелых металлов в пищевой цепи, а также гидрохимические и продукционные исследования в заливах Исфьорд, Грэнфьорд и Биллефьорд. Анализ отобранного ранее материала позволил реконструировать уровни загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами и факторы их накопления в донных осадках озер и заливов Западного Шпицбергена и оценить режим седиментации в зависимости от климатических изменений.

Ученые ПАБСИ КНЦ РАН провели сбор флористических материалов на базе полевого лагеря ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и в районах поселков Баренцбург и Лонгйирбюен. Кроме того, выполнены обширные лабораторные исследования ранее собранных в разных районах Шпицбергена материалов с целью изучения лишайников, клавариоидных грибов, мхов и сосудистых растений. В районе бухты Колес выявлены впервые для этой территории 112 видов лишайников, на 70% расширен список видов афиллофоровых грибов на Шпицбергене, завершено уточнение положения двух видов печеночных мхов и проанализировано распространение на Шпицбергене редких видов печеночников, завершено определение образцов мхов, собранных на Земле Диксона – найдено 5 новых для архипелага видов, изучена адаптивная стратегия двух видов одуванчика – аборигенного и адвентивного.

Проведенный специалистами Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН анализ записей сейсмических событий в 2025 г. в районе Шпицбергена показал, подавляющее большинство зарегистрированных сейсмических событий имели малые энергии и ассоциировались со слабой тектонической сейсмичностью и процессами разрушения ледников. Наиболее сейсмоактивной зоной оставалась область океанического дна вдоль Срединно-Атлантического хребта, в зоне пролива Стур-фьорд и о. Северо-Восточная Земля. Сильнейшее землетрясение региона произошло 22 мая 2025 г. на окраине Баренцевоморской шельфовой плиты и ощущалось интенсивностью до 4-5 баллов на территории поселка и шахты

Баренцбург. Наибольшая интенсивность процессов деструкции ледников отмечена в районе заливов Конгсфьорд, Хорнсунн и на восточном побережье о. Западный Шпицберген. Зарегистрированные инфразвуковые события с большой долей вероятности порождены процессами деструкции ледников на северном берегу Исфьорда.

На основе данных, полученных комплексом оборудования геофизической обсерватории «Баренцбург», сотрудники ПГИ направили анализ импульсной компоненты электромагнитного поля ОНЧ-диапазона на фоне сейсмической активности, пространственной динамики аврорального хисса и продольных токов, изучили механизм возникновения полярных суббурь, показали, что интенсивность космических лучей достигла минимума и начала расти, а солнечная активность находится в фазе спада, оценили вариации потоков мюонов и мягкой электромагнитной компоненты. В летний период проведено техническое обслуживание, ремонт и калибровка электромагнитной и оптической аппаратуры обсерватории для подготовки к наблюдательному сезону 2025-2026 гг.

Ученые ИА РАН продолжили натурные обследования исторических памятников, связанных с поморской культурой, деятельностью русских научных экспедиций XVII-XX веков и угледобывающим производством конца XIX века. В районе бухты Эбельтофтхамна (Кроссфьорд) обследована группа объектов археологического наследия разного времени, в том числе кладбище китобоев, остатки китобойной станции и жиротопной печи, песцовая ловушка, три жилищных комплекса поморского становища и некрополь XVII-XVIII вв. Несмотря на ведущийся мониторинг состояния памятника с норвежской стороны, комплекс находится в аварийном состоянии и требует проведения спасательных археологических работ. Деревянные конструкции становища Кингсхамна на острове Земля Принца Карл были обследованы дистанционно с судна и показали признаки активного разрушения, что указывает на необходимость посещения памятника в следующем сезоне. Был проведен мониторинг лагеря Чичагова и дома Русанова, поселка Грумант, состояния обшивки поморского судна на восточном берегу Исфьорда и выходов углеразведочных шахт начала XX в. В связи с тем, что вывоз памятников культурного и исторического наследия с архипелага Шпицберген невозможен, было начато создание трехмерных цифровых моделей хранящихся в музее «Помор» археологических предметов поморской материальной культуры для их дальнейшего исследования и демонстрации на виртуальной онлайн-выставке: были оцифрованы 15 малых предметов различной сложности.

Ученые ИФА им. А.М. Обухова РАН оценили на л. Западный Грэнфьорд турбулентный поток тепла, распределение параметров динамической и термической шероховатости, с помощью мезомасштабного моделирования провели детальный анализ эпизодов фёна в первой половине августа и их влияние на скорость абляции ледника, сравнили степень влияния фёна на абляцию на ледниках Альдегонда и Западный Грэнфьорд, связанную с расположением ледников относительно натекающего потока.

Сотрудники ИФХиБПП РАН провели исследования по двум направлениям. На Земле Диксона изучены палеопочвы девонского времени, отличающиеся полнотой профиля и сохранностью тканей, на основе полученных ранее минералогических и химических данных образцов изучены механизмы и условия формирования девонских почв в этом регионе, дальнейшее исследование отобранных палеопочв и палеоботанических образцов позволит детализировать процессы почвообразования и климатические условия на архипелаге в период раннего и позднего девона. В районе п. Баренцбург и Грумант изучалось строение мерзлотных почв и подстилающих многолетнемерзлых пород: заложены 15 почвенных разрезов, выделены особенности развития почвенно-мерзлотных комплексов на обследованных участках, отобраны образцы для последующего физико-химического анализа.

В связи с остановкой международного сотрудничества со стороны европейских партнеров, развивалось научное сотрудничество с азиатскими партнерами, в частности с Китаем. В апреле 2025 г. ММБИ РАН посетила делегация Генконсульства КНР в Санкт-Петербурге во главе с Генконсулом. Во время встречи обсуждались, в том числе, вопросы

научного сотрудничества на Шпицбергене. ФГБУ «ААНИИ» совместно с Институтом полярных исследований Китая (PRIC) и Шанхайским университетом Цзяотун запланировали проведение совместных полевых работ по направлению гляциология-гидрология-геохимия, обсуждалась организация на базе РНЦШ совместной летней школы по изучению криосферы. ИФА им. А.М. Обухова РАН сотрудничал с Институтом физики атмосферы Китайской академии наук в области исследований теплового баланса ледников и ветрового режима архипелага: велся обмен данными, полученными в Баренцбурге и Нью-Олесунне, подготовлена совместная публикация в международном журнале, представлено два доклада на российско-китайской конференции.

Однако следует отметить, что несмотря на активное налаживание научных контактов, подготовку проектов для билатерального финансирования, планирование совместных полевых работ, российско-китайские научные проекты не переходят в практическую фазу в связи со сложной логистикой и ограничениями для работы китайских ученых на архипелаге норвежской стороной. В настоящий момент успешно функционируют совместные проекты ИФА им. А.М. Обухова РАН и ИФХиБПП РАН, опирающиеся на обработку ранее полученных на архипелаге данных и не включающих современные активные полевые исследования.

Несмотря на продолжающиеся сложности при организации экспедиционных полевых работ и в целом удорожание исследований, благодаря взаимной поддержке и содействию ГТ «Арктикуголь», организации-партнеры РНЦШ выполнили программу исследований и наблюдений. Целевые показатели программы в целом достигнуты.

Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2025 г.

№	Целевые индикаторы и показатели	Запланировано	Фактически
1	Количество публикаций в реферируемых изданиях, содержащих результаты научной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (единиц)	34	34
2	Прирост объема информации о природной среде арх. Шпицберген (гигабайт), в том числе данные постоянных метеорологических, геофизических и спутниковых наблюдений	18200	18800
3	Количество молодых ученых (специалистов) ВУЗов, студентов и аспирантов, привлеченных к выполнению НИОКР в рамках проекта	20	20
4	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности, в том числе направленных на государственную регистрацию	0	1