

УТВЕРЖДЕНО
протоколом Наблюдательного совета
по координации деятельности
Российского научного центра на
архипелаге Шпицберген
от 15 декабря 2020 г. № 11

ОТЧЕТ
о выполнении
Межведомственной программы
научных исследований и наблюдений на архипелаге
Шпицберген в 2020 году

Москва 2020

Содержание

Введение.....	4
Организации Росгидромета.....	5
Организации Роснедр.....	5
Организации Минобрнауки.....	5
Мероприятия Росгидромета.....	7
ФГБУ «ААНИИ».....	7
Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы.....	7
Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген.....	20
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.....	35
Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты.....	38
Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей.....	43
Мероприятие 8. Экологические исследования.....	45
Мероприятие 9. Специализированная научно-исследовательская практика для студентов профильных вузов на базе РНЦШ.....	50
Мероприятие 10. Работы по линии международного сотрудничества на арх. Шпицберген.....	50
ФГБУ «Мурманское УГМС».....	52
Мероприятие 11. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».....	52
ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ».....	55
Мероприятие 12. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.....	55
Мероприятия Роснедр.....	57
АО «ПМГРЭ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология».....	57
Мероприятие 13. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген.....	57
Мероприятия организаций Минобрнауки.....	59
ФГБУН Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН).....	59
Мероприятие 14. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген.....	59
Мероприятие 15. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.....	59
ФГБУН ФИЦ Кольский научный центр Российской академии наук (ФИЦ КНЦ РАН).....	68
Мероприятие 16. Изучение минералогического разнообразия и минеральных фаз-концентраторов редких, радиоактивных и рассеянных элементов архипелага Шпицберген.....	68
ФГБУН Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН).....	73

Мероприятие 17. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген	73
ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН)	78
Мероприятие 18. Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.....	78
Кольский филиал ФГБУН ФИЦ Единая геофизическая служба РАН_(КоФ ФИЦ ЕГС РАН).	87
Мероприятие 19. Развитие методов и аппаратных средств сейсмо-инфразвукового мониторинга процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген и в прилегающем районе Западного сектора Арктической зоны Российской Федерации.....	87
ФГБНУ Полярный геофизический институт (ПГИ).....	92
Мероприятие 20. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.....	92
ФГБУН Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)	96
Мероприятие 21. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген	96
ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН).....	98
Мероприятие 22. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена	98
Заключение	102
Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2020 г.	105

Введение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2020 г (далее – Межведомственная программа) была утверждена Наблюдательным советом РНЦШ 30 марта 2020 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 2020 года в области фундаментальных и прикладных научных исследований» в соответствии с «Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», утвержденных указом №164 Президентом Российской Федерации от 5 марта 2020 г., «Концепцией создания и развития Российского научного центра на архипелаге Шпицберген», одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2014 г. № 1676-р, и распоряжением Правительства Российской Федерации от 4 апреля 2016 г. № 577-р о создании постоянно действующей Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген.

Программа содержала следующие задачи, поставленные перед организациями – участниками РНЦШ:

1. Исследование гидрометеорологического режима, текущих и прошлых климатических изменений на архипелаге Шпицберген, включая изучение криосферы, рельефа, почв и грунтов, вод суши.
2. Выполнение комплексных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».
3. Мониторинг океанологических и ледовых условий в прибрежных водах архипелага, изучение влияния атлантических вод на океанологические условия в регионе.
4. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.
5. Мониторинг температурного состояния многолетней мерзлоты, глубины распространения сезонно-талого слоя и оценка энерго- и массо-обмена подстилающей поверхности с атмосферой.
6. Исследование межгодовой изменчивости параметров снежного покрова и многолетней мерзлоты, влияющих на деятельность человека в Арктике.
7. Разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах.
8. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген, оценка пространственной изменчивости характеристик ледников, снега и фирна.
9. Исследование растительно-почвенных ресурсов и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.
10. Исследование динамики углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген в условиях меняющегося климата.
11. Исследование механизмов устойчивости и оценка продуктивности растений разных таксономических групп в высокоширотных тундровых экосистемах.
12. Совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями Западного Шпицбергена в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия.
13. Геоэкологический мониторинг различных районов архипелага Шпицберген, в частности законсервированных и действующих поселков.
14. Изучение четвертичных отложений архипелага с целью палеогеографического анализа, реконструкции ландшафтов и прогноза их формирования и развития.

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

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

17. Изучение минералогического разнообразия и минеральных фаз-концентраторов редких, радиоактивных и рассеянных элементов архипелага Шпицберген.

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

19. Развитие методов и аппаратных средств интегрированного сейсмо-инфразвукового комплекса на острове Западный Шпицберген для контроля опасных геодинамических процессов в литосфере и криосфере Западной Арктики.

20. Разработка геофизических индикаторов айсбергогенных льдотрясений.

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

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

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

Эти задачи вошли в 22 Мероприятия Межведомственной программы, распределенных между 13 исполнителями - участниками Консорциума РНЦШ.

Организации Росгидромета

ФГБУ «ААНИИ» – Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы. Мероприятие 2. Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген. Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген. Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена. Мероприятие 5. Палеогеографические исследования. Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты. Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей. Мероприятие 8. Экологические исследования. Мероприятие 9. Специализированная научно-исследовательская практика для студентов профильных вузов на базе РНЦШ. Мероприятие 10. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене.

ФГБУ «Мурманское УГМС – Мероприятие 11. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

ФГБУ «НПО «Тайфун» – Мероприятие 12. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

Организации Роснедр

ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и АО «ПМГРЭ» – Мероприятие 13. Региональные геолого-геофизические исследования с целью изучения геологического строения и минерально-сырьевого потенциала территории архипелага Шпицберген.

Организации Минобрнауки

ФГБУН «ИГ РАН» – Мероприятие 14. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген. Мероприятие 15. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.

ФГБУН «ФИЦ КНЦ РАН» – Мероприятие 16. Изучение медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов на организм человека в условиях арх. Шпицберген.

ФГБУН «ММБИ РАН» – Мероприятие 17. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.

ФГБУН «ПАБСИ КНЦ РАН» – Мероприятие 18. Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.

КоФ ФГБУН «ФИЦ ЕГС РАН» – Мероприятие 19. Развитие методов и аппаратных средств сейсмо-инфразвукового мониторинга процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген и в прилегающем районе Западного сектора Арктической зоны Российской Федерации.

ФГБНУ «ЛГИ» – Мероприятие 20. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.

ФГБУН «ИА РАН» – Мероприятие 21. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

ФГБУН «ИФА им. А.М. Обухова РАН» – Мероприятие 22. Разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах.

При выполнении Межведомственной программы организации РНЦШ столкнулись с серьезными проблемами, связанными с пандемией новой коронавирусной инфекции. Принятые Российской Федерацией, Норвегией и другими странами меры по предотвращению распространения вируса Covid-19 резко ограничили возможности по организации работ на Шпицбергене. Авиасообщение России с иностранными государствами было прекращено, чартерные рейсы из Москвы в Лонгйир отменены. С 16 марта решением норвежских властей архипелаг был фактически закрыт для иностранцев, затем требования были несколько смягчены, обязательным осталось условие прохождения карантина на территории материковой Норвегии. Таким образом, доставка экспедиционных групп на Шпицберген в условиях пандемии и соответствующих ограничений требовала очень больших организационных усилий и значительных дополнительных расходов. Большинство членов РНЦШ либо не смогли провести полевые работы, либо выполнили их не в полной мере. В данной ситуации институты делали упор на кабинетную работу, обработку ранее полученных данных, подготовку обзоров и публикаций. Особое значение приобрела взаимная помощь партнеров по РНЦШ, которая проявлялась в логистической поддержке, отборе полевых материалов и выполнении сопутствующих работ по просьбам коллег специалистами, которым удалось добраться до Шпицбергена.

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

Мероприятия Росгидромета ФГБУ «АНИИ»

Мероприятие 1. Метеорологические исследования параметров приземной атмосферы

Исследования параметров приземной атмосферы включают три раздела:

- Изучение оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля и оценка вклада антропогенных составляющих в уровни загрязнения арктической атмосферы за счет дальнего трансграничного переноса воздушных масс по содержанию аэрозоля;
- исследования теплового баланса снежно-ледникового покрова с целью корректного описания процессов абляции и процессов энерго-массообмена атмосферы с подстилающей поверхностью и физических процессов в радиационно-активном деятельном слое ледников и снежного покрова тундры и исследование режима осадков, формирования снежного покрова и коррекция методик наблюдения;
- Совершенствование описания процессов взаимодействия пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью для решения фундаментальной задачи эволюции криосферы Арктики в условиях глобального изменения климата.

Изучение оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля

С октября 2019 г. по сентябрь 2020 г. АНИИ совместно с Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА СО РАН) продолжил измерения характеристик атмосферного аэрозоля на архипелаге Шпицберген в соответствии с соглашением об организации Совместной межведомственной «Лаборатории полярного аэрозоля». Исследования выполнялись также в рамках Программы Президиума РАН №32 «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» (проект «Комплексные исследования аэрозоля и сажи в атмосфере Российской Арктики»). Исследования оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля проводились с целью:

- получения экспериментальных данных, необходимых для оценки радиационно-климатического влияния аэрозоля в высокоширотном регионе; при накоплении достаточного объема данных они используются для разработки средних эмпирических микрофизических моделей аэрозоля в регионе работы станции.
- определения вклада региональных источников аэрозоля (местных и морских) и переносов аэрозоля со стороны Европы.

Измерения характеристик атмосферного аэрозоля выполнялись на территории Гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» сотрудниками зимовочного состава РАЭ-Ш. Аэрозольная станция содержит в своем составе приборы для измерения основных микрофизических характеристик аэрозоля и обеспечивает круглосуточные наблюдения динамики аэрозольного состава в приземном слое воздуха. Комплекс аппаратуры включает в себя: четырехволновой дифференциальный аэталометр МДА-02 (ИОА СО РАН); аэталометр АЕ-33 (АНИИ); оптический счетчик частиц AZ-10 (ИОА СО РАН); аспиратор аэрозольных частиц на фильтры (в составе воздушного насоса HAILEA, ротаметра и фильтродержателя, Сакерин и др. 2018).

Для измерений аэрозольной оптической толщины и общего влагосодержания атмосферы использовался солнечный фотометр SP9. Методики определения АОТ и влагосодержания описаны в работах (Кабанов и Сакерин 1995, Кабанов и Сакерин 1997, Кабанов и др. 2001, Кабанов и др. 2009, Сакерин и др. 2010). Обработка результатов осуществлялись по специальной программе (Турчинович и др. 2014) в ИОА СО РАН. Фотометром SP9 в 2020 г. выполнен 24777 замер. После обработки данных и фильтрации

замеров, искаженных облачностью, были сформированы массивы среднечасовых и среднедневных значений АОТ и ОВС.

В течение года измерялись: интегральные (по всей толще атмосферы) характеристики – аэрозольная оптическая толщина (АОТ τ_{λ}^a) и общее влагосодержание атмосферы W [$\text{г} \times \text{см}^{-2}$] (ОВС); в приземном слое атмосферы – счетная концентрация частиц аэрозоля NA [см^{-3}] и распределение объема частиц по размерам dV/dr [$\text{мкм}^2 \times \text{см}^{-3}$], где r – радиус частиц; массовая концентрация аэрозоля MA [$\text{мкг} \times \text{м}^{-3}$] и поглощающего вещества («сажи» – black carbon) MBC [$\text{мкг} \times \text{м}^{-3}$]; коэффициенты полного и обратного аэрозольного рассеяния; осуществлялся забор проб аэрозоля на фильтры для последующего химического анализа. Результаты анализа данных о химическом составе аэрозоля за предыдущие годы измерений представлены в работах (Голобокова и др. 2020, Сакерин и др. 2018).

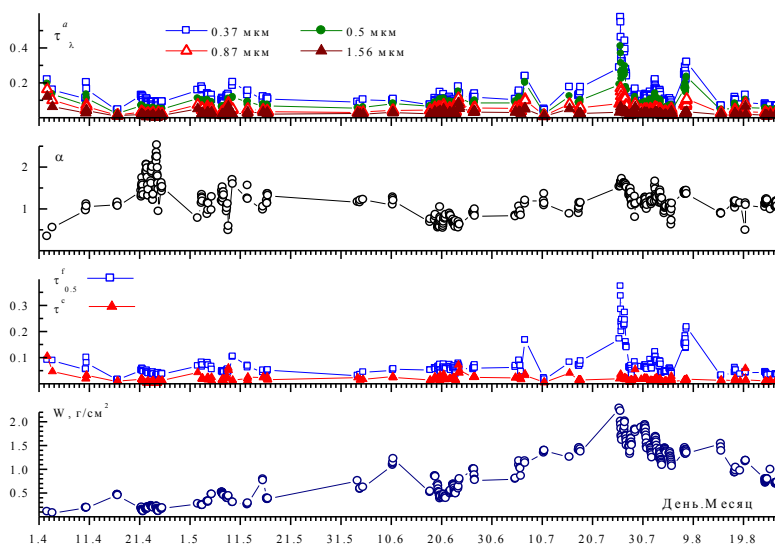


Рисунок 1.1. – Вариации АОТ (0,37, 0,50, 0,87 и 2,14 мкм), показателя Ангстрема α , $\tau_{0.5}^f$, τ^c и влагосодержания атмосферы W в районе Баренцбурга в 2020 г.

В 2020 г. наблюдалось три всплеска замутнения атмосферы обусловленных влиянием мелкодисперсного аэрозоля (6, 25, 26 июля и 7 августа) (рис. 1.1). Анализ обратных траекторий в эти дни (<https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) и спутниковых данных о температурных аномалиях на поверхности Земли (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) показал, что в эти дни наблюдался вынос дымового аэрозоля (рис. 1.2). Основным источником дыма в эти дни были пожары в северных районах Западной Сибири.

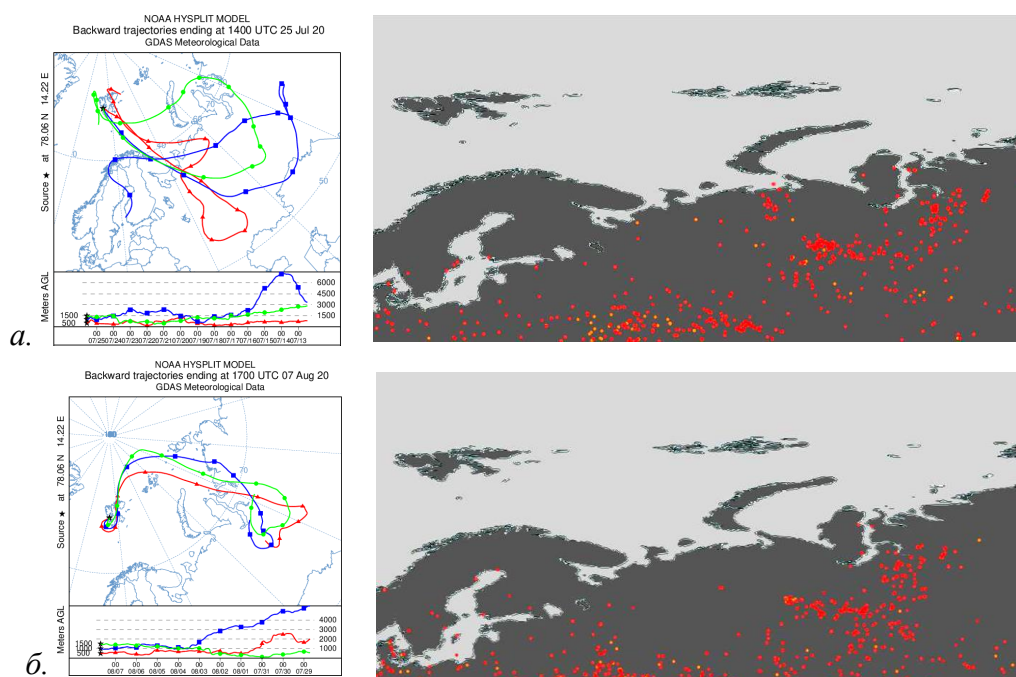


Рисунок 1.2 – Карты обратных траекторий воздушных масс и температурных аномалий (пожаров) для (а) 25 июля и (б) 7 августа 2020 г.

Сопоставление результатов 2020 г. с ранее полученными данными (Сакерин и др. 2020) показало их достаточно хорошее согласие, в отличие от 2019 г. По среднегодовым значениям характеристики АОТ близки к средним за период 2011-2018 гг. Основной вклад в вариации годовых значений $\tau_{0.5}^a$ (рис. 1.3) вносит АОТ мелкодисперсного аэрозоля, обусловленная эпизодическими выносами дымов лесных пожаров с континентов. Отсутствие «дымовых» всплесков АОТ в 2011-2014 гг., по-видимому, было связано с тем, что измерения выполнялись лишь фотометром SPM и в условиях повышенного замутнения измерения операторами не проводились.

Влияние эпизодических, но достаточно мощных «дымовых» всплесков замутнения атмосферы отражается на сезонной изменчивости АОТ. Вклад трех дней с присутствием дымового аэрозоля в июле 2020 г. (13 дней измерений) привел к увеличению среднемесячного значения $\tau_{0.5}^a$ более чем на 40%. Максимальное среднемесячное значение $\tau_{0.5}^a=0,085\pm0,018$ наблюдалось в мае, а минимальное $\tau_{0.5}^a=0,071\pm0,039$ в августе (обработка сентябрьских измерений будет проведена позже).

В динамике влагосодержания (рис. 1.4), несмотря на межсуточные вариации, как и в предыдущие годы, диапазон изменчивости определяется в основном сезонным ходом: увеличение влагосодержания от весны к лету и снижение к осени. В качестве особенности 2020 г. можно отметить низкие, в сравнении с прошлыми годами, значения влагосодержания в апреле-мае $\bar{W}=0,29\pm0,14$ г/см² и более высокие значения в июле $\bar{W}=1,46\pm0,35$ г/см².

Временная изменчивость массовой концентрации сажи M_{BC} , счетной N_A и массовой M_A концентраций аэрозоля показана на рисунке 1.5а. Следует отметить, что счетчик частиц AZ-10 в начале августа вышел из строя и отправлен на ремонт, поэтому данные по счетной и массовой концентрациям аэрозоля приведены только до 9 августа 2020 г. Отличительной особенностью в отчетном периоде являются высокие значения массовой концентрации «сажи» в зимний период. Средняя концентрация M_{BC} за период полярной ночи почти в 2 раза превышает среднее значение в период полярного дня. Максимум в январе 2020 г. (рис. 1.5б) сопоставим с летними максимумами 2015 года в период влияния шлейфов дымового аэрозоля из Сибири и Северной Америки и ноября-декабря 2019 г. при сжигании мусора на территории поселка. Весенний максимум, связанный обычно с влиянием «арктической дымки» наблюдался в марте 2020 г, тогда как в 2018-2019 гг. подобный максимум приходился на апрель. Минимальные значения M_{BC} отмечаются в мае-июне 2020 г. Тенденция минимальных значений массовых концентраций сажи в мае-июне наблюдается в Баренцбурге практически ежегодно, равно как и их последующий рост в летний период. С момента начала круглогодичных измерений в 2016 году, это M_{BC} показала максимальное среднегодовое значение за отчетные периоды наблюдений (примерно в 1,3 раза выше, чем в предыдущие 3 периода).

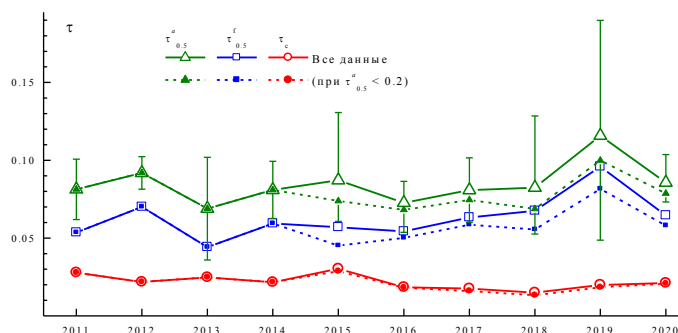


Рисунок 1.3 – Межгодовой ход $\tau_{0.5}^a$ и АОТ мелко- и грубодисперсного аэрозоля

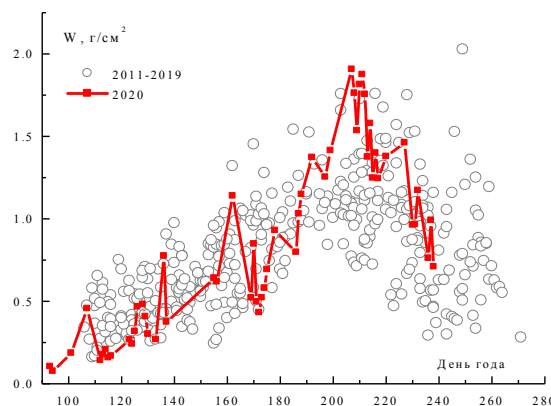


Рисунок 1.4 – Изменчивость общего влагосодержания атмосферы в течение измерительных сезонов 2011-2019 гг. и 2020 г.

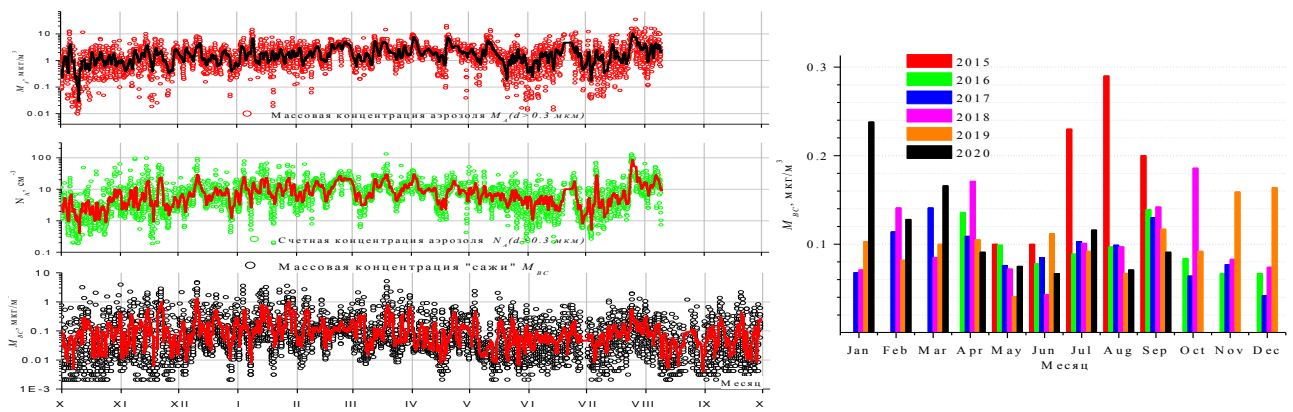


Рисунок 1.5 – (а) Временной ход массовой концентрации сажи, счетной и массовой концентраций аэрозоля с октября 2019 по сентябрь 2020 г. в пос. Баренцбург. Жирными линиями отмечено сглаживание исходных данных за период 24 часа. Временные развертки приведены с учетом выбраковки данных, подверженных влиянию локальных источников сажи и аэрозоля. (б) Среднемесячные значения массовых концентраций сажи в 2015 – 2020 годах в пос. Баренцбург

Значения массовой и счетной концентраций аэрозоля также превышают аналогичные значения за 3 предыдущих периода измерений. M_A в среднем в 1,26 раза, а N_A в 1,24 раза выше показателей 2016-2019 гг. Минимальные значения и счетной и массовой концентраций аэрозоля отмечались в октябре 2019 г. Затем наблюдался постоянный рост значений вплоть до февраля 2020 г. После этого шло убывание концентраций до июня, и затем снова рост в летний период до максимальных значений в августе. Также отмечается еще один выраженный максимум массовой концентрации аэрозоля M_A в апреле 2020г.

Для частиц субмикронной фракции (радиусом менее 0,5 мкм) минимальные значения фиксировались в октябре 2019 г. и в июне 2020 г., максимальные – в феврале и августе 2020 г. Максимальные значения крупных частиц, дающих наибольший вклад в массовую концентрацию аэрозоля, регистрировались в апреле, и в июле-августе 2020 г. На эти же месяцы приходится и максимумы M_A . При проведенном ранее (для измерений до 2020 г.) анализе объемных функций распределения (dV/dR) в диапазоне самых крупных частиц ($R > 1 \mu\text{m}$) была выявлена тенденция роста значений (dV/dR) в середине теплого периода в сравнении с началом и концом полярного дня, что объясняется увеличением генерации почвенного и морского аэрозоля при сходе снежного покрова (Чернов и др. 2020).

Таким образом анализируя данные за отчетный период измерений можно сделать предварительные выводы:

- Повышения замутнение атмосферы в 2020 г. наблюдались 6, 25 и 26 июля и 7 августа и были обусловлены выносом дымового аэрозоля из районов севера Западной Сибири.
- Сопоставление результатов измерения АОТ в 2020 г. с данными 2011-2018 гг. показало их достаточно хорошее согласие. При исключении «дымовых» всплесков среднегодовое значение $\tau^{a_{0.5}}_{[2020]} = 0,086 \pm 0,018$ находится в середине диапазона изменчивости среднегодовых значений ($0,069 \div 0,092$) и близка к среднему $\tau^{a_{0.5}}_{[2011-2018]} = 0,081 \pm 0,007$.
- Особенность сезонной динамики влагосодержания атмосферы в 2020 г., в сравнении с данными прошлых лет, проявилась в меньших (в среднем на 30%) значениях в весенний период и повышенных значениях (в среднем на 26%) в июле.
- Средние значения (и СКО) концентраций аэрозоля и «сажи» для измерительного периода с октября 2019 г. по сентябрь 2020 г. составили: $M_A = 1,89 \pm 1,83 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $N_A = 8,66 \pm 9,74 \text{cm}^{-3}$, $M_{BC} = 124 \pm 280 \text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Все эти значения являются максимальными с момента начала круглогодичных измерений (с 2016 года).
- Повышенные значения концентраций сажи наблюдались в течение всей «полярной ночи». Среднее значение M_{BC} в этот период в 2 раза превышает среднее M_{BC} за период «полярного дня». Еще один максимум, связанный с влиянием «арктической дымки» наблюдался в марте 2020 г. Минимальные значения M_{BC} отмечены в мае-июне 2020 г.

- Годовой ход счетной и массовой концентраций аэрозоля содержит минимумы в октябре 2019 г. и в июне 2020 г. и 2 максимума: весной и в середине летнего периода. Летний максимум M_A объясняется ростом числа крупных частиц ($R > 1 \mu m$), возникающих при генерации почвенного и морского аэрозоля при сходе снежного покрова.

По результатам исследований прошлых лет опубликована работа: Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Чернов Д.Г., Сидорова О.Р., Хуриганова О.И., Онищук Н.А., Жученко Н.А., Маринайте И.И. Химический состав приземного атмосферного аэрозоля в Баренцбурге (архипелаг Шпицберген) по результатам многолетних исследований // Лёд и Снег. 2020; 60(1):85-97. DOI 10.31857/S2076673420010025

Литература

Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Чернов Д.Г., Сидорова О.Р., Хуриганова О.И., Онищук Н.А., Жученко Н.А., Маринайте И.И. Химический состав приземного атмосферного аэрозоля в Баренцбурге (архипелаг Шпицберген) по результатам многолетних исследований // Лёд и Снег. 2020;60(1):85-97. DOI 10.31857/S2076673420010025

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

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

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

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.

Сакерин С.М., Голобокова Л.П., Кабанов Д.М., Козлов В.С., Полькин В.В., Радионов В.Ф., Чернов Д.Г. Сравнение средних характеристик аэрозоля в соседних арктических районах. // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 08. С. 640–646.

Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Круглинский И.А., Лубо-Лесниченко К.Е., Радионов В.Ф., Сидорова О.Р. Сезонная и межгодовая изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы в 2011-2019 гг. в Баренцбурге (арх. Шпицберген) // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVI Международного симпозиума. [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН 2020, С. 418 – 422.

Турчинович Ю.С., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Программа расчета спектральной аэрозольной толщи и интегрального влагосодержания атмосферы «SPAOTcalc»// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614193 от 17.04.2014. Правообладатель: ИОА СО РАН (RU).

Чернов Д.Г., Козлов В.С., Лубо-Лесниченко К.Е., Радионов В.Ф., Сакерин С.М., Сидорова О.Р. Сезонная и межгодовая изменчивость концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Баренцбурга (Шпицберген, 2011-2019 гг.) // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVI Международного симпозиума. [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2020. С. 236-242.

Исследование теплового баланса снежно-ледникового покрова в районе пос. Баренцбург

Целью этого раздела исследований является изучение теплового баланса ледниковых покровов для корректного описания процессов абляции и процессов энергомассообмена атмосферы с подстилающей поверхностью и физических процессов в радиационно-активном деятельном слое ледников. В связи с невозможностью доставки специалистов на Шпицберген, полевая часть данного раздела не была выполнена полностью. В отсутствие новых данных, была организована работа по разработке оригинальной термодинамической модели и ее верификации на основании данных, полученных в предыдущие несколько лет. Исполнители работ: Безгрешнов А.М., Прохорова У.В., Зотова Е.В. Руководитель: Иванов Б.В. (b_ivanov@aari.ru).

Задачи исследований включали количественные оценки поверхностного таяния ледника Альдегонда в период максимального снеготаяния. Сравнение результатов моделирования с данными прямых измерений (метод абляционных реек) и оценка имеющихся расхождений. Объектом многолетних исследований является горно-долинный ледник

Альдегонда (норв. *Aldegondabreen*), расположенный на западном берегу залива Грэнфьорд, остров Западный Шпицберген.

Для достижения поставленных задач используется метод одномерной термодинамической модели для расчета поверхностного таяния ледника в период максимальной абляции. Модель основана на использовании уравнения теплового баланса поверхности ледника с учетом процессов, происходящих в радиационно-активном деятельном слое. Выполнены расчеты всех составляющих теплового баланса и абляции на поверхности ледника Альдегонда. Исходные метеорологические и актинометрические данные были получены во время натурных наблюдений, выполненных в сезонной экспедиции «Шпицберген» ААНИИ в августе 2019 г.

Основной объём исходных данных для моделирования был получен в рамках тепловых балансовых наблюдений, выполненных с помощью оригинальной тепловых балансовой установки (ТБУ), размещенной в центральной части ледника, на высоте около 260 м над уровнем моря в период со 2 по 26 августа 2019 года. Место установки было признано репрезентативным, поскольку поверхность ледника здесь максимально однородна, относительно плоская и не затенена склонами (см. рис. 1.6). ТБУ была оснащена актинометрическими датчиками для оценки коротковолновых и длинноволновых

составляющих радиационного баланса поверхности: пиранометрами Янишевского М-80, фиксирующие суммарную солнечную

(приходящую) и отраженную солнечную радиацию в спектральном диапазоне 330–2500 нм; пиранометрами LI-192SA, работающими в видимом диапазоне (400–700 нм); инфракрасными радиометрами APOGEE, позволяющими рассчитать нисходящее длинноволновое излучение атмосферы и восходящее излучение поверхности (спектральный диапазон 8–14 мкм). Для оценки турбулентного теплообмена между поверхностью ледника и атмосферой ТБУ была оснащена датчиками температуры воздуха, относительной влажности и скорости ветра из комплекта автоматической метеостанции (АМС) HOBO. Регистрация данных производилась логгерами LICOR-1400 и Campbell Scientific с дискретностью 5 минут. Для интерполяции температуры воздуха, относительной влажности и атмосферного давления, полученных в месте установки ТБУ, на всю поверхность ледника, были использованы цифровая модель рельефа (ЦМР) ArcticDEM, а также значения вертикальных градиентов метеорологических параметров. Вертикальные градиенты оценивались с помощью двух АМС HOBO (см. рис. 1.6), установленных на морене в нижней части ледника и на скальном основании (выходе коренных пород) на вершине ледника. Метеостанции были оснащены датчиками температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, атмосферного давления. Один из немногих метеорологических параметров, который вводится в модель нераспределённым, то есть постоянным по всей поверхности ледника, это скорость приземного ветра (моделирование поля ветра по поверхности ледника представляет собой самостоятельную и крайне сложную задачу). Температура тающей поверхности ледника и упругость водяного пара вблизи поверхности приняты постоянными и равными 0°C и 6.11 гПа.

Для оценки величин поверхностного таяния использовалось уравнение теплового баланса поверхности ледника. Поток тепла вглубь ледникового покрова оценивается как остаточный член такого уравнения. Подобное уравнение имеет следующий вид:

$$Q = S_{in} * (1 - \alpha) + R_l + Q_H + Q_L \quad (1)$$

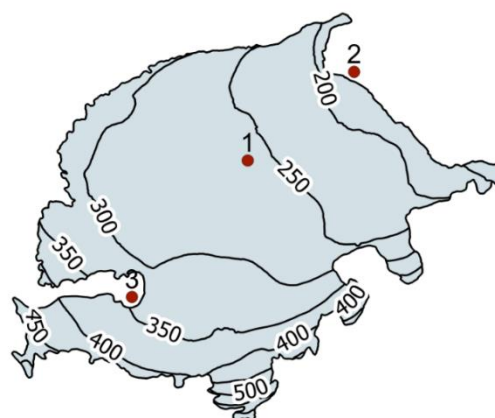


Рисунок 1.6 – Схема расположения ТБУ (1) и АМС (2, 3) на леднике Альдегонда в августе 2019 г. Изолинии характеризуют высоту поверхности ледника в м над уровнем моря

где: Q — поток тепла с поверхности вглубь ледникового покрова; S_{in} — приходящая коротковолновая радиация, α — альbedo подстилающей поверхности, R_L — длинноволновый радиационный баланс, Q_H , Q_L — вертикальные турбулентные потоки явного и скрытого тепла.

Для оценки отдельных составляющих теплового баланса использовались хорошо зарекомендовавшие себя методики и алгоритмы, учитывающие особенности климатических условий архипелага. Основная сложность связана с корректной оценкой альbedo поверхности ледника. Альbedo крайне неоднородно в пространстве и может существенно меняться во времени в зависимости от выпадения осадков в жидкой и твёрдой форме, а также от естественной загрязнённости поверхности ледника (Ivanov, Sviashchennikov, 2015). Поэтому точечные или маршрутные измерения на поверхности ледника, выполненные в разные годы, не позволяют корректно оценить эти особенности. Логичным решением является оценка альbedo с использованием спутниковой информации. В качестве источника данных о пространственном распределении альbedo были использованы безоблачные изображения со спутника Landsat-8, которые содержат информацию о семи спектральных каналах оптического диапазона, пересчитанные в величину отражательной способности поверхности (англ. *surface reflectance*) путём устранения атмосферных эффектов и разности освещённости. Для получения величины интегрального альbedo по значениям отражательной способности поверхности в отдельных спектральных диапазонах была использована формула, предложенная в работе (Liang, 2001) и адаптированная для спутника Landsat-8 (Naegeli et al., 2017). Формула представляет собой уравнение множественной линейной регрессии, в котором предикторами выступают пять из семи спектральных каналов Landsat-8:

$$\alpha = 0,356b_2 + 0,130b_4 + 0,373b_5 + 0,085b_6 + 0,072b_7 - 0,0018 \quad (2)$$

где b_i — номера соответствующих спектральных каналов Landsat-8. В работе (Naegeli et al., 2019) показано, что такой расчёт с достаточной точностью позволяет получать альbedo поверхности горных ледников.

Согласно нашим расчетам, основным фактором, определяющим таяние, безусловно, является приходящая коротковолновая солнечная радиация. Особенности пространственного распределения поверхностного таяния во многом повторяют пространственные особенности распределения альbedo и приходящей солнечной радиации (см. рис. 1.7).

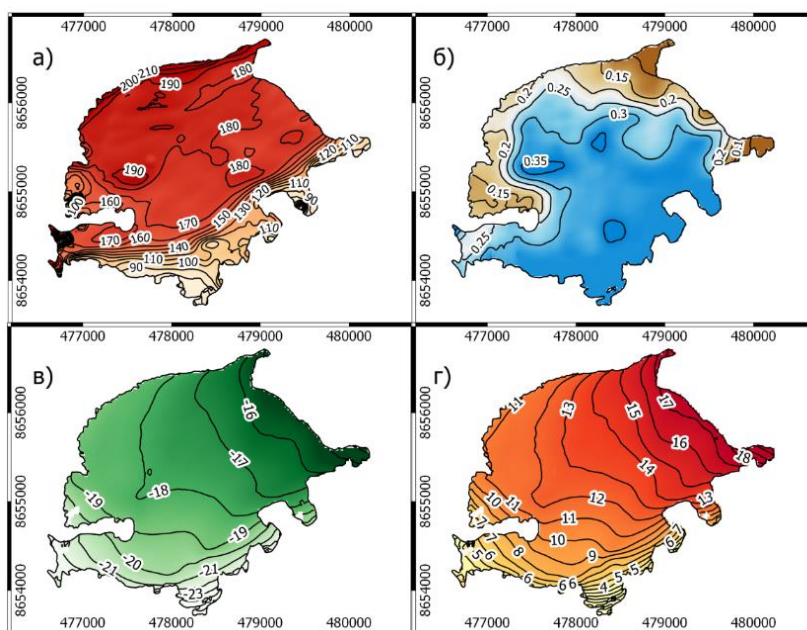


Рисунок 1.7 – Среднемесячные значения составляющих теплового баланса поверхности ледника Альдегонда в августе 2019 г. (а) приходящая коротковолновая радиация ($Вт/м^2$), (б) альbedo подстилающей поверхности, (в) длинноволновый баланс поверхности ($Вт/м^2$), (г) турбулентный теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой ($Вт/м^2$)

Максимальные величины таяния по модельным расчётам составили 1000-1200 мм в. э./за мес, минимальные 200-300 мм в. э./за месяц. Полученные модельные оценки пространственного распределения величин абляции сравнивались с результатами натурных измерений по абляционным рейкам за тот же период. Величина коэффициента корреляции составила 0,95, коэффициента детерминации (R^2) – 0,90, что свидетельствует об адекватном описании процесса с помощью модельного подхода. Абляция поверхности ледника, полученная на основе теплораспределительной модели, составила в среднем 698 мм в. э./мес. Аналогичная величина по рейкам составила 610 ± 150 мм в. э./мес. Таким образом, модельные оценки не выходят за пределы доверительного интервала оценок, полученных на основе натурных наблюдений. Моделирование процесса абляции позволяет на основе известных термодинамических соотношений количественно оценить вклад того или иного внешнего и внутреннего фактора в таяние ледника и выявить конкретные физические механизмы взаимодействия элементов климатической системы полярных регионов планеты, оценить текущие изменения климата и сценарии возможных (ожидаемых) изменений.

Работы по направлению исследования режима осадков, формирования снежного покрова и коррекция методик наблюдений в 2020 г. не проводились в связи с невозможностью проведения натурных наблюдений.

По результатам исследований опубликованы и подготовлены к публикации следующие статьи:

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В., Веркулич С.В. Расчет составляющих теплового баланса ледника Альдегонда в период максимальной абляции по данным сезонных наблюдений 2019 г. // Криосфера Земли (*рецензирование*).

Дополнительно по результатам анализа рядов данных температуры и ледовитости в Баренцбурге, подготовлены следующие статьи:

Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020. №9. С. 30–40. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-120093

Шапкин Б.С., Рубченя А.В., Иванов Б.В., Ревина А.Д., Смоляницкий В.М. Сравнительные особенности колебаний ледовитости в районе архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа // Лед и Снег (*принята в печать*).

Dahlke, S., Hughes, N. E., Wagner, P. M., Gerland, S., Wawrzyniak, T., Ivanov, B., Maturilli, M. The observed recent surface air temperature development across Svalbard and concurring footprints in local sea ice cover // International Journal of Climatology, 2020. 40:5246–5265.

Ivanov B. V., Prokhorova U. V., Sviashchennikov P. N. Analysis of continentality and anomaly of Svalbard climate according to observations of surface air temperature in the second half of the XX century. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 606 (2020) 012021 DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012021

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

Svyashchennikov P.N., Prokhorova U.V., Ivanov B.V. Comparison of Atmospheric Circulation in the Area of Spitsbergen in 1920–1950 and in the Modern Warming Period. Russian Meteorology and Hydrology, 2020, V. 45, No. 1, pp. 22–28 DOI: 10.3103/S1068373920010033

Литература

Ivanov B.V., Svyashchennikov P.N. Albedo of the snow-glacier surface of Svalbard. Atmosphere and Oceanic Physics, Issue of RAS, 2015, vol. 51, № 9, pp. 943-948. DOI: 10.1134/S0001433815090108

Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: I Algorithms, Remote Sens. Environ., 76, 213–238, 2001.

Naegeli K., Damm A., Huss M., Wulf H., Schaepman M., Hoelzle M. Cross-Comparison of Albedo Products for Glacier Surfaces Derived from Airborne and Satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) Optical Data. *Remote Sens*, 2017. 9,110.

Naegeli K., Huss M., Hoelzle M. Change detection of bare-ice albedo in the Swiss Alps, *The Cryosphere*, 13, 397–412, <https://doi.org/10.5194/tc-13-397-2019>, 2019.

Совершенствование описания процессов взаимодействия пограничного слоя атмосферы с подстилающей поверхностью

Целью работ на Западном Шпицбергене в 2020 г. явилось продолжение начатых в 2017 г. экспериментальных и теоретических исследований физических процессов энерго- и массообмена атмосферы с подстилающей поверхностью, определяющих промерзание/протаивание природных сред. Важную роль в этих исследованиях, инициированных интересом к динамике составляющих криосферы в условиях глобального потепления играют наблюдения с помощью установленного в конце лета 2017 г. в п. Баренцбург градиентного метеорологического комплекса Campbell Scientific (CS), оснащенного аппаратурой, обеспечивающей ежеминутную регистрацию атмосферного давления (P), температуры (Ta) и относительной влажности (RHa) воздуха на высотах 2 и 8 м, скорости ветра (V) на высотах 2 и 10 м, составляющих радиационного баланса подстилающей поверхности (приходящей Q_{dn} и отраженной Q_{up} коротковолновой солнечной радиации, длинноволнового излучения атмосферы R_{dn} и подстилающей поверхности R_{up}) и потока тепла в почве на глубине 10 см (F), высоты снежного покрова, радиационной температуры подстилающей поверхности, температуры деятельного слоя грунта до глубины 0.5 м и растительного и снежного покрова до высоты 0.5 м.

Обработка данных наблюдений (рис.1.8) показала, что межгодовая изменчивость основных параметров приземного слоя атмосферы и поверхности почвы имеет ярко выраженный годовой ход, обусловленный сменой полярного дня и ночи. Значения Ta и RHa изменяются от -16°C и 70% зимой до $+7^{\circ}\text{C}$ и 87% летом, в то время как рассчитанные по оригинальной методике температура (Ts) и относительная влажность (RHs) подстилающей поверхности изменяются от -18°C и 100% зимой, до $+12^{\circ}\text{C}$ и 82% летом. Значимые на уровне 0,05 коэффициенты корреляции составляют: Ts, Ta: 0,98; RHs, RHa: -0,43; RHs, Ts: -0,64; RHa, Ta: 0,62. Особенности сезонного хода температуры и влажности объясняются, соответственно, радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности зимой и её интенсивным прогревом летом вследствие уменьшения альbedo за счёт стаивания снежного покрова (рис.1.8г) и испарения с подстилающей поверхности, не компенсируемым осадками. Среднемесячные значения V (рис. 1.8б) изменяются в пределах от 3,5 - 7,5 м/с, причём её внутригодовая изменчивость находится в известной противофазе с P, изменяющимся от 975 гПа до 1010 гПа (значимый на уровне 0,05 коэффициент корреляции -0,40). Можно отметить отрицательные и мало меняющиеся в течение всего периода наблюдений величины длинноволнового радиационного баланса ($R=R_{dn}-R_{up}$) и максимальные значения коротковолнового радиационного баланса ($Q=Q_{dn}-Q_{up}$) в июле-августе, обусловленные минимальным альbedo (рис.1.8г).

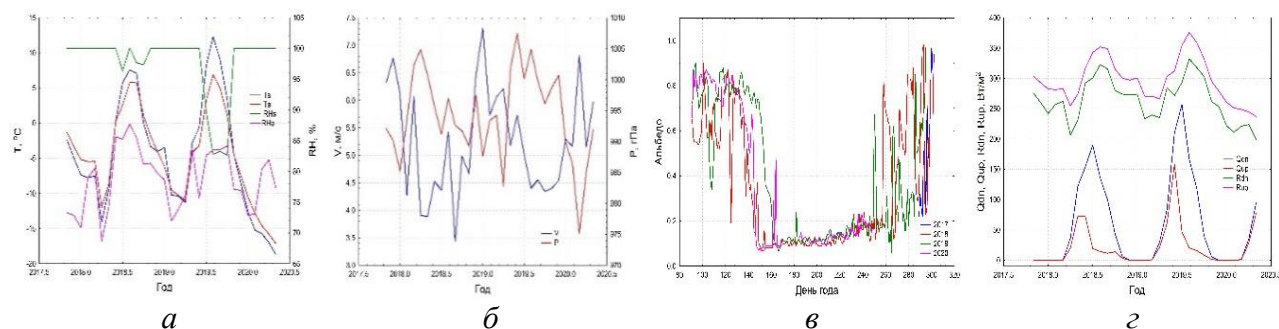


Рисунок 1.8 – Межгодовая изменчивость среднемесячных значений: (а) температуры воздуха и удельной влажности воздуха на высоте 2 м и на подстилающей поверхности, (б) атмосферного давления и скорости ветра, (в) альbedo подстилающей поверхности и (г) составляющих радиационного баланса

Для расчёта турбулентных потоков явного (H) и скрытого (LE) тепла использовался подход (Макштас и др., 2014). Потоки считаются положительными, если направлены от подстилающей поверхности в атмосферу. Суммарный тепловой баланс подстилающей поверхности V , рассчитанный по формуле $V=Q+R-H-LE$ считается положительным от атмосферы к подстилающей поверхности.

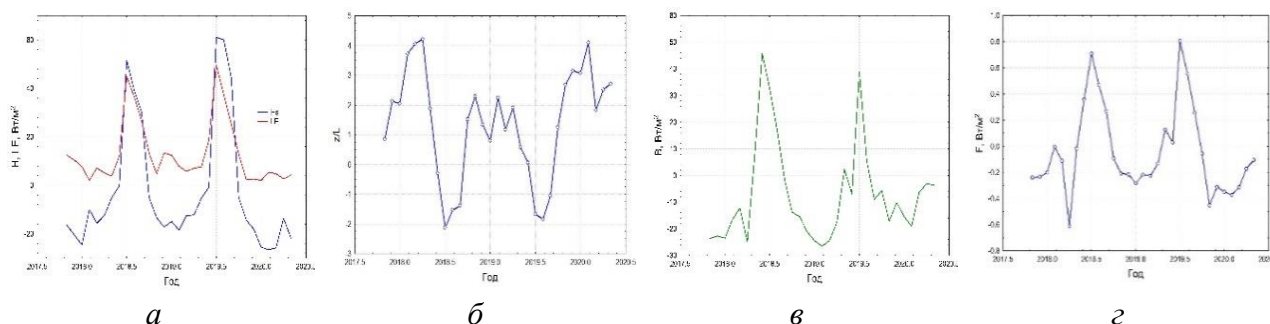


Рисунок 1.9 – Межгодовая изменчивость среднемесячных значений: (а) турбулентных потоков тепла, (б) параметра стратификации, (в) суммарного теплового баланса и (г) потока тепла в почве

Как видно из рисунка 1.8, H зимой имеет величину порядка -20 Вт/м^2 и направлен к поверхности. Это обусловлено её сильным радиационным выхолаживанием (рис.1.8г) и формированием устойчивого приземного слоя (рис.1.9б). Летом из-за прогрева поверхности коротковолновой радиацией и развития конвекции (отрицательные значения z/L), его направление меняется на противоположное, а величина достигает 60 Вт/м^2 . Внутригодовая изменчивость LE имеет аналогичный характер за исключением малых значений в зимний период вследствие незначительного влагосодержания при низких температурах воздуха. Потоки тепла к подстилающей поверхности и на глубине 10 см в почве (рис. 1.9в, г) сходны по характеру внутригодовой изменчивости, но различаются более чем на порядок по величине. Возможными объяснениями этого эффекта, требующим дополнительных исследований, являются как демпфирующее увеличение/уменьшение теплосодержания верхнего слоя почвы, так и репрезентативность результатов измерений датчиком потока тепла.

Изменчивость характеристик атмосферных процессов в западной части архипелага иллюстрируется данными измерений на станциях Баренцбург и Нью-Олесунн, выполненными в апреле 2019 г. (табл.1.1). Несмотря на относительно небольшое расстояние между станциями, имеет место существенное различие как в значениях основных метеопараметров, так и в характеристиках взаимодействия подстилающей поверхности с атмосферой. Указанное обстоятельство свидетельствует о необходимости продолжения наблюдений в Баренцбурге, в том числе для более адекватного описания климата архипелага и роли неоднородностей его рельефа в формировании локальных метеоусловий.

Таблица 1.1. Основные характеристики приземного слоя атмосферы в Баренцбурге и Нью-Олесунне

	Баренцбург				Нью-Олесунн			
	средн.	мин.	макс.	ст.откл.	средн.	мин.	макс.	ст.откл.
RH 2м,%	84,7	54,4	98,9	10,1	79,2	36,5	98,9	11,2
Ta 2м,°C	-3,0	-10,6	3,1	3,7	-3,3	-12,8	3,0	3,9
Ts, °C	-1,4	-11,7	4,0	4,2	-6,6	-22,1	0,3	5,0
Ws 10м,м/с	5,3	0,0	13,2	3,1	3,8	0,0	14,3	3,0
Pa, гПа	1003,2	982,1	1019,6	8,2	1009,3	989,1	1026,0	8,1
Q, Вт/м²	23,5	0,0	165,6	30,4	20,2	-20,4	149,5	28,4
R, Вт/м²	-16,0	-92,7	6,8	23,4	-21,6	-105,2	34,9	27,9
H, Вт/м²	0,4	-15,2	16,4	3,4	-10,1	-92,3	23,8	17,1
LE, Вт/м²	-4,3	-124,3	50,4	18,6	6,6	-14,3	86,8	13,0
z/L	7,0	-13,1	101,7	12,3	2,1	-14,5	16,4	4,3
V, Вт/м²	4,8	-62,2	168,0	26,6	2,1	-92,5	139,4	29,5

Данные комплекса CS явились основой для теоретических исследований теплового и динамического взаимодействия атмосферы с верхними слоями грунта, представленными за отчётный период, изучением конвекции воздуха в мохово-снежном покрове арктической тундры побережья Грэнфьорда. Временной ход температур над и под поверхностью грунта показывает, что развитие неустойчивости воздуха в порах напочвенных покровов, существенно понижает их термическое сопротивление, возможно круглый год, однако наиболее благоприятные условия для возникновения конвекции создаются с началом осенних холодов, когда слой грунта имеет наибольший теплозапас (Сосновский и Осокин 2018) (рис. 1.10). Развитие конвекции в этот период может способствовать эффективному переносу в атмосферу парниковых газов, образующихся при разложении органического вещества в оттаявшем за лето мёрзлом грунте.

Аналитическое решение задачи устойчивости для системы двух пористых слоёв в приближении Дарси–Буссинеска построено в длинноволновой асимптотике разложением амплитуд вертикальной скорости и температуры воздуха в ряды по чётным степеням волнового числа (Гершуни и Жуховицкий 1980). Выявлено, что порог устойчивости воздуха (критические числа Рэлея системы Ra) описывается функциями отношения полиномов по относительной толщине нижнего слоя системы (m) h ($0 < h < 1$), коэффициентами которых служат отношения пористостей m , проницаемостей K и теплопроводностей k m и снега. Случаи $h=0$ и $h=1$ отвечают переходу к однослойной системе со свойствами снега и m и значениями $Ra=3mKk$ и $Ra=3$; соответственно.

Вид функций Ra зависит от комбинации коэффициентов m , K и k , рассчитываемых по эмпирическим соотношениям для обеих сред. Расчёты показали, что особенностью распределений явилось увеличение чисел Ra с возрастанием высоты снега и ростом плотности снега. Это свидетельствует о разнонаправленном влиянии уплотнения снега на возникновение конвекции. При этом численное исследование полиномов, входящих в знаменатель функций Ra показало отсутствие у них положительных вещественных корней в промежутке $0 < h < 1$ в пределах изменений коэффициентов m , K и k , характерных для побережья Западного Шпицбергена. В противном случае развитие неустойчивости в этих точках (разрывов 2-го рода) на кривой Ra было бы невозможным. Однако в случае слоёв m и снега, насыщенных одной и той же жидкостью (паровоздушной смесью), возникает лишь обычная неустойчивость при подогреве снизу, однако факт существенного изменения её порога при изменении свойств слоёв бесспорен.

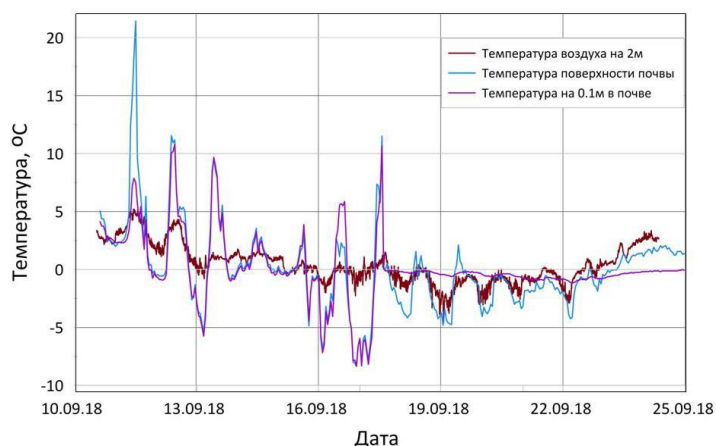


Рисунок 1.10 – Временной ход температур над, на и под поверхностью грунта

Применение модели выявило качественные особенности возникновения конвективного теплопереноса в двухслойном напочвенном покрове арктической тундры. Использованный подход может быть полезен для изучения энерго-, массо- и газообмена в природных экосистемах, характеризующихся слоистой структурой, таких как мохово-лишайниковая растительность, органогенные горизонты почво-грунтов, стратифицированный снежный покров и др.

Относительно новым направлением работ ААНИИ на Шпицбергене, курируемых Лабораторией экспериментальной Арктики, стали исследования термодинамики снежно-ледяного покрова пресноводных акваторий архипелага, представляющие интерес как с точки зрения энергомассообмена пограничного слоя атмосферы с водной массой, так и влияния ледового режима на тепловой и водный баланс и, тем самым, экологическое состояние и

трофический статус водоёмов. Особое внимание уделялось процессам образования инфильтрационного (снежного) льда.

Наблюдения проводились в 2019-2020 гг. на акватории озера ледникового питания Стемме и включали автономную регистрацию параметров всех контактирующих сред с помощью термокос GP5W Shell фирмы GeoPrecision и портативной метеостанции HOBO Weather Station фирмы Onset Computer corporation в течение всего периода установления льда. Качественно новым методом исследований явились георадиолокационные ледовые измерения, выполненные буксируемым снегоходом георадаром PulseEkko (Sensors&Software, Канада) с антенной 500 МГц на сети профилей, охватывающих всю доступную часть акватории озера. Увязка получаемых границ между профилями наблюдений осуществлялась высокоточной ГНСС системой Sokkia GRX2 (Япония), позволившей получить высотное положение всех выделяемых границ для их сопоставления и определения толщин слоёв снежно-ледяного покрова, а также оценки его прогиба. Для валидации данных выполнялось выбуривание и описание ледяного керна, а также измерение высоты снежного покрова.

Результаты проведённых съёмок уверенно определяют границы «снег-снежный лёд», «снежный-конжеляционный лёд» и «конжеляционный лёд-вода» (красный, синий и зелёный пунктир, соответственно, рис. 1.11). Судя по ним, лёд присутствует не только в пределах основной чаши озера с горизонтальным рельефом, но и на участках повышения рельефа местности, что, свидетельствует об опускании ледяного слоя ниже уровня воды.

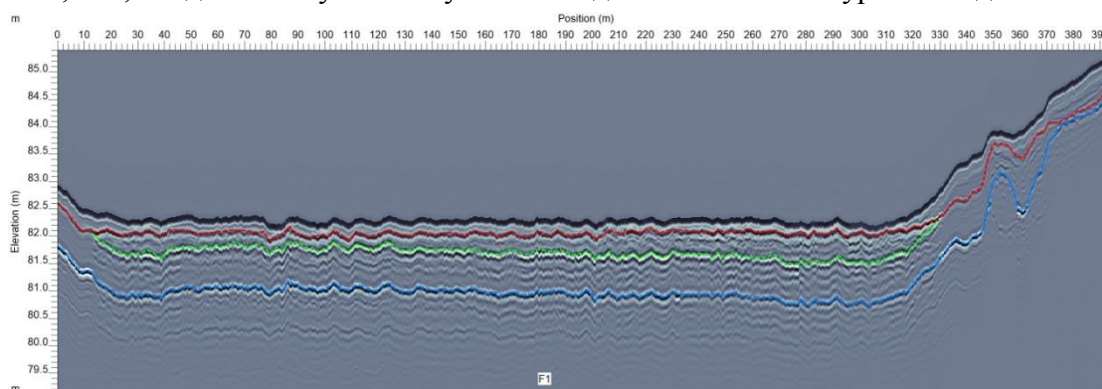


Рисунок 1.11 – Типичный вид георадиолокационного разреза через центр озера

Рисунок 1.12а представляет область инфильтрационного льдообразования по данным съёмок 22 апреля 2020 г. (перевод полученных значений времени в глубины не проводился). Результатом пропитывания снега водой явилось уменьшение скорости распространения электромагнитной волны и увеличение времени её прихода. За 40 суток, прошедших с предыдущей съёмки (12 марта), область образования снежного льда увеличилась почти в 2 раза, заняв наиболее глубокую часть озера.

Соответствующие изменения возвышенности ледяного покрова изображены на рисунке 1.12б. (отрицательный знак соответствует погружению поверхности льда). Видно, что именно в этой центральной части озера, ограниченной изобатой 1,5 м зоне происходит наибольший прогиб ледяного покрова под тяжестью снега, создающий условия для появления прослойки воды в его толще.

Наличие уникальных ледовых и метеорологических данных даёт возможность математического моделирования процессов льдообразования. С этой целью использовался вариант термодинамической модели в постановке (Leppäranta 1983), реализующей вариант классической фронтальной схемы (Стефана). Лёд и вода разделены плоской границей раздела фаз, движущейся за счёт охлаждения верхней границы, температура которой находится из уравнения теплового баланса; поток тепла во всех слоях снежно-ледяного покрова (снега, снежного и конжеляционного льда) принимается постоянным. Тестовые модельные расчёты проводились по среднесуточным значениям температуры воздуха T_a , измеренной зимой 2019-2020 г. метеостанцией HOBO (рис. 1.13) на восточном берегу озера. Модель интегрировалась

на 220 сут. (27 сентября 2019 – 3 мая 2020 г.). Снегонакопление задавалось линейной функцией времени для первых 94 суток льдообразования и гиперболической для последующих 126.

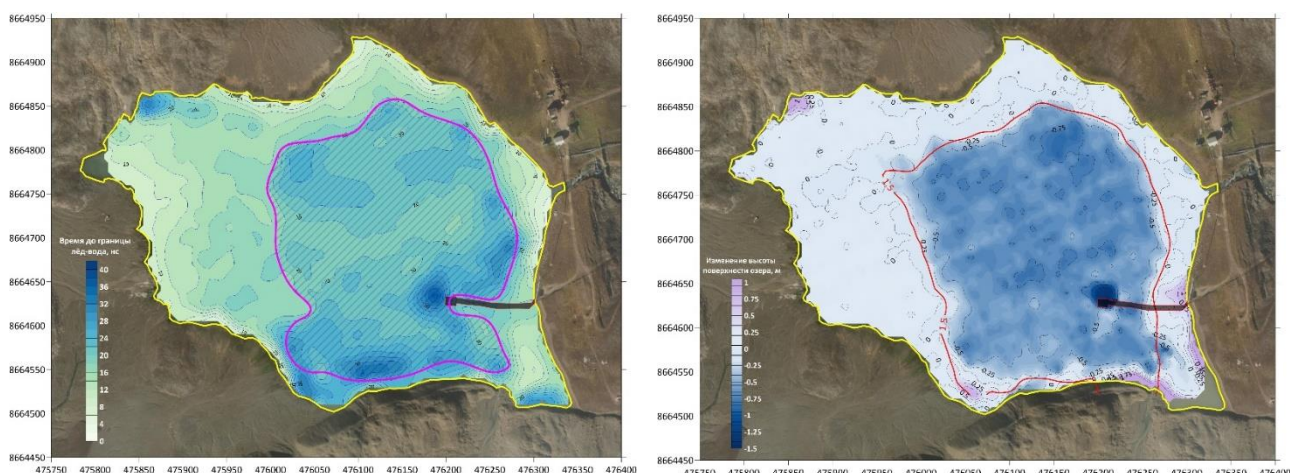


Рисунок 1.12 – (а) Область инфильтрационного льдообразования (заштрихована) по данным георадиолокационной съёмки 22 апреля 2020 г.; (б) Изменения возвышенности ледяного покрова оз. Стемме с 12 марта по 22 апреля. Красный контур – изобата 1,5 м, построенная по результатам измерений 2019 г.

Расчёты показали, что основным фактором динамики толщины слоёв снега h_s , снежного льда h_{si} и осадки льда h_{tot} в первые 94 суток является энергомассообмен с атмосферой и интенсивность аккумуляции снега в последующие 126 суток (рис. 1.13б). При принятых входных данных толщина конжеляционного льда к началу апреля 2020 г. оказалась несколько меньше наблюдавшейся. Причиной такого расхождения мог стать быстрый начальный рост льда при отсутствии снега. В расчётах выпадение снега и рост льда происходили одновременно, что, по-видимому, не соответствовало реальным атмосферным условиям зимы 2019-2020 г. Другой причиной могла стать параметризация уплотнения снега в модели постоянной величиной. Свою роль, безусловно, сыграло и использование в качестве атмосферного форсинга единственного (хотя и наиболее важного для роста льда) параметра пограничного слоя атмосферы – температуры воздуха.

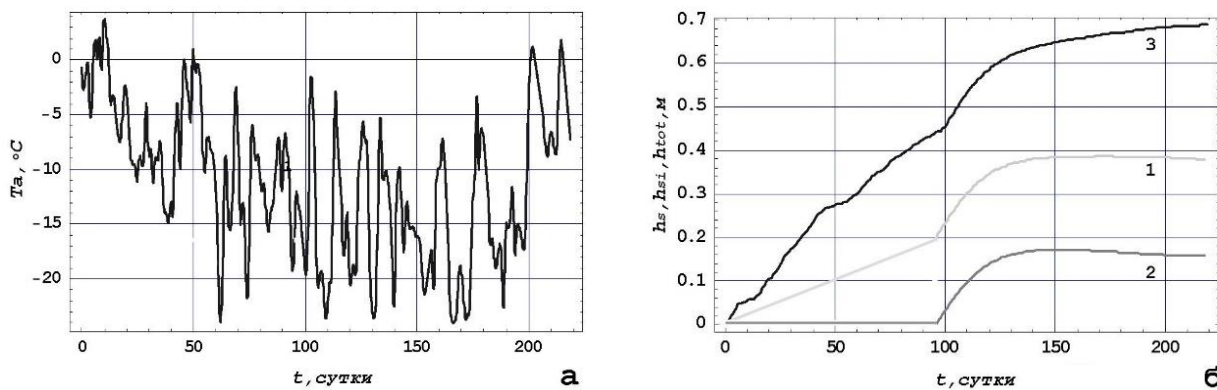


Рисунок 1.13 – Ход среднесуточных значений (а) T_a и (б) толщин h_s (1), h_{si} (2) и h_{tot} (3) по данным расчётов с 27 сентября 2019 по 3 мая 2020 г.

Тем не менее, модельные расчёты позволили не только получить качественные оценки динамики льдообразования, не противоречащие данным наблюдений, но и выявить ряд её особенностей. К достоинствам подхода, сочетающего экспериментальные и теоретические методы исследования, относится и возможность расчётов для любого (в т.ч. и начального) периода времени, что имеет существенное значение при вынужденной эпизодичности работ на таком динамичном объекте, как ледяной покров озёр. Валидированная по данным прямых измерений, модель будет использоваться для изучения ледового режима других водоёмов архипелага.

По результатам исследований подготовлены статьи и доклады:

Makshatas A.P., Sokolov V.T., Ugrumov Yu.V., Kustov V.Yu., Asmi E., Aurela M., Laurila T., Drüe C., Heinemann G., Yoon Y.Ju., Choi T.J., Koike M., Kondo Yu., Inoue Ju., Hori M. International meteorological studies at the Arctic Observatories of AARI. In: Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic. Thesis book. 2020. С. 70-73.

Богородский П.В., Кустов В.Ю., Мовчан В.В., Ермохина К.А. Возникновение термической конвекции в мохово-снежном покрове сезонно-талых грунтов побережья Западного Шпицбергена // Лёд и снег (*повторное рецензирование*)

Таким образом, Мероприятие 1 было выполнено частично. Полевая часть работ сокращена.

Литература

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

Сосновский А. В., Осокин Н.И. Влияние мохового и снежного покровов на устойчивость многолетней мерзлоты на Западном Шпицбергене при климатических изменениях // Вестник КНЦ РАН. 2018. № 3 (10). С. 178–184.

Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. О конвективной неустойчивости равновесия двухслойной системы с теплоизолированными границами // Изв. АН СССР. Мех. жидкости и газа. 1980. № 6. С. 28-34.

Leppäranta M. A growth model for black ice, snow ice and snow thickness in subarctic basins// Nordic Hydrology, 1983, 14(2), 59 -70.

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

Комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген проводился в весенне-осенний период и продолжил экспедиционные наблюдения ААНИИ, начатые в 2001 году.

Основной целью весенней части гидрологических работ являлось изучение характера распределения снегозапасов на водосборах исследуемых рек (см. рис. 2.1). Работы проводились в первой декаде мая 2020 г. сотрудниками зимовочного и сезонного составов РАЭ-Ш. Обработка материалов натурных наблюдений выполнена сотрудниками ОГУРиВР Ромашовой К.В. (hydrology2@aari.ru) и Василевичем И.И.

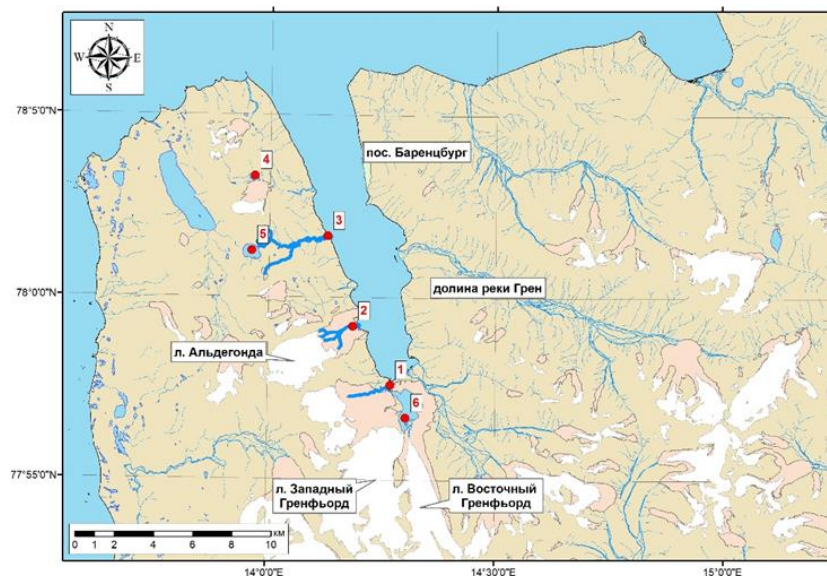


Рисунок 2.1 – Район проведения гидрологических исследований в бассейне залива Гренфьорд в 2020 г. Цифрами обозначены: 1 – гидрометрический (г/м) створ р.Бретьерна, 2 – г/м створ р.Альдегонда, 3 – г/м створ р.Конгресс, 4 – оз.Стемме, 5 – оз.Конгресс, 6 – оз.Бретьерна

Целью летнего этапа экспедиционных исследований являлся мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, включая проведение наблюдений за гидрохимическими характеристиками и элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген. Работы по данному этапу проводились с середины июня по середину сентября 2020 г. сотрудниками сезонного составов РАЭ-Ш при поддержке сотрудников зимовочного состава. Химический анализ образцов выполнялся начальником химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш Михайловой В.М. Обработка материалов натурных наблюдений выполнена сотрудником ОГУРиВР Ромашовой К.В. (hydrology2@aaig.ru). В связи с введенными ограничениями на передвижение между странами и невозможностью доставить сотрудников для проведения летних наблюдений, программа была ограничена исследованием стока трех рек и режима трех озер (рис. 2.1).

Снегомерные съемки выполнялись по стандартным методикам, принятым в гидрометеорологии и гляциологии. Производство работ и обработка полученных полевых материалов производятся в соответствии с Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, Часть 2 (Гидрологические наблюдения и работы на малых реках) - изд.: Гидрометеоиздат, 1972; Руководство по снегомерным работам в горах - изд.: Гидрометеоиздат, 1958; Кузьмин П.П. Метод контрольной (нормальной) снегосъемки//Труды ЗакНИГМИ, вып. 13, 1963.

Особенности снегонакопления на водосборах рек и ледниках залива Грэнфьорд

Измерения проводились по сокращенной программе в точках, определенных заранее в камеральных условиях с учётом их местоположения в предшествующие годы наблюдений. Высота снега определялась при помощи алюминиевой штанги, точность измерений составила ± 1 см. Высота снега в каждой промерной точке определялась как среднее из трех измерений. Плотность снега определялась в снегомерных шурфах интегральным способом. Для измерения плотности снега использовался весовой снегомер ВС-43. Плановая и высотная привязка точек снегомерных съемок выполнялась с помощью GPS-приемника Garmin. Основные результаты снегомерных работ 2020 года представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты снегомерной съемки 2020 г.

Объект	Средняя высота снега, см	Средняя плотность снега, г/см ³	Запас воды в снеге, мм в. э.
Ледник Альдегонда	139	0,315	440
Морена л.Альдегонда	105	0,349	429
Ледник Восточный Грэнфьорд	121	0,340	413
Ледник Западный Грэнфьорд	137	0,327	447
Долина р.Грен	80	0,379	304

Средняя высота снега на ледниках сопоставима с результатами наблюдений в прошлом году, снеготпасы характеризуются пониженной плотностью, поэтому общий влагозапас на ледниках меньше на 70-100 мм в.э. по отношению к 2019 году. Невысокая плотность снега объясняется устойчивыми отрицательными температурами воздуха в зимний период и практически отсутствием ледяных корок в текстуре снега.

Характер распределение снежного покрова на ледниках типичен – однороден по ширине ледника, высота снежного покрова уменьшается к языку ледника. Наблюдались небольшие повышения высоты снежного покрова вблизи крутых выступов скальной породы по краям ледников, что связано с силой и направлением ветровых переносов в зимний период.

В долине реки Грэн высота снега также максимальна на склонах, моренных отложениях и других элементах рельефа, по мере приближения к середине ложа долины высота снега, как правило, уменьшается. Влагозапас на водосборе реки идентичен результатам наблюдений 2019 года.

Особенности речного режима на водосборе залива Грэнфьорд

В 2020 году выполнялись измерения расходов воды рек Бретьерна, Альдегонда и Конгресс. Наблюдения производились вблизи намеченных в предыдущие годы гидростворов. Применялся сокращенный способ измерения расходов воды методом скорость–площадь. В таблице 2.2 представлены максимальные и минимальные измеренные расходы воды в 2020 году.

Таблица 2.2 – Максимальные и минимальные измеренные расходы воды рек залива Грэнфьорд в 2020 г.

Дата и время измерения	Расход воды (м ³ /с)	Площадь водн. сечения (м ²)	Скорость течения (м/с)		Ширина реки (м)	Глубина (м)	
			Ср.	Макс.		Ср.	Макс.
Бретьерна							
16.09.2020 17:40	1,38	3,22	0,43	0,715	10,0	0,32	0,56
04.08.2020 15:00	11,8	7,77	1,526	2,001	12,8	0,61	0,87
Альдегонда							
16.09.2020 16:15	0,30	0,82	0,373	0,502	6,30	0,13	0,20
28.07.2020 15:20	7,50	4,72	1,591	2,48	8,50	0,55	1
Конгресс							
20.07.2020 16:10	0,55	0,96	0,570	0,707	9,5	0,1	0,20
05.09.2020 15:35	1,76	1,85	0,953	1,433	10,2	0,18	0,30

Вскрытие рек и начало сезона стока предположительно произошло 23-25 мая после небольших заморозков, последовавших за устойчивым переходом температуры воздуха от отрицательных к положительным значениям 14 мая. Наблюдения на всех реках начались одновременно 17 июня. Демонтаж уровнемерных комплексов выполнен 16 сентября перед первыми заморозками, зафиксированными 23 сентября.

Суммарное количество осадков за период с апреля по сентябрь составило 218 мм, что выше на 40 мм, чем за аналогичный период прошлого года. Распределение внутри сезона существенно отличается – в 2019 году максимальное количество осадков было характерно для апреля и сентября (63,7 и 47,4 мм), минимальное – июнь (7,9 мм), в 2020 году максимальное количество осадков было характерно для августа и сентября (54,3 и 50,6 мм), минимальное – апрель (15,1 мм). Максимальное суточное количество осадков было зафиксировано 15 августа и составляет 14 мм, что хорошо прослеживается на гидрографах стока исследуемых рек (рис. 2.2). Всего из 173 дней наблюдений в период 01.04.2020-20.09.2020 126 дней были с осадками.

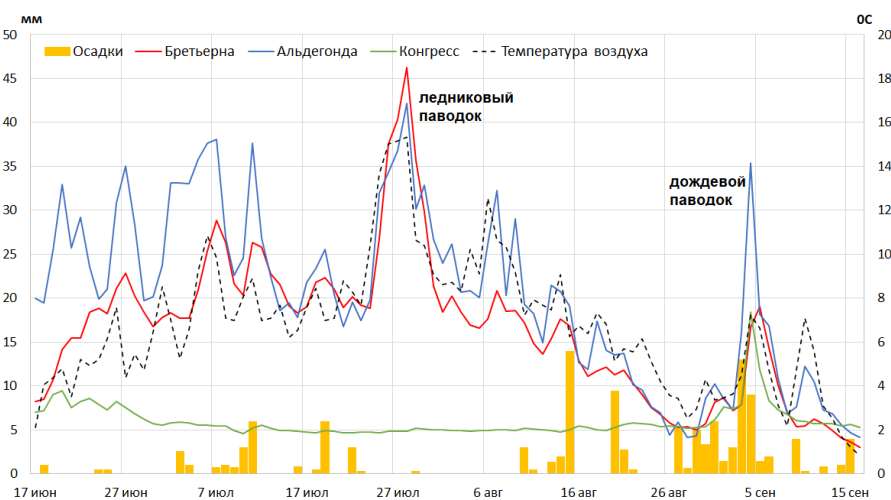


Рисунок 2.2 – Гидрографы стока рек Бретьерна, Альдегонда и Конгресс в 2020 г.

Разброс минимальных и максимальных измеренных расходов воды (табл. 2.2) обусловлен отсутствием у реки Конгресс ледникового питания. Максимальные расходы воды для рек с ледниковым питанием наблюдались в период аномально высоких положительных температур воздуха с пиковым значением +19°C 27.08.2020, вызвавшим паводок,

превышающий обычно максимальные в сезоне дождевые расходы воды, наблюдаемые в конце августа.

Общий объем выноса пресной воды реками Бретьерна, Альдегонда и Конгресс в 2020 году оценивается в 91,6 млн м³ что сопоставимо с аналогичными наблюдениями прошлого года. Однако, период полевых измерений в 2020 году охватывает не полный сезон стока. Суммарно около 4-5 недель не были учтены в расчетах.

Химический состав речных вод в межгодовом разрезе стабилен. Результаты наблюдений 2020 года подтвердили, что соотношение ионов остается постоянным для каждой реки. Содержание биогенных элементов во всех реках низкое. Минерализация наибольшая в р. Конгресс (600-1200 мкСм/см) и наименьшая в р. Бретьерна (100-150 мкСм/см). Воды реки Конгресс характеризуются преобладанием сульфат-иона, реки Альдегонда и Бретьерна относятся к гидрокарбонатным.

Особенности режима озер

Впервые за время исследований были получены уровни и температура воды озер не только в безледоставный, но и в зимний периоды во всех трех исследуемых озерах: Бретьерна, Конгресс и Стемме. Регистраторы уровня воды были установлены различными способами. В озере Стемме крепление выполнено в колодце насосной станции, осуществляющей водоснабжение поселка Баренцбург. В озере Конгресс уровнемер был погружен в воду северо-западной части озера на глубину порядка 1,5 м с креплением на берегу. В озере Бретьерна самопишущее устройство регистрации уровня воды установлено на глубине около 9 м с притопленной на 0,5-1,0 м сигнальной плавучестью, соединенной металлическим тросом.

Время установки уровнемеров позволило зафиксировать дату начала ледовых явлений в озерах, которое наступило единовременно 14-15 октября. Уровень воды в озере Стемме понижался за счет нарастания толщины льда и водозабора до начала таяния ледяного покрова 17 мая (рис. 2.3), после резко возрастал до полного очищения водной поверхности от льда, произошедшего 2 июня.



Рисунок 2.3 – График хода уровня и температуры воды озера Бретьерна в 2019-2020 гг.

В озере Конгресс глубина установки уровнемера оказалась меньше необходимой для качественной оценки уровня воды, зафиксировано летнее обсыхание датчика. В озере Бретьерна вероятно верхний поплавок вмерз в лед и какое-то время перемещался в водной толще озера в период таяния ледяного покрова, чем затруднил интерпретацию результатов наблюдений. Способы установки уровнемеров на годовой период требуют дополнительной проработки.

Таким образом зима 2019-2020 г. район поселка Баренцбург характеризуется небольшим количеством оттепелей по сравнению с прошлым годом, за счет чего плотность снежного покрова значительно ниже. Общий влагозапас на ледниках меньше на 70-100 мм в.э. по отношению к 2019 году при одинаковой средней высоте снега. Влагозапас на водосборе реки Грэн сравним с результатами наблюдений 2019 года. Вскрытие рек произошло раньше нормы последних лет – предположительно в последней декаде мая. Максимальные расходы

на реках с ледниковым питанием пришлось на период резкого повышения температуры воздуха в конце июля. Максимум стока реки Конгресс обусловлен дождевым паводком в конце августа. Общий объем выноса пресной воды реками сопоставим с аналогичными наблюдениями прошлого года. Однако, период полевых измерений в 2020 году охватывает не полный сезон стока. Суммарно около 4-5 недель не были учтены в расчетах.

По результатам исследований на арх. Шпицберген подготовлены статьи и доклады на конференциях:

Aga Nowak, Richard Hodgkins, Anna Nikulina, Marzena Osuch, Tomasz Wawrzyniak, Jan Kavan, Elżbieta Łepkowska, Marta Majerska, Ksenia Romashova, Igor Vasilevich, Ireneusz Sobota, Grzegorz Rachlewicz. From land to fjords: The review of Svalbard hydrology from 1970 to 2019 (SvalHydro). In: SESS report 2020, Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System, Longyearbyen. (in press)

Ромашова К.В., Чернов Р.А. Особенности паводочного режима рек Конгресс и Бретьерна (арх. Шпицберген). // Четвертые Виноградовские Чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: Сборник докладов межд. научн. конф. / под ред. О.М. Макарьевой, А.А. Землянковой. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2020. С. 1118-1123.

Ромашова, К.В., В.А. Брызгало, М.В. Третьяков. Пресноводные экосистемы Западного Шпицбергена в современных условиях антропогенного воздействия. / Сборник трудов конференции Гидрохимического института «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод», 2020.

Василевич И.И., Третьяков М.В. Межгодовая изменчивость структуры снежного покрова водосбора залива Грен-фьорд. // Сборник докладов XV Всероссийской научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2020», 28–30 октября 2020 г., г. Мурманск.

Ромашова К.В., Брызгало В.А., Третьяков М.В. Современный гидрохимический режим озер Западного Шпицбергена. // Сборник докладов XV Всероссийской научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2020», 28–30 октября 2020 г., г. Мурманск.

Василевич И.И., Ромашова К.В., Третьяков М.В. Многолетняя изменчивость характеристик снежного покрова на водосборе залива Грен-фьорд. // Сборник докладов XVII гляциологического симпозиума «Роль криосферы в прошлом, настоящем и будущем Земли», 17-20 ноября 2020 г., г. Санкт-Петербург.

Таким образом, Мероприятие 2 было выполнено частично. Полевая часть работ сокращена.

Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген

Основная цель исследований – выявление закономерностей флуктуаций Западно-Шпицбергенской ветви Норвежского течения, как индикатора изменчивости поступления тепла в Северный Ледовитый океан на основе исследования вариации затока атлантических вод в заливы архипелага Шпицберген, совершенствование существующих представлений о механизмах формирования и развития мезомасштабных океанологических процессов в прибрежных водах архипелага. В рамках проведённых исследований решались задачи, связанные с получением новых данных о распределении океанографических характеристик в акваториях заливов о-ва Западный Шпицберген и их анализом. В 2020 г. работы выполнялись по направлениям:

- Термохалинное профилирование заливов Грэнфьорд, Диксонфьорд и Исфьорд в весенний период, термохалинное профилирование заливов Грэнфьорд, Биллефьорд и Исфьорд в осенний период, подъём притопленной буйковой станции, установленной в октябре 2019 г. в мористой части залива Исфьорд.

– Регистрация параметров, характеризующих реакцию ледяного покрова на ветро-волновые воздействия в прикромочной зоне (the marginal ice zone – MIZ) на припае в заливе Грэнфьорд в рамках проекта «A method to identify sea-ice breakup: a pilot study», осуществляемого совместно с Норвежским университетским центром на Шпицбергене (UNIS), Университетом Осло и Университетом Мельбурна.

Экспедиционные работы выполняли в.н.с. - зав. отделом океанологии Фильчук К.В., м.н.с. отдела океанологии Рыжов И.В. и сотрудники зимовочного состава.

Динамика водных масс в заливах системы Исфьорда

Регистрация термохалинных характеристик на вертикальных профилях выполнялась на акватории заливов Грэнфьорд, Диксонфьорд, Исфьорд и Биллефьорд в пунктах океанографического полигона РАЭ-Ш (рис. 3.1).

Результаты, полученные в ходе океанографических наблюдений в марте 2020 г., подтверждают предположение о существенной нестационарности параметров распределения водных масс на акватории заливов системы Исфьорда, наиболее явно проявляющейся в зимне-весенний период. По данным измерений, выполненных 09 марта в горле Грэнфьорда и 26 марта в мористой части Исфьорда, были восстановлены распределения термохалинных характеристик на вертикальных поперечных разрезах. На рисунке 3.2 представлены пространственные распределения температуры. Анализ разреза в горле Грэнфьорда позволяет выявить присутствие водной массы с температурой которая может быть идентифицирована как трансформированная атлантическая водная масса (ТАВ), образующаяся в результате смешения атлантической воды (АВ) и арктической водной массы (АрВ). На поперечном разрезе в мористой части Исфьорда в поле распределения температуры и солёности, восстановленном по данным термохалинного профилирования, выполненного 26 марта, ТАВ не выявляется, значения температуры не превышают $-0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$,



Рисунок 3.1 – Положение океанографических станций в заливах Исфьорд, Биллефьорд, Диксонфьорд и Грэнфьорд в 2020 г.

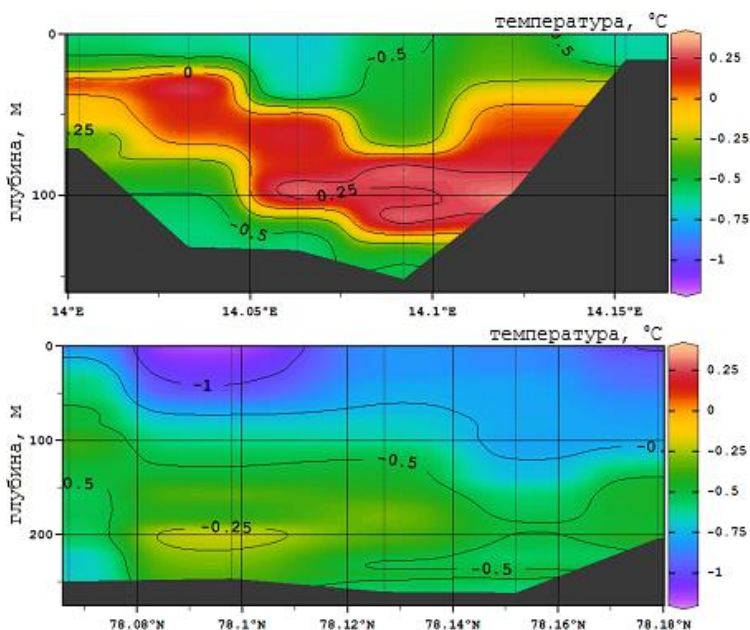


Рисунок 3.2 – Распределения температуры на поперечных разрезах в мористой части заливов Грэнфьорд (вверху) и Исфьорд (внизу), восстановленные по данным измерений, выполненных соответственно 09.03 и 26.03 2020 г.

значения солёности составляют ~34,7 ‰. Полученный результат позволяет заключить, что в течение 17 суток в мористой части Исфьорда, смежной с Грэнфьордом, произошло замещение ТАВ АрВ. Корректность данного вывода подтверждается путём хронологического сопоставления информации о времени производства измерений на вертикальных профилях в пунктах океанографического полигона и рядов значений температуры, зафиксированных STD-регистраторами притопленной буйковой станции (ПАБС), поднятой 13 марта 2020 г.

На рисунке 3.3 представлены фрагменты временных рядов значений температуры, зарегистрированных на горизонтах 40, 91 и 168 метров, штриховкой выделены промежутки времени, в течение которых выполнялось профилирование. Таким образом, получает подтверждение предположение о том, что материалы одномоментной океанографической съёмки, выполняющейся регулярно, но со значительным временным интервалом, предоставляют возможность получить мгновенную оценку структуры распределения водных масс, но не дают представления о её динамике.

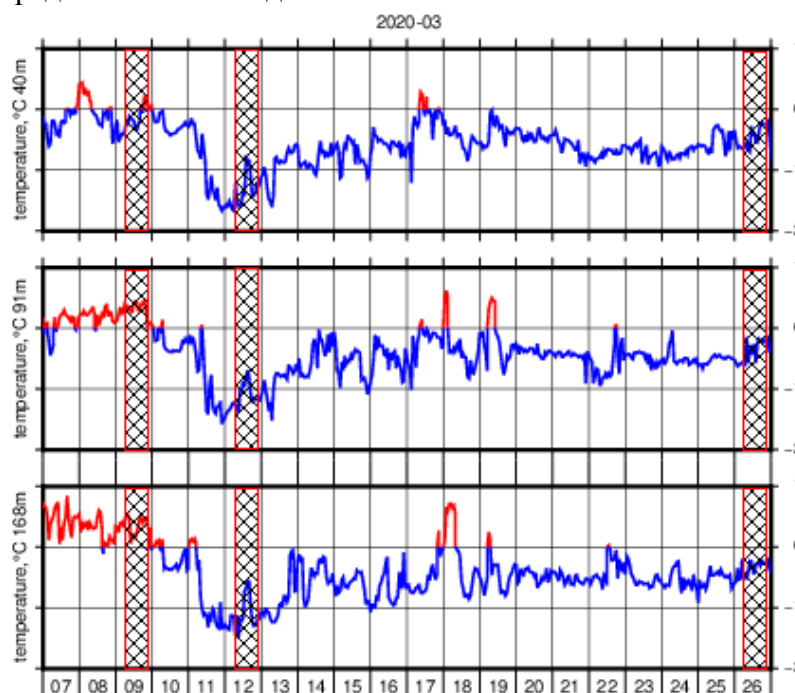


Рисунок 3.3 – Фрагменты временных рядов значений температуры, зарегистрированных ПАБС на горизонтах 40 м (вверху), 91 м (в центре) и 168 м (внизу)

Ключ к пониманию природы явлений, обуславливающих характер распространения водных масс во внутренних заливах о. Западный Шпицберген, в частности, возникновения, развития и затухания процесса заполнения фьордов АВ – выполнение продолжительных непрерывных измерений высокой временной дискретности на сети океанографических станций, дополняемых регулярными сезонными съёмками. В октябре 2019 г. были осуществлены постановки ПАБС в двух репрезентативных точках Исфьорда, в мористой и центральной частях залива, данные которых должны были дать полное представление о точном моменте начала процесса заполнения фьорда АВ, скорости распространения вод внутри фьорда, времени заполнения фьордов АВ и т.д. ПАБС в центре залива была утеряна 20 октября 2019 г. в результате инцидента с участием рыболовного траулера.

Первичный анализ материалов ПАБС, поднятой в сентябре 2020 г. (рис. 3.4), позволил на качественном уровне выявить существенные различия термохалинных и гидродинамических условий в горле Исфьорда, соответствующих периоду работы станции, и аномальной ситуации 2014-2015 гг. Как видно, температура воды на всех горизонтах в зимние и весенние месяцы 2019-2020 гг. была существенно ниже, равно как и зарегистрированные скорости течений. Последующий анализ, возможно, с привлечением данных с автономных

станций, работавших на других участках акватории Исфьорда, позволит перейти к количественным оценкам гидродинамических параметров и теплосодержания.

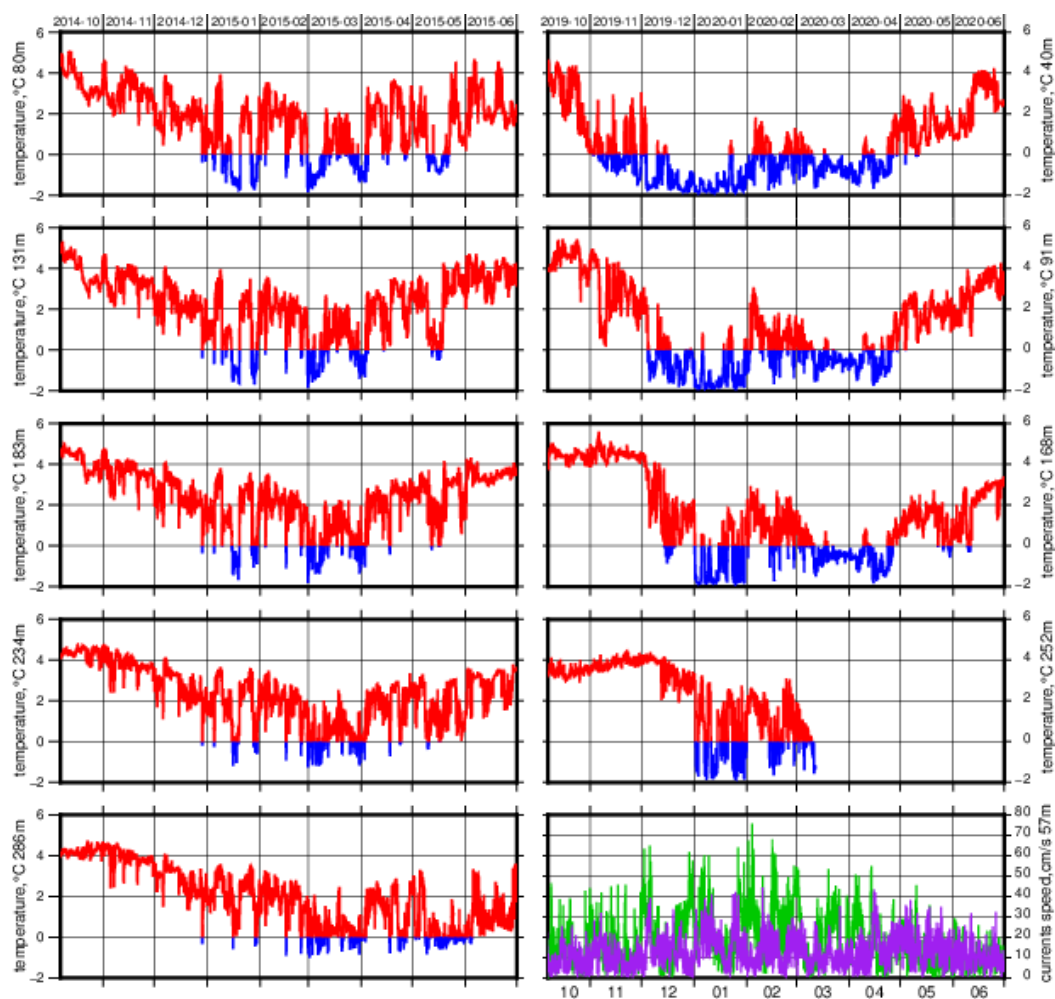


Рисунок 3.4 – Временные ряды значений скорости течений (справа внизу, зелёный - 2014-2015 гг., фиолетовый - 2019-2020 гг.) и температуры на разных горизонтах по данным буйковых постановок 2014-2015 гг. (слева) и 2019-2020 гг. (справа)

Распределение водных масс в Исфьорде, Биллефьорде и Грэнфьорде, восстановленное по результатам термохалинного профилирования, выполненного в сентябре 2020 г., в целом, было типичным для этого времени года (Блошкина, Фильчук 2018). Разметка океанографического полигона РАЭ-III была дополнена станциями продольного разреза в южной части Исфьорда (рис. 3.1), что позволит продолжить ряды наблюдений, в течение ряда лет, выполнявшихся специалистами Норвежского полярного института (NPI), которые были использованы в том числе специалистами ААНИИ в ходе аналитической обработки результатов мониторинга и при подготовке публикаций (Bloshkina et al. 2020).

Реакция ледяного покрова на ветро-волновые воздействия в прикромочной зоне

Конечной целью этого исследования является понимание поведения системы атмосфера – океан – морской лёд в прикромочной зоне (the marginal ice zone – MIZ) и сплошном льду на уровне, позволяющем совершенствовать существующие волновые модели и обеспечивать надежный прогноз волновых условий для практических целей. Прогнозирование изменений структуры льда и перераспределения энергии волн в MIZ (например, для целей навигационного сопровождения судов и информационного обеспечения климатических моделей) требует подробного исследования реакции морского льда на ветро-волновые форсинги. Для понимания характера взаимодействия волн и льда критически необходимы наблюдения за характеристиками волнения в прикромочной зоне. Такие измерения в MIZ очень редки, что связано с ограничениями возможности применения

соответствующих измерительных устройств и труднодоступностью регионов, где подобные наблюдения могут быть осуществлены.

В ходе выполнения работ в рамках пилотного этапа совместного проекта «A method to identify sea-ice breakup: a pilot study», целью которого является получение натуральных данных о ветровом волнении и реакции ледяного покрова на его воздействия в MIZ, на акватории Грэнфьорда в марте 2020 г. был развёрнут комплекс измерительной аппаратуры, включавший волномерный буй "Spotter V2" и три регистратора колебаний ледяного покрова «Ice Motion Buoy». Пространственное положение пунктов постановки приборов «Ice Motion Buoy» представлено на рисунке 3.5. Волновой буй был утерян, по всей вероятности, в результате контакта с полем дрейфующего льда, которым он был сорван с якоря и вынесен в Исфьорд, при этом, очевидно, были повреждены панели солнечной батареи, вследствие чего возможность восстановления энергоресурса оказалась утрачена.

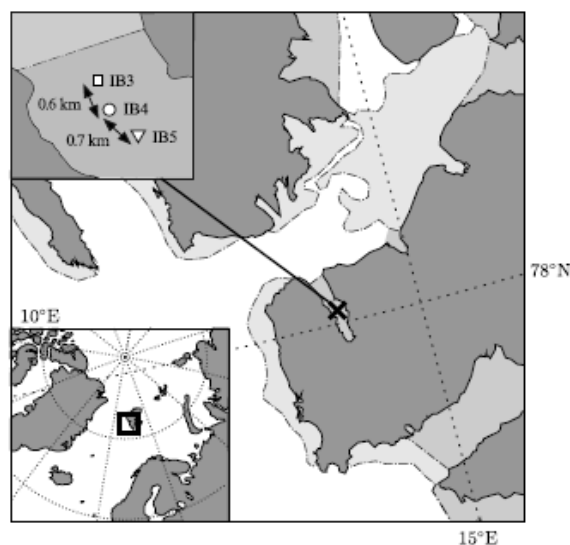


Рисунок 3.5 – Пункты размещения элементов комплекса волномерной регистрирующей аппаратуры в заливе Грэнфьорд в марте 2020 г.

В ходе полевого эксперимента тремя устройствами «Ice Motion Buoy», размещёнными на припае в Грэнфьорде, было зарегистрировано несколько волновых событий, результаты статистического описания которых (рис. 3.6) были использованы при оценке значений коэффициентов параметризации перераспределения энергии при взломе припайного льда в результате ветро-волновых воздействий (Voermans et al. 2020).

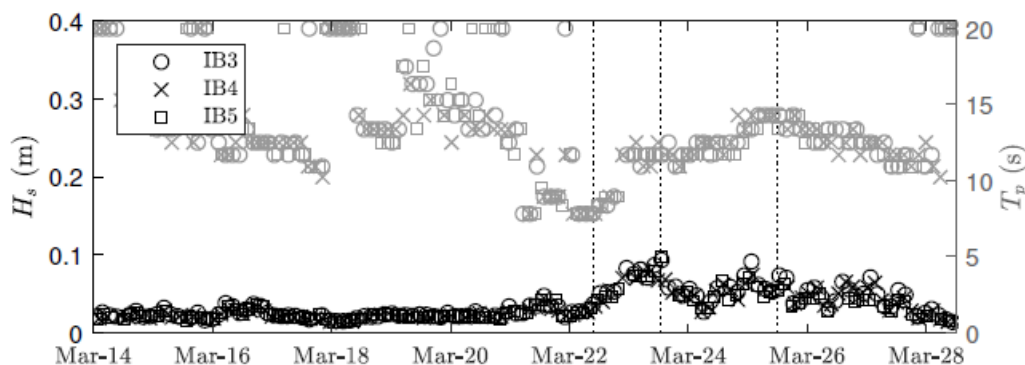


Рисунок 3.6 – Значительные высоты волн и пиковые периоды, рассчитанные по данным приборов «Ice Motion Buoy», работавших на припае в Грэнфьорде в марте 2020 г.

Дальнейшее совершенствование физического описания процессов в MIZ требует набора статистики по волновым событиям, сопровождающимся разрушением льда. Работы в этом направлении будут продолжены на следующих стадиях проекта.

Создание испытательного полигона для проведения сравнительных испытаний автоматизированных средств измерений (совместно с Мурманским УГМС)

Задача этого исследования заключается в создании испытательного полигона на базе морского поста Гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» и проведение методической работы по выбору, установке и эксплуатации автоматизированных средств измерений и проведение сравнительных наблюдений. Работы выполнялись ФГБУ «АНИИ» совместно с ФГБУ «Мурманское УГМС».

В дополнение к поплавковому мареографу СУМ и установленному ранее Solinst 3001 LT Levelogger Edge M10/F30 в уровнемерном колодце была запланирована установка НОВО

U20-001-02-Ti. Полученные данные с трех уровнемерных комплексов совместно анализируются ФГБУ «ААНИИ», ФГБУ «Мурманское УГМС» и ФГБУ «ГОИН».

Проанализированные ряды данных с уровнемера Solinst и СУМ в 2019 г. показали незначительное расхождение значений уровня моря после поправки на атмосферное давление. В ноябре 2020 г на полигоне был установлен еще один уровнемер - производства фирмы НОВО. Через 6 месяцев будет возможен совместный анализ и сравнение данных со всех трех установленных уровнемеров.

Работа по этому направлению будет продолжаться. В дальнейшем планируется привлечение ФГБУ «ГОИН» к анализу результатов с целью выработки рекомендаций по использованию уровнемеров различного типа на наблюдательной сети Росгидромета.

По результатам исследований и наблюдений в заливах Западного Шпицбергена подготовлены следующие публикации:

Bloshkina E.V., A.K. Pavlov, K.V. Filchuk. Signatures of ongoing Atlantic Water warming in three West Spitsbergen fjords since the early 2000s // *Polar Research* (рецензирование)

Bogorodskiy P.V., Demidov N.E., Filchuk K.V., Marchenko A.V., Morozov E.G., Nikulina A.L., Pnyushkov A.V., Ryzhov I.V. Growth of landfast ice and its thermal interaction with bottom sediments in the Braganzavågen Gulf (West Spitsbergen) // *Russian Journal of Earth Sciences*, 2020. V20, ES6005, doi:10.2205/2020ES000718

Morozov, E. G., Marchenko, A. V., Filchuk, K. V., Kowalik, Z., Marchenko, N. A., Ryzhov, I. V. Sea ice evolution and internal wave generation due to a tidal jet in a frozen sea // *Applied Ocean Research*. 2019. V. 87, pp. 179-191. doi:10.1016/j.apor.2019.03.024

J.J. Voermans, J. Rabault, K. Filchuk, I. Ryzhov, P. Heil, A. Marchenko, C. Collins, M. Daboor, G. Sutherland, and A.V. Babanin. Experimental evidence for a universal threshold characterizing wave-induced sea ice break-up // *The Cryosphere* (в печати)

Е.В. Блошкина, А.К. Павлов, К.В. Фильчук «Продолжается ли потепление вод во фьордах Западного Шпицбергена в последнее десятилетие?» / XV Всероссийская научная конференция «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2020», 28–30 октября 2020 г., г. Мурманск.

Богородский П.В. Н.Э. Демидов, А.В. Марченко, Е.Г. Морозов, А.Л. Никулина, А.В. Пнюшков, И.В. Рыжов, К.В. Фильчук. Образование припая и его тепловое взаимодействие с донным грунтом в бухте Браганцаваген (о. Западный Шпицберген). Доклад на международной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики» (2 – 4 марта 2020 г., С.-Петербург, Россия).

Таким образом, Мероприятие 3 выполнено полностью.

Литература

Блошкина Е.В., К.В. Фильчук. Современное состояние вод фьордов Западного Шпицбергена // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2018. Том 64. № 2. С. 125 - 140. DOI: 10.20758/0555-2648-2018-64-2-125-140

Bloshkina E.V., A.K. Pavlov, K.V. Filchuk. Signatures of ongoing Atlantic Water warming in three West Spitsbergen fjords since the early 2000s // *Polar Research* (рецензирование)

Voermans, J., Rabault, J., Filchuk, K., Ryzhov, I., Heil, P., Marchenko, A., Collins, C., Daboor, M., Sutherland, G., and Babanin, A.: Experimental evidence for a universal threshold characterizing wave-induced sea ice break-up // *The Cryosphere Discuss*. DOI 10.5194/tc-2020-201

Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена

Гляциологические и георадарные исследования и наблюдения на архипелаге Шпицберген в 2020 г. проводились на ледниках в районе пос. Баренцбург для получения характеристик их масс баланса, картирования внутренней дренажной сети, внутреннего строения и мощности. Работы выполнялись с марта по сентябрь 2020 г. в ходе весеннего этапа

(Демидов В.Э., Новиков А.Л., Борисик А.Л.) и летне-осеннего этапов (Демидов В.Э., Новиков А.Л.) экспедиционных работ. К их задачам относились:

- определение расходной составляющей бюджета массы ледников Альдегонда и Западный Гренфьорд (рис. 4.1);
- наблюдения за изменением высоты сезонной снеговой линии ледников Альдегонда и Западный Гренфьорд;
- определение минерализации водотоков на поверхности л. Альдегонда и в долине одноименной реки с целью выявить места разгрузки подземных вод;
- георадарное профилирование поверхности л. Альдегонда с целью картирования внутренней дренажной сети и областей распространения теплого льда;
- изучение параметрических характеристик и внутреннего строения ледников Тавле, Восточный Гренфьорд, Фритьоф и Эрдман.

Расходная составляющая бюджета массы ледника Альдегонда

Измерения поверхностной абляции на леднике Альдегонда осуществлялись по сети уровневых рек, установленных в сентябре 2018 г. Результаты наблюдений свидетельствуют о неравномерном таянии ледниковой поверхности при соблюдении основной тенденции уменьшения абляции с увеличением высоты. В целом, максимальное таяние на леднике приходится на вторую половину июля – первую половину августа. Это связано, прежде всего, с наблюдавшимися в этот период максимумами годовой температуры воздуха, которая является для л. Альдегонда ведущим фактором абляции. Следует отметить практически полное отсутствие снега на момент начала наблюдений 07.07.2020, что свидетельствует о быстром приходе летнего тепла. Для измерения общих объемов поверхностной абляции в ArcGIS с использованием снимков со спутника Sentinel-2 была рассчитана общая площадь л. Альдегонда и доли площадей его различных высотных уровней. На основании данных по усредненной абляции в пределах разновысотных уровней была составлен расчет объемов поверхностной абляции (табл. 4.1)

Итоговый общий объем абляции на леднике Альдегонда в период с сентября 2019 г. по сентябрь 2020 г. составил 12,7 млн кубометров в.э. Это значительно (в два раза) больше, чем за аналогичный период прошлого года, когда суммарная абляция достигала величины в 6,72 млн кубометров в.э. Зона абляции занимает все высотные уровни, что говорит об активной деградации ледника Альдегонда в настоящее время.

Таблица 4.1 – Расчётные объёмы поверхностной абляции (W), ледник Альдегонда, 2020 г.

Высота, м	Средняя абляция, мм в.э.	Площадь, км ²	W 10 ⁶ м ³ в.э
150-200	2686	0,189	0,51
200-250	3147	0,936	2,95
250-300	2388	2,173	5,19
300-350	2044	1,521	3,11
350-400	1577	0,432	0,68
400-450	1760	0,127	0,22
>450	1558	0,029	0,05
Сумма		5,407	12,70

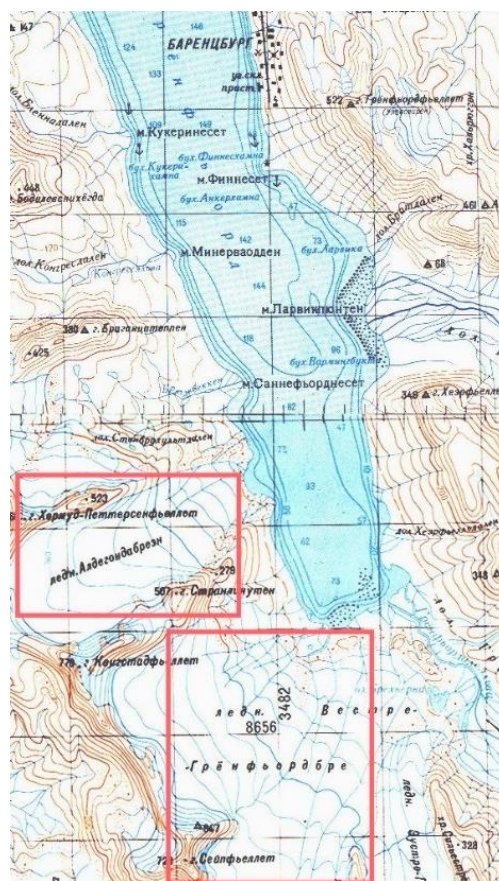


Рисунок 4.1 – Районы проведения гляциологических наблюдений, ледники Западный Гренфьорд и Альдегонда

Расходная составляющая бюджета массы ледника Западный Гренфьорд

Измерения поверхностной абляции на леднике Западный Гренфьорд осуществлялись по сети равномерных реек, установленных в сентябре 2019 года. В целом, как и на л. Альдегонда, максимальное таяние на леднике Западный Гренфьорд приходится на вторую половину июля – первую половину августа. В момент начала наблюдений 6 июля 2019 г. снег на леднике вплоть до ледораздела отсутствовал, что привело к раннему началу таяния ледника. Итогом наблюдений стал расчет суммарного объема поверхностной абляции (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Расчётные объёмы поверхностной абляции (W), ледник Зап. Гренфьорд, 2020 г.

Высота, м	Средняя абляция, мм в.э.	Площадь, км ²	W 10 ⁶ м ³ в.э
50-150	4159	1,526	6,35
150-200	3206	1,174	3,76
200-250	2748	1,575	4,33
250-300	2345	2,021	4,74
300-400	1942	5,957	11,57
400-500	0	4,147	0,00
500-600	0	2,279	0,00
Сумма		18,679	30,75

Суммарная абляция с сентября 2019 по сентябрь 2020 года составила 30,75 млн кубометров в.э., что значительно (более чем в два раза) больше, чем за аналогичный период прошлого года, когда объем абляции составил 12,56 млн. м³ в.э.

Данные о температуре в 2019 и 2020 г., полученные с метеостанции НОВО U30, расположенной на морене в верхней части ледника Альдегонда, показывают, что лето (сезон таяния снега и льда) на высоте 350 м над у.м. в 2020 г. началось на две недели раньше и оказалось в целом теплее лета 2019 г. Средняя температура с мая по август составила +2,96°С в 2020 г., тогда как за тот же период 2019 г. она составляла +1,32°С. Таким образом, значительное повышение летних температур воздуха вместе с ранним приходом тепла способствовало резкому увеличению таяния ледников Альдегонда и Западный Гренфьорд в 2020 г.

Картирование подледных каналов ледника Альдегонда и особенности питания реки Альдегонда

Наблюдения на леднике выполнялись для уточнения положения внутриледниковых каналов с учетом информации полученной в результате георадарного зондирования 2018-2109 гг. Положение дренажных каналов зарегистрировано на большинстве профилей зондирования в виде одиночных высокоинтенсивных гиперболических или их серий. Повышенная интенсивность отражения выделяемых каналов являлась одним из диагностических признаков, свидетельствующих об обводнённости данной зоны. Выделенные дренажные каналы можно разделить на два типа: подледниковые каналы берущие своё начало в серии колодцев, находящихся в центральной части ледника (каналы 1, 2) и внутриледниковые каналы, начинающиеся в верховьях ледника и расположенные над областью тёплого льда в южной части ледника (каналы 3,4) (рис. 4.2).

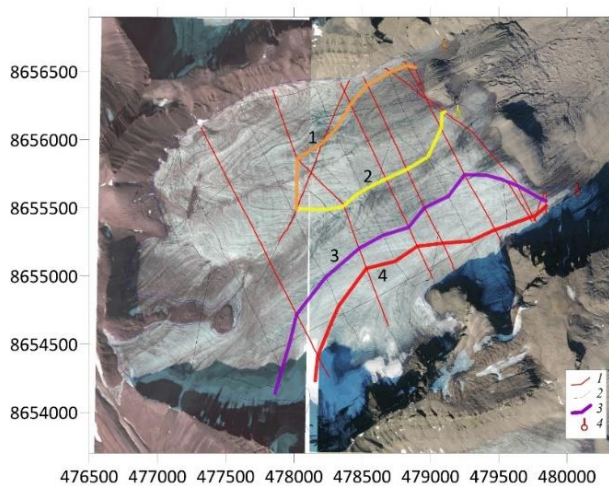


Рисунок 4.2 – Положение каналов дренажной сети ледника Альдегонда по результатам георадарной съемки. Профили зондирования в (1) 2020 г., (2) 2018-19 гг., (3) выделенные внутриледниковые каналы, (4) известные выходы воды из-под ледника

Для уточнения картирования подледных каналов, выяснения особенностей водного баланса р. Альдегонда и определения вклада подземных вод в ее питание было проведено два полевых исследования в июле 2020 г. с замерами минерализации и температуры воды потоков портативным кондуктометром, а также отбором проб на гидрохимический анализ, который осуществлялся в лаборатории РАЭ-Ш в пос. Баренцбург. По результатам работ составлена схема, представленная на рис. 4.3.

Ледниковые потоки, берущие начало на поверхности льда, повсеместно имеют низкие температуры ($+1^{\circ}\text{C}$) и чрезвычайно низкую минерализацию (электропроводность не более 20 мкСм/см). Химический состав воды гидрокарбонатно-кальциевый, повторяющий состав атмосферных осадков.

Ледниковые потоки, берущие начало на осыпных и моренных склонах, имеют электропроводность до $100\text{-}140 \text{ мкСм/см}$, температуру $+2^{\circ}\text{C}$ и гидрокарбонатно-кальциевый состав. Аналогичные характеристики имеют подледниковые водотоки, выходящие из ледниковых гротов по правому и левому бортам долины ледника Альдегонда. Исходя из сходства минерализации потоков, входящих в систему колодцев в средней части ледника, и минерализации водотоков, исходящих из гротов на его языке, на схеме (рис. 4.3) отмечено предполагаемое положение подледниковых каналов.

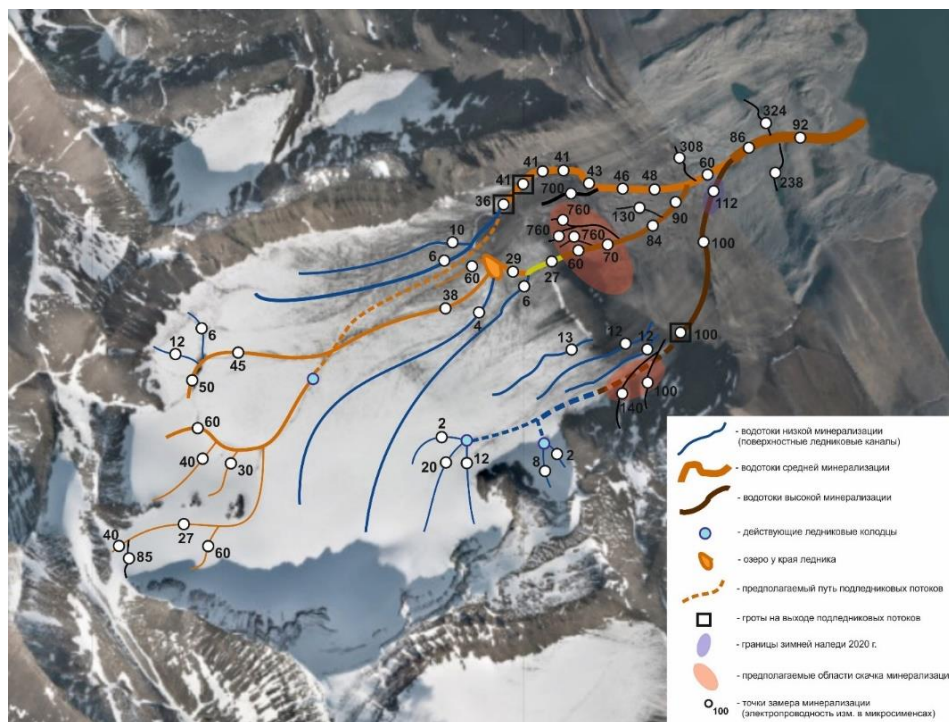


Рисунок 4.3 – Уточненная на основе химического состава вод схема водотоков ледника Альдегонда и питания реки Альдегонда

Водотоки, текущие из озер в нижней части морены ледника Альдегонда, характеризуются повышенной электропроводностью 324 мкСм/см , высокой температурой $+10\text{+}12^{\circ}\text{C}$ и гидрокарбонатно-кальциевым составом.

Область значительного скачка минерализации отмечена в центральной части долины р. Альдегонда на коренных породах, слагающих крупный поперечный ригель. Здесь берут начало небольшие ручьи, которые отличаются высокой минерализацией (электропроводность до 760 мкСм/см), температурой $+4\text{+}5^{\circ}\text{C}$, сульфатно-кальциевым составом (аналогично источникам оз. Конгресс). Источники слабо газуют негорючим не имеющим запаха газом, активны в летний период, полностью перемерзая осенью. Расходы их по визуальным наблюдениям следуют с некоторым запаздыванием по сравнению с прочими водотоками ледника Альдегонда и не имеют значительного вклада в общем годовом расходе р. Альдегонда. Предположительно грунтовые воды источников на ригеле питаются за счет глубинного стока по подледниковому талику ледника Альдегонда. Однако, не исключено и

сквозное питание по субмеридиональным разломам и зонам трещиноватости, повторяющим ориентировку геологических структур западного берега залива Гренфьорд.

Весной 2020 г. в нижней части долины р. Альдегонда на удалении от ригеля (1 км от устья реки) была отмечена незначительны размеров наледь (150×50 м). Анализ образца воды, питающей наледь, показал ее сульфатно-кальциевый состав. Аналогичный состав имели образцы воды, отобранные в апреле 2020 на наледях в каньонах р. Брюде (1 км от устья) и р. Васстак (0,5 км от устья).

Гляциологические исследования ледников с применением георадиолокации

Полевые георадиолокационные наблюдения были выполнены марте-апреле 2020 г. на леднике Тавле, расположенном в верховьях долины Грэн. Измерения выполнены по предварительно разбитой сети профилей с привязкой высокоточным ГНСС приёмником, что позволило получить цифровую модель рельефа (ЦМР) ледника. Для этого имеющиеся координаты были сопоставлены с ЦМР ArcticDEM за 2017 г. (16052017) и после приведения высот к состоянию на 2020 г., построена поверхность всего ледника Тавле (рис. 4.4).

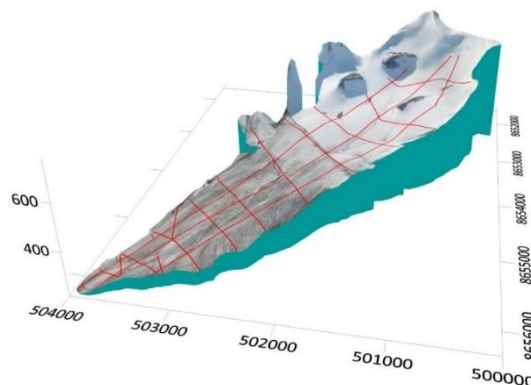


Рисунок 4.4 – Поверхность ледника Тавле с нанесенной сетью профилей георадиолокации

В результате выполненной обработки данных и пикирования ложа ледника построена карта его мощности (рис. 4.5а), и высота поверхности его ложа (рис. 4.5б). В базальной части ледника, отмечены области с большим количеством локальных отражений, связанных с распространением тёплого льда. В отличие от ранее изученных ледников (Альдегонда, Западный Грэнфьорд), данные области распространены на небольшой площади в центральной части ледника и имеют толщину не более 30 м.

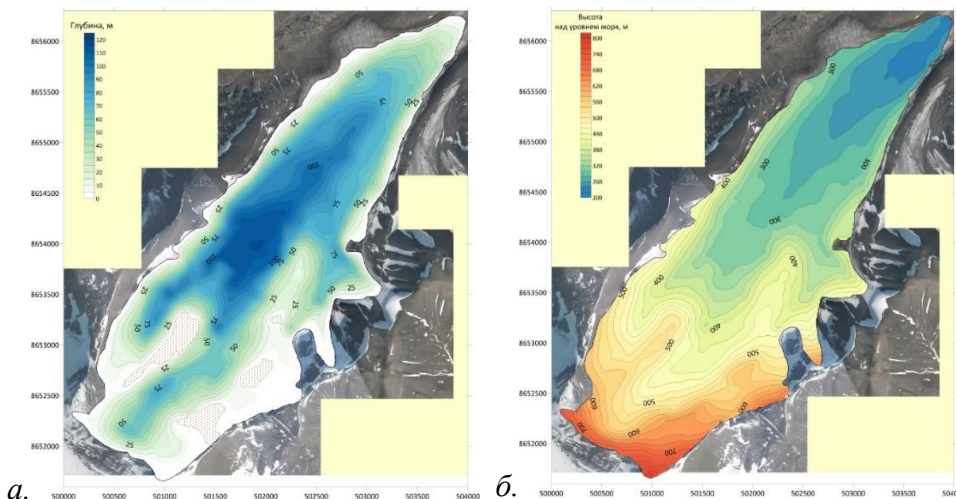


Рисунок 4.5 – Глубина ледника Тавле (а) и высота поверхности его ложа (б) по данным георадиолокационной съемки 2020 г.

Дополнительно, в рамках совместных исследований с ИГ РАН по мониторингу гидротермического состояния ледников Земли Норденшельда, выполнены георадиолокационные профили, повторяющие наблюдения 2010-2013 гг. на ледниках Восточный Грэнфьорд, Фритьоф и Эрдман. Наблюдения выполнялись по продольным профилям, охватывающим все высотные зоны ледников. В полученных радарограммах отчетливо прослеживается граница ложа ледника, а также граница между тёплым и холодным льдом, как например, на леднике Эрдман (рис. 4.6).

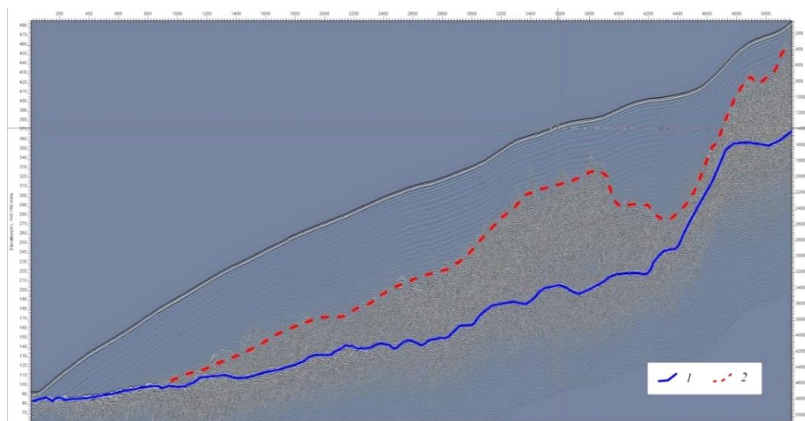


Рисунок 4.6 – Продольный георадиолокационный профиль с введенным рельефом через ледник Эрдман. (1) выделенное положение ложа ледника; (2) выделенное положение кровли тёплого льда

Ледник Эрдман имеет двухслойное строение и относится к политермическому типу. Максимальная зарегистрированная мощность льда составляет 184 м. На большей части ледника распространен тёплый лёд, который выделяется по большому количеству локальных отражений, создающих интенсивное поле рассеянных волн. Максимальная зарегистрированная мощность теплого льда составляет около 100 м.

На ледниках Восточный Гренфьорд и Фритьюф, которые образуют единую двускатную систему ледников, также получены георадиолокационные данные, после обработки которых построены глубинные разрезы, на которых уверенно выделяются границы ложа и кровли тёплого льда. Максимальная зарегистрированная мощность льда на леднике Восточный Гренфьорд составляет 150 м, при этом максимальная зарегистрированная мощность теплого льда, сосредоточенного в верхней части ледника составляет 120 м.

На леднике Фритьюф, который является наибольшим по площади из расположенных вблизи пос. Баренцбург ледников, также прослежены целевые горизонты. Максимальная мощность льда, зарегистрированная в его центральной части, составляет 257 м. В отличие от других ледников региона, тёплый лёд в структуре его баланса занимает большую часть, а максимальная зарегистрированная мощность составляет около 200 м. Вероятно, это связано с его относительно недавней подвижкой (пульсацией) произошедшей в 1991-1997 гг., в результате чего на поверхности ледника раскрылось большое количество трещин, увеличивших поступление воды в толщу ледника.

Сопоставление полученных данных о структуре ледников с данными георадиолокационных наблюдений 2010-2013 гг. позволит получить выводы об изменении их мощности и гидротермического состояния за последнее десятилетие.

По результатам исследований ледников подготовлены следующие статьи:

Веркулич С.Р. Характеристика современного оледенения Земли Норденшельда острова Западный Шпицберген / В кн.: Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген (под общей ред. Л.М. Саватюгина). СПб: ААНИИ, 2020. С. 119-134. ISBN 978-5-98364-096-2

Скакун А.А., Чихачев К.Б., Екайкин А.А., Козачек А.В., Владимирова Д.О., Верес А.Н., Веркулич С.Р., Сидорова О.Р., Демидов Н.Э. Изотопный состав атмосферных осадков и природных вод в районе Баренцбурга (Шпицберген). *Лёд и Снег*. 2020;60(3):379-394. <https://doi.org/10.31857/S2076673420030046>

Терехов А.В., Тарасов Г.В., Сидорова О.Р., Демидов В.Э., Анисимов М.А., Веркулич С.Р. Оценка баланса массы ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) в 2015–2018 гг. на основе модели ArcticDEM, геодезических и гляциологических данных. *Лёд и Снег*. 2020; 60(2):192-200. <https://doi.org/10.31857/S2076673420020033>

Терехов А.В., Демидов В.Э., Казаков Э.Э., Анисимов М.А., Веркулич С.Р. Определение баланса массы ледника Вёринг (Западный Шпицберген) геодезическим методом, 2013-2019 годы // Криосфера Земли. 2020. т. XXIV, № 5, С. 55-63.

Борисик А.Л., Новиков А.Л., Глазовский А.Ф., Лаврентьев И.И., Веркулич С.Р. Строение и динамика ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) по данным повторных георадиолокационных исследований 1999-2019 годов // Лед и Снег, 2020 (на рецензии)

Прохорова У.В., Терехов А.В., Иванов Б.В., Веркулич С.Р. Расчёт составляющих теплового баланса ледника Альдегонда (о. Западный Шпицберген) в период максимальной абляции по данным наблюдений 2019 года // Криосфера Земли, 2020 (на рецензии)

Мероприятие 4 выполнено полностью.

Мероприятие 5. Палеогеографические исследования

В 2015 – 2019 гг., в ходе палеогеографических работ РАЭ-Ш на Земле Норденшельда (в окрестностях пос. Баренцбург и на северном побережье Ван-Майенфьорда) и на Земле Веделя Ярлсберга (Западный Шпицберген) изучался рельеф, были исследованы и отобраны несколько разрезов наземных и кернов мерзлых четвертичных отложений, колонки донных осадков озер. Предварительные результаты аналитических исследований и интерпретации этого материала показали его высокую палеогеографическую информативность, позволили выявить несколько этапов и установить параметры изменений природной среды района за последние тысячелетия.

В связи с тем, что экспедиционные наблюдения и сбор материала в 2020 г. не состоялись по объективной причине (ограничения в связи с пандемией коронавируса), палеогеографические исследования были ограничены аналитическими работами (исполнитель – Соловьева Д.А.) по обработке образцов методом спорово-пыльцевого анализа в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш и отбору проб осадков в рамках аэропалинологического мониторинга.

Основной целью работ являлось получение новых аналитических данных об особенностях развития растительности и климата в районе Земли Норденшельда.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- выполнение всех этапов спорово-пыльцевого анализа, включающего в себя химическую обработку, микроскопирование проб и построение схем-диаграмм;
- сопоставление полученных результатов с данными предшествующих работ и имеющимися опубликованными реконструкциями для района исследования;
- выявление особенностей воздушного переноса современных спор и пыльцы в окрестностях поселка Баренцбург.

Спорово-пыльцевой анализ проб четвертичных отложений

Выполнение химической подготовки проб проводилось по стандартной методике обработки сепарационным методом Гричука (Гричук и Заклинская 1948) с использованием 10% растворов соляной кислоты (HCl) и гидроксида натрия (NaOH) для первичной обработки осадка и раствора поливольфрамата натрия ($\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$) для выделения микрофоссилий. Для удаления пылеватых минеральных частиц проводилась дополнительная обработка ультразвуком (Свунар, 1979). После очистки и подготовки пробы велось микроскопирование полученных препаратов и фиксирование качественного и количественного содержания ископаемых (четвертичных) пыльцы и спор. Анализ полученных результатов велся в сравнении с другими имеющимися исследованиями в Арктике.

В результате был выполнен спорово-пыльцевой анализ 36 проб из разреза болотных отложений K18-23 и речных образований разреза BM19-59 (рис. 5.1-5.2), материал которых был получен в ходе полевых работ 2018-2019 гг.

Для проб болотных отложений, отобранных в долине Колес, в разрезе K18-23 было выявлена относительно высокая насыщенность изученных препаратов микрофоссилиями, количество подсчитанных пыльцевых зерен колеблется от 50 до 1000. Преобладает пыльца трав, представленная в основном *Superaceae*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ranunculaceae*, *Polemonium* sp., *Polygonaceae* и др. Среди древесных и кустарничковых выделяется *Betula* sect. *Nanae* и *Salix*. Также присутствует дальнезаносная пыльца (*Pinus*). В подавляющем большинстве проб содержатся аргиллитовые частицы, дочетвертичные микрофоссилии плохой сохранности.

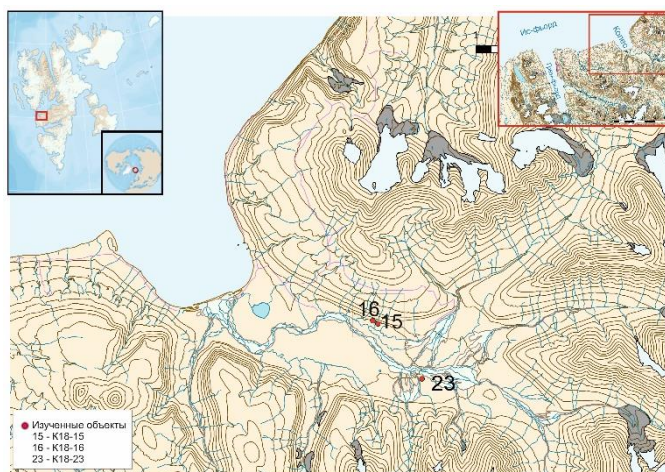


Рисунок 5.1 – Расположение разрезов болотных отложений K18-23 и речных отложений K18-15 и K18-16

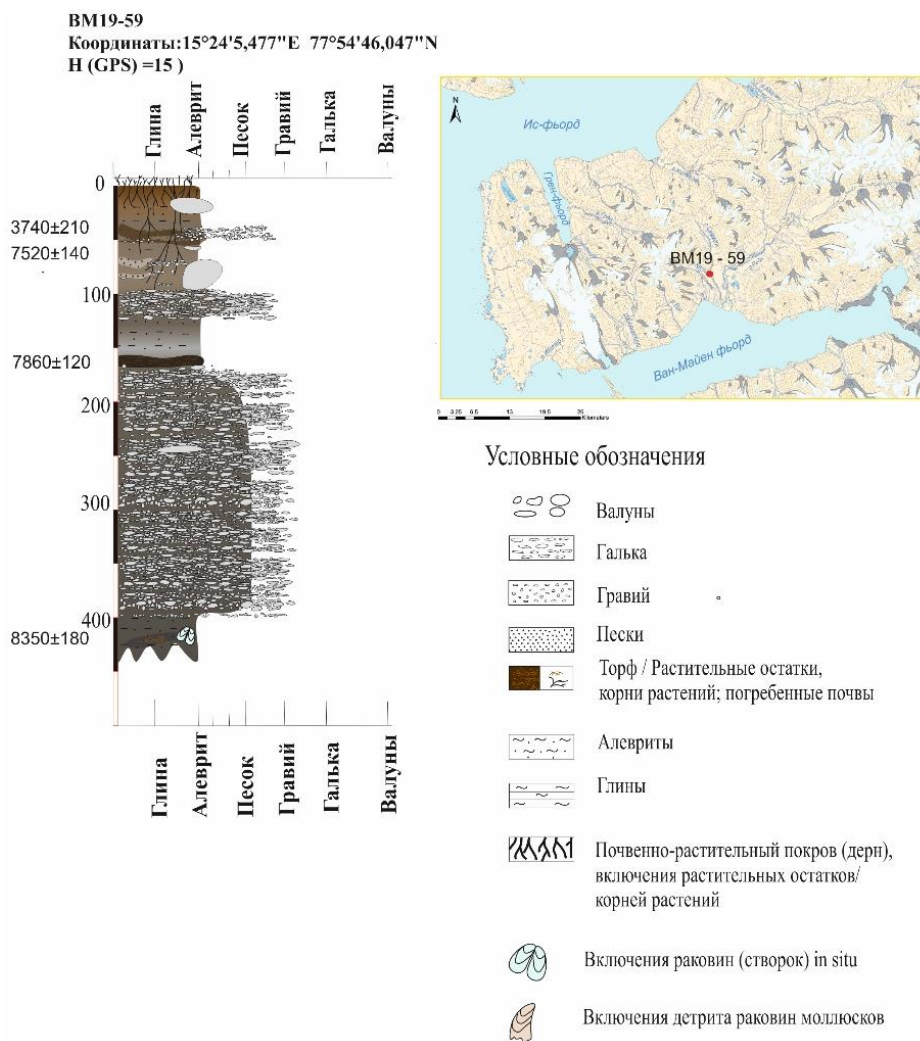


Рисунок 5.2 – Разрез речных образований BM19-59 в долине Семмельдален

Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты

Мерзлотные исследования на Шпицбергене в 2020 г. проводились в ходе весеннего и летне-осеннего этапов сезонной экспедиции «Шпицберген» с целью продолжения начатых в 2016 г. изучения и мониторинга геокриологических условий архипелага в районе пос. Баренцбург. На весеннем этапе буровые и геофизические работы выполнены отрядом из четырех специалистов в марте 2020 г. На летне-осеннем этапе работы проводились одним специалистом в западной части Земли Норденшельда и на мерзлотном полигоне пос. Баренцбург с июня по сентябрь 2020 г. Ответственный исполнитель проекта Н.Э. Демидов (nikdemidov@mail.ru). Указанные работы выполнялись также в рамках гранта РФФИ 19-77-10066 «Геокриологические условия архипелагов и прилегающего шельфа восточного сектора Евразийской Арктики».

В период весенних исследований решались следующие задачи:

- расширение сети термометрических скважин (обустройство скважин для мониторинга сезонного хода температуры и уровней подземных вод в подрусловых таликах р. Грен);
- заверка результатов выделения скоплений подземного льда и таликов по данным геофизических исследований;
- продолжение изучения строения и механизма образования многолетних бугров пучения (синонимы: гидроракколиты, булгуньяхи);
- получение литологических колонок для изучения общих закономерностей формирования аллювия в условиях Шпицбергена и оценки границ последней трансгрессии моря в долине Грендален;
- оценка перспективности применения магниторазведки для выделения разрывных нарушений и картирования ледяных ядер в гидролакколитах.

На летнем этапе проводился:

- мониторинг хода температур в опорных скважинах мерзлотного полигона пос. Баренцбург;
- мониторинг мощности сезонно-талого слоя на площадке CALM (международная программа «Циркумполярный мониторинг деятельного слоя»), Баренцбург;
- мониторинг развития криогенных процессов в окрестностях пос. Баренцбург;
- поиск и опробование выходов подземных вод в западной части Земли Норденшельда.

Буровые работы велись по отработанной в предшествующие сезоны методике. Отряд перемещался вместе с буровой установкой к точкам бурения на снегоходе и ежедневно возвращался для ночевки на базу в Баренцбурге. В качестве буровой установки использован станок УКБ-12/25 со специальными колонковыми трубами с твердосплавными коронками внешним диаметром от 112 до 76 мм. Помимо описания, фотодокументации и отбора кернов проводились взвешивания образцов для определения влажности. Отбор кернов проводился на геологические, гидрохимические и изотопные виды анализов. Часть кернов также отбиралась для микробиологических анализов и анализов содержания метана. Измерения температуры в скважинах проводилось термодатчиками Geo Precision с логгерами M-Log5W длиной 15 м, а также термодатчиками МГУ-Геофизика длиной 7 м. Разбуривание наледей и блистеров с целью отбора проб подземных вод проводилось мотобуром шнековым способом. Магниторазведка в режиме пешеходной съемки проводилась с помощью двух магнитометров МПОС 1 (Россия), один из которых использовался в качестве стационарной вариационной станции. Лабораторные анализы водной вытяжки из мерзлых кернов, проб подземных вод, а также химические анализы ледяных кернов выполнялись в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш АНИИ в пос. Баренцбург начальником лаборатории В.М. Михайловой.

На летнем этапе отбор образцов из источников подземных вод на гидрохимический анализ (всего отобрано 30 проб) осуществлялся с предварительными замерами температуры и электропроводности портативным кондуктомером Nash HQ 30d. Гидрохимический анализ образцов проводился в лаборатории РАЭ-Ш в пос. Баренцбург с использованием ионного

хроматографа Shimadzu LC-20 Prominence и анализатора углерода Shimadzu TOC-L. Велся маршрутный поиск и фотофиксация криогенных процессов, маркирующих рост сезонных температур воздуха и грунта (оползней, селей, термокарстовых и термосуффuzionных воронок). Проводилось снятие данных с термокос, оборудованных логгерами Geo Precision и установленных в опорные скважины (всего 6 скважин). Промеры мощности сезонно-талого слоя осуществлялись по стандартной методике CALM стальным шупом в 121 точке по квадратной сетке размерами 50×50 м на площадке CALM Баренцбург;

Исследование структуры многолетней мерзлоты и мерзлотных форм рельефа

Бурение скважин и отбор кернов многолетнемерзлых грунтов на весеннем этапе работ РАЭ-Ш показали, что выполненные в 2019 г. электроразведочные работы правильно выделили как таликовые зоны, так и грунтовые льды. Так, скважиной 16 глубиной 7 м, пробуренной у западного подножия булгуньяха Нори, вскрыты два прослоя ледогрунта (рис. 6.1), что подтвердило выводы, сделанные на основе интерпретации электроразведки методом ЗСБ (зондирование методом становлением поля в ближней зоне). Скважина 17 глубиной 5 м была пробурена в русле реки Грен между буграми Кили и Оин и подтвердила отсутствие подруслового талика в верховьях реки. Скважинами 18 и 19 (рис. 6.2), пробуренными в русле р. Грэн в нижней ее части, подтверждено наличие низкоомного слоя и талика, выделенного по данным ЗСБ. Скважиной 19 глубиной 8 м был обнаружен криопэг (линза отрицательно-температурного незамерзшего рассола). По результатам анализов в химико-аналитической лаборатории его минерализация составила 45 г/л при хлоридно-натриевом составе.



Рисунок 6.1 – Криолитологические колонки скважин 16 и 17

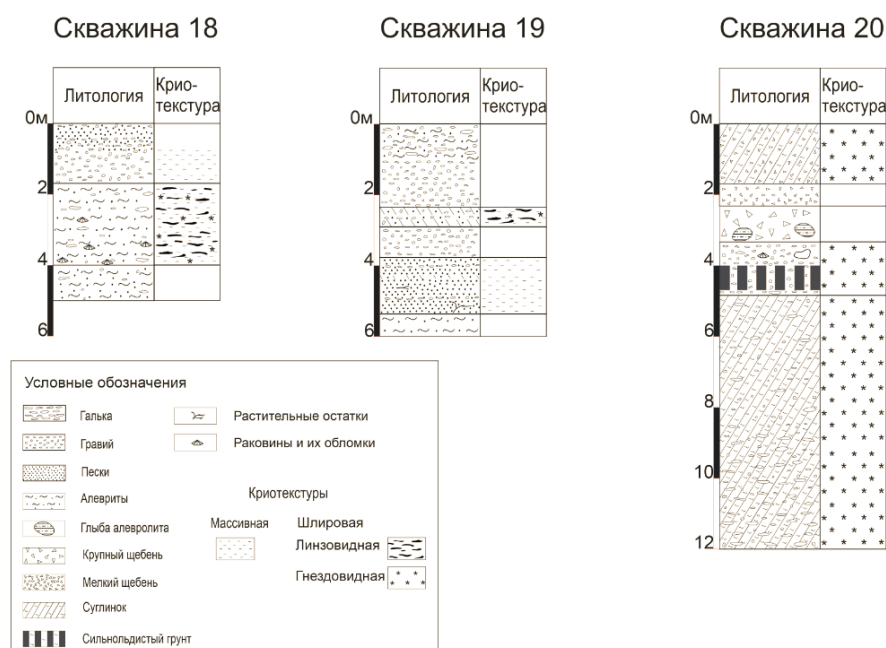


Рисунок 6.2 – Криолитологические колонки скважин 18, 19 и 20

Скважиной 20 (см. рис. 6.2) предполагалось вскрыть ледяное ядро многолетнего бугра пучения в долине Холлендардален. Этот останец был выбран в качестве точки бурения, исходя из данных геоинформационного ресурса Норвежского полярного института toposvalbard.npolar.no, где он обозначен как многолетний бугор пучения (пинго). Однако, уже предварительная магнитометрическая съемка показала, что бугор не содержит ледяного ядра и не является бугром пучения. Тем не менее, для заверки на вершине бугра была пройдена скважина глубиной 12 м, которая показала отсутствие льда и ледогрунта в строении бугра.

Все пробуренные скважины обустроены термометрическими косами. Логгеры запрограммированы на снятие четырех отсчетов в сутки. Устье скважин затампонировано. Все скважины бурились с отбором кернов для реконструкции условий осадконакопления. Наибольший интерес в этом отношении представляют скважины, пробуренные в русле р. Грен, так как они под толщей аллювия вскрывают толщу морских суглинков и илов с раковинами моллюсков. В скважине 19 также обнаружены слои торфа.

Для скважин 16, 17, 18, 19 и 20 было проведено измерение весовой влажности в 32 образцах грунта, отобранных во время бурения, еще 63 образца были лиофильно высушены, просеяны и подготовлены для химического анализа водной вытяжки.

Одновременно с лабораторной работой в западной части Земли Норденшельда проводились маршрутные изыскания наледных источников подземных вод. Всего было обнаружено и обследовано 26 наледных источника, для которых в полевых условиях были измерены температура и электропроводность, а также отбирались образцы на три вида анализа: гидрохимический, изотопный и микробиологический. Дополнительно на гидрохимический анализ отобраны пробы воды из скважины 19, а также лед из наледных бугров в долине Холлендардален. Всего в лаборатории переданы 31 проба на гидрохимический анализ, 26 проб на изотопный анализ, 20 проб на микробиологический анализ. Пробоподготовка и химический анализ выполнялись при участии специалистов химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш АНИИ. Отбор двух колонок льда для дальнейшего исследования кривых распределения гидрохимического и изотопного состава проведен на наледных буграх булгуньяха Оин (долина Грендален) и приледниковой наледи ледника Западный Гренфьорд.

С целью получения топографической основы для магнитометрического профилирования в долине Холлендардален на двух участках размерами 500x500 м проведена геодезическая съемка приемниками DGPS и построены соответствующие карты.

Магнитометрическими наблюдениями в общей сложности покрыты 5 районов с местами расположения гидролакколитов и выделенными на геологических картах тектоническими нарушениями (рис. 6.3). Над буграми с ледяным ядром обнаружены отрицательные аномалии амплитудой около 2 нТл. Напротив, над буграми без ледяных ядер формируются положительные аномалии. На этапе интерпретации данных магниторазведки планируется перейти от фиксации ледяных ядер гидролакколитов на качественном уровне к количественной оценке объема льда и глубины его залегания.

Факультативно выполнены наблюдения на площадке планируемого размещения стационарной магнитной обсерватории АНИИ, показавшие наличие в ее пределах как минимум трех магнитных аномалий размером порядка 50 м и амплитудой 20 нТл.

Мониторинг термического состояния многолетней мерзлоты

Точки, районы и виды исследований и наблюдений летне-осеннего этапа экспедиционных работ показаны на рисунке 6.4. Гидрохимическим опробованием подтверждено широкое распространение в пределах палеогеновых пород Третичного бассейна к востоку от залива Гренфьорд вод содового типа (гидрокарбонатно-натриевых), проявляющих себя в виде круглогодичных наледных источников, в том числе питающих многолетние бугры пучения в крупных долинах Грендален и Рейндален. На западном берегу залива Гренфьорд в пределах Западно-Шпицбергенской зоны разломов ведущим типом вод

среди опробованных источников определены сульфатно-кальциевые, циркулирующие в карбонатных породах каменноугольного и пермского периодов.

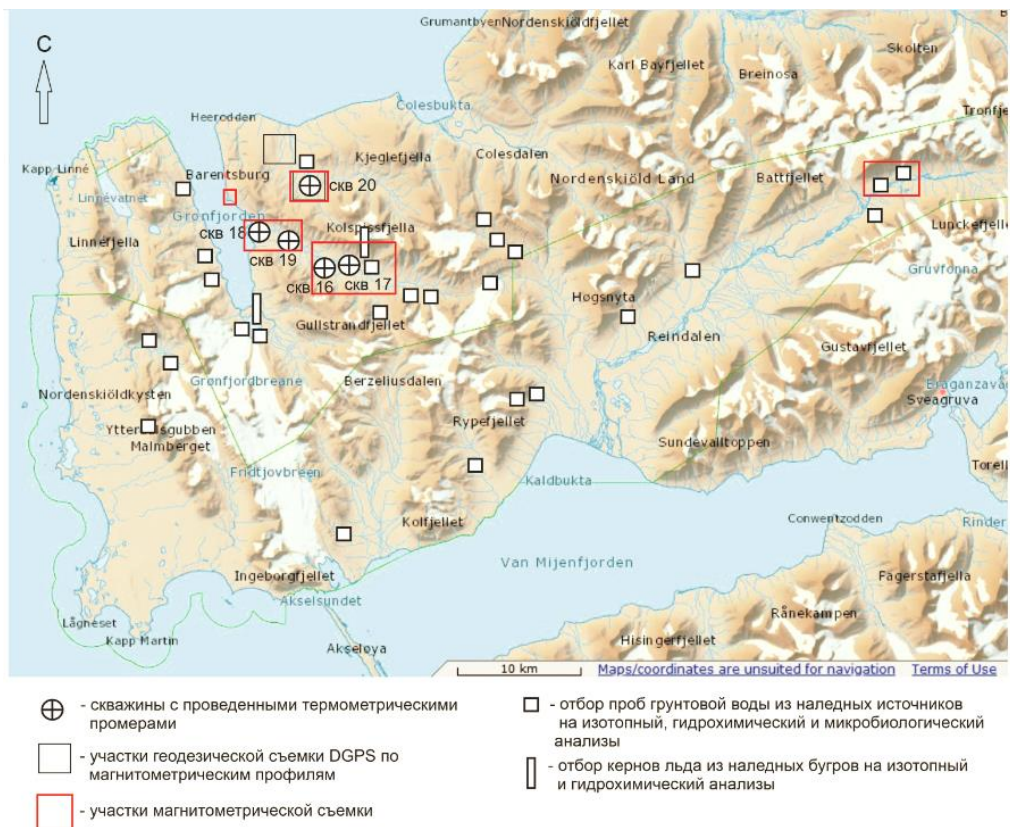


Рисунок 6.3 – Карта фактического материала работ отряда мерзлотоведения на весеннем этапе 2020 г.

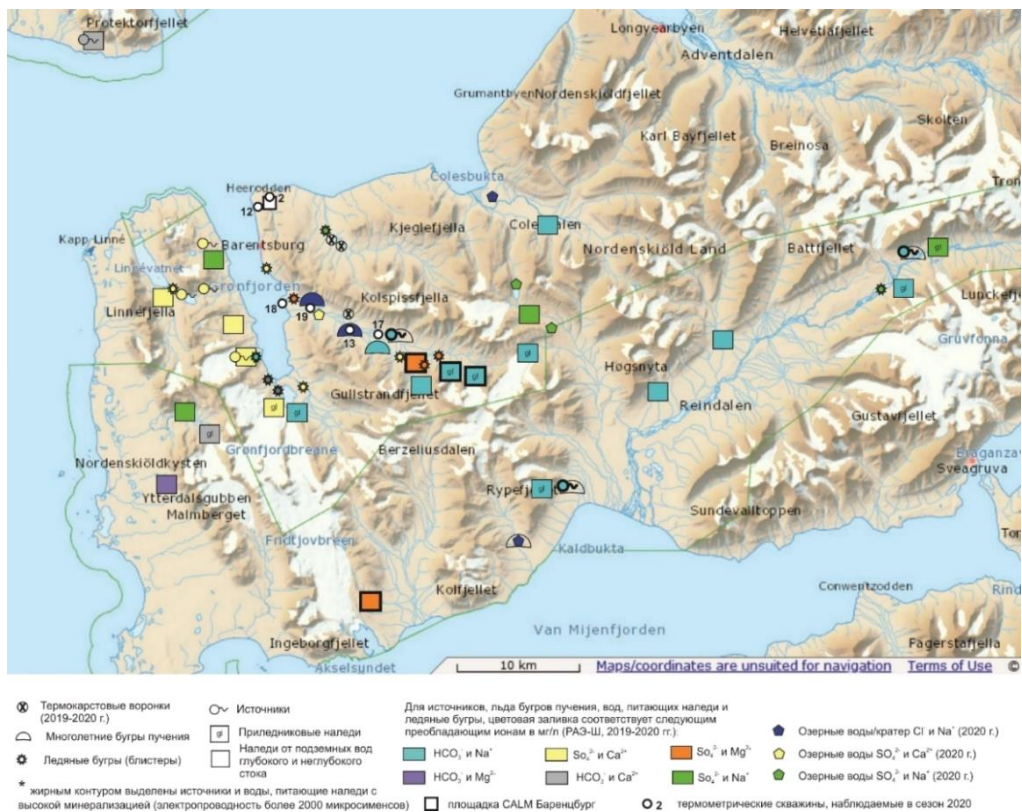


Рисунок 6.4 – Схема фактического материала мерзлотных исследований летне-осеннего этапа 2020 г.

Появления свежих оползней и селей за летне-осенний период 2020 г. не отмечено. В долине Грендален зафиксирована неактивная осушенная термокарстовая воронка, размерами 20×10 м и глубиной 4 м. В долине Холлендардален зафиксировано появление и развитие свежих термокарстовых воронок в русле реки (рис. 6.5): первая воронка в среднем течении реки развилась в сентябре 2019 г., а к сентябрю 2020 г. число воронок достигло семи. Отмечено наличие выходов пластов льда под карнизами воронок, а также активное поглощение и дренаж речного потока в основании некоторых воронок. Предположительно, развитие воронок и поглощение поверхностных водотоков происходит в подрусловом талике по линии Холлендардаленского разлома, что может сказываться на увеличении водопритоков в шахту пос. Баренцбург, отдельные выработки которой находятся вблизи зоны разлома.



Рисунок 6.5 – Термокарстовая/термосуффозионная воронка №3 в русле реки Холлендардаленэльва

В летне-осенний сезон были продолжены термометрические наблюдения в скважинах 2 и 12 на мерзлотном полигоне пос. Баренцбург. Температура в опорной скв. 12 на глубине затухания сезонных колебаний (14,25 м) 22.09.2020 составила $-2,87^{\circ}\text{C}$. В скв. 2 на площадке CALM температура на глубине 5,5 м на 17.09.2020 составила $-3,06^{\circ}\text{C}$. Термометрический замер в скв. 13, пробуренной в долине Грендален для мониторинга состояния ледяного ядра бугра пучения Нори, показал 14.09.2020 температуру $-3,06^{\circ}\text{C}$ на глубине 14,25 м. В скважинах 17, 18 и 19, пробуренных в марте 2020 г. в русле р. Грен с целью мониторинга состояния подрусловых криопэггов, сделаны промежуточные термометрические замеры.

Замеры мощности сезонно-талого слоя (СТС) проведены 21-22 сентября 2020 на площадке CALM Баренцбург. Результаты (рис. 6.6) показывают незначительные отклонения в сторону увеличения мощности сезонно-талого слоя по сравнению с данными, полученными в 2016-2019 гг. при средней глубине сезонного протаивания 143 см (мин. 120 см, макс. 170 см).

Результаты проведенных полевых работ использовались для подготовки публикаций, посвященных вопросам мониторинга вечной мерзлоты на баренцбургском полигоне: вопросы организации мониторинга мерзлоты на баренцбургском полигоне в контексте общей изученности архипелага рассмотрены в главе в коллективной монографии (Демидов и др., 2020); криогенным процессам и явлениям в районе Баренцбурга, в том числе представляющие опасность для существующей и перспективной инфраструктуры, посвящена статья в журнале «Геориск» (Демидов и Демидов, 2019), мерзлотно-гидрогеологическим условиям западной части Земли Норденшельда посвящена статья в журнале «Геофизические процессы и

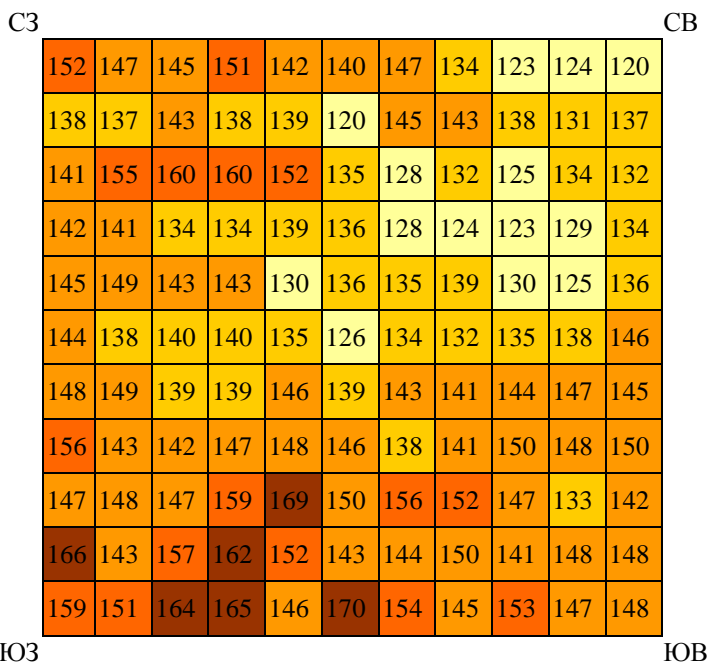


Рисунок 6.6 – Мощность сезонно-талого слоя (см) на площадке CALM в пос. Баренцбург в период максимального летнего протаивания многолетнемерзлых пород

и явлениям в районе Баренцбурга, в том числе представляющие опасность для существующей и перспективной инфраструктуры, посвящена статья в журнале «Геориск» (Демидов и Демидов, 2019), мерзлотно-гидрогеологическим условиям западной части Земли Норденшельда посвящена статья в журнале «Геофизические процессы и

биосфера» (Демидов и др., 2020), микробиологической и биогеохимической характеристикам мерзлых толщ района Баренцбурга посвящены статьи в журналах «Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics» (Karaevskaya et al., 2020) и «Biological Communications» (Карлов и др., 2020), в статье в журнал «Permafrost and Periglacial Processes» рассказывается о внутреннем строении и формировании булгуньяха в долине Грендален (Demidov et al., 2020), сопоставление результатов мониторинга мерзлоты на Шпицбергене в 2016-2019 гг. с разными национальными программами, анализ содержания льда в мерзлых породах и применяемых для бурения мерзлоты на Шпицбергене буровых установок проведен в совместной с зарубежными специалистами главе в ежегодный отчет о природной среде Шпицбергена «SESS Report» (Christiansen et al., 2020).

По результатам исследований подготовлены следующие публикации:

Демидов Н.Э., Веркулич С.Р., Демидов В.Э., Соловьёва Д.А., Веттерих С., Вечная мерзлота Шпицбергена и ее мониторинг на криосферном полигоне в Баренцбурге. // Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген: Коллективная монография [Под ред. Л.М. Саватюгина]. СПб: ААНИИ, 2020. С. 135-149.

Демидов В.Э., Демидов Н.Э. Криогенные процессы, явления и связанные с ними опасности в районе российского рудника Баренцбург на архипелаге Шпицберген // Геориск. 2019. Т. 13. № 4. С. 48-62.

Демидов Н.Э., Борисик А.Л., Веркулич С.Р., Веттерих С., Гунар А.Ю., Демидов В.Э., Желтенкова Н.В., Кошурников А.В., Михайлова В.М., Никулина А.Л., Новиков А.Л., Саватюгин Л.М., Сироткин А.Н., Терехов А.В., Угрюмов Ю.В., Ширрмейстер Л. Мерзлотно-гидрогеологические условия западной части Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19, № 4. С. 68–93. DOI 10.21455/GPB2020.4-6

Karaevskaya E.S., Demidov N.E., Kazantsev V.S., Kaloshin A.G., Karlov D.S., Schirmeister L., Wetterich S. Coastal permafrost prokaryotic communities of West Spitsbergen // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020. V. 56. N. 11. (*in press*)

Karlov D.S., Sazanova A.L., Kuznetsova I.G., Tikhomirova N.Y., Popova Zh.P., Osledkin Yu.S., Demidov N.E., Belimov A.A., Safronova V.I. Rhizobial isolates in active layer samples of permafrost soil of Spitsbergen, Arctic // Biological Communications. 2020. (*in press*)

Demidov V., Wetterich S., Demidov N., Schirmeister L., Ekaykin A., Verkulich S., Koshurnikov A., Gagarin V., Terekhov A., Veres A., Kozachek A. Pingo drilling reveals sodium-chloride dominated massive ice in Grøndalen, Spitsbergen. // Permafrost and Periglacial Processes. 2020. (*in press*)

Christiansen, H.H., Gilbert, G. L., Neumann, U., Demidov, N., Guglielmin, M., Isaksen, K., Osuch, M. and Boike, J. Permafrost dynamics in Svalbard from 2016-2019, ground ice content and drilling methods and equipment // SESS report 2020, The State of Environmental Science in Svalbard – an annual report. 2020. (*in review*)

Мероприятие 6 выполнено полностью.

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

Важнейшим элементом инфраструктуры РАЭ-Ш ААНИИ является выносной пункт приема-передачи спутниковой информации (ВППИ), размещенный в пос. Баренцбург.

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, развернутого в здании ААНИИ в Санкт-Петербурге. Техническое обслуживание комплекса, первичную обработку и отправку информативных, с точки зрения отображения ледяного покрова спутниковых данных, осуществляет инженер-оператор непосредственно из Баренцбурга, офис которого расположен в лабораторном корпусе №1.

Основу комплекса составляют 3 станции MEOS 3,8 м производства норвежской компании Kongsberg Spacetec AS, установленные на отроге горы Улаф (рис. 7.1):

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



Рисунок 7.1 – Спутниковые антенны ВППИ в пос. Баренцбург

ВППИ обеспечивает круглосуточный прием и передачу в ААНИИ плановой ледовой и гидрометеорологической информации, которая используется в целях:

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

За счет выгодного географического положения зона обзора ВППИ в Баренцбурге почти полностью охватывает акваторию Северного Ледовитого океана, что обеспечивает его преимущество по сравнению с другими отечественными пунктами приема спутниковой информации (Санкт-Петербург, Обнинск, Новосибирск, Хабаровск). Над архипелагом находится точка схождения орбит спутников дистанционного зондирования Земли, благодаря чему эти спутники попадают в зону видимости ВППИ. При условии одновременной работы трех станций это обеспечивает прием максимально возможного количества информации.

В течение 2020 г. зимовочным составом РАЭ-Ш обеспечивались прием, первичная обработка и передача в ААНИИ и систему ЕСИМО гидрометеорологической информации (табл. 7.1). Для передачи использовался широкополосный интернет-канал, предоставляемый по контракту с ААНИИ норвежским оператором Telenor ASA.

Таблица 7.1 – Объем переданной ВППИ гидрометеорологической информации за период с IV кв. 2019 г. по III кв. 2020 г.

Количественные показатели информации	2020 г				Всего
	IV кв. 2019 г.	I кв.	II кв.	III кв.	
Количество сеансов приема информации с ИСЗ	10248	11200	11127	10500	43075
Количество подготовленных и переданных в ААНИИ tif - файлов	13973	15271	15171	14316	58731
Объем переданной информации, Гб	274,2	299,6	297,7	280,9	1152,4

ВППИ работал круглосуточно, серьезных сбоев в его работе допущено не было, за исключением единичных случаев кратковременных плановых и внеплановых отключений

электричества в пос. Баренцбург. Помимо обычной, ежедневной работы по приему и передаче спутниковой информации в ААНИИ было сделано следующее:

- Проведена инвентаризация компьютеров и прочей техники. Инвентаризация включила в себя перепись всех рабочих мест с описанием установленного оборудования, оценку антивирусной защиты и объемов оперативной памяти, а также необходимости замены аккумуляторов и источников бесперебойного питания.
- Восстановлена работоспособность компьютера с установленной программой ArcGis, программное обеспечение обновлено.
- Замена пришедшего в негодность жесткого диска одного из серверов, источника бесперебойного питания в серверной на более мощный.
- Специалистами норвежской компании Telenor установлен новый роутер во второй серверной. Установленный канал отлажен совместно с IT отделом ААНИИ и сотрудниками гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».
- Удаленная инспекция Губернатора Шпицбергена прошла в июне 2020 г. Были подготовлены данные, требуемые для проведения регулярной проверки Министерством связи Норвегии и Губернатором Шпицбергена и отправлены инспектирующей стороне.

В 2020 году данные, получаемые ВППИ, использовались в реальном времени для обеспечения логистических операций по ротации экспедиционного состава международного проекта MOSAiC. Снимки с радиометра VIIRS (Suomi-NPP) использовались экипажем ледокола «Капитан Драницын» для поиска разрывов и каналов для движения в ледяном покрове.

Мероприятие 7 выполнено полностью.

Мероприятие 8. Экологические исследования

Экологические исследования на базе химико-аналитической лаборатории в 2020 г. планировались по нескольким направлениям: мониторинг состояния приземного воздуха автоматическими станциями контроля качества атмосферы (СККАВ), изучение накопления загрязняющих веществ в криоконитах на ледниках Западного Шпицбергена, Накопление тяжелых металлов в трофической цепи (бентосных организмах) заливов Исфьорда и береговых экосистемах (совместно с ММБИ РАН), разработка методик анализа и поиск новых загрязняющих веществ на архипелаге Шпицберген. Изучение факторов, влияющих на распределение и разложение сложных органических загрязняющих веществ. В условиях пандемии и ограничения на пересечения границ не были выполнены отбор и исследование криоконитов, также не полностью выполнен анализ образцов бентосных организмов, собранных специалистами ММБИ РАН в 2019 г.

1. Мониторинг состояния приземного воздуха автоматическими станциями

Две станции контроля качества атмосферного воздуха в поселке и на горе над пос. Баренцбург работали непрерывно, однако в течении года некоторое оборудование было отключено, так как выходило из строя и требовало ремонта, в частности происходило отключение системы сбора данных «Агат». Оборудование станций анализирует содержание оксидов азота, диоксида серы, сероводорода, озона, углекислого газа, угарного газа, газообразной ртути и пыли в приземном воздухе, параллельно регистрируя метеорологические параметры (табл. 8.1).

Получаемые результаты измерений накапливаются на компьютере с установленной системой обработки данных «Агат» в химико-аналитической лаборатории и в конце каждого месяца выкладываются на сервер института. Данные станций контроля качества атмосферного воздуха анализируются сотрудниками института совместно с Голобоковой Л.П., Лимнологический институт Сибирского отделения РАН. В непрерывных рядах концентраций газовых примесей отражается сезонная динамика состава приземного слоя атмосферы, вклад локальных, удаленных и антропогенных источников загрязнений. Сравнение рядов данных по

оксидам азота и серы, полученных в процессе работы станций, дает представление об экологической ситуации в поселке Баренцбург. Местные метеорологические особенности (частые сильные ветры, температурные инверсии, резкая смена температуры) также оказывают большое влияние на содержание и распределение газовых примесей.

Таблица 8.1. Комплектация станций контроля качества атмосферного воздуха, установленных в пос. Баренцбург, и количество замеров, произведенных оборудованием за январь-октябрь 2020 г.

Измеряемый показатель	Оборудование	Производитель оборудования	Количество измерений, ед.	
			Ст. «Гора»	Ст. «Поселок»
NO _x , NO ₂ , NO, NH ₃	Хемиллюминесцентный анализатор оксидов азота AC32M + внешний доп. модуль NH ₃ → NO	Environnement S.A. (Франция)	64540	64634
SO ₂ , H ₂ S	Флуоресцентный анализатор двуокиси серы AF 22 УФ	Environnement S.A. (Франция)	43060	43122
CO ₂ , CO	Анализатор содержания оксида и диоксида углерода CO12 с корреляцией по газовому фильтру CO12M	Environnement S.A. (Франция)	23902	42184
O ₃	УФ фотометрический анализатор озона O342M	Environnement S.A. (Франция)	21535	21656
Взвешенное вещество <10 мкм	Бета-измеритель взвешенных частиц MP101M	Environnement S.A. (Франция)	NA	NA
Hg ⁰	Воздушный ртутный монитор РА-915 AM	Люмэкс (Россия)	21136	21622
Температура, давление, влажность, скорость, направление ветра, осадки	Преобразователь метеоданных WXT520	Vaisala (Финляндия)	NA	NA

С 2017 по 2019 г. годовая динамика оксидов азота оставалась сравнительно неизменной: в летнее время с открытием навигации в пос. Баренцбург возрастала концентрация оксида и диоксида азота, что связано с заходом и стоянкой кораблей в порту и на рейде (рис. 8.1). Однако в 2020 г в связи с закрытием границ и временным запретом на туристическую деятельность на арх. Шпицберген, концентрации оксидов азота в летний период выросли незначительно. Это подтверждает предположение, что основным источником оксидов азота на архипелаге является транспорт, в частности судоходный. Схожие различия зарегистрированы и анализаторами станции «Гора», расположенной на плато над поселком, однако там фоновые концентрации оксидов азота зимой и весной значительно ниже за оба рассматриваемых периода.

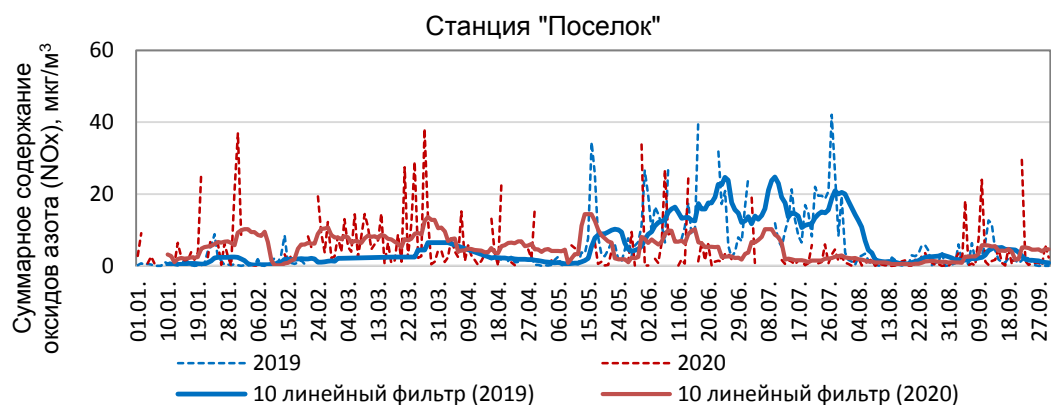


Рисунок 8.1 – Содержание оксидов азота (суммарное) в воздухе на станции «Поселок» с января по сентябрь 2019 и 2020 гг. Сплошные линии – сглаживание с шагом 10

При этом временной ход содержания диоксида серы в приземном воздухе практически не изменился, так как несмотря на влияние выхлопов транспорта, его основным локальным источником является ТЭЦ, работающая на угле, которая обеспечивает поселок Баренцбург электричеством и теплом. Резкие кратковременные повышения концентрации диоксида серы вероятно объясняются нестабильностью работы ТЭЦ и недостаточной фильтрацией газов и твердых частиц на выходе. Также этот эффект может усиливаться в зимний период во время установления инверсий, препятствующих рассеиванию шлейфа загрязнения. Фоновые же концентрации диоксида серы очень низкие для населенного пункта.

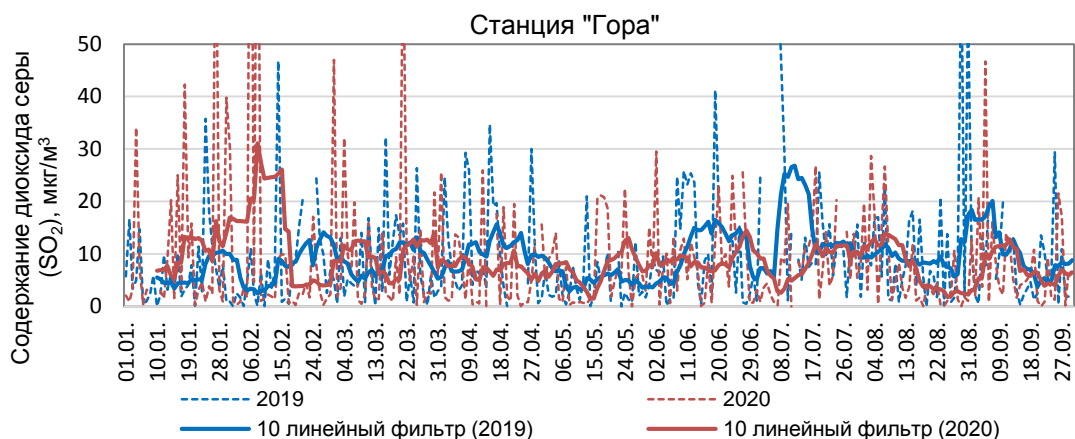


Рисунок 8.2 – Содержание диоксида серы в приземном воздухе на станции «Гора» с января по сентябрь 2019 и 2020 гг. Сплошные линии – сглаживание с шагом 10

Консервативные газы, такие как озон и углекислый газ имеют сравнительно постоянную концентрацию в воздухе пос. Баренцбург, однако небольшие колебания их содержания обуславливаются атмосферной циркуляцией. Например, концентрация озона незначительно колеблется в течение суток, и изменяется в зависимости от атмосферного давления (в противофазе), что в свою очередь связано с интенсивностью ветровых переносов. Максимальные концентрации озона наблюдаются весной, а минимальные в августе, при этом изменения происходят синхронно на обеих станциях (рис. 8.3). В годовом ходе содержания диоксида углерода наблюдается схожее распределение, однако, с меньшей синхронностью между станциями за счёт отдельных значительных отклонений в значениях (экстремумов).

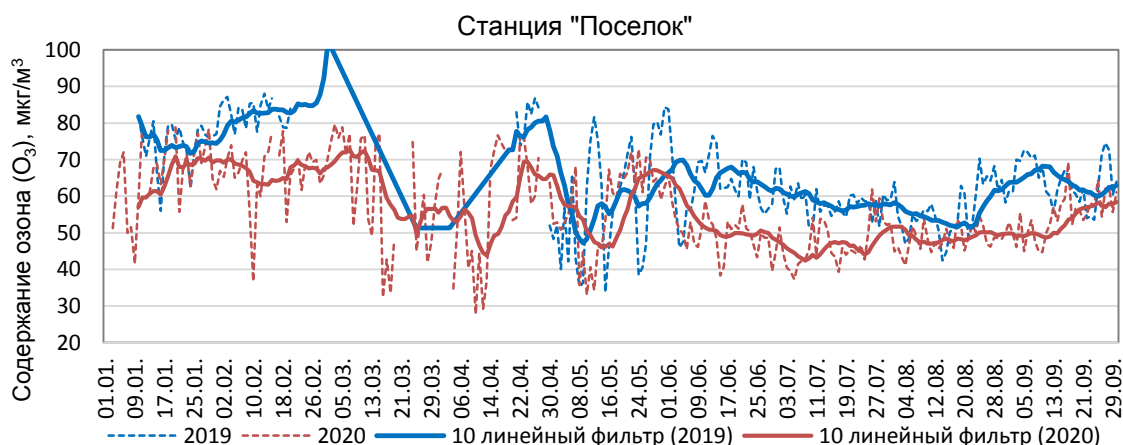


Рисунок 8.3 – Содержание озона в воздухе на станции «Поселок» с января по сентябрь 2019 и 2020 гг. Сплошные линии – сглаживание с шагом 10

Содержание газообразной ртути в приземном воздухе остается постоянным на уровне фоновых значений с незначительным повышением летом во время таяния активного слоя и испарения из почвы. Это характерно для удаленных районов с распространенной многолетней мерзлотой.

Сбор данных со станций ККАВ продолжается, однако требуется доработки и усовершенствование программного обеспечения системы сбора информации для более эффективного слежения за состоянием оборудования и оценки и отбраковки получаемых данных.

2. Изучение накопления загрязняющих веществ в криоконитах на ледниках Западного Шпицбергена

Работы по этому направлению не выполнялись в связи с дефицитом сотрудников в условиях пандемии коронавируса, невозможностью отобрать и проанализировать образцы.

3. Накопление тяжелых металлов в трофической цепи (бентосных организмах) заливов Исфьорда и береговых экосистемах (совместно с ММБИ РАН)

Загрязняющие вещества поступают в наземные экосистемы арх. Шпицберген не только из других районов Земли (Pacyna et al. 2010), но и от локальных источников (Nikitina, Popova 2017). На арх. Шпицберген представлены различные виды антропогенного влияния на природные экосистемы: угледобывающие шахты, поселки с развитой инфраструктурой, в том числе теплоэлектростанция на угольном топливе, свалки и полигоны, растущие потоки туристов и грузов, что формирует локальные источники загрязнения (Granberg et al. 2010). Тяжелые металлы и их соединения являются опасными экологическими токсикантами (Furness et al. 1990; Wiener 2013). В морские экосистемы экотоксиканты поступают в основном с поверхностным стоком, а также из атмосферных выпадений, с аэрозолем и напрямую от источников загрязнения (морской транспорт).

В 2020 г. основная задача состояла в анализе образцов бентосных организмов и донных отложений, отобранных специалистами ММБИ РАН осенью 2019 г. в заливе Исфьорд для оценки аккумуляции тяжелых металлов на разных уровнях трофической цепи, а также в различных частях организмов. Анализ образцов выполнен лишь частично в связи с недостатком сотрудников в лаборатории.

Всего в лаборатории было проанализировано 37 образцов, сформированных из организмов 16 видов. Предварительный анализ данных показывает хорошую сходимость концентраций металлов в одинаковых частях организмов одного вида. Панцири и раковины в целом накапливают металлы в меньшей степени, но при этом могут характеризоваться повышенной концентрацией железа, марганца и хрома. Межвидовые различия в накоплении металлов значительны и зависят от типа питания и метаболизма организмов.

Литература

Furness R., Thompson D., Walsh P. Evidence from biological samples for historical changes in global metal pollution// Heavy metals in the marine environment, 1990. 219–226.

Granberg M. E., Ask A., Gabrielsen G. W. Local contamination in Svalbard: overview and suggestions for remediation actions. – NorskPolarinstitutt, 2017. – 49 p.

Nikitina M., Popova L. Identification of accumulation factors of heavy metals in the euro-arctic soils// International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management. – 2017. – V.17. – P. 291–296.

Pacyna E.G., Pacyna J.M., Sundseth K., Munthe J., Kindbom K., Wilson S. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020// Atmospheric Environment. –2010. – V. 44(20). – P. 2487–2499.

Wiener J.G. Mercury exposed: advances in environmental analysis and ecotoxicology of a highly toxic metal// Environ. Toxicol. Chem. – 2013. – V. 32. – P. 2175–2178.

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

В качестве «новых» загрязняющих веществ были выбраны перфторированные кислоты (PFAS) – частично фторированные алифатические молекулы, которые попадают в окружающую среду в результате их использования в промышленности в качестве

замастителей, поверхностно-активных веществ, эмульгаторов, пенообразователей или продуктов утилизации PFAS-содержащих материалов. Перфтороктансульфонат (PFOS) и перфтороктановая кислота (PFOA) являются наиболее хорошо изученными химическими веществами в группе PFAS, так как постоянно присутствуют в окружающей среде в связи с их устойчивостью к типичным процессам деградации в природе.

Перфторированные кислоты могут как переноситься на большие расстояния (AMAP 2017), так и иметь локальные источники, и в итоге обнаруживаются в природной среде и организмах во многих частях мира, включая Арктику и океаны, и в частности Шпицберген (Skaag et al., 2020). Рост концентрации перфторированных кислот у организмов, находящихся на более высоком трофическом уровне, указывает на их способность к биоаккумуляции. Токсичность, высокая растворимость в воде и жирах, способность к биоаккумуляции способствуют воздействию PFAS на живые организмы и здоровье человека (AMAP 2018). За последние несколько лет медицинские клинические исследования проверяют возможность PFOS и PFOA вызывать раковые заболевания у человека (Chang et al., 2019; Sunderland et al., 2019; Cohn et al., 2019). PFOS была включена в Стокгольмскую конвенцию в 2009 (Annex B), статус PFOA в настоящий момент находится на рассмотрении.

Имеющийся в лаборатории жидкостной хромато-масс-спектрометр с тройным квадруполом LCMS-8040 дает новые возможности в области анализа и поиска органических загрязняющих веществ. Во время наименьшей загруженности лаборатории ведется методическая работа по определению группы перфторированных кислот в образцах почвы, растительности, биоте. Также оптимизируются методики пробоподготовки в этих матрицах: экстракции, концентрирования и очистки образцов от мешающих факторов.

В 2020 г. шла отработка методики по подготовке образцов для анализа биоты (очистке биологических образцов во время экстракции) и воды (экстрагирование на картриджах). Кроме того, делалась оценка метрологических характеристик применяемой методики: предела обнаружения, предела количественного определения, линейность, прецизионность (повторяемость), степень экстрагирования компонентов на основе измерений концентраций добавок – изотопно-меченых стандартов. В качестве тестовых образцов использовались пробы воды, отобранные в сливах поселка Баренцбург, бентосных организмов и мышечной ткани трески, отобранных в заливах системы Исфьорд.

Обнаружено, что в сточной воде оптимально анализировать взвешенное вещество, при этом фильтруя не менее двух литров пробы для получения достаточного для анализа количества материала (не менее 1 г). Концентрирование сточной воды на картриджах ведется плохо за счет мешающих влияний, при концентрировании более чистой воды требуется большой объем пробы, достаточный для достижения минимальной определяемой концентрации веществ в экстракте. Оптимальным методом экстракции биологических объектов является экстрагирование с последующей очисткой специальным угольным сорбентом (EnviCarb™, Supelco) для устранения влияния липидов. Для анализа можно использовать как сырые, так и высушенные пробы (например, треска), однако в любом случае до начала подготовки пробы необходимо определять влажность организмов (или других твердых проб) для дальнейших пересчетов. По результатам методической работы созданы протоколы подготовки проб и программы анализа на содержание 13 перфторированных кислот (перфторгексановая кислота (PFHxA), перфторгексан-сульфоновая кислота (PFHxS), перфтороктановая кислота (PFOA), перфторнонановая кислота (PFNA), перфтороктансульфоновая кислота (PFOS), перфтордекановая кислота (PFDA), перфторундекановая кислота (PFUndA), перфтортетрадекановая кислота (PFTeDA), перфторбутановая кислота (PFBA), перфторбутансульфоновая кислота (PFBS), перфторгекпановая кислота (PFHpA), перфтордекансульфоновая кислота (PFDS), перфтордодекановая кислота (PFDoDA)).

Анализ метрологических характеристик методики анализа перфторированных кислот в биоте показал, что аналитическая методика линейна на выбранном диапазоне концентраций

для всех компонентов смеси PFAS, определены пределы обнаружения и количественного определения отдельных компонентов смеси. Повторяемость методики при работе с образцами трески приемлемая. Однако правильность методики (соответствие теоретической концентрации стандарта реально измеренной) не удовлетворительна. Причиной этого может быть качество используемых стандартов. Несмотря на устойчивость исследуемых веществ, стандарты могут изменить свою заявленную концентрацию с течением времени. В связи с этим работа по валидации методики временно приостановлена до получения свежих стандартов, в частности содержащих изотопно-меченые компоненты. Следующим этапом станет изучение влияния матрицы пробы на экстракцию искомым компонентов.

Анализ имеющихся в распоряжении лаборатории образцов показал присутствие перфторированных кислот в стоках поселка Баренцбург (в особенности в коммунальном стоке) и взвешенном веществе из них, и в бентосных организмах и мышечной ткани пикши и трески, что соотносится с результатами, полученными для Шпицбергена (Skaar et al., 2020, Kowalczyk et al., 2020).

Мероприятие 8 выполнено частично. Часть полевых работ сокращена.

Литература

AMAP Assessment 2016: Chemicals of Emerging Arctic Concern. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2017. Oslo, Norway. xvi+353pp.

AMAP Assessment 2018: Biological Effects of Contaminants on Arctic Wildlife and Fish. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2018. Oslo, Norway. vii+84pp.

Chang E.T., Adami H-O., Boffetta P., Wedner H.J., Mandel J.S. A critical review of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and immunological health conditions in humans // *Critical Reviews in Toxicology*. 2019. V.46. No.4. P.279-331.

Cohn, B.A., La Merrill, M.A., Krigbaum, N.Y., Wang, M., Park, J.S., Petreas, M., Yeh G., Hovey R.C., Zimmermann L., Cirillo, P.M. In utero exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and subsequent breast cancer // *Reproductive Toxicology*. 2019. In press.

Kowalczyk J., M. Flor, H. Karl & M. Lahrssen-Wiederholt (2020) Perfluoroalkyl substances (PFAS) in beaked redfish (*Sebastes mentella*) and cod (*Gadus morhua*) from arctic fishing grounds of Svalbard, *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13:1, 34-44, DOI: 10.1080/19393210.2019.1690052

Skaar, J.S., Ræder, E.M., Lyche, J.L. et al. Elucidation of contamination sources for poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) on Svalbard (Norwegian Arctic). *Environ Sci Pollut Res* 26, 7356–7363 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2162-4>

Sunderland E.M., Hu X.C., Dassuncao C., Tokranov A.K., Wagner C.C., Allen J.G. A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects // *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2019. V.29. P.131–147. doi:10.1038/s41370-018-0094-1

Мероприятие 9. Специализированная научно-исследовательская практика для студентов профильных вузов на базе РНЦШ

В связи с пандемией новой коронавирусной инфекции, в том числе ограничительными мерами на передвижение, предпринятыми Российской Федерацией, Норвегией и другими государствами для противодействия распространения вируса, а также противоэпидемическими ограничениями, принятыми вузами, организовать доставку студентов на Шпицберген было невозможно, научно-исследовательская практика проводилась.

Мероприятие 9 не выполнено.

Мероприятие 10. Работы по линии международного сотрудничества на арх. Шпицберген

1. ААНИИ: Участие в работе международных форумов

- Участие во регулярном форуме SSF (Svalbard Science Forum) представителей научных организаций, работающих на Шпицбергене 13 октября 2020 г. (ВКС);

- Участие в международном семинаре «Устойчивые побережья Шпицбергена» (Sustainable Svalbard Coasts – Svalcost) о состоянии изученности прибрежных районов Шпицбергена 18-20 февраля 2020 г. в пос. Лонгйирбюен. Представлен доклад об океанологических исследованиях ААНИИ на Шпицбергене, оценках стока воды и взвешенных наносов рек бассейна Грэнфьорд, изучению субмаринной мерзлоты в мелководных районах.
- Участие в международном рабочем семинаре «От суши к фьордам: обзор гидрологии Шпицбергена с 1970 по 2019 г. (From Land to Fjords, a review of Svalbard Hydrology from 1970 to 2019 - Svalhydro)» 17-18 августа и 8 сентября 2020 г. в рамках сотрудничества с Университетским центром на Шпицбергене (UNIS). По результатам семинара подготовлена публикация в ежегодный отчет о состоянии природной среды Шпицбергена (SESS report), заложены основы будущего сотрудничества и обмена данными.
- Участие в рабочем совещании по реализации проекта HERMOSA 3 сентября 2020 г. с целью обсуждения заявки на изменение плана работ по проекту.

2. ААНИИ и UNIS (Норвегия): Полевая и лабораторная практика студентов UNIS в химико-аналитической лаборатории РНЦШ

Полевую и лабораторную практику организовать не удалось в связи с закрытием Университетского центра на Шпицбергене (UNIS) и выездом студентов со Шпицбергена. Эти меры были предприняты во исполнение распоряжений Губернатора Шпицбергена в связи с угрозой распространения коронавирусной инфекции.

3. UNIS (Норвегия), Технологический университет Гданьска (Польша), Геофизический институт (Польша), Центральная школа Лиона (Франция), ААНИИ (Россия), Институт исследования воздуха (Норвегия), Университет Познани (Польша): Гармонизация экологических исследований и мониторинга приоритетных загрязняющих веществ в воздухе Шпицбергена

В связи с пандемией коронавируса запланированные мероприятия не состоялись. Научно-практические семинары перенесены на 2021 год.

4. UNIS (Норвегия), ААНИИ, Университет Мельбурна (Австралия): Метод идентификации разрушения ледового покрова

Совместный проект в рамках сотрудничества с UNIS посвящен изучению реакции ледяного покрова на ветро-волновые воздействия в прикромочной зоне. Сотрудники ААНИИ участвовали в полевых работах по регистрации параметров, характеризующих реакцию ледяного покрова на ветро-волновые воздействия в прикромочной зоне на припае в заливе Грэнфьорд состоявшихся в марте 2020 г. (см. Реакция ледяного покрова на ветро-волновые воздействия в прикромочной зоне).

5. ААНИИ и UNIS (Норвегия): семинар для студентов UNIS по геологии Арктического бассейна

В рамках соглашения о научно-исследовательском сотрудничестве между ААНИИ и UNIS на базе РНЦШ 4-6 марта 2020 г. состоялись лекционные и полевые занятия студентов, они прослушали лекции своих преподавателей и сотрудников ААНИИ об особенностях геологии Шпицбергена и арктических регионов в целом, влиянии ледников на подземные воды, особенностях развития мерзлоты на Шпицбергене, распределении подмерзлотных газовых гидратов на шельфе Баренцева моря, а также посетили район исследования многолетней мерзлоты сотрудниками ААНИИ в долине реки Грэн (арх. Шпицберген).

Таким образом, мероприятие 10 выполнено частично.

ФГБУ «Мурманское УГМС»

Мероприятие 11. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург»

В период с 01.01.2020 года по 31.12.2020 года наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды выполнялись специалистами ФГБУ «Мурманское УГМС» на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» круглогодично. Общее количество человеко-дней, проведенных сотрудниками ФГБУ «Мурманское УГМС» на архипелаге Шпицберген в 2020 году составило 2405 чел.-дн.

Основные результаты наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды в 2020 году:

1. Метеорологические наблюдения

Метеорологические наблюдения проводились 8 раз в сутки в стандартные сроки. Наблюдения проводились за температурой воздуха и подстилающей поверхностью, метеорологической дальностью видимости, количеством, формой и высотой облачности, атмосферным давлением, влажностью воздуха, атмосферными явлениями, высотой снежного покрова. Всего по программе станции было выполнено 2928 комплексных наблюдений.

Климатические особенности 2020 года на архипелаге Шпицберген по данным ГМО Баренцбург:

По данным ВМО «Температура в Арктике повышается более чем в два раза быстрее, чем в среднем в мире. Уникальные процессы усиления и обратные связи, такие как быстрое уменьшение морского льда, в значительной степени способствуют этому потеплению. Потепление Арктики будет иметь далеко идущие последствия в Северном полушарии». По предварительным данным в 2020 году «...морской лед в Арктике, ключевой индикатор изменения климата, достиг минимума в годовом ходе после сезона летнего таяния. Он стал вторым самым низким только после рекордно низкого минимума, наблюдавшегося в 2012 году». (сайт Гидрометцентра России со ссылкой на сайт ВМО).

Температура воздуха

По данным метеорологических наблюдений на гидрометеорологической обсерватории Баренцбург отклонение средней месячной температуры воздуха за девять месяцев 2020 года составило 1,8 °С (рис. 11.1).

Июль и август 2020 года по значению средней месячной температуры воздуха стали самыми теплыми за период наблюдений с 1948 года. 27 июля 2020 года температура воздуха повышалась до плюс 19,5 °С, что стало вторым значением после абсолютного максимума (плюс 20,3 °С), который был зафиксирован в июле 1999 года. В целом лето 2020 года стало самым теплым за период с 1948 года, превысив предыдущее максимальное значение средней сезонной температуры воздуха на 0,5 °С.

Положительная аномалия средней сезонной температуры воздуха отмечалась во все сезоны года. Зима 2019-2020 была теплее климатической нормы на 1,2°С, весна (май) – на 3,0°С, лето – на 2,5°С, осень (сентябрь) – на 2,2°С. Средняя месячная температура воздуха была выше климатической нормы во все месяцы с октября 2019 по сентябрь 2020, кроме марта.



Рисунок 11.1 – Ход средней месячной температуры воздуха (°С) в 2020 году в сравнении с климатической нормой

Март 2020 года стал самым холодным месяцем за последние пятнадцать лет. Средняя месячная температура воздуха составила минус 15,4 °С, что почти на градус ниже климатической нормы. (Период с октября по апрель включительно полностью относится к сезону – зима; май был отнесен к сезону – весна; период июнь –август относится к сезону – лето; сентябрь – осень).

Осадки

«Глобальное потепление» в высоких широтах, как правило сопровождается увеличением количества выпадающих осадков. Тенденция увеличения годовой суммы осадков отмечается и в Баренцбурге. Однако, в 2019 году количество выпавших осадков составило лишь 383 мм, что на треть меньше климатической нормы. За девять месяцев 2020 года количество выпавших осадков в Баренцбурге составило около 75 % от своей годовой нормы. Распределение осадков в течение этого периода носило неравномерный характер (рис.11.2).

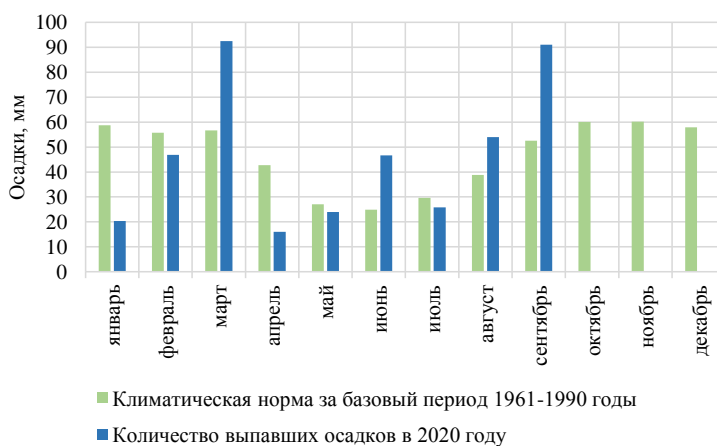


Рисунок 11.2 – Количество выпавших осадков (мм) в 2020 году в сравнении с климатической нормой

Наименьшее месячное количество осадков отмечалось в январе и апреле, 35 и 37 % климатической нормы. Наибольшее количество осадков – в марте и сентябре, когда за месяц выпало более 90 мм осадков.

Опасные явления

За 9 месяцев 2020 года наблюдалось 1 опасное явление: 22 марта в Баренцбурге наблюдался очень сильный снег с количеством осадков 23,2 мм за 12 часов.

2. Морские гидрометеорологические наблюдения и работы

На станции проводятся:

- наблюдения над уровнем моря по футштоку в 06, 12, 18 ВСВ и по мареографу ежечасно;
- наблюдения над волнением визуально в 06, 12, 18 ВСВ;
- ледовые наблюдения в заливах Гренфьорд и Исфьорд с измерением характеристик ледяного покрова в постоянной точке (толщина льда, глубина его погружения, высота и плотность снежного покрова на льду);
- наблюдения за видимостью в сторону моря - ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ;
- определение плотности и солёности морской воды ареометрированием 1 раз в сутки в 12 ВСВ;
- измерение температуры воды ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ.

Всего проведено 1098 комплексных наблюдений.

3. Радиационный мониторинг

В п. Баренцбург производится ежедневное измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) на расстоянии 1 м от поверхности – выполнено 365 измерения.

Данные передавались в МТ АСКРО – Мурманская территориальная автоматизированная система контроля радиационной обстановки. По данным наблюдений ГМО Баренцбург радиационный фон (мощность экспозиционной дозы на местности) изменялся в пределах колебаний природного фона: от 0,09 до 0,13 мкЗв/час.

4. Геофизические наблюдения

Актинометрические наблюдения производились ежедневно в светлое время суток по пиранометру М-80 (измерение суммарной солнечной радиации) с записью на интегратор Х-607. Было проведено 366 наблюдений.

Измерения общего содержания озона в атмосфере выполнялись в светлое время суток озонометром М-124. Количество измерений составило 366.

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

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

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

Определение периодов аномального поглощения радиоволн – 366 сроков.

Зарегистрировано 108 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 становится очевидной. Геофизические данные Баренцбурга входят составной частью в диагностические и прогностические материалы МЦ МГФО.

Ежесуточная геомагнитная и риометрическая информация передается в Гелиогеофизический Центр Росгидромета, Мурманский Центр мониторинга геофизической обстановки, отдел геофизики ФГБУ «ААНИИ».

5. Прочее

Материалы наблюдений ГМО Баренцбург обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Объем полученной информации за 2020 год составил 0,1 Гб.

Осуществляется оперативная передача метеорологических данных ГМО Баренцбург в прогностические организации Росгидромета. ГМО Баренцбург включен в публикацию ВМО № 9 Том С1 для международного обмена.

Продолжается изучение климатических изменений в арктической зоне и развитие научных исследований по изучению климатических изменений арктического бассейна. Проведенные регулярные гидрометеорологические наблюдения на базе ГМО Баренцбург актуальны для обеспечения безопасности мореплавания.

Оперативная гидрометеорологическая информация ГМО Баренцбург используется синоптиками ФГБУ «Мурманское УГМС» для составления прогнозов и предупреждений о неблагоприятных гидрометеорологических явлениях и опасных явлениях (ОЯ) по всей зоне ответственности Мурманского УГМС (как морской, так и материковой). Наибольшее число ОЯ (сильный снег, метель, штормовой ветер) связано с циклонами, формирующимися в Гренландском море и углубляясь стремительно смещающимися на юго-восток Баренцева моря.

Предложения

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 продолжить в 2021 году проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории Баренцбург.

Мероприятие 11 выполнено полностью.

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

Мероприятие 12. 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 2020 г. выполняются исследования на архипелаге Шпицберген, включающие работы по фоновому и локальному экологическому мониторингу загрязнения объектов окружающей среды в районе поселка Баренцбург и его окрестностях, в том числе акваторию и побережья залива Грэнфьорд и обследование состояния загрязнения окружающей природной среды в районе пос. Пирамида.

Исследования проводятся Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» в соответствии с планом НИТР Росгидромета на 2020–2024 гг., тема 4.3.3 «Оценка состояния и тенденций изменения загрязнения природных сред Арктической зоны Российской Федерации»

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 пос. Баренцбург и пос. Пирамида с прилегающими акваториями залива Грэнфьорд и бухты Петунья, соответственно;

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

Полевые работы

Экспедиционные работы в 2020 г. по отбору проб на арх. Шпицберген выполнены по сокращенной программе, в связи с введенными ограничениями по доставке специалистов в расположение РАЭ-Ш (пос. Баренцбург, арх. Шпицберген) из-за пандемии COVID-19 и других ограничительных мер, предпринятых Российской Федерацией и Норвегией, с целью недопущения распространения инфекции.

В 2020 году в районе пос. Баренцбург и пос. Пирамида на арх. Шпицберген отобрано сотрудниками ААНИИ:

- 14 проб растений (7 проб мха, 7 проб сосудистых растений);
- 14 проб почвенного покрова;
- 2 пробы морской воды в районе порта и водозабора пос. Баренцбург;
- 4 пробы морской воды в районе порта пос. Пирамида;
- 1 проба озёрной воды из оз. Биенда-Стемме;
- 1 проба речной воды из р. Грендалсельва.

В пробах морской, речной и озёрной воды измерены температура и электропроводность, далее пробы заморожены для хранения и проведения дальнейших анализов.

В настоящее время пробы хранятся на арх. Шпицберген и будут доставлены в базовую лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» (г. Санкт-Петербург) для выполнения химико-аналитических исследований. По окончании лабораторных исследований, полученные данные будут обобщены и представлены в аналитическом обзоре о состоянии природной среды в районе деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

В настоящее время Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун» принимает участие в двух проектах, направленных на изучение загрязнения арх. Шпицберген:

- Harmonization of methods of marine microplastic assessment in the Arctic – HAMPSTER;
- EUROpean Quality Controlled Harmonization Assuring Reproducible Monitoring and assessment of plastic pollution – EUROqCHARM.

За 2020 год Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» подготовлены и опубликованы следующие материалы:

Frumin G.T., Demeshkin A.S., Obiazov V.A., Malysheva N.A., Paranina A.N. Ecological and toxicological assessment of heavy metal pollution of the Biend-Stemme lake (West Spitsbergen) // IOP Conf. Ser. 2020: Earth Environ. Sci. 539 0120342. (Scopus)

Фрумин Г.Т., Демешкин А.С. Эколого-токсикологическая оценка качества воды озера Биенда-Стемме (Западный Шпицберген). // Экологическая химия. 2020. Т. 29. № 4. С. 175-178. (реф. ВАК)

Демешкин А.С. Мониторинг загрязняющих веществ в Арктике. // Международная научная конференция «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики» 2 – 4 марта 2020 г., Санкт-Петербург. С. 322-323.

Демешкин А.С. Оценка загрязнения природной среды архипелага Шпицберген. // Международная научная конференция «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики» 2 – 4 марта 2020 г., Санкт-Петербург. С. 324-326.

Мероприятие 12 выполнено частично. Полевая часть сокращена.

Мероприятия Роснедр

АО «ПМГРЭ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Мероприятие 13. Региональные геолого-геоморфологические исследования в рамках программы по составлению комплекта карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген

Основная цель исследований состоит в оценке среднемасштабной геологической изученности архипелага Шпицберген и подготовке обоснования под картирование территории в масштабе 1:1 000 000, сборе материалов и подготовке к созданию комплекта актуализированных карт и схем геологического содержания масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген. Заказчик – ФГБУ «ВНИИОкеангеология», исполнитель – АО «ПМГРЭ». Специалисты АО «ПМГРЭ», принимавшие участие в работах: Милославский М.Ю., начальник партии (m.miloslavskiy@mail.ru), Сироткин А.Н., главный геолог (pechenga-67@yandex.ru), Окунев А.С., геолог 1 категории geoalex26@gmail.com), Шарин В.В., ведущий геолог (sharin_v@mail.ru).

Основные задачи исследований включают:

- Полевые работы с проведением маршрутов и составлением разрезов с полевых баз в районах равнины Богемана и Эрдмана, Экманфьорд и Биллефьорд.
- Составление комплекта предварительных карт геологического содержания масштаба 1:100 000 для районов восточной части Земли Оскара II и восточной части Земли Диксона.
- Сбор материалов по стратиграфии и вещественному составу пород нижнепроторезойского и четвертичного комплексов; петрологии разновозрастных магматических комплексов; структурным и кинематическим характеристикам зон глубинных разломов; геоморфологии, палеогеографии и геоэкологии

В 2020 г. ожидалось получить следующие результаты:

1. Геологическая карта с пунктами проявлений полезных ископаемых для восточной части Земли Диксона масштаба 1:100 000;
2. Геоморфологическая карта и карта четвертичных отложений для восточной части Земли Оскара II масштаба 1:100 000;
3. Геолого-геоморфологические материалы, отражающие уточненные схемы стратиграфического расчленения четвертичных отложений восточной части Земли Оскара II и особенности геоморфологического строения территории, и его взаимосвязь с основными геологическими структурами;
4. Геолого-петрологические материалы для разновозрастных комплексов восточной части Земли Диксона, отражающие их строение, возраст, генезис, состав и степень регионального метаморфизма, границ и площадей картографируемых подразделений;
5. Комплект материалов для подготовки макета унифицированной легенды для геологической (дочетвертичных отложений) карты масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген;
6. Обоснование для постановки работ по геологическому картированию архипелага Шпицберген масштаба 1:1 000 000.

В связи с эпидемиологическими ограничениями и невозможностью выезда на Шпицберген, полевой этап не состоялся. Работы ограничились камеральным сбором и обработкой материалов. По этой причине, из ожидаемых результатов получены только результаты пунктов 5 и 6:

– собран комплект материалов для подготовки макета унифицированной легенды для геологической (дочетвертичных отложений) карты масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген, включающий: карты фактического материала по среднемасштабной изученности архипелага по материалам российских и зарубежных исследований; карты

геологических «несбивок» по результатам среднемасштабной изученности архипелага; схемы корреляции отложений платформенного чехла архипелага с разновозрастными образованиями смежных районов Арктики; база данных цифровой информации по изотопным датировкам коренных и четвертичных пород.

– подготовлен макет унифицированной легенды для геологической (дочетвертичных отложений) карты масштаба 1:1 000 000 архипелага Шпицберген;

– подготовлены обзор и оценка современной среднемасштабной изученности архипелага Шпицберген;

– подготовлен макет кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых архипелага Шпицберген;

– составлено обоснование для постановки работ по геологическому картированию архипелага Шпицберген масштаба 1:1 000 000.

Специалистами Шпицбергенской партии АО «ПМГРЭ» в период январь-сентябрь 2020 года по шпицбергенской тематике в реферируемых изданиях опубликована 1 (одна) статья. Также сотрудники ПМГРЭ приняли участие в Международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики», приуроченной к 100-летию образования Арктического и антарктического научно-исследовательского института, проходившей с 2 по 4 марта 2020 года:

Милославский М.Ю., Сироткин А.Н. Отечественные региональные геолого-геофизические исследования на Шпицбергене: история, основные результаты и перспективы // Тезисы докладов международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». г. Санкт-Петербург, 2 – 4 марта 2020 г. СПб: ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. С. 344-347.

Шарин В.В. Отечественные геоморфологические исследования на архипелаге Шпицберген // Тезисы докладов международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». г. Санкт-Петербург, 2 – 4 марта 2020 г. СПб: ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. С. 358-361.

Сироткин, А.Н., Милославский, М.Ю., Шарин, В.В., Костева, Н.Н., Окунев, А.С., Евдокимова, Н.К., Зыков Е.А., Урванцев Д.М., Горбунов Д.А., Соловьева, Д. А. Предварительные результаты геологических экспедиционных исследований на архипелаге Шпицберген (Земля Норденшельда) в 2019 году // Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции. Севастополь, 2020. С. 224-231.

Таким образом, Мероприятие 13 выполнено частично. Полевые работы не проводились.

Мероприятия организаций Минобрнауки

ФГБУН Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)

В течение 2020 г. сотрудниками Института географии Российской академии наук выполнялись исследования по Мероприятию 15: Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата - в рамках госзадания № 0127–2019–0009 «Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата». Выполнение Мероприятия 14 основано на проведении экспедиционных работ по гранту РФФИ, весной 2020 г. – они были полностью отменены. Измерения абляции на леднике Восточный Гренфьорд были проведены сотрудником РАЭ-Ш ААНИИ Демидовым В.Э. в августе. Полученные данные позволят продолжить масс-балансовые измерения на леднике Восточный Грэнфьорд и, таким образом, многолетний ряд наблюдений не прервется.

Мероприятие 14. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген

Не выполнено в связи с отменой экспедиционных работ весной 2020 г.

Мероприятие 15. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата

Основной целью исследований является оценка современной изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген. В 2020 г. решались 2 группы задач:

1. Гляциологические

- Исследование изменчивости теплового режима сезонно-талого слоя на разных высотных уровнях;
- Анализ влияния внутрисуточных колебаний метеопараметров и параметров мохового покрова на режим протаивания сезонно-талого слоя грунта;
- Анализ изменчивости величины абляции в течение теплого сезона – с июля по сентябрь на ледниках Земли Норденшельда (Западный Шпицберген).

2. Почвенно-экологические:

- Исследование влияния антропогенной нагрузки на величину и изменчивость потоков углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген (длинные ряды наблюдений);
- Исследование супрагляциальных органо-минеральных систем, в том числе: органогенных (без минерального мелкозема) водорослевых пленок и продуктов их разложения гетеротрофными организмами («следовые почвы»), криоконитов (аккумуляций эолового и гравитационного материала на поверхности ледников); Исследование внутрисезонной динамики основных компонентов потока CO₂ в зависимости от плотности распределения вещества криоконитов и других значимых факторов на ледниках.

1. Гляциологические задачи

Исполнители – Осокин Н.И., зам. директора, кгн, А.В. Сосновский, внс, дгн, Чернов Р.А., нс, кгн, при участии молодого сотрудника Муравьева А.Я. нс, кгн.

Исследование изменчивости теплового режима сезонно-талого слоя на разных высотных уровнях

Для оценки воздействия колебаний температуры воздуха в течение года на термический режим почвы проведено сравнение величин изменения температуры воздуха с изменением температуры на разных уровнях в толще грунта. Такой же подход применялся для оценки влияния поверхностных покровов на термический режим почвы. С этой целью для оценки влияния в разные сезоны года характера поверхности и метеопараметров на тепловой

режим сезонно-талого слоя нами были проведены измерения температуры грунта на глубинах до 70 см на разных высотных уровнях над уровнем моря (НУМ) при разной толщине снежного покрова и наличии мохового покрова на отдельных высотах. Для измерений применялись термохроны, установленные на глубинах 0, 10, 30, 50 и 70 см – в трех точках на склоне горы Улаф – от уровня гидрометеорологической обсерватории (ГМО) Баренцбург до почти 400 м.

Анализ данных по температуре грунта на разных глубинах на разных высотных уровнях показал, что в период с отрицательными температурами воздуха ее значения на ГМО были значительно ниже (за исключением периодов с оттепелями), чем температура поверхности грунта в трех точках, при этом наибольшая разница была с 1-й точкой, расположенной на высоте ГМО, что обусловлено наличием снежного покрова. До октября температура воздуха на ГМО Баренцбург в период с положительной температурой выше, чем температура грунта в т.3 на глубине 30 см. Тогда как для точек 1 и 2 температура грунта на глубине 30 см может быть, как выше, так и ниже, чем температура воздуха на площадке ГМО Баренцбург. Это вызвано тем, что при повышении температуры воздуха увеличивается и температура грунта под моховым покровом. А при понижении температуры воздуха грунт еще может определенное время сохранять под моховым покровом более высокую температуру. В период с отрицательными температурами воздуха температура воздуха на площадке ГМО в основном ниже, чем температура грунта под снежным покровом, за исключением периодов оттепелей (рис. 15.1).

Для оценки термической устойчивости многолетней мерзлоты были проведены расчеты. Они показали, что время начала формирования несливающейся мерзлоты зависит от климатических изменений, параметров

снежного и мохового покровов, влажности грунта. Так, расчеты для условий о. Западный Шпицберген при толщине снежного покрова 1 м и влажности грунта 18 % показали, что наличие мохового покрова *Hylocomium splendens var alaskanum* толщиной 5 см, сдвигает начало формирования несливающейся мерзлоты, с учетом данных региональной модели изменения климата, на 24 года. Таким образом, в условиях небольших (4–5 °С) среднесуточных положительных температур воздуха на арх. Шпицберген снижение температуры грунта под моховым покровом на несколько градусов может компенсировать возможный рост температуры воздуха при потеплении, что предохраняет многолетнюю мерзлоту от деградации. В настоящее время деградации многолетне-мерзлых пород на о. Западный Шпицберген препятствует широкое распространение мохового покрова, который служит важным фактором сохранения мерзлоты при современном климате.

Проведенные исследования показали, что с увеличением высоты местности по многолетнему снегомерному маршруту до вершины горы Улаф толщина снежного покрова снижается и при этом понижается температура воздуха. Поэтому в ближайшее время многолетняя мерзлота на больших высотах над уровнем моря будет термически устойчива.

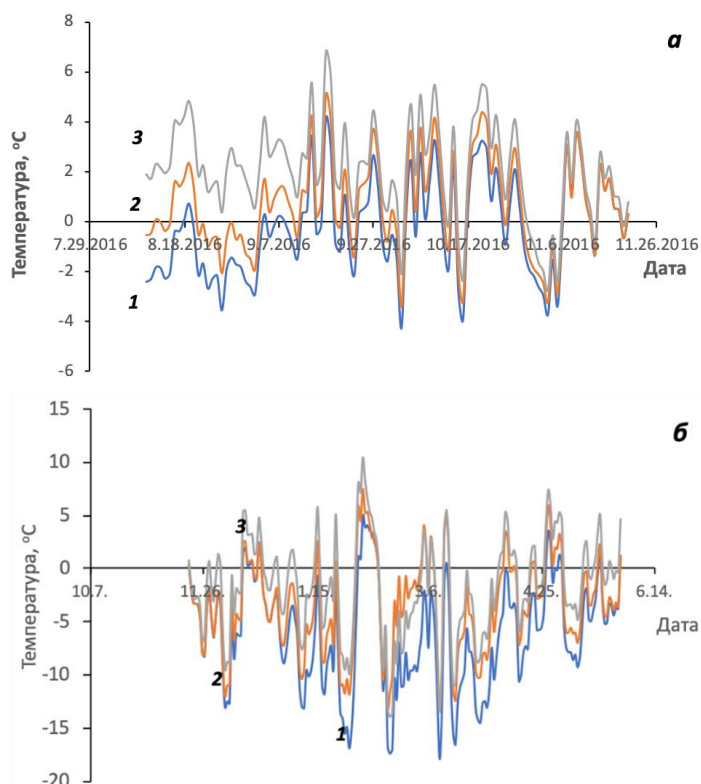


Рисунок 15.1 – Разница температуры воздуха на ГМО Баренцбург и температуры грунта на глубине 30 см за период с положительной (а) и отрицательной (б) температурой в точках: 1 - 1; 2 - 2; 3 - 3

Анализ влияния внутрисуточных колебаний метеопараметров и параметров мохового покрова на режим протаивания сезонно-талого слоя грунта

Для измерений были выбраны 2 площадки: со мхом толщиной 5 см (мох *Hylocomium splendens* var – с типично зеленым цветом) и толщиной 1 см (мох *Gymnomitrium* sp. – печёночник с темной поверхностью). Термохроны были размещены в грунт на глубину от 0 до 90 см с интервалом 10 – 20 см и на высоте 10 см над поверхностью мха. Интервал записи температуры составлял 30 мин, что позволяло отслеживать влияние изменчивости метеоусловий на термический режим деятельного слоя многолетней мерзлоты. Температура воздуха (данные с сайта http://rp5.ru/archive.php?wmo_id=20107) в период наблюдений изменялась от 3,4°C до 13,6°C. При этом максимальный суточный перепад температуры составил 5,8°C. За период измерений были отмечены как дни с небольшой облачностью и максимальной суммарной суточной солнечной радиацией.

Измерения показали, что температура воздуха над мхом толщиной 5 см и 1 см на высоте 10 см в целом совпадают. Среднее отличие составляет 0,17°C. Отличие имеет место, в основном, при росте температуры воздуха при небольшой облачности. В результате разницы в альbedo мха температура над мхом толщиной 1 см на 1°C больше, чем над мхом толщиной 5 см. Тогда как температуры воздуха на метеостанции Баренцбург (на высоте 2 м) ниже температуры воздуха над мхом. Наибольшее отличие составляло около 4°C, в основном при росте температуры воздуха при локальных максимумах солнечной радиации. При этом среднее отличие составляет 2,7°C, так 100-процентной общей облачности и ливнями с интенсивностью до 20 мм осадков в течение нескольких часов. Изменение температуры воздуха и грунта при отсутствии облачности и максимальной суточной радиации показаны на рис. 15.2.

Температура поверхности грунта под мхом толщиной 1 см (кривая 1) под действием солнечной радиации постоянно растет до значений 23,4°C в 16-30 часов. При этом под моховым покровом толщиной 5 см наибольшая температура поверхности грунта достигает величины 10,6°C в 17 часов (кривая 3), что на 12,8°C ниже, чем под мхом толщиной 1 см. Результаты измерений показали, что максимальная разница температуры поверхности грунта под мхом толщиной 1 см и на глубине 10 см составляла 14°C. Наибольшая температура грунта на глубине 10 и 20 см под мхом толщиной 1 см составляла 9,6 и 7,2°C, соответственно. Температура грунта на глубине 20 см под мхом толщиной 1 и 5 см отличалась приблизительно на 1,5°C (рис. 15.2, кривые 4 и 5). Таким образом, глубина протаивания под слоем мха толщиной 1 см на 19 % больше, чем под мхом толщиной 5 см.

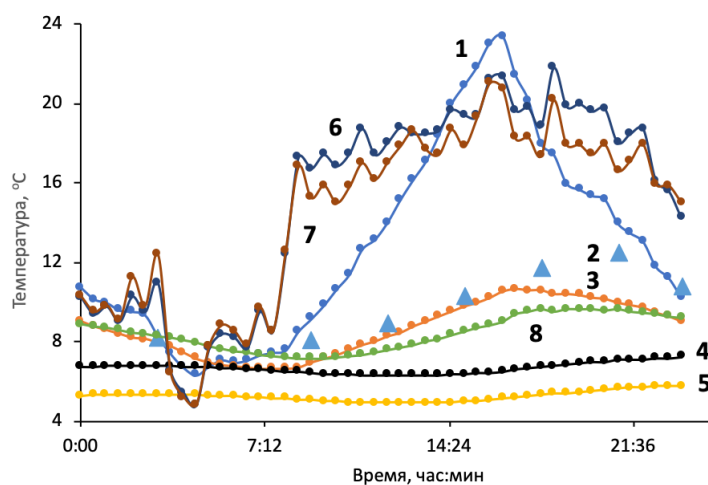


Рисунок 15.2 – Температура воздуха в середине июля при ясной погоде и максимальной суточной радиации по данным метеостанции Баренцбург (2) и на высоте 10 см над поверхностью мха толщиной 1 см (6) и 5 см (7), температура поверхности грунта (1, 3) и на глубине 10 см (8) и 20 см (4, 5) под мхом толщиной 1 см (1, 4, 8) и 5 см (3, 5)

Таким образом, с ростом температуры воздуха увеличивается теплозащитная роль мохового покрова. Эта роль также растет и в солнечную погоду. Тогда как при наличии значительной облачности и осадков влияние мохового покрова на температурный режим поверхности грунта значительно слабее.

Анализ изменчивости величины абляции в течение теплого сезона – с июля по сентябрь на ледниках Земли Норденшельда (Западный Шпицберген)

Анализ проведен на примере ледника Восточный Грэнфьорд. По данным спутниковых снимков 2020 года протяженность ледника составляет 5,5 км, а его площадь равна 5,55 км².

Институт географии РАН выражает искреннюю благодарность сотрудникам РАЭ-Ш за помощь при выполнении работ по измерению таяния на леднике. Полученные данные позволят продолжить масс-балансовые измерения на леднике Восточный Грэнфьорд и, таким образом, многолетний ряд наблюдений не прервется.

К началу августа 2020 году сезонный снежный покров на леднике стаял полностью на всей его поверхности. Поверхность ледника в его наивысшей части (юго-восточный перевал) лишена снега. Таким образом, в 2020 году ледник оказался полностью ниже границы питания. Подобная ситуация была отмечена лишь в 2016 году. Летом 2020 года поверхность ледника имела серую поверхность, что определено большим количеством вытаявшего вещества криоконитов. Отсутствие на поверхности ледника выраженных бугров таяния и серый оттенок льда характерны для периодов продолжительного таяния с преобладанием турбулентного теплообмена. Доля коротковолновой радиации в таянии была, по-видимому, небольшая. В июне и июле 2020 г. отмечены высокие летние температуры воздуха, хотя солнечных дней было мало. По данным ГМО Баренцбург летние температуры воздуха поднимались до +19°C. Средняя температура в июле была равна +7,8°C (<https://rp5.ru/>), что более чем на 2 градуса выше среднееголетнего значения и является абсолютным рекордом за период метеонаблюдений в Баренцбурге. Отступление ледника в последнее десятилетие было неравномерным и ежегодные потери площади менялись от 0,03 до 0,15 км². Общее сокращение площади с 1936 года составили 5,2 км² или в среднем за год 0,065 км².

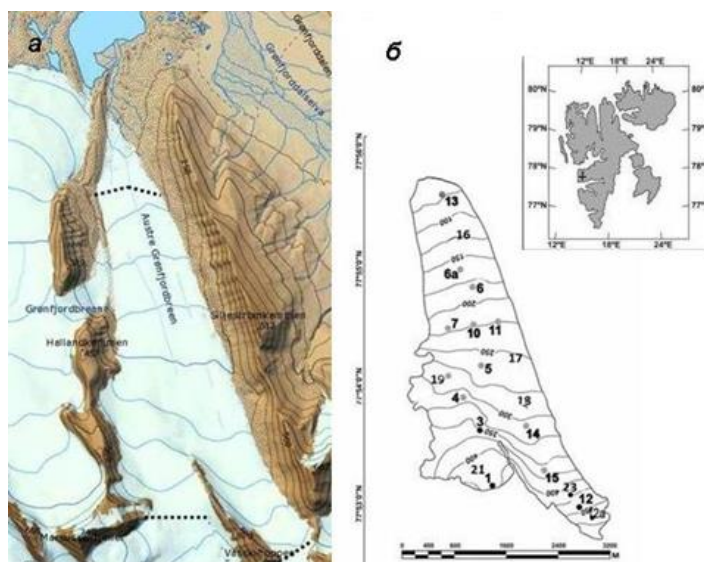


Рисунок 15.3 – Ледник Восточный Грэнфьорд, (а) его верхние и нижняя границы (пунктир); (б) схема положения абляционных рек

Анализ данных абляционных рек показывает, что величина летнего таяния имеет значительную межгодовую и пространственную изменчивость (Осокин, 2010; Чернов, 2019). Максимальное таяние было отмечено в 2020 г. в сравнении с 2017, 2018 и 2019 гг. Наибольшие различия выявлены в верхней части ледника. Эти различия обусловлены не только разными летними температурами воздуха, но и различным снегонакоплением на леднике. На рисунке 15.4 видно, что баланс массы ледника преимущественно уменьшался в последнее десятилетие и достиг максимального отрицательного значения в 2020 году.

Таким образом, потери льда ледника за летний период 2020 года оказались чрезвычайно большими и в среднем превышали 2 метра. Это

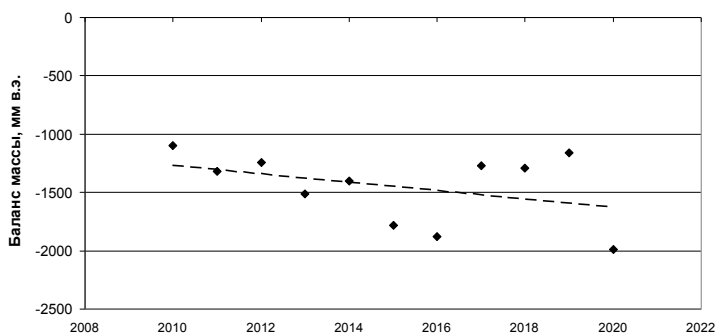


Рисунок 15.4 – Баланс массы ледника Восточный Грэнфьорд в период 2010-2020 гг.

определено, прежде всего, высокими летними температурами воздуха, которые оказались рекордно большими за весь период метеонаблюдений в Баренцбурге.

2. Почвенно-экологические задачи

- Исследование влияния антропогенной нагрузки на величину и изменчивость потоков углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген (длинные ряды наблюдений);
- Исследование супрагляциальных органоминеральных систем, в том числе: органогенных (без минерального мелкозема) водорослевых пленок и продуктов их разложения гетеротрофными организмами («ледовые почвы»), криоконитов (аккумуляций эолового и гравитационного материала на поверхности ледников); Исследование внутрисезонной динамики основных компонентов потока CO₂ в зависимости от плотности распределения вещества криоконитов и других значимых факторов на ледниках.

Исполнители: зав. лаб. кГН Зазовская Э.П., снс дбн Карелин Д.В., нс кбн Шишков В.А.

Исследование влияния антропогенной нагрузки на величину и изменчивость потоков углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген

Проведено на основе данных, полученных в предшествующие полевые сезоны. Особенностью измерений экосистемных потоков, проводимых на архипелаге Шпицберген, было только то, что газообмен между тундрой и атмосферой оценивали при максимальной и минимальной внутрисуточной освещенности, с целью установления наиболее полного диапазона отклика нетто-баланса углерода на этот фактор, а также для последующего моделирования суточных величин потоков.

Целью было сравнение особенностей С-обмена на антропогенно-измененных (АИ) участках и в их естественных аналогах в арктической тундре. Для анализа данные, собранные за 2017-2019 гг., были объединены. В это сравнение вошли только АИ участки, имеющие сомкнутый растительный покров. Всего было проведено 103 измерения нетто-потоков CO₂ и валового дыхания. Здесь и ниже положительные значения нетто-баланса обозначают источник С для атмосферы, отрицательные – сток С из атмосферы. Средняя величина нетто-стока CO₂ из атмосферы на АИ участках оказалась более чем вдвое выше, чем на нативных аналогах ($\text{abs}(-0,085) \pm 0,015 > \text{abs}(-0,035) \pm 0,012 \text{ гС м}^{-2} \text{ час}^{-1}$, t-тест, $p=0,05$), что связано с самовосстановлением растительности после антропогенного воздействия и внедрением в местные сообщества фито-интродуцентов с высоким потенциалом роста. Последние находят в антропогенных рефугиумах условия улучшенного минерального питания и гидротермического режима, что, прежде всего, касается повышенной температуры.

Валовое дыхание в АИ биотопах также вдвое выше ($0,206 \pm 0,010$ в сравнении с $0,108 \pm 0,008 \text{ гС м}^{-2} \text{ час}^{-1}$, t-тест, $p=0,05$). Если в естественной тундре почвенное (подземное) дыхание обычно составляет большую часть валового (64,7%), что связано с адаптацией к зимним условиям, то в АИ биотопах – меньшую (47,9%), ввиду более теплых условий зимовки. Наблюдаемая разница обязана большему участию дыхания надземных частей растений в последнем случае.

Как показывает проведенный анализ, АИ биотопы демонстрируют особые закономерности С-обмена. В частности, переключение С-баланса с нетто-источника на нетто-сток из атмосферы, происходит в этих биотопах при более низкой освещенности (рис.15.5) в диапазоне $100-150 \mu\text{Е м}^{-2}$, тогда как в незатронутой антропогенным воздействием тундре это происходит лишь при $200-250 \mu\text{Е м}^{-2}$. Максимум стока достигается в АИ биотопах при $700 \mu\text{Е м}^{-2}$, тогда как в естественной арктической тундре максимум в наблюдаемом диапазоне освещенности не достигается. При максимально возможных в этой зоне значениях освещенности ($1400 \mu\text{Е м}^{-2}$), нативные биотопы продолжают оставаться стоком, а АИ-биотопы переходят в состояние нулевого баланса. При средней за вегетационный сезон освещенности $250-300 \mu\text{Е м}^{-2}$, в местной арктической тундре за наиболее активный теплый

период следует ожидать около-нулевого С-баланса в естественной тундре и нетто-стока углерода – в АИ биотопах с растительным покрытием.

Почвенное дыхание, тем не менее, может выступать в качестве общего предиктора нетто-потока почти во всех биотопах: при уровне почвенной эмиссии ниже $0,060 \text{ гС м}^{-2} \text{ час}^{-1}$ с высокой вероятностью можно ожидать нетто-источник С, а при больших значениях почвенного дыхания на таких участках более вероятен нетто-сток. Наконец зависимость нетто-потоков от валового дыхания, объединяющего надземные и подземные компоненты экосистем, демонстрирует положительную связь для АИ биотопов, и отсутствие такой связи – для естественных сообществ, что вновь указывает на преобладание роли надземных компонентов в С-балансе АИ биотопов с растительным покрытием.

В арктической тундре Шпицбергена потоки метана (CH_4) в естественных сообществах оказались промежуточными (+1,14) между кустарниковой южной тундрой и северной тайгой. Связь потоков метана и диоксида углерода, оцененных в одних тех же точках измерений, оказалась слабо отрицательной ($r = -0,44$, $p = 0,05$), что отражает конкурентные связи продукции этих газов в почвах с различной степенью аэробности. Уровень эмиссии метана в антропогенно-измененных (АИ) биотопах более чем вдвое превышает ее средний уровень в естественных аналогах ($7,68 > 3,38 \text{ мгCH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ в сут}$; t-тест, $p = 0,05$). Это нельзя объяснить различиями увлажнения сравниваемых почв, поскольку здесь наблюдается обратное соотношение (средняя объемная влажность: $53,3\%$ (нативные) $> 29,7\%$ (АИ)). Более вероятным представляется объяснение, связанное с устранением в почвах АИ биотопов конкуренции со стороны аэробных организмов (корни растений и аэробная микробиота), на фоне достаточного снабжения биогенами. Уничтожение сосудистых растений при антропогенных воздействиях таким образом способствует активизации метаногенных архей. Особняком среди выполненных измерений стоит показатель эмиссии с поверхности полей фильтрации угледобычи на территории пос. Баренцбург (Западный Шпицберген). Поток в атмосферу в этом случае составил $+10860 \text{ мг CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ в сут}$, что сопоставимо с максимально известными величинами выбросов метана с селитебных территорий в умеренной зоне, достигающих $+25000 \text{ мг CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ в сут}$. Согласно расчетам, при общей площади этих объектов в пределах поселка не более 1 га, это количество эквивалентно производимому метану с площади арктической тундры около 100 км^2 .

Проведен предварительный анализ «углеродного следа» (СТ) угледобывающего пос. Баренцбург (Зап. Шпицберген), расположенного в подзоне арктической тундры на широте 78 градусов. СТ в нашей интерпретации включает: 1) энергетические расходы, связанные со сжиганием ископаемых видов топлива на поддержание поселка (электричество и тепло), 2) выбросы паниковых газов (ПГ), связанные со сжиганием топлива местным транспортом (наземная техника, вертолеты, самолеты, корабли и катера, приписанные к поселку), 3) самоутилизацию твердых бытовых отходов (ТБО) и сточных вод, 4) выбросы ПГ в результате дыхания и пищеварения людей и домашних (служебных) животных. С этой целью был применен опросный чек-лист, а также усредненные технологические и жилищно-

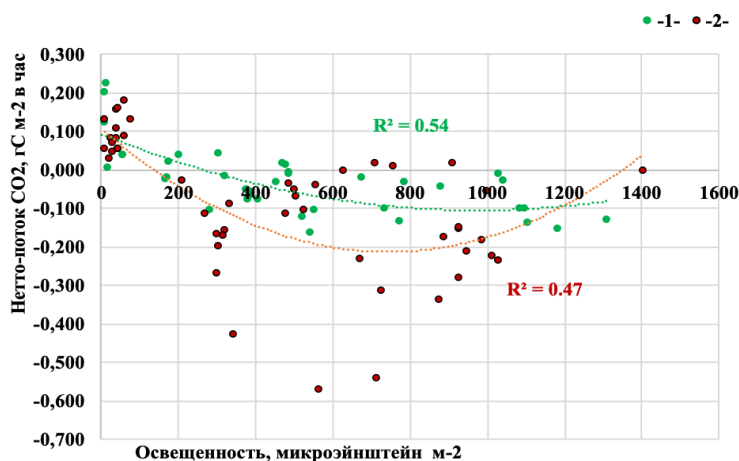


Рисунок 15.5 – Зависимость нетто-баланса углерода от освещенности в АИ биотопах (-2) и их естественных аналогах (-1-) в арктической тундре (Западный Шпицберген, 2017-2019 гг.). Положительные значения нетто-баланса обозначают источник углерода для атмосферы, отрицательные – сток из атмосферы. Приведены параболические регрессии

эксплуатационные данные за 2017-2019 г., метеоинформация за 2019 г., полевые наблюдения почвенной эмиссии и нетто-потоков CO₂ на территории поселка, а также оригинальные регрессионные модели.

Общее выделение CO₂ экв. в расположенном на том же острове пос. Лонгйир, за год в результате сжигания ископаемого топлива дает при пересчете данных (Ringkjøb et al., 2019) величину 50 000 тCO₂ экв. в год или 19,92 тCO₂ в год на человека. Если вычесть из этой величины вклад туристической составляющей (с учетом 410 посетителей в сутки, в среднем за год, при 2100 постоянных жителях, обслуживающего туристический сектор персонала, и привлекаемой для этой сферы техники и инфраструктуры), то эта величина уменьшится и составит: 10-12 тCO₂ экв. на человека в год. Для сравнения, по нашим данным, для преимущественно национального поселения Лорино в Чукотском автономном округе эта величина составляет 13,4 тCO₂ экв. на чел. в год (Karelin et al., 2020). Для пос. Баренцбург, находящегося в арендованном РФ секторе Западного Шпицбергена, эта величина по нашим оценкам составляет около 15 тCO₂ на чел. в год. Это выше, чем в пос. Лорино, что обязано, в основном, угледобыче в Баренцбурге, но ниже чем в пос. Лонгйир, что обязано в последнем случае вкладу туризма.

Вклад туризма и научной деятельности в бюджет ПГ пос. Баренцбург с каждым годом растет, а вклад угледобычи – уменьшается, что связано с истощением запасов угля и экономической выгодой. В настоящее время научно-туристическая надбавка к энергобюджету, по нашим оценкам, составляет здесь уже около 20%. Однако этот прирост, видимо, пока компенсируется снижением объемов угледобычи. Вклад эмиссии ПГ со стороны транспорта пока оценен нами с меньшей точностью, но составляет не менее 0,7 тCO₂ экв. на чел. в год. Вклад эмиссии ПГ при самоутилизации ТБО и сточных вод также требует уточнения, но согласно минимальной оценке, это 1,6 тCO₂ экв. на чел. в год. Суммарная годовая эмиссия ПГ из почв поселка оценивалась по регрессионным зависимостям почвенного дыхания, валового дыхания и нетто-баланса CO₂ от температуры воздуха, освещенности и надземных запасов фитомассы (уравнения см. в Zamolodchikov, Karelin 2001; Карелин, Замолодчиков, 2008). Кроме того, в анализ были включены выбросы метана на территории поселка по нашим полевым оценкам.

Исследование супрагляциальных органо-минеральных систем. Исследование внутрисезонной динамики основных компонентов потока CO₂ в зависимости от плотности распределения вещества криоконитов и других значимых факторов на ледниках

Взаимодействие почвенно-мелкоземного материала с поверхностью ледника, несмотря на незначительный общий вклад массы этого материала в тело ледника, оказывает существенное влияние на процессы его таяния, а микробиологические процессы, происходящие в зонах скопления минеральных частиц на ледниках, весьма значимы для оценок потоков углерода в системе «супрагляциальные экосистемы - атмосфера», «супрагляциальные системы» – мировой океан. В современно понимание к супрагляциальным системам относится широкий набор объектов: разноцветные органо-генные водорослевые пленки и продукты их разложения гетеротрофными организмами («ледовые почвы»); тонкие минеральные прослойки в полярных и высокогорных ледниках и многолетних морских льдах; криокониты, «гляциальные» почвы под развитой растительностью вплоть до лесной на метровом слое мелкозема, подстилаемом толщей мертвого льда (Glacis Cryosols).

Объектами наших исследований стали криокониты и почвы, развитые на криоконитовом материале в перигляциальной зоне ледника Альдегонда и Бертель. Летом 2019 года были отобраны образцы для физико-химических и морфологических исследования, выполнена съемка с использованием БПЛА пилотных участков для расчета плотности и распространения криоконитового материала на исследуемых ледниках.

Криокониты – седименты, преимущественно эолового генезиса, которые аккумулируются на поверхности ледника и включают в себя как минеральную, так и биологическую составляющие (Cook et al., 2016). В местах, где аккумулируется эоловый

мелкозем, происходит ускоренное таяние льда и формируются так называемые криоконитовые стаканы (cryoconite holes), в которых формируется особенный микроклимат, что способствует активному заселению этих местообитаний сообществами первичных продуцентов – цианобактерий и водорослей, которые обогащают субстрат биогенными элементами. Также вместе с мелкоземом на поверхность ледника приносятся остатки мхов, которые в благоприятных условиях возобновляют вегетацию. При отступании ледника криоконитовый материал переносится водными потоками и осаждается, чаще всего в местах, защищенных от ветра (ветровые убежища). Благодаря высокому содержанию биогенных элементов и тонкодисперсности, криоконитовый материал служит уникальной почвообразующей породой с благоприятными условиями для поселения растений и почвообразованию по сравнению с другими отложениями, формирующимися в современной перигляциальной зоне.

Для почв, сформированных на разновозрастных моренах ледника Альдегонда (имеются фотоматериалы с 1912 г. и результаты гляциологических исследований об изменении местоположения языка ледника Альдегонда за последние 30 лет), показано, что одним из источников органического вещества для почв, сформированных на морене 16-летнего, 70-летнего, и более 100-летнего возраста является материал криоконитов, для которых получены радиоуглеродные возраста более 7000 лет (BP). Причем влияние криоконитового материала уменьшается в представленном ряду. Морфологические особенности криоконитового материала сохраняются в изученных почвах первые десятки лет, основным процессом реорганизации минеральной массы является криогенная дифференциация.

Доказано, что в условиях быстрого таяния ледников в Высокой Арктике высвобождается разновозрастный углерод, аккумулированный в ледниках. Свойства этого органического вещества (ОВ) отличаются от свойств ОВ формирующегося в почвах, скопления такого вещества в нивально-гляциальных комплексах являются местом интенсивного почвообразования. Формирование почв на криоконитах (криоконитовых солоидах) снижает экстремальность в первую очередь литогенного фактора почвообразования, в результате чего в приледниковой зоне за первые десятки лет формируются почвы с развитым профилем, богатые биогенными элементами. При отсутствии криоконитового материала в таких же позициях время, требующееся для формирования аналогичных профилей, составляет первые сотни лет.

По материалам исследований опубликованы следующие работы:

Karelin D., Goryachkin S., Zazovskaya E., Shishkov V., Pochikalov A., Dolgikh A., Sirin A., Suvorov G., Kraev G., Badmaev N., Badmaeva N., Tsybenov Y., Kulikov A., Danilov P., Savinov G., Desyatkin A., Desyatkin R. Greenhouse gas emission from the cold soils of Eurasia in natural settings and under human impact: Controls of spatial variability // *Geoderma Regional*. 2020. Т. 22. С. e00290. doi:10.1016/j.geodrs.2020.e00290

Котляков В.М., Осокин Н.И., Сосновский А.В. Современная динамика многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген и Антарктическом полуострове // *Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики. Тезисы докладов международной научной конференции*. 2020. С. 185-187.

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

Осокин Н.И., Карелин Д.В., Сосновский А.В., Зазовская Э.П., Чернов Р.А. Изменчивость природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата // *Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции*. Севастополь, 2020. С. 221-222.

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Капельное вымораживание соленой воды при зимнем дождевании // Лёд и снег. 2020. Т. 60. № 3. С. 471-480. doi:10.31857/S2076673420030053

Чернов Р.А. Изменение балансы массы ледника Восточный Грэнфьорд (Зарадный Шпицберген) за последнее десятилетие // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. ФГБУН ММБИ РАН. 2020. С. 98-99.

Литература

Карелин, Д.В., Замолодчиков, Д.Г. Углеродный обмен в криогенных экосистемах. Наука. 2008.

Осокин, Н.И., Сосновский, А.В., Мавлюдов, Б.Р., Накалов, П.Р., Чернов, Р.А. Изменение условий существования ледников на архипелаге Шпицберген в начале XXI века // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена. 2010. С. 439-444.

Чернов, Р.А., Кудиков, А.В., Вшивцева, Т.В., Осокин, Н.И. Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) // Лед и снег. 2019. Т. 59, № 1. С. 59–66. doi: 10.15356/2076-6734-2019-1-59-66

Cook, J., Edwards, A., Takeuchi, N., Irvine-Fynn, T. (2016). Cryoconite: the dark biological secret of the cryosphere. *Progress in Physical Geography*, 40(1), 66-111. doi: 10.1177/0309133315616574

Karelin, D., Goryachkin, S., Zazovskaya, E., Shishkov, V., Pochikalov, A., Dolgikh, A., Sirin, A., Suvorov, G., Kraev, G., Badmaev, N., Badmaeva, N., Tsybenov, Y., Kulikov, A., Danilov, P., Savinov, G., Desyatkin, A., Desyatkin, R. Greenhouse gas emission from the cold soils of Eurasia in natural settings and under human impact: Controls of spatial variability // *Geoderma Regional*. 2020. Т. 22. С. e00290. doi:10.1016/j.geodrs.2020.e00290

Ringkjøb, H.K., Haugan, P.M., Nybø, A. Transitioning remote Arctic settlements to renewable energy systems—A modelling study of Longyearbyen, Svalbard. *Applied Energy*. 2020. 258, 114079.

Zamolodchikov, D.G., Karelin, D.V. An empirical model of carbon fluxes in Russian tundra. *Global Change Biology*. 2001. 7(2), 147-161.

ФГБУН ФИЦ Кольский научный центр Российской академии наук (ФИЦ КНЦ РАН)

Мероприятие 16. Изучение минералогического разнообразия и минеральных фаз-концентраторов редких, радиоактивных и рассеянных элементов архипелага Шпицберген

При выполнении «Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2020 г.», в части мероприятия 16. «Изучение минералогического разнообразия и минеральных фаз-концентраторов редких, радиоактивных и рассеянных элементов архипелага Шпицберген» планировалось проведение полевых работ коллективом, состоящим из 6 человек, включая 3 молодых ученых в июне – августе 2020 года. В связи с ограничениями передвижений и невозможностью их выполнения полноценно был проведён этап подготовки. В его рамках был составлен обзор доступных данных по минералогии Шпицбергена. Финансовые средства израсходованы не были.

Целью исследований является систематическое изучение минералогии Шпицбергена при помощи современных методов исследования минерального вещества, не имеющее аналогов в мировой практике. Долгосрочной целью является составление полного каталога минеральных видов архипелага с идентификацией особенностей их химического состава и кристаллической структуры, что позволит создать полноценную информативную и уникальную базу данных по минеральным фазам Шпицбергена.

В задачи мероприятия входят:

- проведение предварительных исследований имеющихся геологических каменных фондов по архипелагу Шпицберген с целью выявления наиболее важных и потенциально интересных объектов для проведения полевых работ;
- проведение полевых работ для отбора каменного материала и локализации минеральных фаз из различных месторождений и геологических объектов архипелага;
- исследование химического состава и кристаллических структур минералов Шпицбергена;
- исследование устойчивости минеральных фаз;
- обобщение полученных данных с целью составления полного каталога минералов Шпицбергена как основы для изучения минерально-сырьевых ресурсов архипелага и особенностей минеральной концентрации редких, радиоактивных и рассеянных элементов.

Ожидаемые результаты:

1. Новые данные о минеральном разнообразии архипелага Шпицберген, включая сведения о химическом составе, кристаллической структуре, условиях образования и устойчивости минеральных фаз;
2. Новые данные о минеральных фазах – концентраторах редких, радиоактивных и рассеянных элементов и их устойчивости в условиях земной поверхности;
3. В долгосрочной перспективе – составление полного каталога минеральных фаз Шпицбергена, включая минералы, образующиеся на границе гео- и биосфер (органические минералы, биоминералы, минералы углей);
4. В 2020 г. планировалось опубликовать 2 статьи в журналах, рецензируемых в международной базе данных Web of Science. В последующем планируется публикация 5-6 статей в год.

Исполнители:

Заведующий Лабораторией природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики ФИЦ КНЦ РАН к.г.-м.н. Паниковский Тарас Леонидович, (t.panikorskii@ksc.ru),

Председатель ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр» РАН чл.-корр. Кривовичев Сергей Владимирович (s.krivovichev@ksc.ru),

Ведущий научный сотрудник Геологического института ФИЦ КНЦ РАН к.г.-м.н. Яковенчук Виктор Нестерович (v.yakovenchuk@ksc.ru),

Магистр 1 курса по направлению «Геология» МГТУ Сидельникова Ольга Фёдоровна (olga.sidelnikova97@gmail.com),

Доцент кафедры кристаллографии Института наук о Земле СПбГУ к.г.-м.н. Золотарев Андрей Анатольевич,

Младший научный сотрудник Лабораторией природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики ФИЦ КНЦ РАН, аспирант кафедры кристаллографии СПбГУ Корняков Илья Викторович.

Составлена предварительная программа полевых и лабораторных исследований:

1. Изучение минералогических коллекций в музее Баренцбурга – 3 дня;
2. Изучение редкометальной Ta-Nb-Y минерализации альбит-кварц-мусковитовых пегматитов во вмещающих слюдяных сланцах пород нижнего протерозоя в районе хребта Скодефьелет – о. Западный Шпицберген, 2-3 дня, Skoddefjellet;
3. Исследование вторичной гидротермальной минерализации рудных полей Халвданпигген-Вонбреен барит-кварц-карбонатные жилы во вмещающих красноцветных девонских песчаниках и алевролитах в районе гор Ризерфьелла-Халвданпигген - о. Западный Шпицберген, 2-3 дня.
4. Берилл-турмалин содержащие пегматиты, локализованные в телах каледонских гранитоидов и метаморфических пород среднего протерозоя на мысе Норд (2 дня) и на п-ове Земля Принца Оскара о. Северо-Восточная Земля (2-дня).
5. Проведение первичных исследований образцов в лаборатории г. Лонгйра дифракционными методами – 2-3 дня.
6. Проведение детальных исследований на оборудовании ЦКП ФИЦ КНЦ РАН, с привлечением кадровых и инструментальных ресурсов Санкт-Петербургского государственного университета и Полярной морской геологоразведочной экспедиции – 45 дней.

Итого 60 дней. Районы работ: Западный Шпицберген, хребты Скодефьелет и горы Ризерфьелла-Халвданпигген, мыс Норд (2 дня) и на п-ов Земля Принца Оскара о. Северо-Восточная Земля, Пирамида. Участники со стороны СПбГУ были поддержаны в этом проекте за счет гранта Президента РФ для ведущих научных школ РФ (Институт наук о Земле, кафедра кристаллографии).

Исследование химического состава и кристаллических структур минералов, а также устойчивости минеральных фаз Шпицбергена планировалось осуществить с использованием комплекса методов:

- сканирующей электронной микроскопии
- электронного микронзондового анализа
- инфракрасной и спектроскопии комбинационного рассеяния света
- монокристалльной и порошковой дифрактометрии, рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа
- термического анализа, дифференциально-сканирующей калориметрии и высокотемпературной рентгенографии.

Основные полученные результаты:

Несмотря на многолетнюю историю изучения минерально-сырьевых богатств и месторождений полезных ископаемых Шпицбергена, в мировой литературе имеются лишь весьма отрывочные и разрозненные данные по минералогии Шпицбергена.

На сегодняшний день на территории архипелага Шпицберген (рис. 16.1) описано 107 минеральных разновидностей (табл. 16.1), из которых достоверно установлено 88 минералов, утвержденных КНМНК ММА (Kjærnet & Elvevold 2012). Следует отметить, что на территории архипелага в районе г. Пирамида был открыт новый минерал гелит (hoelite) принадлежащий к классу природных фенольных соединений – антрахинонов с общей формулой $C_{14}H_8O_2$ (Ofte dal 1922, Jehlička et al. 2007). Среди минералов органического происхождения также следует отметить наличие проявлений нашатыря, обнаруженного в районе г. Пирамида (Ofte dahl, 1929).

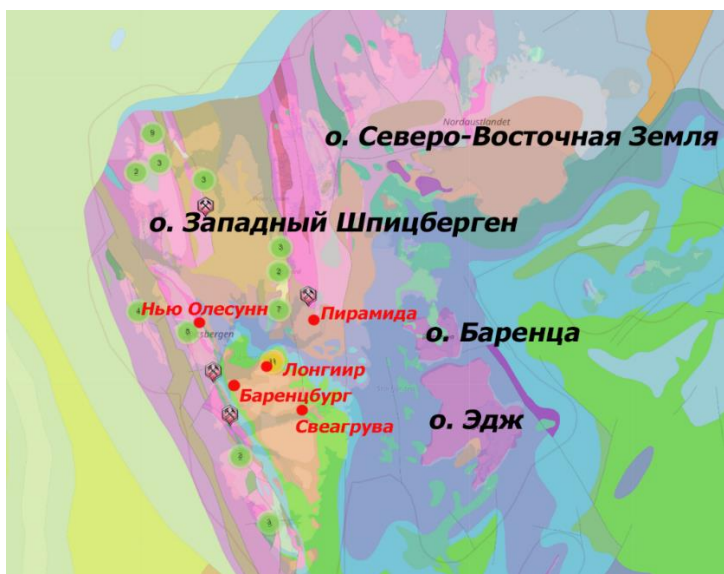


Рисунок 16.1 – Минеральное разнообразие арх. Шпицберген (число минеральных видов отмечено зелёными и жёлтыми кружками) по данным (Kjærnet & Elvevold 2012) и минералогической базы mindat.com

Таблица 16.1. Список минералов и минеральных разновидностей, найденных на архипелаге Шпицберген

акантит	актинолит	альбит	анортит	алланит- (Ce)	альмандин
спессартин	квасцы алюмо-калиевые (K)	ангидрит	анкерит	апатит	арктолит
арсенопирит	азурит	барит	бастнезит-(Ce)	берилл	биотит
борнит	кальцит	церуссит	халькозин	халькопирит	клинохлор
хлоритоид	клиногумит	клиноцоизит	колумбит-(Fe)	колумбит-(Mn)	кордиерит
ковеллин	кроссит	дигенит	диопсид	доломит	эльбаит
форстерит	фаялит	феррокарфолит	ферроглаукофан	ферсмит	магнезиокарфолит
фторapatит	флюорит	форстерит	гадолинит	ганит	галенит
тетраэдрит	глаукофан	гётит	графит	гроссуляр	гипс
гематит	герцинит	хинганит	гелит	ильменит	жадеит
идаит	иорданит	кейвит- (Y)	кианит	лаусонит	магнетит
малахит	мелантерит	миллерит	монацит- (Ce)	мусковит-2M1	оливинит
парагонит	паризит- (Ce)	флогопит	пумпеллиит	пирит	«плюмбопирохлор»
«плюмбобетафит»	пирофиллит	пирротин	кварц	рутил	нашатырь
сапфирин	скаполит	сидерит	силлиманит	сфалерит	шпинель
ставролит	стильпомелан	стронцианит	судоит	сера	синхизит-(Ce)
теннантит	горит	титанит	гурмалин	тремолит	уранинит
витерит	ксенотим- (Y)	иттробетафит	циркон	цоизит	

Поиски альтернативного сырья на Шпицбергене взамен каменного угля является важной стратегической задачей. Российскими учеными были обнаружены зоны минерализации меди, свинца, цинка и редких металлов (Кукса и др. 2018, Евдокимов и др. 2018). Преобладающими рудопроявлениями на архипелаге считается сульфидная минерализация, а наличие других типов имеет только локальное распространение. В результате геолого-съёмочных и поисковых работ советских и российских геологов на островах архипелага был открыт ряд проявлений железа и хромита, фосфоритов, барита, гипса, цветных металлов, золота и самоцветного сырья (Евдокимов и др. 2015, Захаров и др. 2009).

Проявления Zn-Pb минерализации известны в Сант-Йонс-фьорде, Хорнсунде, Синкхолмене, но промышленного потенциала в целом не имеют (рис. 16.2). Они представляют собой сфалеритовые и галенитовые минерализации, локально содержащие минералы меди и арсенопирит, и приурочены к додевонским породам кристаллического фундамента, который

выходит на поверхность в западной части Западно-Шпицбергенского складчато-надвигового пояса (Сироткин и др. 2010, Онякова 2019). Однако высокие перспективы имеют минералогические исследования данных проявлений. Иностранцами исследователями также отмечена редкометальная минерализация Та-Nb-Y хребта Скодефьелет (Prsek et al 2010).

Представляет особенный интерес изучение открытого отечественными геологами поля фосфоритов среднего триаса на Земле Диксона. Они соответствуют промышленным месторождениям и вполне могут стать объектом долговременной и рентабельной разработки в будущем, так как потребность в фосфорных удобрениях на мировом рынке неуклонно возрастает. Прогнозная оценка запасов фосфоритов (на участках, близких к российским) – более 60 млн т. Также к разряду перспективных нужно отнести целый ряд проявлений меди, золота, серебра, флюорита в разных районах архипелага; здесь же надо отметить малоизученные на сегодняшний день кимберлитоподобные дайки (Ашихмин и др, 2018, Милославский и др. 2018, Кукса и др. 2018, Евдокимов и др. 2018).

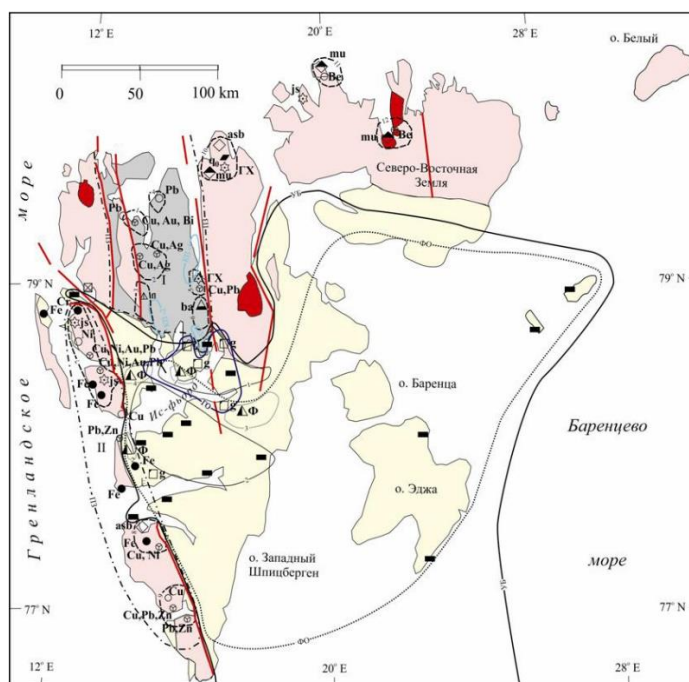


Рисунок 16.2 – Схема металлогенического районирования архипелага Шпицберген. С использованием материалов Е.А. Кораго (1996), А.М. Тибенькова и др. (2004), А.Н. Сироткина и др. (2007)

Следует отметить, что в недавно открытых перспективных участках, именно минеральные фазы являются непосредственными концентраторами редких, радиоактивных и рассеянных элементов и их устойчивость определяет особенности геохимической и биогеохимической миграции этих элементов в условиях окружающей среды. Слабая изученность минералов металлогенических районов и пегматитовых полей хребта Скодефьелет, гор Ризерфьелла-Халвданпигген, мыса Норд и на п-ове Земля Принца Оскара оставляют место для открытий новых минеральных фаз.

В связи с тем, что предполагаемый проект является новым и каменный материал в 2020 году отобрать не удалось, выполнение планируемых показателей оказалось невозможным. Средства на выполнение проекта планировалось затратить на проведение экспедиционных работ на архипелаге, провести которые не имелось возможности ввиду пандемии.

Таким образом, Мероприятие 16 не выполнено, так как полевые работы на которых базируется исследование, не проводились.

Литература

Ашихмин Д.С., Скублов С.Г., Мельник А.Е., Сироткин А.Н., Алексеев В.И. Геохимия породообразующих минералов в мантийных ксенолитах из базальтов вулкана Сверре, арх. Шпицберген // Геохимия. 2018. №8. С. 820-828.

- Евдокимов А.Н., Смирнов А.Н., Фокин В.И. Полезные ископаемые Арктических островов России // Записки Горного института. 2015. Т.216. С.6-12.
- Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Крюков Я.В. Россия на Шпицбергене: история изучения, проблемы освоения недр и перспективы на будущее. Всероссийский экономический журнал. 2018. №4. С. 83-101.
- Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Коробова Г.А. Новые данные о строении рудопроявления меди и серебра Сигурд на острове Западный Шпицберген, архипелаг Свальбард // Scientific Discussion, 2018. V. 1. № 26. P. 25-33.
- Захаров В. Г и др. Наука на Шпицбергене: история российских исследователей. // Санкт-Петербург: Изд.дом "Гамас", 2009. – 396 с.
- Кукса К.А., Шарин В.В., Окунев А.С., Костева Н.Н., Сироткин А.Н., Сумина В.А. Влияние состава коренных пород на геохимический облик и уровни содержания тяжёлых металлов в почвах о. Западный Шпицберген (долина Чемберлендален)// Комплексные исследования природы Шпицберген и прилегающего шельфа: Тез. Докл. XIV Всерос. науч. конф. Апатиты: изд-во ФИЦ КНЦ РАН/ 2018/ С. 63-64.
- Милославский М.Ю., Сироткин А.Н., Костева Н.Н. Главные черты геологического строения складчатого основания северной части Земли Веделя Ярлсберга (Юго-Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицберген и прилегающего шельфа: Тез. Докл. XIV Всерос. науч. конф. Апатиты: изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018. С. 77-78.
- Онякова А.М. Полезные ископаемые архипелага Шпицберген. // Вестник современных исследований Т.29. С. 62-65.
- Сироткин А.Н., Хайлов В.В., Никитин Д.В. Геологическое строение, характеристика руд и генезис проявлений рудного поля Халвданпигген (о. Западный Шпицберген). Записки Горного института. 2010. Т.183 С. 127-138.
- Jehlička, J., Žáček, V., Edwards, H.G.M., Shcherbakova, E. and Moroz, T. Raman spectra of organic compounds kladnoite (C₆H₄(CO₂)NH) and hoelite (C₁₄H₈O₂) - rare sublimation products crystallising on self-ignited coal heaps.// Spectrochimica Acta Part A. 2007. 68, 1053-1057
- Kjærnet, T. & Elvevold, S. 2012: Geologiske ressurser. Stein // Magasin for Populærgeologi 39, 10–15
- Oftedal I.W. Minerals from the burning coal seam at Mt. Pyramide, Spitsbergen, Resultater av de Norske Statsunderstøttede Spitsbergenekspeditioner, 1922. V. 1. P. 9-14.
- Oftedahl, I (1929) Minerals from the burning coal seam at Mt.Pyramide, Spitsbergen. (part II of Werenskiold, W.and Oftedal, I: A burning coal seam at Mt.Pyramide, Spitsbergen.] in Hoel, A, Editor): Det norske Videnskaps-Akademi i Oslo, Resultater av de norske statsunderstøttede Spitsbergenekspeditioner (Skrifter om Svalbard og Ishavet), Vol I, No 3, 9-14
- Pršek, J., Majka, J., Uher, P. & Chudík, P. Niobium-tantalum minerals in the Skoddefjellet NYF granitic pegmatite, Svalbard Archipelago, Norway: Primary versus secondary assemblage. // Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen 2010. V. 187. P. 235-248.

**ФГБУН Мурманский морской биологический институт Российской академии наук
(ММБИ РАН)**

Мероприятие 17. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген

Фундаментальные научные и прикладные исследования на архипелаге Шпицберген в 2020 г. проводились согласно темы госзадания «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген».

В рамках комплексных экосистемных исследований в 2020 гг. ученые ММБИ РАН проводили исследования по следующим направлениям:

1. Анализ данных о состоянии водных масс на акваториях архипелага.
2. Закономерности пространственного распределения вирио-, бактерио-, фито- и зоопланктона в прибрежных водах Шпицбергена.
3. Получение новых данных по экологии донных организмов, разнообразию, динамике и функциональных особенностях зообентоса в прибрежных экосистемах архипелага.
4. Оценка распространения запасов макрофитов в прибрежной зоне Шпицбергена.
5. Выявление основных экологических факторов, влияющих на состав, структуру и динамику разнообразия птиц и морских млекопитающих.
6. Оценка роли модельных видов мигрирующих птиц в формировании разнообразия почвенных микроартропод на Шпицбергене.
7. Анализ уровней химического и радиоактивного загрязнения в среде и биоте архипелага.
8. Подготовка 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:

- 1) сбор научного материала в морской экспедиции в районе архипелага Шпицберген;
- 2) аналитическая обработка полевого материала в лабораториях ММБИ РАН в Мурманске;
- 3) публикация научных статей в российских и зарубежных изданиях, а также популяризация проводимых на архипелаге исследований.

Обзор научных работ, проведенных ММБИ РАН в 2020 гг. в рамках каждого блока представлен в настоящем материале.

Экспедиционные работы в районе архипелага Шпицберген в 2020 г. выполнялись по двум основным направлениям:

Сбор научного материала в морских экспедициях в районе архипелага Шпицберген

Одним из важнейших направлений в исследованиях окружающей среды является экспедиционный сбор научного материала. Полевые работы ММБИ РАН в районе архипелага Шпицберген в 2020 г. выполнялись только в море, с борта НИС «Дальние Зеленцы». Из-за действующих с марта 2020 г. коронавирусных ограничений по пересечению государственной границы Королевства Норвегия береговые работы в районе Баренцбурга в 2020 г. не производились.

Морские исследования

Экспедиция на НИС «Дальние Зеленцы» состоялась в октябре-ноябре 2020 г. (рис. 17.1) Объем морских научных работ в территориальных водах Шпицбергена составил 35 чел./суток. В экспедиции принимали участие сотрудники ММБИ РАН, ПГИ и МАГУ (Мурманский арктический государственный университет). По специальному разрешению, полученному от

норвежских властей, судно работало в территориальных водах архипелага и осуществляло заходы в порты Баренцбурга и Лонгьербюена. Экспедиционные исследования носили комплексный экосистемный характер и охватили акватории системы залива Исфьорд на нескольких разрезах.

Комплекс работ включал СТД-зондирования для измерения температуры и солености морской воды от поверхности до дна, отбор проб на содержание биогенных элементов и растворенного кислорода, вирио-, бактерио-, фито-, макрозообентос, радиоактивное загрязнение. Производился сетной лов зоопланктона.

Аналитическая обработка полевого материала в лабораториях ММБИ в Мурманске

В течение 2020 г., главным образом, проводилась обработка полевого материала и подготовка публикаций в лабораториях ММБИ в Мурманске.

Публикация научных статей в российских и зарубежных изданиях, а также популяризация проводимых на архипелаге исследований

Результаты научных исследований ММБИ в районе архипелага Шпицберген, проведенных в рамках темы госзадания «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген» представлены в форме 21 тезиса докладов на двух конференциях.

Международное сотрудничество

Д.В. Моисеев принял участие в международном семинаре «Устойчивые побережья Шпицбергена» (Sustainable Svalbard Coasts – Svalcost) о состоянии изученности прибрежных районов Шпицбергена 18-20 февраля 2020 г. в пос. Лонгьербюен. Был представлен доклад «Russian Marine Research in Svalbard». По результатам семинара подготовлена публикация в ежегодный отчет о состоянии природной среды Шпицбергена (SESS report).

Непосредственно в морских исследованиях в районе Шпицбергена в 2020 году участвовало 7 научных сотрудников ММБИ РАН, все молодые ученые, включая двух студентов: Мещеряков Н.И., Валуйская Д.А., Евсева О.Ю., Ларченко А.В., Москвин К.К., Румянцева З.Ю., Салахов Д.О. По материалам экспедиционных работ на Шпицбергене в 2020 году опубликовано 23 печатных работ, в том числе, 1 статья - журнале, индексируемом в SCOPUS, 22 - в изданиях, индексируемых в РИНЦ, а также в сборниках конференций.

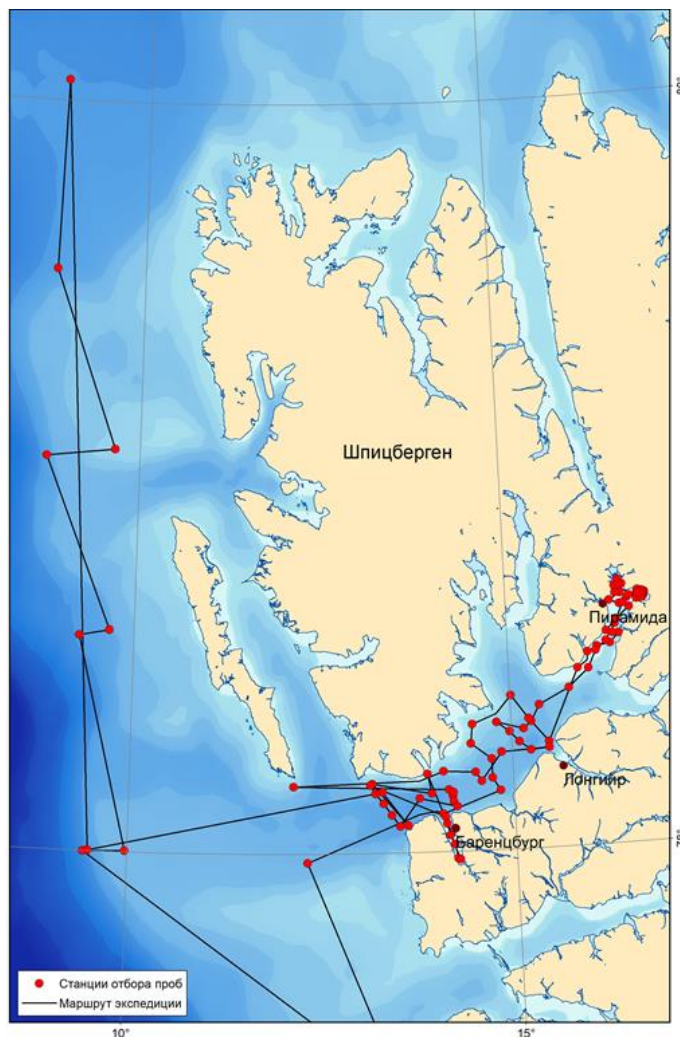


Рисунок 17.1 – Станции и маршрут экспедиционных исследований ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в районе Шпицбергена, 5–14 ноября 2020 г.

Публикации 2020 г.:

Лебедева Н.В., Зазовская Э.П., Мелехина Е.Н., Пономарев А.В., Таскаева А.А., Хачиков Э.А. Беспозвоночные в градиенте почв разного возраста под колонией морских птиц в районе Грэнфьорда (Шпицберген, Арктика) // Кавказский энтомологический бюллетень, 2020. Т. 16. Вып.2 (SCOPUS) (в печати)

Ахметчина О.Ю. Фауна мшанок (Vryozoa) залива Ис-фьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 30–32. РИНЦ

Берченко И.В. Размерная структура популяций *Calanus sp.* в фьордах Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 9–11. РИНЦ

Ващенко А.В., Максимовская Т.М., Венгер М.П. Бактериальные сообщества пелагиали северо-западного района Баренцева моря в апреле 2018 года // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 13–15. РИНЦ

Венгер М.П., Ширококолобова Т.И. Вириопланктон Баренцева моря: состав, количественное распределение, взаимосвязь с компонентами микробных сообществ // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 105–106. РИНЦ

Гудимов А.В. Донные беспозвоночные – эффективные биологические индикаторы изменения условий среды в прибрежье морей высокой Арктики // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 16–17. РИНЦ

Даувальтер В.А., Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Духно Г.Н., Шарин В.В., Слуковский З.И., Денисов Д.Б. Гранулометрический и химический состав поверхностных слоев донных отложений озера Фара, Западный Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 19–21. РИНЦ

Дикаева Д.Р. Распределение сообществ полихет в районе Шпицбергенской банки // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 25–27. РИНЦ

Захаров В.Г., Лебедева Н.В. Связь сроков прилета пуночки на архипелаг Шпицберген с циркуляцией атмосферы Северного полушария // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 36–38. РИНЦ

Ильин Г.В., Валуйская Д.А., Усягина И.С., Мещеряков Н.И. Изучение роли ледников в формировании радиэкологического фона в фьордах Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 40–42. РИНЦ

Ишкулова Т.Г., Пастухов И.А. Гидрохимическая структура водных масс западного побережья архипелага Шпицберген в конце ноября 2019 года // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 42–44. РИНЦ

Калинка О.П., Ващенко П.С., Водопьянова В.В. Оценка эффективности спутниковых исследований хлорофилла *a* в труднодоступных областях арктических акваторий //

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 44–46. РИНЦ

Лебедева Н.В. Птицы в антропогенном ландшафте на Шпицбергене // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 58–60. РИНЦ

Лебедева Н.В., Усягина И.С., Валуйская Д.А. Искусственные и естественные радионуклиды в почвах птичьего базара на Шпицбергене // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 56–58. РИНЦ

Макаревич П.Р., Ишкулов Д.Г., Берченко И.В., Дружкова Е.И., Ежов А.В., Зимина О.Л., Ильин Г.В., Карамушко О.В., Моисеев Д.В., Олейник А.А. Основные результаты комплексных морских научных исследований ММБИ КНЦ РАН в акваториях северо-западного сектора Арктики в 2019 году // Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции. Севастополь, 2020. С. 31–38. РИНЦ

Мещеряков Н.И. Осадконакопление в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) в условиях перемены климата // Вестник КНЦ (*в печати*).

Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Касаткина Н.Е., Кокин О.В. Механизмы осадконакопления в озере Бретъёрна (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 65–68. РИНЦ

Моисеев Д.В., Запорожцев И.Ф., Максимовская Т.М. Межгодовая изменчивость затока атлантических вод в Ис-фьорд с 1993 года // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 73–75. РИНЦ

Моисеев Д.В., Малавенда С.В., Запорожцев И.Ф., Максимовская Т.М., Лебедева Н.В., Мещеряков Н.И., Ильин Г.В., Усягина И.С. Комплексные исследования морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген в 2019 г. // Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции. Севастополь, 2020. С. 218–220. РИНЦ

Пантелеева Н.Н. Гидроиды и гидромедузы (Hydrozoa) фьордов Западного Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 81–84. РИНЦ

Пастухов И.А., Ишкулова Т.Г. Межгодовая изменчивость гидрохимического режима залива Грён-фьорд в зимний период // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 84–85. РИНЦ

Човган О.В. Микропланктонная биота восточной части пролива Фрама // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 99–101. РИНЦ

Широколобова Т.И., Венгер М.П., Болтенкова М.А., Водопьянова В.В., Пастухов И.А. Исследования вирио-и бактериопланктона в северной части Баренцева моря // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманск, ММБИ РАН, 2020. С. 103–105. РИНЦ

Зарегистрировано два результата интеллектуальной деятельности:

Ильин Г.В., Моисеев Д.В., Запорожцев И.Ф., Касаткина Н.Е., Усягина И.С., Валуйская Д.А., Дерябин А.А., Духно Г.Н., Максимовская Т.М. Радиационное загрязнение северных и южных морей России. Свидетельство о регистрации базы данных № 2020621052. 2020 г.

Моисеев Д.В., Запорожцев И.Ф. Атлас радиационного загрязнения северных и южных морей России. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020617268. 2020 г.

Мероприятие 17 выполнено полностью.

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

Мероприятие 18. Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген

Цели проекта: Исследование биоразнообразия фототрофной биоты, растительно-почвенных ресурсов и оценка продуктивности растений групп в высокоширотных экосистемах Шпицбергена. Основные задачи включают:

1) Изучение группировок пояса гольцовых пустынь и нивального пояса Шпицбергена, сравнение с гольцовыми пустынями Кольского полуострова. Выполнение геоботанических описаний растительности нивально-гольцового пояса, выявление состава сосудистых растений, мохообразных, лишайников, выделение типов сообществ и группировок, выявление структуры фитомассы сообществ гольцовых пустынь и нивальных группировок методом геоботанических описаний и классификации по Браун-Бланке, с использованием компьютерной сортировки описаний, кластеризации и ординации, анализа структуры растительного покрова и фитомассы.

2) Флористические сборы криптогамных растений, описание растительности, сбор гербария и фитомассы, заложение постоянных площадок для изучения потенциального флористического разнообразия сообществ гольцовых и субнивальных пустынь. Идентификация образцов мхов, печеночников, лишайников, цианопрокрайот из сборов предыдущих лет, уточнение молекулярно-генетическими методами филогенетических связей и таксономического положения ранее описанных арктических таксонов и возможное описание новых таксонов, оформление гербария, внесение данных этикеток и фотографий в информационную систему CRIS, подготовка аннотированных списков и публикаций.

3) Изучение мезоморфологического сложения почвенного профиля серогумусовых почв; продолжение экспериментов по изучению трансформации растительных остатков в почвах Шпицбергена; исследование почв района Конгрессдален.

4) Получение заключительных данных о психофизиологических реакциях детского организма во время выхода из полярной ночи для выяснения оптимальных сроков проведения занятий по реабилитационной программе на Шпицбергене.

Исследования выполняли:

Вильнет А.А., к.б.н., ст.н.с. anya_v@list.ru

Давыдов Д.А., к.б.н., зам. дир. по научной работе d_disa@mail.ru

Данилова А.Д., асп., инж. danilovalena@yandex.ru

Зотова О.Е. ol-sha@mail.ru

Калашникова И.В., м.н.с. isha81@yandex.ru

Кашулина Г.М. д.б.н., гл.н.с., galina.kashulina@gmail.com

Конорева Л.А., к.б.н., н.с., ajdarzapov@yandex.ru

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

Коробейникова Н. М., м.н.с.

Королева Н.Е., к.б.н., ст.н.с. flora012011@yandex.ru

Литвинова Т.И., м.н.с. lita_0409@mail.ru

Савченко А.Н., инж.-иссл. anatsav@list.ru

Экспедиционные работы на архипелаге не состоялись из-за пандемии новой короновирусной инфекции. Камеральные работы и сравнительная часть исследований на территории Мурманской области выполнялись в течение всего года.

Материалы и методы

Исследовались фототрофные представители биоты: цианопрокариоты, лишайники, печеночники, мхи, сосудистые растения; растительные ассоциации; почвы; а также состояние детей в возрасте 5-7 лет, проживающих в пос. Баренцбург.

Для изучения группировок пояса гольцовых пустынь и нивального пояса использовались геоботанические методы: сбор геоботанических описаний и образцов почв, размер площади для описания 10 x 10 м, по методике Браун-Бланке для описания растительности и последующей классификации, которую проводили с в пакете программ ExStatR (Новаковский, 2016). Использовали метод неметрического многомерного шкалирования — NMS и кластерный анализ с группировкой по средним арифметическим — UPGMA, в качестве меры сходства/расстояния качественный коэффициент Сёренсена-Чекановского. В воздушно-сухих образцах почвы определяли валовое содержание углерода и азота, величину pH, валовое содержание металлов, определяли биологическую активность почвы, при обработке данных использовали статистический пакет программы Statistica 13.0 и Microsoft Excel 2007. Делалось заложение и картографирование постоянных площадей в гольцовых пустынях Хибинских гор. В гольцовых пустынях Кольского п-ова собрано 50 образцов гербария сосудистых растений, мохообразных и лишайников.

Для идентификации лишайников использованы бинокулярные стереоскопические микроскопы и микроскопы проходящего света МБС-10, Zeiss NU 2, Zeiss Primo Star. Определение лишайников производилось с учетом морфолого-анатомических и хемотаксономических признаков. Кроме стандартного набора реактивов (K, C, KC, KI, HNO₃), использовалась ультрафиолетовая лампа длинноволнового излучения (UV, длина волны 350 нм). Для получения данных по важным хемотаксономическим признакам, для изучения метаболитного состава и для идентификации видов использовался метод высокоэффективной тонкослойной хроматографии (High-Performance Thin Layer Chromatography, HPTLC) на пластинках. HPTLC проводился по стандартной методике (Culberson et al., 1979; Kranner et al., 2002) с использованием стандартных систем растворителей (Orange et al., 2001).

Анализ анатомо-морфологических признаков цианопрокариот осуществлялся с помощью современных микроскопов, Carl Zeiss: «Axio Scope A1» и «AxioPlan 2 imaging», оборудованных системой дифференциального интерференционного контраста (ДИК) и системой видеофиксации изображений (Jenoptic).

Выделение и культивирование штаммов проводится с использованием традиционных микробиологических методов на питательных средах (BG-11 и Z8). Полученные альгологически чистые культуры использованы для молекулярно-генетического анализа на основе исследования локусов 16S-23S и ITS рРНК.

Анализ данных по распространению таксонов проводится и использованием информационной системы CRIS (<http://kpabg.ru/cris/>; Мелехин и др., 2013; Melekhin et al., 2019). Картирование распространения видов осуществляется с применением ГИС QGIS.

Изучение психофизиологических реакций детского организма во время выхода из полярной ночи проводилось методом анализ variability сердечного ритма. Статистическая обработка данных проводилась с использованием непараметрических критериев (тест Уилкоксона, расчет верхних и нижних квартилей и др.).

Основные полученные результаты и научные выводы:

1) Впервые охарактеризованы растительность и почвы горных (гольцовых) пустынь Хибинских гор (Мурманская область) с целью сравнения с нивальным поясом Шпицбергена, выделены три типа растительных группировок: тип с преобладанием мха (тип *Racomitrium microcarpon*), кустарничково-мохово-лишайниковый тип и кустарничково-мохово-осоковый тип, эта типология подтверждена результатами ординации NMS (индекс качества Сёренсена) и кластеризации (индекс Брейя). На основании табличной обработки 150 описаний гольцовых и нивальных пустынь Фенноскандии и Шпицбергена сделан вывод о принадлежности

сообществ с преобладанием *Luzula arquata* и лишайников в гольцовых пустынях Шпицбергена и Мурманской обл. к одному союзу *Luzulion arcuatae* all. prov. (Elvebakk, 1985) и о необходимости валидации этого союза. В гольцовых пустынях на нефелиновых сиенитах впервые были описаны типичные и гуминовые петроземы, для которых характерен слабо дифференцированный по содержанию элементов профиль, за исключением фосфора, который сосредоточен в органогенных горизонтах. По химическим и физико-химическим свойствам эти почвы близки к сухим торфяным подбурам горно-тундрового пояса. Биологическая активность петроземов ниже или сопоставима с почвами горной тундры. С усложнением структуры растительного покрова активность микроорганизмов в почвах увеличивается, и органическое вещество почвы становится более стабильным.

2) Изучены коллекции лишайников, собранных на о-ве Баренца (Barentsøya) в 2011 г. На их основе, а также на основе данных литературы и гербариев (О, Н, КРАВГ), был составлен чек-лист для этой территории, который включает 204 вида и 2 подвида лишайников. Ранее на о-ва Баренца по литературным и гербарным данным было известно 120 видов, большинство из которых подтверждено нашими находками. *Caloplaca cerina* (Hedw.) Th. Fr. и *Lecanora* cf. *flotowiana* Spreng. были исключены из списков как приведенные ошибочно. Впервые для района выявлено 85 видов и 2 подвида лишайников, из них 8 видов и 2 подвида – *Alectoria gowardii* Lumbsch, *Arthonia epiphyscia* Nyl., *Biatora vernalis* (L.) Fr., *Buellia schaereri* De Not., *Caloplaca stillicidiorum* (Vahl) Lynge, *Lecidea lapicida* var. *pantherina* Ach., *Myriolecis zosteræ* var. *palanderi* (Vain.) Sliwa, *Rhizocarpon disporum* (Nägeli ex Hepp) Müll. Arg., *Rhizocarpon furfurosum* H. Magn. & Poelt, *Rhizocarpon leptolepis* Anzi – являются новыми для архипелага Шпицберген. Выявлены редкие для флоры Шпицбергена виды (28 видов). *Biatora vernalis* и *Buellia schaereri* редко встречаются в Арктике.

В результате обработки коллекций, собранных в 2010 г. на о-ве Северо-Восточная Земля (Murchisonfjorden, Kinnvika bay) выявлено 135 видов лишайников. Ранее для района залива Киннвика не было информации о видовом составе, однако для всего района Мерчисонфьорда в базе данных гербария Университета Осло (О) приведены сведения о 94 видах. Таким образом, к настоящему времени общий список лишайников района Мерчисонфьорда включает 197 видов, 73 из которых приведены для района исследования впервые, 61 вид известен только по данным литературы и гербария Университета Осло. Впервые для архипелага Шпицберген приведены 3 вида – *Buellia epigaea* (Pers.) Tuck., *Parmelia fraudans* (Nyl.) Nyl. и *Peltigera extenuata* (Nyl. ex Vain.) Lojka. Коллекции гербария КРАВГ дополнена 300 образцами.

Выявлена дифференциация видового состава цианопрокариот локальных флор Шпицбергена. С 2004 года на Шпицбергене изучено 12 локальных флор, из них 4 территории относятся к зоне полярных пустынь, 8 – к тундровой зоне. В исследование также включены литературные данные по флорам, для которых известны полные списки видов.

Высокое разнообразие цианопрокариот выявлено во флоре залива Хорнсунд (100) (Matula et al., 2007, Richter et al., 2009). Наименьшим числом видов (12) характеризуется слабоизученная флора верховий долины Рейндален. Усредненное число для локальной флоры Шпицбергена – около 30. Соответственно, флоры, содержащие больше 40 видов следует считать богатыми.

Из изученных нами локальных флор самые богатые по числу видов цианопрокариот формируются в районах имеющих значительную дифференциацию литологических и орографических условий, а также в районах с концентрацией карбонатных пород. Самые бедные флоры выявлены на однотипных силикатных породах. В целом флоры характеризуются значительной степенью дифференциации видового состава.

Наибольшее сходство по набору видов имеют флоры полярных пустынь Северо-Восточной Земли (Давыдов, 2019). Высокие коэффициенты сходства Сёренсена получены для пар флор залива Иннвика и бухты Сетер (67%), Иннвика и Мерчисонфьорда (56%), бухты Сетер и Мерчисонфьорда (56%). Особняком в ряду флор Северо-Восточной Земли стоит флора

восточного берега Рийпфьорда. Вся изученная территория Рийпфьорда относится к свите гранитоидов. В пределах Северо-Восточной Земли она встречается также в районе Иннвики. Таким образом, сходство геологических условий объясняет и флористические связи этих двух флор.

Видовой состав цианопрокариот сильно зависит от характеристик горных пород, которые слагают экотопы. Влияние происходит как непосредственно через характеристики субстрата, так и опосредованно – через создание необходимых условий pH, доступность микроэлементов, которые попадают в водные растворы, характеристик водного режима в зависимости от дренируемости породы. Высокий коэффициент сходства (61%) выявлен и для пары флор Иннвика – западная часть земли Оскара II, помимо геологических причин, вероятно, сказывается и значительная обследованная площадь на горных вершинах земли Оскара II (выше 500 м над ур. моря), что соответствует поясу полярных пустынь (Davydov, 2017).

Флора западной части земли Оскара II занимает центральное положение и «связывает собой» ряд флор. Объяснение этому факту также следует искать в геологическом строении района. На данной территории сочетаются как карбонатные породы, так и силикатные формации. Таким образом, флоры территорий с широким распространением карбонатных пород – Мерчисонфьорда, Пирамиды имеют высокое сходство с флорой западной части Земли Оскара II (62% и 57% соответственно). В то же время и флоры «силикатных» районов (Западный Гренфьорд, мыс Старостина, Боккфьорд и о-в Баренца) в значительной степени сходны с вышеназванной. Флора окрестностей Пирамиды наиболее близка к флоре западного берега Земли Оскара II (57%), флоре бухты Сетер (54%) и флоре Иннвики (51%), т.е. другим хорошо изученным флорам, с богатым видовым составом. Недостаточно изученные флоры Боккфьорда и острова Баренца кластеризуются отдельно от остальных.

С территории архипелага Шпицберген описан новый для науки вид цианопрокариот *Nodosilinea svalbardensis* Davydov et Shalygin (рис. 18.1) (Davydov et al., 2020). Вид произрастает на песчаном аллювии в долине реки Мимер на побережье залива Биллефьорд в районе поселка Пирамида (рис. 18.2).



Рисунок 18.1 – Морфология *Nodosilinea svalbardensis*

Завершено определение образцов печеночников, собранных на острове Земля Принца Карла в 2016 году. На основе этих определений (около 200 образцов из 32 основных местообитаний) и с учетом ранее опубликованных данных подготовлен аннотированный список печеночников, насчитывающий 40 видов, в том числе три арктических подвида, две разновидности, одна форма новых для архипелага и ряд редких на Шпицбергене видов. Кроме того, впервые на Шпицбергене выявлена *Lophozia fuscovirens*. Выполнена новая комбинация *Trilophozia quinquedentata* f. *gracilis*. Аннотации к видам включают распространение, описание местообитаний и некоторые морфологические характеристики изученных образцов. Обсуждены особенности флоры печеночников острова (Konstantinova & Savchenko, 2020).

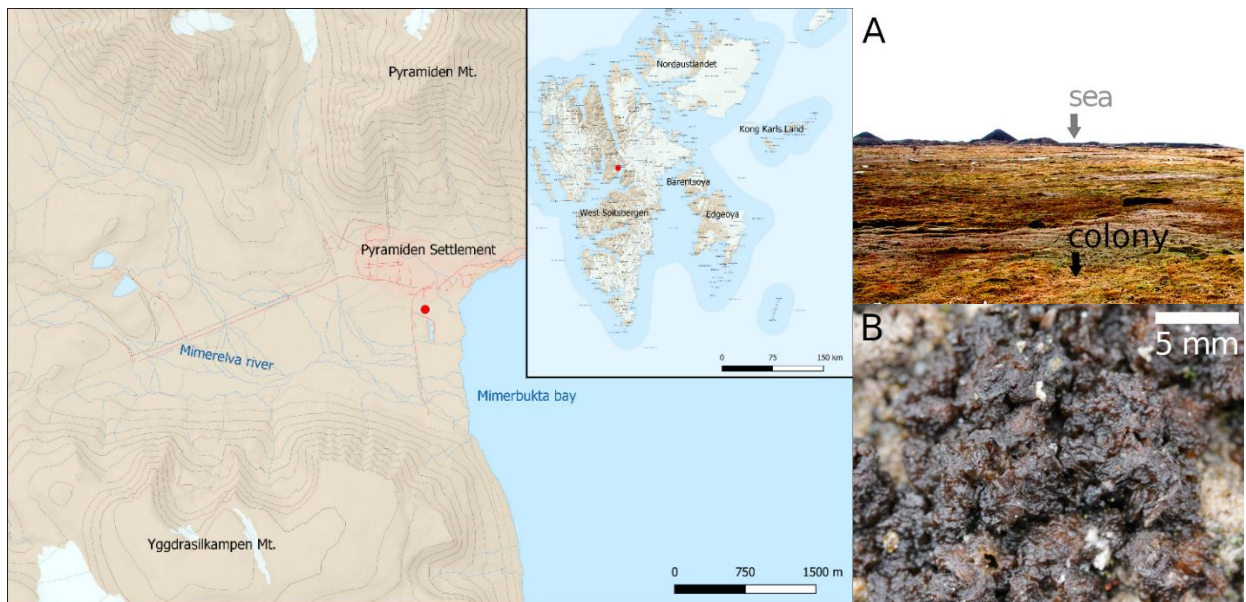


Рисунок 18.2 – (справа) Карта местонахождения *Nodosilinea svalbardensis*; (слева) Местообитание (A) и обрастание *Nostoc commune* под слоевищем которого произрастает *Nodosilinea svalbardensis*

Подготовлен первый выпуск эксикат печеночников Шпицбергена, включающий данные этикеток 25 образцов (20 видов) печеночников, собранных на архипелаге Шпицберген. Для каждого образца указывается географический пункт сбора, координаты и высота над уровнем моря, местообитание, фамилии коллекторов, полевой номер. Для 13 видов приводятся номера GenBank. Восемь видов публикуются в эксикатах для Шпицбергена впервые. Каждый номер представлен 50 образцами (Konstantinova et al., 2020).

Недавно описанный из Магаданской области вид *Lophozia fuscovirens* был обнаружен нами на Шпицбергене почти одновременно с публикацией его диагноза. Идентификация вида основывалась как на большом морфологическом сходстве, так и на высоком сходстве секвенированных локусов ITS1-2+trnL-F с типовыми образцами из Магаданской области. Данные сиквенсов изученного образца депонированы в GenBank (МК774737 для ITS1-2 и МК779914 для trnL-F). Учитывая мелкие размеры растений вида и встречаемость отдельными экземплярами в дернинах других видов в арктических районах, можно предположить, что вид распространен в Арктике значительно шире (Konstantinova et al., 2020).

Проанализированы распространение, встречаемость и экология на Шпицбергене 15 видов печеночников, из числа включенных в последнее издание Красной книги мохообразных Европы с одной из трех категорий угрожаемости, а также один вид близкий к угрожаемым и 6 видов – с категорией «недостаток знаний». Подготовлена и сдана для публикации в сборнике материалов статья «О распространении на Шпицбергене печеночников, включенных в Красную книгу Европы» (Константинова, Савченко).

Идентифицированные образцы с о. Земля Принца Карла, а также один выпуск эксикат оформлен и передан в гербарий ПАБСИ. Опубликованные эксикаты подготовлены к отправке в российские и зарубежные гербарии.

3) Изучено мезоморфологическое сложение и свойства подстильно-торфяного горизонта О серогумусовых грубогумусов почв юго-западной части острова Западный Шпицберген.

Морфологическое сложение: как видно на фото (рис. 18.3) основным материалом и своеобразным каркасом подстильно-торфяного горизонта О серогумусовых почв служат отмершие части мхов, которые разлагаются очень медленно и, несмотря на то, что степень разложения остатков мхов увеличивается с глубиной, они сохраняют целостность и свои морфологические особенности на всю мощность горизонта.



Рисунок 18.3 – Сложение подстильно-торфяного горизонта О в разрезах 92 (слева), 252 (середина) и 244 (справа)

Плотность сложения подстильно-торфяного горизонта О наследуется от мохового покрова. Плотность которого, в свою очередь, определяется видовым составом мхов и суровостью места произрастания. Распределение плотности подстильно-торфяного горизонта О по геопрофилю горного хребта Грён (рис. 18.3 и 18.4) показало, что в нижней части геопрофиля (разрезы 92, 141, 148) подстилка сложена из листостебельных мхов и характеризуется очень рыхлым сложением. На большей высоте (разрезы 252 и 244) мхи образуют плотную куртину. Особенно высокая плотность свойственна моховому покрову и подстилке разреза 252. Здесь суровость условий произрастания определяется не только высокой отметкой, но и отсутствием защитного снежного покрова в зимнее время.

Вторым по значимости источником опада для формирования подстилки являются листья ивки. Они располагаются в промежутках между остатками мха.

При мезоморфологическом обследовании подстильно-торфяного горизонта О при мощности более 1 см его можно разделить на слои по степени разложения растительных остатков. Если верхние слои можно обозначить как О1, О2 и т.д., то высокая степень разложения и мажущий характер органики самого нижнего слоя позволяет диагностировать его как перегнойный и обозначить индексом Оh.

Анализ различных слоев подстильно-торфяного горизонта О в трех разрезах геопрофиля горного хребта Грён показал, что по мере увеличения степени разложения растительных остатков с глубиной значительно уменьшается содержание $S_{орг.}$, общего содержания и обменных форм важных элементов питания (Са, Mg, К) и Fe. При этом увеличивается общее содержание Si и Al. Подобные изменения с глубиной и увеличением степени разложения обычно наблюдаются и в подстилках лесной зоны. Особенностью подстилки обследованных серогумусовых грубогумусовых почв является в целом более низкие концентрации $S_{орг.}$ за счет пыления оголенных грунтов и склонового перемещения минеральных частиц с водными потоками.

Таким образом из-за заторможенности процессов разложения, обусловленной низкими температурами на таких высоких широтах, мхи сохраняют свои морфологические особенности на всю мощность верхнего подстильно-торфяного горизонта О и служат

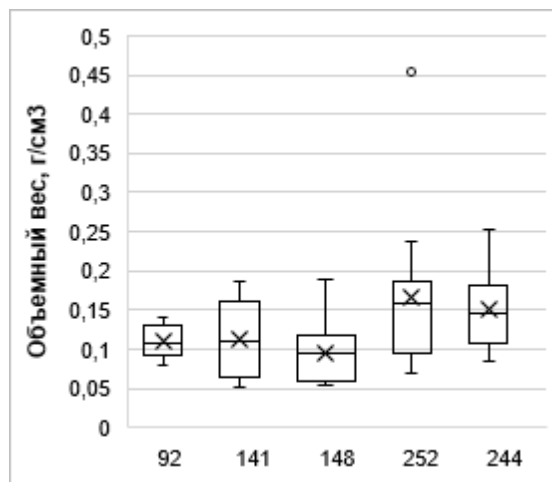


Рисунок 18.4 – Распределение объемного веса торфянисто-подстильного горизонта О в зависимости от абсолютной отметки места. Номер разреза соответствует высоте над уровнем моря

каркасом этого горизонта в серогумусовых грубоумусовых почвах юго-западного побережья острова Западный Шпицберген. Объемный вес этого горизонта наследуется от плотности мохового покрова, зависящего от местного варьирования суровости условий произрастания. Например, абсолютной отметки места и наличия защищающего снежного покрова, в зимний период. Одной из характерных особенностей подстильно-торфяного горизонта O обследованных серогумусовых грубоумусовых почв является низкие концентрации $C_{орг.}$ из-за высокой примеси минеральных частиц эолового происхождения и склонового поверхностного перемещения с водными потоками. По мере увеличения степени разложения растительных остатков с глубиной в торфянисто-подстильном горизонте значительно уменьшается содержание $C_{орг.}$, общего содержания и обменных форм важных элементов питания (Ca, Mg, K) и Fe. При этом увеличивается общее содержание Si и Al.

4) С целью нивелирования негативного воздействия внешних факторов в условиях Крайнего Севера и оптимизации среды обитания на архипелаге Шпицберген, была разработана специализированная программа, предназначенная для организованных детей в возрасте от 5 до 7 лет, проживающих в экстремальных условиях Арктики и являющихся наиболее уязвимыми для негативного воздействия.

Для доказательства эффективности проводимой программы после каждого занятия проводилась функциональная диагностика детей на неинвазивном оборудовании. В эксперименте принимали участие две группы детей: одна непосредственно посещала занятия специализированной программы, другая – контрольная. Гипотеза состояла в следующем: если в экспериментальной группе фиксируются изменения каких-либо количественных параметров, а в контрольной нет, то программа оказывает влияние на детей.

Первичная апробация программы проходила в осенний («вход» в полярную ночь – ноябрь) и весенний («выход» из полярной ночи – март) периоды (2017-2018 гг.), которые являются наиболее неблагоприятными для организма человека. Вторичная апробация программы проходила в осенний период 2019 г.

В ходе сравнительного анализа данных динамических изменений таких кардиоритмологических параметров, как pNN_{50} (отражает преобладание парасимпатической регуляции) и SI (показывает степень напряжения регуляторных механизмов), была выявлена аналогичная закономерность, выражающаяся в схождении функций динамических рядов (рис.18.5).

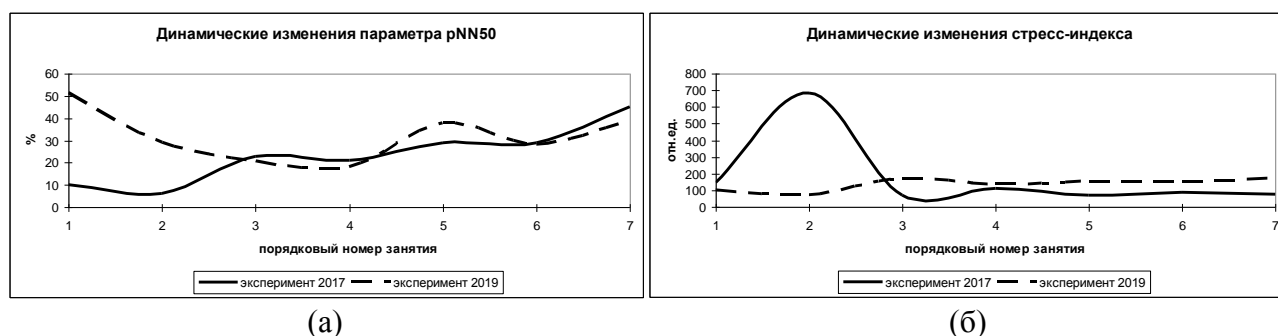


Рисунок 18.5 – Динамические изменения кардиоритмологических параметров pNN_{50} (а) и SI (б) детей, принимавших участие в программе в осенний период 2017-2019 гг.

Таким образом, можно предположить, что программа оказывает положительное влияние на детей, о чем свидетельствует нормализация вегетативного баланса и снижение тревожности. Выбранные инструментальные методы позволяют адекватно оценить воздействие программы, а повторяемость результатов свидетельствует об ее эффективности.

Следующим этапом проведения работы, была статистическая обработка полученных данных. Поскольку выборка составляла из менее 25 пациентов, использовалась непараметрическая статистика – тест Уилкоксона, а также визуально сравнивались минимумы, максимумы, медианы, границы верхних и нижних квартилей. Тест Уилкоксона

показал (Табл. 18.1), что в контрольной группе второй и предпоследний день программы все изученные кардиологические параметры неотличимы: значение p составило от 0,22 до 0,89, при пороговом значении, принятом в медицине для малых выборок 0,1. В экспериментальной группе значимо отличаются стресс-индекс, TP и HF ($p=0,07$). Графики этих параметров показаны на рисунке 18.6.

Таблица 18.1. Достоверность различия (p) кардиологические параметров в начале и конце программы в экспериментальной и контрольной группе. Жирным шрифтом выделены $p < 0,1$

Параметр	Эксперимент	Контроль
Стресс-индекс	0,07	0,89
pNN50	0,14	0,35
TP	0,07	0,89
HF	0,07	0,89
LF	1,00	0,35
LF/HF	0,14	0,22

Таким образом, можно констатировать, что программа заметно влияет на баланс симпатической и парасимпатической систем регуляции, активизирует психофизиологическое состояние детей и способствует их нормализации.

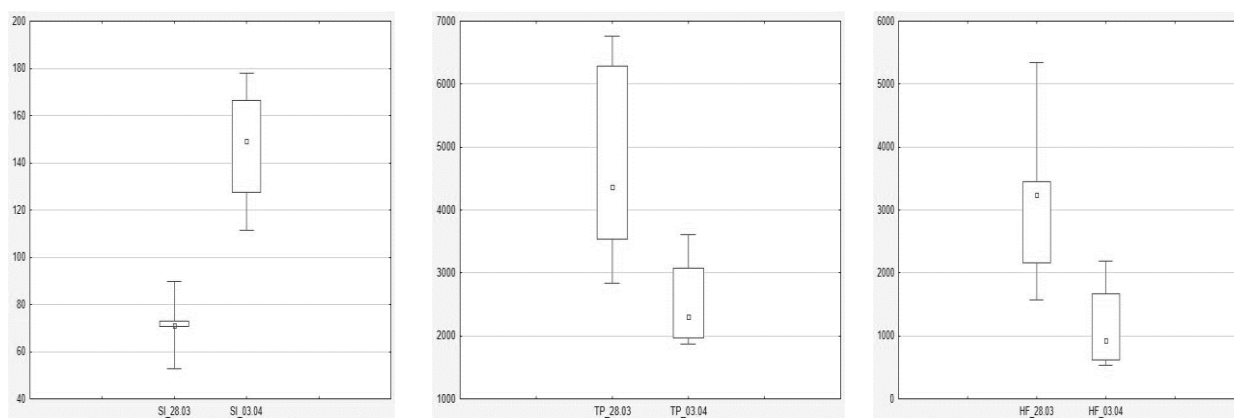


Рисунок 18.6 – Сравнение стресс-индекса, TP и HF в начале (первый столбец на всех рисунках) и в конце программы (второй)

В исследованиях принимали участие 2 молодых специалиста. Подготовлена научно-образовательная программа «Маршрут для экологического туризма в гольцовых пустынях г. Вудьяврчорр как продолжение тропы Географов ПАБСИ». По результатам исследований опубликовано 10 работ, из них 3 входят в базу данных WoS, 1 – Scopus, 5 – РИНЦ, 2 – в издания рецензируемых ВАК.

Таким образом, Мероприятие 18 выполнено частично. Полевые работы не выполнялись.

Литература

- Новаковский, А. Б. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН 3 (197). 2016. С. 26-33.
- Culberson, C.F., Nash, III T. H., Johnson, A. 3- α -Hydroxybarbatic acid, a new depside in chemosyndromes of some Xanthoparmeliae with β -orcinol depsides // Bryologist. 1979. 154-161.
- Kranner, I., Beckett, R. P., Wornik, S., Zorn, M., Pfeifhofer, H. W. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status // The Plant Journal. 2002. 31(1). 13-24.
- Orange et al., 2001 Orange, A., James, P. W., White, F. J. Microchemical methods for the identification of lichens // British Lichen Society. 2001.
- 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).
- 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. 99-108.

Elvebakk, A. Higher phytosociological syntaxa on Svalbard and their use in subdivision of the Arctic // *Nordic Journal of Botany*. 1985. 5(3). 273-284.

Matuła, J., Pietryka, M., Richter, D., Wojtuń, B. Cyanoprokaryota and algae of Arctic terrestrial ecosystems in the Hornsund area, Spitsbergen. *Polish Polar Research*. 2007. p. 283-315.

Richter, M., Rosselló-Móra, R. Shifting the genomic gold standard for the prokaryotic species definition // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. 106(45), 19126-19131.

Давыдов Д. А. Сравнительная характеристика флор цианопрокариот полярных пустынь и тундр Европы // *Труды КарНЦ РАН*. 2019. №1.

Davydov, D., Shalygin, S., Vilnet, A. New cyanobacterium *Nodosilinea svalbardensis* sp. nov. (Prochlorotrichaceae, Synechococcales) isolated from alluvium in Mimer river valley of the Svalbard archipelago // *Phytotaxa*, 2020. 442(2), 61-79.

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

Konstantinova, N., Savchenko, A., Vilnet, A. Hepaticae Svalbardensia Exsiccatae. Fasc. I. // *Arctoa*. 2020. 29(1), 102-105.

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

Мероприятие 19. Развитие методов и аппаратных средств сейсмо-инфразвукового мониторинга процессов деструкции арктической криосферы и обеспечение прогнозирования опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген и в прилегающем районе Западного сектора Арктической зоны Российской Федерации

Цель исследований: выполнение мониторинга состояния сейсмической опасности на локальном и региональном уровне, включая мониторинг сейсмичности районов размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь», а также создание на базе накопленного опыта экспериментальных аппаратно-программных комплексов сейсмо-инфразвукового мониторинга прототипа современной системы непрерывных наблюдений за динамическими процессами деструкции криосферы, адаптированной к условиям высокоширотной Арктики.

Задачи, поставленные на 2020 год:

1. Поддержание и развитие сейсмических станций постоянной сети мониторинга на архипелаге Шпицберген для обеспечения непрерывной регистрации сейсмических и инфразвуковых сигналов. Проведение регламентных работ на станциях сейсмического и инфразвукового мониторинга КоФ ФИЦ ЕГС РАН;
2. Сбор, накопление и обработка данных сети сейсмического мониторинга на архипелаге Шпицберген, включая данные станций зарубежных партнеров;
3. Оперативная автоматическая и ручная обработка поступающих в региональный информационно-обрабатывающий центр (РИОЦ) в г. Апатиты данных Шпицбергенской сети мониторинга: обнаружение сейсмических событий и информирование о произошедших землетрясениях;
4. Выполнение оперативной оценки уровня геодинамического риска и районирование опасных зон по данным сейсмического мониторинга;
5. Проведение комплексных измерений годовых вариаций волновых полей в литосфере, атмосфере и криосфере на архипелаге Шпицберген с использованием двух сейсмо-инфразвуковых групп КоФ ФИЦ ЕГС РАН;
6. Развитие методологических основ дистанционного геофизического контроля проявлений деструктивных процессов в арктической криосфере, разработка способов распознавания наиболее опасных типов процессов (отколы айсбергов, подвижки ледников, обрушения и оползни, взрывные выбросы метана при нарушении стабильности газогидратных резервуаров) по данным сейсмологического и акустического (инфразвукового) мониторинга;
7. Разработка геофизических индикаторов айсбергогенных льдотрясений;
8. Отработка возможностей автоматического выявления в условиях высокоширотной Арктики в инфразвуковом волновом поле импульсных сигналов, генерируемых природными и техногенными источниками.

В ходе выполнения Мероприятия 19 в 2020 году сотрудниками КоФ ФИЦ ЕГС РАН планировались две экспедиции на архипелаг Шпицберген общей длительностью 25 дней для выполнения задачи 1 и частично задачи 7, однако в виду введенных ограничений в связи с мерами, принимаемыми для нераспространения новой короновирусной инфекции организация экспедиций оказалась не возможной. Остальные поставленные задачи выполнялись в полном объеме.

Сейсмический мониторинг района архипелага Шпицберген

На протяжении отчетного периода 2020 года Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН проводился непрерывный мониторинг сейсмической обстановки в районе архипелага Шпицберген. Для осуществления мониторинга привлекались как собственные сейсмические станции, так и станции зарубежных сейсмологических агентств. Данные международной сети были объединены в региональном информационно-обрабатывающем центре (РИОЦ) в г. Апатиты. По состоянию на 10 октября 2020 года системами автоматического обнаружения и локализации было выделено 25 847 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от -1.3 до 4.2.

Сильнейшее землетрясение региона за отчетный период произошло 27 августа 2020 г. в 12:56:49 по UTC в месте с координатами 78.3 с.ш., 8.016 в.д. к западу от о. Западный Шпицберген и было приурочено к океаническому хребту Книповича. Магнитуда составила 4.2 единиц ($m_l=4.2$). Эпицентр данного землетрясения располагался в 170 км от поселка Баренцбург, подземные толчки опасности для населения и объектов инфраструктуры не представляли и не ощущались.

За отчетный период отмечено лишь одно землетрясение, ощущавшееся жителями пос. Баренцбург. Данное событие произошло 14 сентября 2020 года в 20:49 UTC (22:49 по местному времени). Эпицентр землетрясения располагался в 16 км к юго-западу от пос. Баренцбург и имело магнитуду 3.5 ед. ($m_l=3.5$). По данным, собранным в ходе опроса населения, землетрясение ощущалось как единичный резкий толчок, предваряемый низкочастотным гулом. Интенсивность колебаний в поселке не превышала 4 балла (по шкале MSK-64), что характеризуется такими внешними проявлениями как легкое дребезжание и колебание посуды и предметов внутри помещений. Соответственно к каким-либо разрушениям колебания такой интенсивности привести не могут. Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген, с магнитудами более единицы представлена на рисунке 19.1.

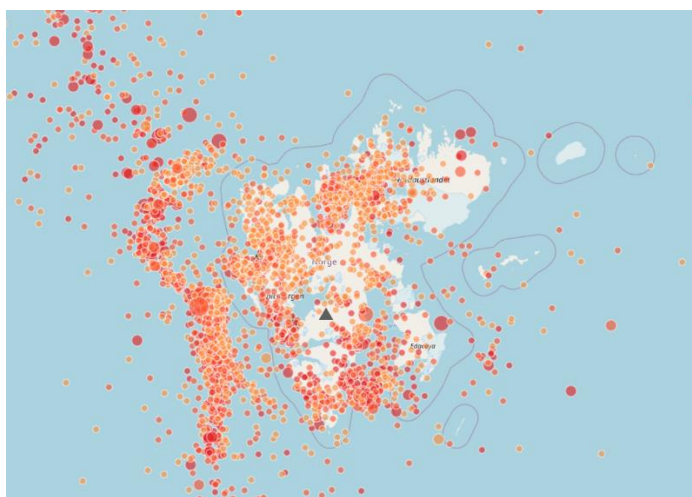


Рисунок 19.1 – Землетрясения, зарегистрированные местной сетью сейсмических станций в районе архипелага Шпицберген в 2020 году, с $m_l > 1$

Низкоэнергетическая сейсмичность Шпицбергена

Отдельного внимания заслуживает низкоэнергетическая сейсмическая активность на Шпицбергене, так как она и маркирует и картирует геодинамические процессы на архипелаге, и отражает активность ледникового покрова, занимающего около 60% площади суши архипелага. На рисунке 19.2 представлена карта, одновременно иллюстрирующая энерговыделение и плотность сейсмических событий, обнаруженных в 2020 году.

Анализ рисунка 19.2 показывает, что наиболее активными в плане количества сейсмических событий и суммарной выделившейся энергии являются области в центральной, северо-западной и северо-восточной частях о. Западный Шпицберген. Данные области не совпадают с местами проявления сильнейших землетрясений региона, а соответствуют областям расположения активных выводящих ледников. Соответственно сейсмичность в

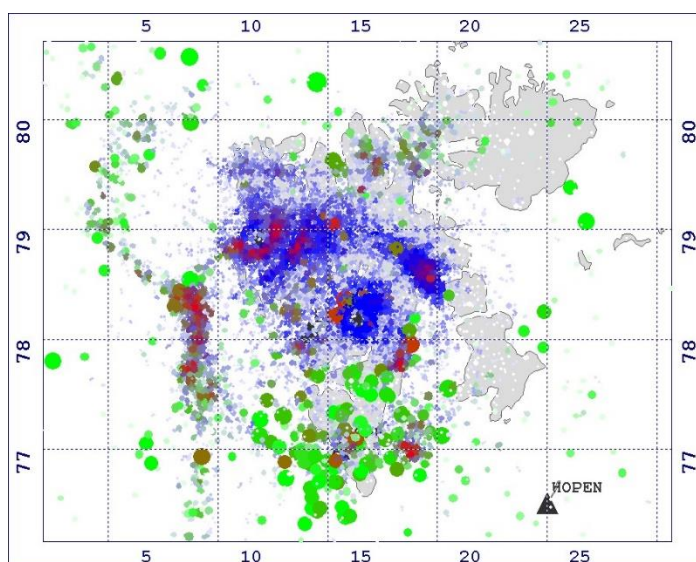


Рисунок 19.2 – Отображение сейсмического процесса в районе архипелага Шпицберген в виде элементов площади, цвета которых зависят от числа сейсмических событий и выделившейся сейсмической энергии

данных областях имеет ледниковое происхождение и отражает процесс деструкции ледников Шпицбергена.

Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»

В 2020 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения российского поселка Баренцбург и одноименной угольной шахты государственного треста «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся с по данным двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН, установленных вблизи шахты (рис. 19.3). На рисунке 19.3 представлена карта эпицентров сейсмических событий, обнаруженных системой мониторинга за последние 5 лет. Несмотря на большое количество сейсмических событий, отмеченных в данной области, магнитуды их не превышали 1 в единицах локальной магнитудной шкалы.

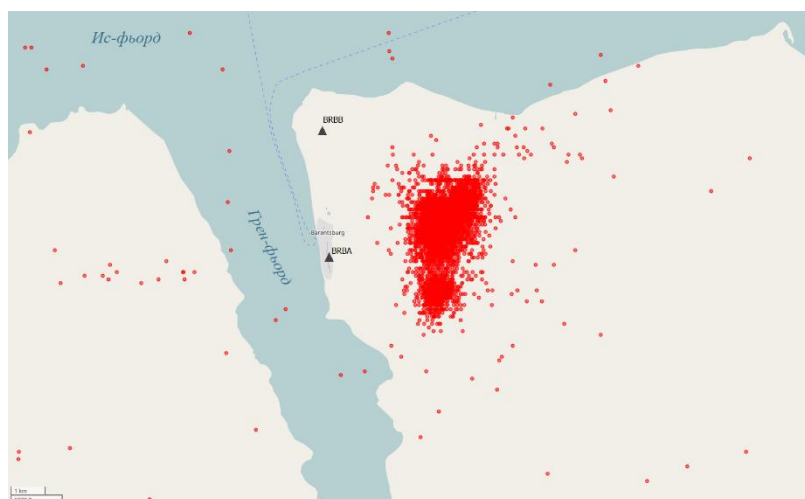


Рисунок 19.3 – Эпицентры сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург в 2016-2020 гг.

На рисунке 19.4 показано распределения числа обнаруженных событий по месяцам 2020 года, дням недели и часам суток.

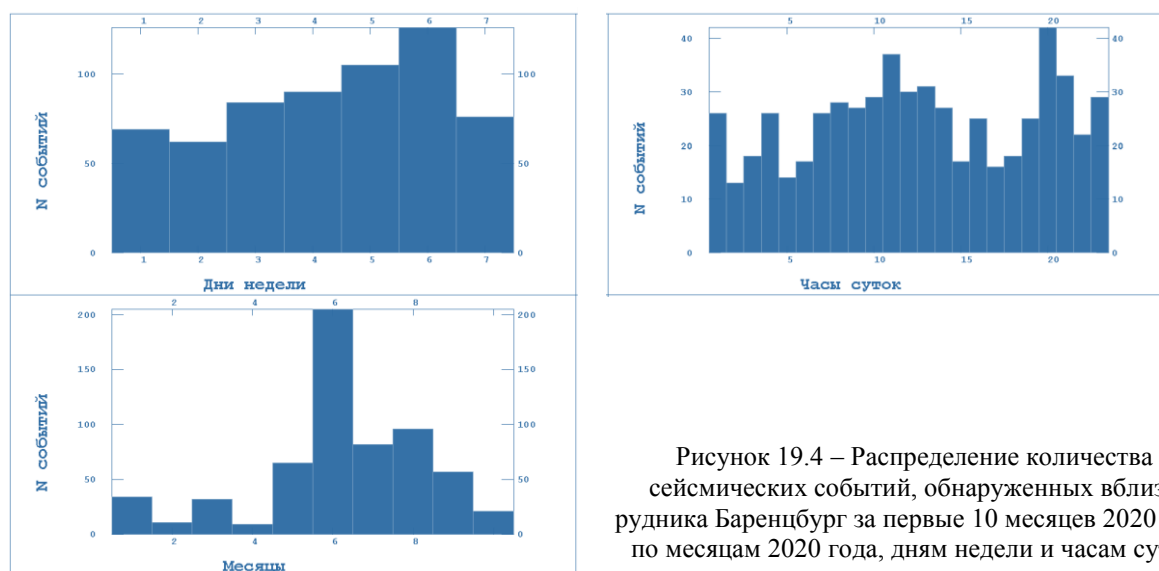


Рисунок 19.4 – Распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург за первые 10 месяцев 2020 года, по месяцам 2020 года, дням недели и часам суток

Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген

В отчетный период на архипелаге Шпицберген продолжались наблюдения за инфразвуковым полем. Основным источником сигналов в инфразвуковом диапазоне, регистрируемых на архипелаге, являются сигналы, порожденные штормами в Северной Атлантике (микробаромы), а также сигналы, генерируемые при растрескивании ледников и отколе айсбергов.

Наблюдения на сейсмоинфразвуковой группе BRBB

Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» (рис. 19.5) расположена в 3 км к северу от пос. Баренцбург и состоит из трех разнесенных в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции.

За период с 1.01.2020 по 10.10.2020 зарегистрировано 767 инфразвуковых событий, из них 566 слабых (отношение сигнал/шум <5), 138 средних (сигнал/шум от 5 до 10) и 63 сильных (сигнал/шум >10). Распределение количества событий по месяцам 2020 года показано на рисунке 19.5.

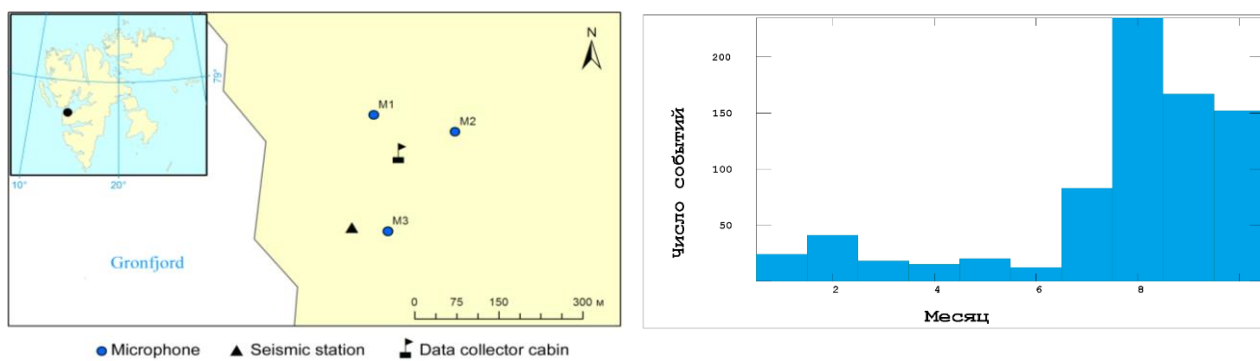


Рисунок 19.5 – Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург» Б на местности (слева) и распределение количества зарегистрированных инфразвуковых событий на группе BRBB по месяцам 2019 года (справа)

Как и в предыдущие годы, максимальное количество инфразвуковых событий регистрируется в летне-осенний период, когда активизируются процессы разрушения ледниковых тел.

В 2020 году со введением в эксплуатацию новой программы – детектора инфразвуковых событий QACD появилась возможность обнаруживать сигналы, азимуты прихода которых изменяются с течением времени (движущиеся источники). Были зарегистрированы два сигнала, в которых азимуты менялись на 10 градусов, и один сигнал, в котором азимут менялся на 16 градусов (см. рис. 19.6).

В ходе работ в 2020 году по Мероприятию 19 Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН произведены работы по развитию методов и средств сейсмического и инфразвукового мониторинга процессов деструкции арктической криосферы.

По результатам мониторинга составлены детальные каталоги сейсмических и инфразвуковых событий, зарегистрированных сетью постоянных сейсмических станций и сейсмоинфразвуковых комплексов (СИЗК). По данным региональной сети сейсмических станций (на 01.12.2020) системами автоматического обнаружения и локализации зарегистрированы и определены параметры для более 30 000 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от -0,6 до 4,5. В ручном режиме уточнены параметры сейсмических событий магнитудой более 2 (208 событий). По результатам сейсмического мониторинга района размещения угольного рудника Баренцбург ГТ «Арктикуголь» в 2020 году выявлено 615 низкоэнергетических событий, не представлявших угрозу инфраструктуре предприятия. По результатам инфразвуковых наблюдений при помощи сейсмоинфразвукового комплекса (СИЗК) BRBB зарегистрировано 790 инфразвуковых событий, большинство из которых вызвано деструкцией ледников Шпицбергена.

По результатам исследований опубликовано 5 работ в рецензируемых журналах.

В исследованиях приняли участие 3 молодых ученых.

Количество полученной информации 41 Гб.

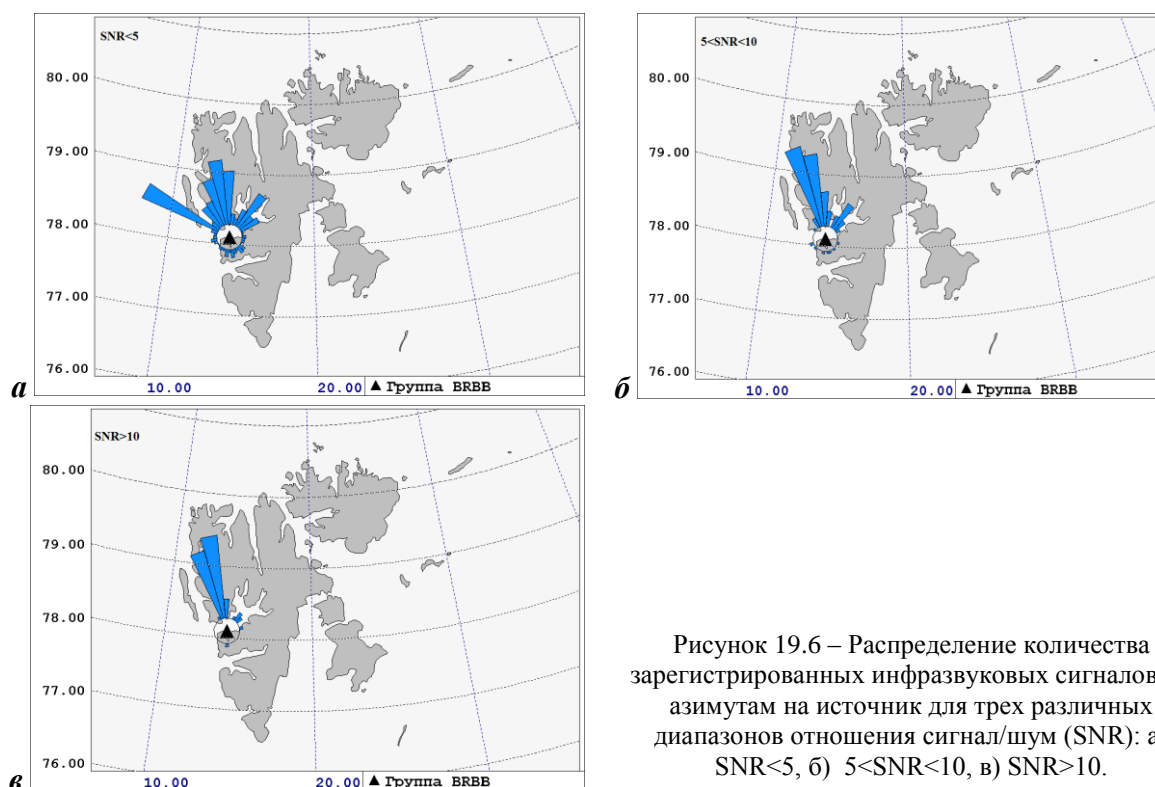


Рисунок 19.6 – Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых сигналов по азимутам на источник для трех различных диапазонов отношения сигнал/шум (SNR): а) SNR<5, б) 5<SNR<10, в) SNR>10.

Публикации, вышедшие в 2020 г.:

Vinogradov A.N., Tsukerman V.A. Risk Factors for Construction and Exploitation of the Industrial Facilities on the Arctic Shelves: Actual Challenges and Perspective Approaches for Adequate Decision // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. № 459. 042076. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042076 2020

Vinogradov A.N., Tsukerman V.A. Challenges for the Arctic Technosphere Safety: specific hazards caused by grounding mega-scale gravitational platforms on a subaquatic permafrost // International science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.

Баранов С.В. (отв. сост.); Асминг В.Э., Ковалева И.С., Петров С. Результаты детального сейсмического мониторинга: Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2018 году – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. с. 114-116.

Асминг В.Э., Баранов С.В., Петров С.И. Район архипелага Шпицберген Каталоги землетрясений по различным регионам России: // Землетрясения России в 2018 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. С. 179.

Федоров А. В., Асминг В. Э., Федоров И. С., Воронин А. И. Сейсмические и инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген в 2019 году // Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции: электронный ресурс. 2020, С 232-238.

Таким образом, Мероприятие 19 выполнено частично. Не удалось выполнить полевые работы и регламентные работы по обслуживанию оборудования.

Мероприятие 20. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли

Целью мероприятия является изучение геофизических процессов и явлений, солнечно-земных связей, а также электромагнитных полей в широком частотном диапазоне. На основе измерений в обсерватории исследовались развитие процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной ионосферы на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург»; естественные резонансные структуры в диапазоне от 0,1 Гц до 10 Гц; характеристики космических лучей; параметры высокоширотной ионосферы и характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

В 2020 году стационарные наблюдения в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проводились в полном объеме. Техническое обслуживание, ввиду невозможности выезда летом, проведено в ограниченном виде силами находящегося сотрудника В.Г. Кулешова с использованием телеконференций. Планируемое финансирование получено, плановые закупки комплектующих, материалов, носителей данных для обс. Баренцбург проведены. Запланирован выезд 1 сотрудника (молодой ученый) на НИС «Дальние Зеленцы» с заходом в Баренцбург, который проведет замену носителей данных и обслуживание ОНЧ-приемника (другие приборы – в зависимости от времени останова). По пути во время рейса будет вестись измерение потоков низкоэнергичных нейтронов мобильным детектором.

На начало октября 2020 г. по результатам исследований и обработки ранее полученных данных опубликованы следующие работы:

1. Пильгаев С.В., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Никитенко А.С., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Фролов И.Е., Козелов Б.В. Первые результаты ОНЧ-наблюдений во время полярной экспедиции «Трансарктика 2019» // Геомагнетизм и аэрономия, 2020, том 60, № 2, с. 216–219. DOI: 10.31857/S0016794020020121

В работе представлены первые результаты наблюдений ОНЧ излучений, проведенных на границе полярной шапки во время экспедиции «Трансарктика 2019», организованной ФГБУ «ААНИИ». В течение 13 из 26 дней наблюдений на судне «Академик Трешников» регистрировались авроральные ОНЧ хиссы. Подробно рассмотрен наиболее яркий случай - авроральный хисс 11 апреля 2019 года. Для исследования особенностей его генерации и распространения проведено сравнение результатов регистрации аврорального хисса на судне, в обс. Баренцбург, расположенной на границе полярной шапки на близкой к судну геомагнитной широте, и в обс. Ловозеро и обс. Каннуслахто, расположенных в авроральной зоне. Показано, что рассматриваемый авроральный хисс наблюдается в обеих точках, расположенных на границе полярной шапки, и не наблюдается в авроральной зоне. Полученные результаты свидетельствуют о том, что область выхода таких излучений локальна и ограничена по широте.

2. Никитенко А.С., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В. Резонансные эффекты в СНЧ/ОНЧ излучениях типа авроральный хисс по данным наземных наблюдений в обс. Баренцбург // Доклад на XV Всероссийской научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2020».

В докладе представлены результаты наземных наблюдений СНЧ/ОНЧ излучений типа «авроральный хисс» в обс. Баренцбург (архипелаг Шпицберген). Показано, что в некоторых случаях в спектре регистрируемых излучений наблюдаются пики на частотах, кратных частоте поперечного резонанса волновода Земля — ионосфера. Проведено сравнение полученных результатов с результатами наблюдений всплесков аврорального хисса на станциях обс. Ловозеро (Мурманская область) и Каннуслахто (Финляндия), расположенных на более низких

широтах. Показано, что подобный эффект на этих станциях не наблюдается. Для объяснения полученных результатов проведено моделирование распространения аврорального хисса от области генерации до наземного наблюдателя и выявлено возможное состояние ионосферы, которое может приводить к наблюдаемым спектрам.

3. Ларченко А.В., Пильгаев С.В., Лебедь О.М., Никитенко А.С., Филатов М.В., Федоренко Ю.В., Особенности распространения СНЧ/ОНЧ волн вдоль трассы EISCAT/Heating, Тромсе – арх. Шпицберген в эксперименте по модулированному нагреву ионосферы // Доклад на XV Всероссийской научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2020».

Эксперименты по модулированному нагреву высокоширотной ионосферы позволяют исследовать физические процессы, происходящие в ионосферной плазме, и эффекты распространения низкочастотных волн в волноводе Земля-ионосфера. В данных экспериментах мощная модулированная КВ радиоволна, излучаемая нагревным стендом, создает модуляцию электроджета и образует на высотах D-слоя ионосферы низкочастотный ионосферный источник, сигналы которого способны распространяться в волноводе Земля-ионосфера на сотни и тысячи километров.

В работе рассматриваются результаты регистрации сигналов ионосферного источника на арх. Шпицберген (станция Баренцбург) и сети материковых станций Кольского полуострова, полученные в ходе нагревного эксперимента 2016 г. на стенде EISCAT/Heating (Тромсе, Норвегия). Особое внимание уделяется обнаруженному в эксперименте эффекту: наблюдаемая в самой удаленной от нагревного стенда точке регистрации (станция Баренцбург) амплитуда горизонтального магнитного поля на частотах модуляции близких к частоте первого поперечного резонанса Земля-ионосфера зачастую была выше, чем на самой ближней к нагревному стенду материковой станции (Лотта). На других частотах такого эффекта не наблюдалось. Для объяснения наблюдаемого эффекта была разработана численная модель генерации и распространения СНЧ/ОНЧ волн. В модели использован новый подход к моделированию пространственно распределенного ионосферного источника СНЧ/ОНЧ волн. В результате сопоставления экспериментальных данных об амплитуде и поляризации поля ионосферного источника с результатами моделирования показано, что модель с использованием одинаковых параметров нижней стенки волновода вдоль трасс распространения сигнала от источника до станций не может объяснить наблюдаемый в эксперименте эффект. Экспериментальные данные объясняются только в модели с учетом высокой проводимости нижней стенки волновода вдоль трассы EISCAT/Heating — Баренцбург, т.е. морской поверхности и низкой проводимости вдоль трассы EISCAT/Heating — Лотта. При этом важную роль играет и состояние ионосферы. Исследования массива сгенерированных случайным образом профилей электронной концентрации (N_e) показало, что наиболее важным для наблюдения эффекта, обнаруженного в эксперименте, является уровень N_e в диапазоне высот от 75 до 90 км. В частности, значения N_e на высоте 82 км должны находиться в пределах $6,4 \cdot 10^8 \dots 4,4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$.

4. Никитенко А.С., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Лебедь О.М., Филатов М.В., Федоренко Ю.В. Наблюдения сигналов передатчиков радионавигационной системы «Альфа» в авроральной зоне и в области полярной шапки // Международная научно-практическая конференция «Наука и образование в Арктическом регионе» (МГТУ), доклад.

Представлены результаты одновременных наблюдений в авроральной области и в области полярной шапки амплитуд и фаз компонент поля сигналов СДВ передатчика радионавигационной системы «Альфа». Показано, что в области полярной шапки эти параметры испытывают вариации, нетипичные для спокойных геомагнитных условий. Наблюдаемые вариации могут быть результатом существования в нижней ионосфере неоднородностей концентрации заряженных частиц.

5. А.С. Никитенко, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко, Ю. Маннинен, Н.Г. Клейменова, Л.И. Громова. Оценка положения и размера области рассеяния аврорального хисса по данным высокоширотных наблюдений в пространственно-разнесенных точках // Известия РАН. Серия физическая (на стадии рецензирования).

В работе представлены результаты анализа одновременных наблюдений всплесков ОНЧ аврорального хисса в пространственно-разнесенных точках - Баренцбург (Архипелаг Шпицберген), Ловозеро (Кольский полуостров, Россия) и Каннуслахто (Финляндия). Проведено сравнение результатов наблюдений с результатами моделирования распространения аврорального хисса от области генерации до земной поверхности и в волноводе Земля-ионосфера.

6. Демин В.И., Иванов Б.В. Изменение климата в Баренцбурге в 1911-2020 гг. // Доклад на XV Всероссийской научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа 2020». Также по этой теме подготовлена статья, которая учтет данные за декабрь 2020 г. и таким образом охватит расчет «климатической нормы» за последнее десять лет.

В 2020 году в рамках проекта по изучение метеорологических и климатических процессов на архипелаге Шпицберген в ПГИ проведен критический анализ рядов метеорологических наблюдений в Баренцбурге, проведена проверка однородности рядов температуры воздуха, создан композитный непрерывный ряд температуры воздуха в Баренцбурге, начинающийся с 1911 г.

Метеорологические наблюдения в российском поселке Баренцбург, выполняемые на гидрометеорологической обсерватории (ГМО), являются наиболее продолжительными среди всех других метеорологической станций (МС), когда-либо работавших на архипелаге Шпицберген. Первые измерения здесь начались в 1932 г. Однако в научной среде базовыми для оценок климатических изменений в регионе служат ряды температуры воздуха, полученные на МС Svalbard Airport. В действительности измеренные значения на МС Svalbard Airport имеются только с августа 1975 г., а все более ранние – расчетные с использованием данных других МС, в т.ч. и в Баренцбурге. Основные замечания к использованию данных ГМО «Баренцбург» – наличие перерыва в наблюдениях в период 08.1941-11.1947 гг. и переносы метеорологической площадки в 1978 и 1984 гг., которые могли нарушить климатическую однородность полученного ряда.

К рядам температуры воздуха на ГМО «Баренцбург» были применен комплекс специальных статистических тестов (SNHT, Буишанда, Петтитта и Фон-Ноймана), призванных обнаружить структурные сдвиги в рядах данных. Показано, что, несмотря на переносы метеорологической площадки в Баренцбурге в 1978 и 1984 гг. принятые в климатологии тесты не показывают признаков нарушения методической однородности в рядах температуры воздуха (средней месячной, среднемесячной минимальной и максимальной). Ряды температуры воздуха на ГМО «Баренцбург» можно использовать для решения задач региональной и глобальной климатологии за весь период наблюдений с 1932 г.

7. Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. – 2020. – №9. - С. 30-40. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12093

Демин В.И., Иванов Б.В. Восстановление длинных рядов температуры воздуха на архипелаге Шпицберген // 43-ий семинар «Физика авроральных явлений», 16-20 марта 2020 г. г. Апатиты (постерный доклад). Материалы доклада публикуются в сборнике, входящем в базу РИНЦ.

На основе параллельных измерений автоматическими МС на мысе Финнесет и на территории ГМО в Баренцбурге получены уравнения, связывающие температуры воздуха в данных местоположениях. С их помощью были рассчитаны значения температуры воздуха в Баренцбурге в 1911-1930 гг. по измерениям на МС «Грин Харбор», работавшей на мысе

Финнесет. Восстановление следует считать надежным ввиду очень близкого положения этих МС (примерно 1,5 км по прямой – в пределах прямой видимости). Для создания непрерывного ряда, начинающегося с декабря 1911 г., отсутствующие в отдельные годы значения среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге (эти пропуски, главным образом, относятся к периоду Второй Мировой войны) были рассчитаны по данным ближайших МС (Isfjord Radio и Longyearbyen), а в случае их отсутствия (08.1941–11.1941 и 07.1942–08.1945) по данным реанализа NOAA-CIRES-DOE 20CRv3. Статистическими тестами показано, что добавление к исходному ряду рассчитанных значений не привело к появлению методической неоднородности.

Созданные композитные ряды среднемесячных значений ПТВ для МС «Баренцбург» могут быть использованы для изучения долговременных изменений климата в регионе. При этом для периода с 1911 г. доля оригинальных (измеренных) значений ПТВ в созданном композитном ряду превышает 75%, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене. Показано, что ряд в Баренцбурге, восстановленный до 1911 года, более правильно соответствует многолетней картине пространственного распределения температуры на Шпицбергене, чем широко используемый в научной литературе восстановленный ряд на МС Svalbard Airport.

8. Демин В.И., Козелов Б.В. Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген) // 43-ий семинар «Физика авроральных явлений», 16-20 марта 2020 г. г. Апатиты (постерный доклад). Материалы доклада публикуются в сборнике, входящем в базу РИНЦ.

По результатам метеорологических измерений в Баренцбурге обнаружены синхронные и противофазные изменения температуры и относительной влажности воздуха. Снижение относительной влажности до 60% менее характерно для направлений ветра из секторов, с которых Баренцбург прикрыт горами с отметками от 200 до 500 м. Вариации создаются переваливанием воздуха через орографический барьер с его последующим опусканием на подветренной стороне (фёнами). Предложен критерий для выделения фёновых явлений на Шпицбергене.

9. Shumilov O.I., Kasatkina E.A., Krapiec, M., Chochorowski J., Szychowska-Krapiec E. Tree-ring dating of Russian Pomor settlements in Svalbard // *Dendrochronologia*, 2020, V. 62, № 125721. DOI: 10.1016/j.dendro.2020.125721

Работа выполнена вне плана. В ней приведены результаты датировки колец древесных образцов из трех русских поселений XVIII века (Бьорнбейнфлен, Палфьодден и Шоннингхольман) на Шпицбергене. Эти поселения были обнаружены во время раскопок, проведенных польской археологической экспедицией Ягеллонского университета в регионах Соркаппланд и Хорнсунд-фьорд архипелага Шпицберген. Всего для этих памятников было повторно проанализировано 5 недатированных образцов и реликвии с места высадки на побережье Торрфля (1 образец). Все образцы из этих поселений являются строительными элементами жилищ, представляя собой сборные конструкции, привезенные с континента, и только один из них плавник. Полученные плавающие хронологии были сопоставлены с более чем 200 главными хронологиями древовидных колец арктического побережья, включая также собственные данные авторов. В результате удалось успешно датировать и определить место происхождения этих образцов. Полученные результаты не противоречат данным радиоуглеродного и археологического датирования и указывают на возможное использование древесины с территорий бассейнов Белого и Карского морей в качестве строительного материала для поселений русских поморов на Шпицбергене.

Мероприятие 21. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген

Полевые исследования 2020 года по исследованию памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген не могли быть выполнены по причине распространения коронавирусной инфекции и введенных ограничительных мер, из-за которых архипелаг был закрыт для въезда научных экспедиций. Поэтому работы археологической экспедиции были скорректированы и сосредоточены на археологической коллекции музея «Помор», находящегося в российском поселке Баренцбург на архипелаге Шпицберген (Норвегия).

Музей «Помор» является единственным российским культурно-просветительским учреждением на территории архипелага, в котором представлены археологические находки поморской промысловой культуры XVI-XIX вв., что делает его уникальными.

Археологические находки, хранящиеся в музее, за редким исключением не были опубликованы ранее, поэтому их введение в научный оборот представляется вполне целесообразным.

Таким образом основным объектом исследований в 2020 г. был музей «Помор» в российском поселке Баренцбург на архипелаге Шпицберген (Норвегия). Основной целью была:

Систематизация археологической коллекции музея «Помор» (сводная таблица в программе Excel) из раскопок Шпицбергенской экспедиции ИА РАН под руководством В.Ф. Старкова (1978 – 2003 гг.), которая включала следующие задачи:

- а) фото-фиксацию археологических находок и их описание; предварительно эта работа отчасти выполнена в предыдущие годы Шпицбергенской экспедиции в пос. Баренцбург;
- б) «чистку» фотографий (фон, обрезка, масштабирование и т.п.);
- в) идентификацию некоторых находок, где это возможно, поскольку у некоторых стерт или утерян шифр (при создании музея). Для этой работы необходимо привлечение отчетов и описей Шпицбергенской экспедиции за все годы;
- г) описание находок, по возможности, с указанием параметров.

Перечисленные «методы» носят в основном технический характер.

Всего обработано около 400 находок промысловой поморской культуры, количество использованных источников – 3 (Державин 2016; Старков 2007; Старков 2009), частей отчета – 5. Ключевые слова: Археологический памятник, Шпицберген, находки, музей, архипелаг, промысловые орудия, поморы, китобои.

Заключение:

На основании данной работы планируется подготовить публикацию археологической коллекции поморской промысловой культуры музея «Помор», которая является одной из самых ярких и значительных собраний среди российских музеев. Такая работа проводится впервые. Ее предполагается завершить в декабре текущего года, которая в конечном счете воплотится в «Путеводитель» по музею, планируемый к изданию в следующем году.

Сотрудники экспедиции, проводившие исследования:

Державин В.Л. detrzh@yandex.ru

Колесников А.Б. abkolesnikov60@mail.ru

Дербенев М.П. uionest@mail.ru

Сулавко П.Г. sulavko@list.ru

Объем полученной и обработанной информации (таблицы, фотоматериалы) 1,5 Гб.

На основании ранее проведенных работ опубликованы следующие статьи:

Державин В.Л., Колесников А.Б. Два взгляда на дендрохронологию памятников острова Серкап. // Археология Арктики. Омск. 2020. С. 273-277. УДК 902.2(571.121).

Державин В.Л. Археологические памятники Нового времени на Шпицбергене // Жизнь и смерть в Российской империи. Новые открытия в области археологии и истории России XVIII-XIX вв. М., «Индрик», 2020. С.183-187.

Державин В.Л. Дискуссионные вопросы в истории Шпицбергена // Исторические записки. 2020. № 19(37). (в редакции)

Литература

Державин В.Л. Северо-Восточный проход и экспедиция В.Я. Чичагова. М. 2016. «Юлис». 76 с.

Старков В.Ф. Очерки истории освоения Арктики. Т. I. Шпицберген. М. 2009. Научный мир. 96 с.

Старков В.Ф. Музей «Помор». М. Научный мир. 2007. 112 с.

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

Мероприятие 22. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена

Основная цель проекта исследовать динамику и структуру атмосферного пограничного слоя над сложным рельефом в полярных районах. В задачи входят:

- Исследование трансформации воздушного потока на границе берег-море.
- Исследование динамики атмосферы под действием склонового ветра с поверхности ледника.
- Исследование энерго- и газообмена над различными поверхностями (ледник, тундра, поверхность фьорда).
- Определение турбулентных потоков тепла над различными поверхностями и при различных фоновых условиях.
- Исследование структуры атмосферного пограничного слоя на склоне ледника при поземке (наличии мелкодисперсных частиц в приземном слое атмосферы).

В 2020 г. исследовательские работы выполняли Репина И.А., Чечин Д.Г., Артамонов А.Ю., Шестакова А.А. В связи с пандемией работы непосредственно на архипелаге не проводились. Исследования шли по следующим направлениям:

- Обработка данных измерений прошлых лет.
- Моделирование природных процессов на архипелаге Шпицберген.

При обработке пульсационных данных использовались стандартные статистические подходы (спектральный анализ, вейвлетанализ, расчеты статистических моментов). Для моделирования использовались региональные негидростатические и аналитические модели, в частности негидростатическая модель NH3D и прогностическая модель WRF.

Основные полученные результаты:

Проводилась оценка повторяемости и интенсивности таких опасных явлений как обледенение судов, болтанка самолетов и опасное морское волнение при подветренных бурях на Шпицбергене. Анализ данных наблюдений и реанализов CFSR и ASR показал, что наибольшая повторяемость условий для обледенения среди всех подветренных бурь отмечается для бури на Шпицбергене. Согласно расчетам на основе реанализа ASR, скорость обледенения может достигать 7 см/ч, что классифицируется как очень тяжелое обледенение. Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что из-за небольшого распространения подветренных бурь их влияние на скорость обледенения в открытом море невелико.

Результаты моделирования позволили выявить наличие опасной и экстремально опасной для легкомоторных самолетов болтанки во время подветренных бурь, особенно интенсивной во время сильных эпизодов бурь. Опасные значения вертикальной перегрузки и изменения угла атаки выявлены во всех районах; они возникают в нижней тропосфере над подветренными склонами хребтов, а также на удалении от хребтов при подветренных волнах.

Анализ спутниковых альтиметрических данных и результатов моделирования волнения при подветренных бурях на Шпицбергене показал, что, несмотря на сильный и продолжительный ветровой форсинг во время бури, повторяемость опасной высоты волн низкая из-за короткого разгона волн. Однако влияние бури на поле волнения значительное: аномалия высоты волн во время бури достигает 2-3 м и распространяется на расстояние более чем 200 км от берега. Кроме того, значительную опасность для судов представляет большая крутизна, малая длина волн при буре, а также трехмерность поля волнения за счет наложения зыби и волн, вызванных бурей. Полученные результаты опубликованы в журнале *Atmosphere* (Shestakova et al. 2020).

Для оценки влияния параметризации пограничного слоя на результаты моделирования атмосферы во время холодных вторжений проводилась серия экспериментов с моделью WRF-ARW. Эксперименты охватывали период с 1 по 11 марта 2013 г., когда в рамках проекта STABLE (Spring Time Atmospheric Boundary Layer Experiment) проводились самолетные наблюдения в пограничном слое при холодных вторжениях с севера на открытую водную поверхность в прибрежной зоне Шпицбергена. Эксперименты на чувствительность показали, что использование нелокальной параметризации пограничного слоя YSU оказалось наиболее целесообразным (по сравнению с локальными схемами) в условиях быстрой трансформации пограничного слоя при холодных вторжениях (рис. 22.1). Влажность воздуха и скорость ветра также очень чувствительны к выбору параметризации погранслоя, при этом бароклинное низкотропосферное струйное течение плохо воспроизводится во всех экспериментах (рис. 22.1).

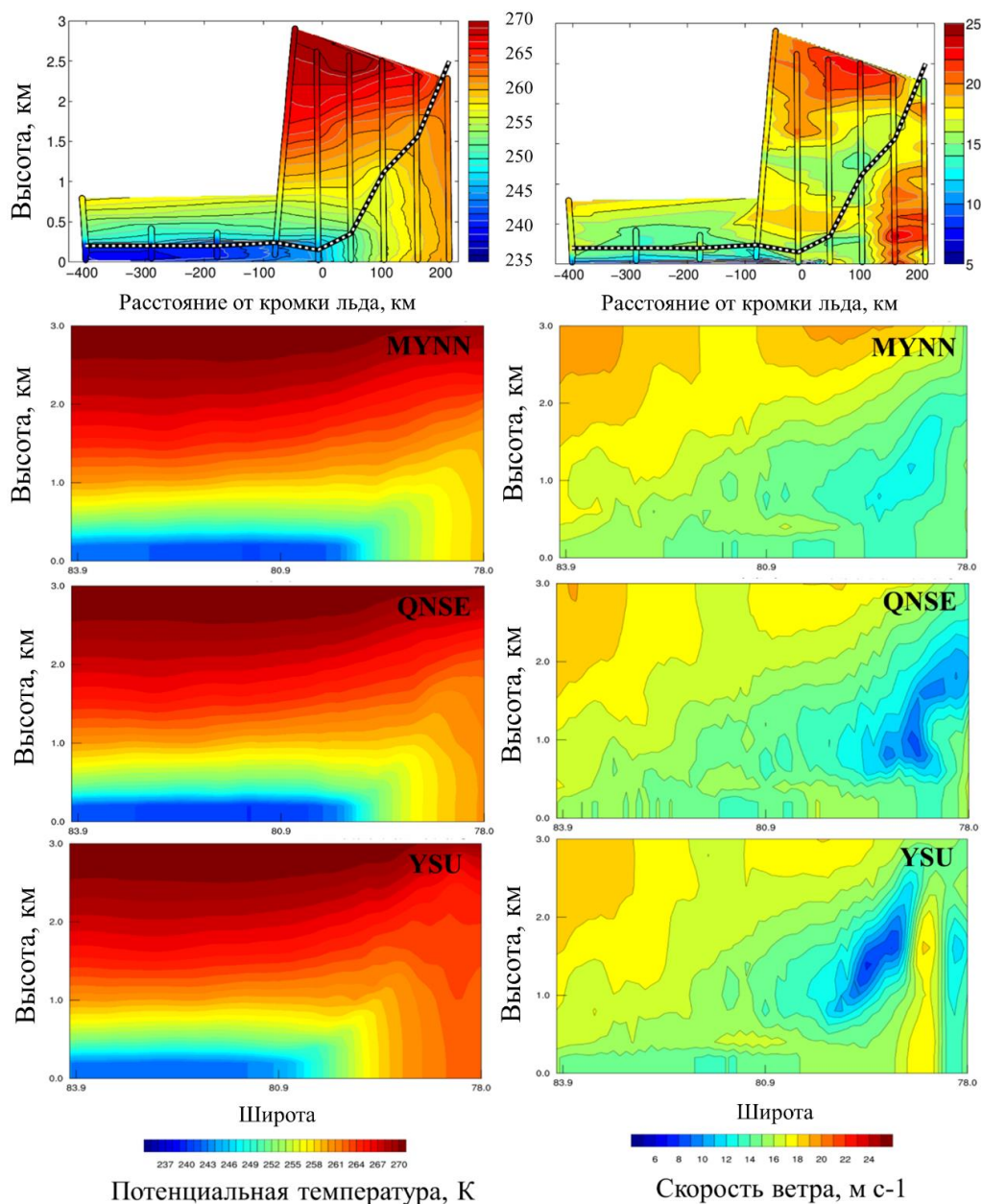


Рисунок 22.1 – Вертикальные разрезы потенциальной температуры и скорости ветра по данным наблюдений и результатам моделирования с разными параметризациями пограничного слоя в 15 ВСВ 4 марта 2013 г.

На примере Шпицбергена были исследованы причины недооценки скорости ветра моделью WRF-ARW при моделировании подветренных бурь в российской Арктике. Недооценка скорости ветра оказалась связана с ошибочным типом поверхности и ее шероховатостью, которая оказалась завышена в модели для приполярных районов.

Уменьшение коэффициента шероховатости в соответствии с наблюдениями приводит не только к количественному изменению скорости ветра в пограничном слое, но и к качественным изменениям динамики обтекания потоком рельефа. Использование реалистичных карт типа поверхности и коэффициента шероховатости во всех районах, где наблюдаются подветренные бури, привело к уменьшению ошибки моделирования скорости ветра более чем в 2,5 раза.

Сопоставление реанализов, а также результатов моделирования с помощью модели WRF-ARW с различным пространственным разрешением и данных спутниковых наблюдений радаров с синтезированной апертурой (РСА) для нескольких случаев новоземельской боры и фёна на Шпицбергене позволило проанализировать влияние разрешения на воспроизведение орографических ветров. В качестве критериев качества воспроизведения пространственной структуры орографических ветров использовались коэффициент пространственной корреляции, средние по области отклонения средней, максимальной и минимальной скорости ветра и амплитуды. Кроме того, использовался метод SAL (Wernli et al. 2009), который позволяет оценить ошибку локализации, формы и интенсивности объектов (в данном случае - струй, выделенных по аномалиям скорости ветра (рис. 22.2) выше определенного порога) в разных реанализах и в результатах моделирования. Результаты сравнения показали, что коэффициент пространственной корреляции, так же, как и параметры SAL-метода, не всегда адекватно отражают качество воспроизведения пространственной структуры.

Были проведены идеализированные численные эксперименты по моделированию подветренных бурь Шпицбергена с помощью модели WRF-ARW с измененной температурой поверхности океана (ТПО), морского льда и землепользования в соответствии с ожидающимися изменениями климата к концу 21 века. Эксперименты показали, что ожидаемое уменьшение площади ледников на Шпицбергене приводит к ослаблению подветренной бури на севере архипелага (в среднем на 5-8 м/с). При этом небольшое увеличение шероховатости тундры за счет ожидаемого увеличения биомассы не оказывает существенного влияния на интенсивность боры. Увеличение ТПО и уменьшение площади морского льда приводит к ослаблению стратификации, что приводит к значительному уменьшению скорости ветра при боре, особенно на юге архипелага, из-за уменьшения нелинейности потока.

Основные выводы:

- По данным наблюдений проведены расчеты коэффициента турбулентного обмена для снега и мохового покрова. Установлена зависимость коэффициентов от стратификации атмосферы и наличия в воздухе снежных частиц.
- Результаты моделирования позволили выявить наличие опасной и экстремально опасной для легкомоторных самолетов болтанки во время подветренных бурь, особенно интенсивной во время сильных эпизодов бурь. Опасные значения вертикальной перегрузки и изменения угла атаки выявлены во всех районах; они возникают в нижней тропосфере над подветренными склонами хребтов, а также на удалении от хребтов при подветренных волнах.
- Анализ спутниковых альтиметрических данных и результатов моделирования волнения при подветренных бурях на Шпицбергене показал, что, несмотря на сильный и продолжительный ветровой форсинг во время бури, повторяемость опасной высоты волн низкая из-за короткого разгона волн. Однако влияние бури на поле волнения значительное: аномалия высоты волн во время боры достигает 2-3 м и распространяется на расстояние более чем 200 км от берега.
- Сопоставление реанализов, а также результатов моделирования с помощью модели WRF-ARW с различным пространственным разрешением и данных спутниковых наблюдений радаров с синтезированной апертурой (РСА) для нескольких случаев новоземельской боры и фёна на Шпицбергене позволило проанализировать влияние разрешения на воспроизведение орографических ветров.

– Были проведены идеализированные численные эксперименты по моделированию подветренных бурь Шпицбергена с помощью модели WRF-ARW с измененной температурой поверхности океана (ТПО), морского льда и землепользования в соответствии с ожидающимися изменениями климата к концу 21 века. Эксперименты показали, что ожидаемое уменьшение площади ледников на Шпицбергене приводит к ослаблению подветренной бури на севере архипелага (в среднем на 5-8 м/с).

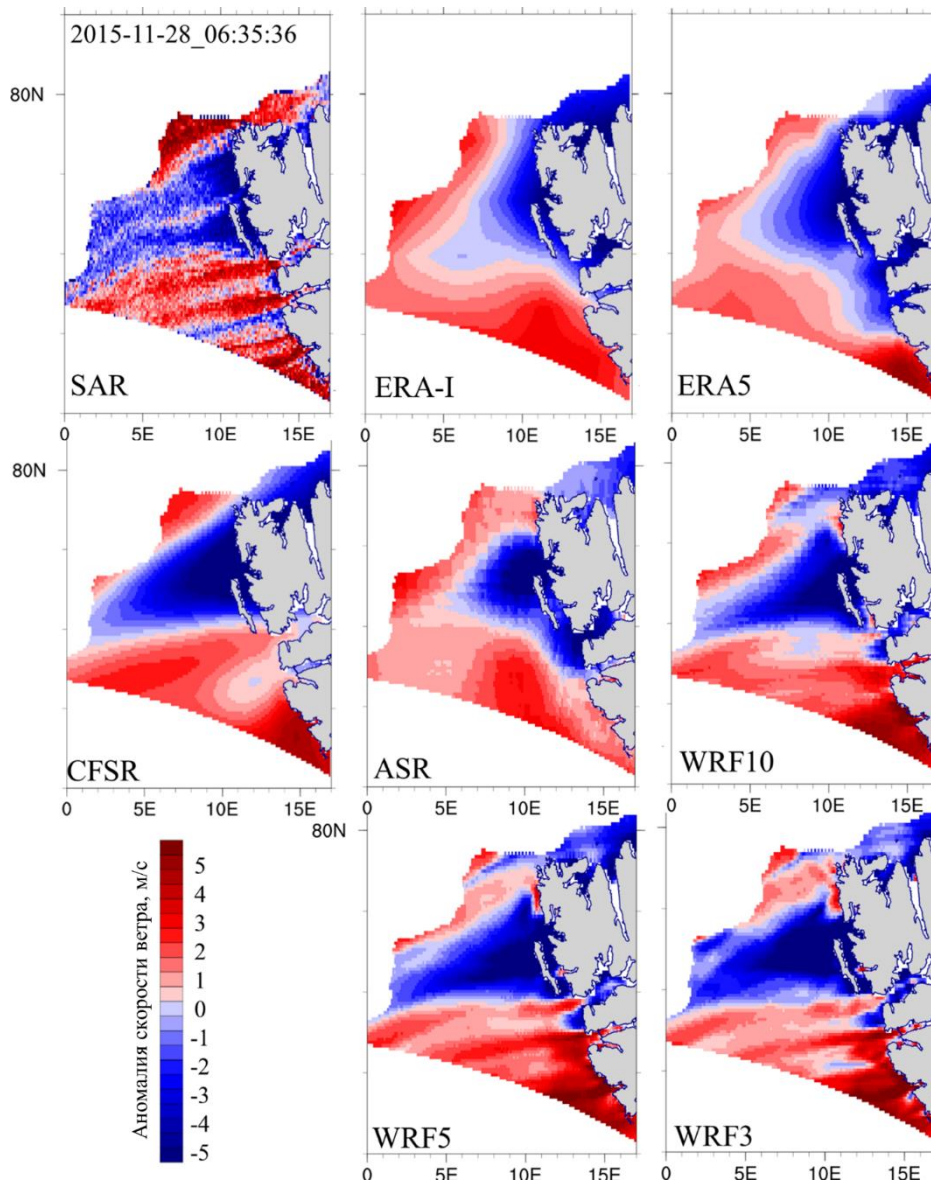


Рисунок 22.2 – Пример сравнения аномалий скорости ветра (отклонение от среднего по области) по данным спутниковых наблюдений (SAR), реанализов и результатам мезомасштабного моделирования с разрешением от 3 до 10 км во время фёна на Шпицбергене

Результаты исследований опубликованы в статьях и представлены в докладах:

Shestakova, A. A., Myslenkov, S. A., Kuznetsova, A. M. Influence of Swalbard Bora on Sea Waves: Satellite Measurements and Numerical Modeling. *Atmosphere*, 2020. 11(7), 726.

Shestakova A.A., Toropov P.A., Repina I.A. Methodological aspects of orographic winds analysis and modelling in the Arctic. International online conference «Weather and Climatic Extremes: Data, Analysis and Impact, WCEDAI», Томск, Россия, 8-10 сентября 2020.

Литература

Shestakova, A. A., Myslenkov, S. A., Kuznetsova, A. M. Influence of Swalbard Bora on Sea Waves: Satellite Measurements and Numerical Modeling. *Atmosphere*. 2020. 11(7), 726.

Wernli, H., Hofmann, C., & Zimmer, M. Spatial forecast verification methods intercomparison project: Application of the SAL technique. *Weather and forecasting*. 2009. 24(6), 1472-1484.

Заключение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на арх. Шпицберген 2020 года включает 22 мероприятия, которые выполняются 13 организациями Консорциума. Однако обстоятельства, связанные с пандемией новой коронавирусной инфекции, сделали выполнение некоторых Мероприятий затруднительным или невозможным за счет трудностей, связанных с доставкой членов экспедиционных групп на архипелаг Шпицберген и необходимости прохождения карантина в материковой Норвегии.

В полном объеме выполнялись мероприятия РНЦШ, которые основываются на получении натуральных данных круглогодичных наблюдений, получаемых постоянным (зимовочным) составом или автоматизированными автономными системами наблюдений. Круглогодичные программы мониторинга проводят ААНИИ и Мурманское УГМС Росгидромета. Сбор информации и наблюдения в дистанционном режиме продолжает Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН и Полярный геофизический институт.

ГМО «Баренцбург» Мурманского УГМС полностью выполнило программу работ. Материалы наблюдений обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Примечательно, что июль и август 2020 г. по значениям средней месячной температуры воздуха стали самыми теплыми за период наблюдений с 1948 года. Вероятно, это обстоятельство явилось причиной в два раза больших значений объемов годовой абляции, рассчитанных гляциологами ААНИИ по результатам наблюдений на ледниках. Анализ данных наблюдений за содержанием и характеристиками аэрозоля приземного воздуха показал, что периоды повышенной замутненности атмосферы связаны с развитием очагов пожаров в Западной Сибири также в июле-августе.

Мероприятия ААНИИ, за которые отвечает зимовочный состав, в 2020 году выполнены успешно. Они включали спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей при помощи расположенного в Баренцбурге антенного комплекса, постоянные океанологические, метеорологические, геофизические наблюдения, выполнение работ в химико-аналитической лаборатории.

Успешно были выполнены полевые исследования многолетней мерзлоты методами бурения, магнитного зондирования и геохимии. Они позволили глубже изучить криогенные процессы и явления на архипелаге, в частности, изучить внутреннее строение и восстановить историю формирования булгуньяха в долине Грендален. Данные мониторинга термического состояния мерзлоты передавались в международные системы наблюдений CALM и GTN-P.

Данные автоматизированных метеокомплексов послужили основой для моделирования теплового и динамического взаимодействия атмосферы с верхними слоями грунта, изучения конвекции воздуха в мохово-снежном покрове арктической тундры, и в сочетании с актинометрическими наблюдениями стали основой для теплобалансовой модели поверхности ледника, позволяющей с большой точностью оценить абляцию с его поверхности. С помощью георадарных и термометрических измерений льда озера Стемме валидирована модель термодинамики снежно-ледяного покрова пресноводных акваторий архипелага.

Океанологические работы расширились экспериментальными наблюдениями за изменением структуры льда и перераспределением энергии волн в прикромочной зоне припая в сотрудничестве с международными учеными; была успешно поднята притопленная буйковая станция, собиравшая данные о солёности, температуре и течениях в заливе Исфьорд в течение года. Мониторинг снегонакопления и режима рек и озёр был проведен в сокращенном объеме. В рамках совместной работы с ИГ РАН георадарным зондированием были установлены объемы теплого льда на ледниках Тавле, Восточный Грэнфьорд, Фритьоф и Эрдман. Вступившие в силу ограничения не позволили доставить специалистов сезонного состава в летне-осенний период, что помешало проведению запланированных исследований в области метеорологии и палеогеографии. Но проведенные лабораторные исследования микрофоссилий в четвертичных отложениях долины Колесдален помогли реконструировать смену пяти растительных сообществ в раннем и среднем голоцене. Не в полной мере был

выполнен и экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий совместно с СЗФ НПО «Тайфун»: отобранные образцы природных сред законсервированы для проведения дальнейшего химического анализа.

Морская экспедиция ММБИ РАН при участии ПГИ и МАГУ (Мурманский арктический государственный университет) на НИС «Дальние Зеленцы» в Баренцево море и фьорды архипелага Шпицберген началась 27 октября 2020 г. По специальному разрешению, полученному от норвежских властей, судно работало в территориальных водах архипелага и осуществляло заходы в порты Баренцбурга и Лонгйирбюена. Экспедиционные исследования носили комплексный экосистемный характер и охватили акватории системы залива Исфьорд на нескольких разрезах, береговые исследования не состоялись.

Остальные организации – участники консорциума вели лабораторные и камеральные исследования на основе ранее полученных данных и собранных материалов.

Сотрудниками Полярного ботанического сада КНЦ РАН обобщены результаты многолетних исследований лишайников, печеночников и цианопрокариот Шпицбергена, подготовлены коллекции, эксикаты и изданы каталоги обнаруженных на архипелаге видов, их экологии и распространения, установлена зависимость толщины торфяного слоя серогумусовых почв от высоты местности, особенности распределения в них органического углерода и питательных элементов. Анализ психофизиологического состояния детей, проживающих в Арктике, которые проходили эко-, арт- и садовую терапию в период «входа» и «выхода» из полярной ночи в течение нескольких лет, доказал эффективность программы.

В отсутствие возможности провести натурные исследования Институт археологии РАН сосредоточился на описании и каталогизации уникальных археологических находок, хранящихся в музее «Помор» в Баренцбурге. На основании данной работы планируется подготовить публикацию археологической коллекции поморской промысловой культуры музея «Помор», которая является одной из самых ярких и значительных собраний среди российских музеев.

Сотрудниками ПМГРЭ подготовлены макеты легенды геологической карты дочетвертичных отложений архипелага Шпицберген и кадастра месторождений полезных ископаемых, сделаны обзор и оценка современной среднемасштабной изученности архипелага Шпицберген, составлено обоснование работ по дальнейшему картированию архипелага.

В связи с тем, что проект ФИЦ КНЦ по изучению минералогического разнообразия Шпицбергена является новым и каменный материал в 2020 году отобрать не удалось, участниками проекта были проанализированы доступные материалы и составлена предварительная программа полевых и лабораторных исследований.

Ученые Института географии РАН проанализировали многолетние экспериментальные данные по влиянию мохового покрова на протаивание мерзлоты и показали, что с ростом температуры воздуха увеличивается теплозащитная роль мохового покрова, а снижение температуры грунта под моховым покровом на несколько градусов может компенсировать возможный рост температуры воздуха при потеплении, что предохраняет многолетнюю мерзлоту от деградации. Исследование потоков газов в почвах тундры показало, что антропогенно измененных биотопах и дыхание (поток углекислого газа в атмосферу), и сток углерода из атмосферы значительно выше, чем в нативных, а уровень эмиссии метана на антропогенно-измененных биотопах в два раза превышает эмиссию в естественных ландшафтах, при этом потоки метана в атмосферу с поверхности полей фильтрации угледобычи на территории пос. Баренцбург сравнимы с потоками с селитебных территорий умеренной зоны.

В ИФА им. А.М. Обухова РАН по данным наблюдений проведены расчеты коэффициента турбулентного обмена для снега и мохового покрова, установлена зависимость коэффициентов от стратификации атмосферы и наличия в воздухе снежных частиц. С помощью моделирования исследованы условия болтанки самолетов и обледенения судов во время подветренных бурь, а спутниковые данные позволили изучить аномалии распространения и высоты волн во время бурь. Численные эксперименты показали, что

ожидаемое уменьшение площади ледников на Шпицбергене приводит к ослаблению подветренной бури на севере архипелага.

В 2020 г. на базе РНЦШ весной состоялись два международных мероприятия в рамках сотрудничества с ЮНИС: семинар по геологии Арктики для студентов Университетского центра и экспериментальные океанографические работы по оценке влияния волновой активности на разрушение припая. Основная международная активность была перенесена в режим видеоконференций, практические мероприятия перенесены предположительно на 2021 год.

Тесное взаимодействие организаций-участников РНЦШ, сотрудничество с иностранными коллегами, комплексный подход в исследованиях и подготовке молодых специалистов, являются залогом успешной научной работы на Шпицбергене, обеспечивая более глубокий анализ природных процессов и механизмов. В сложившихся условиях особое значение приобрела взаимная помощь партнеров по РНЦШ, которая проявлялась в логистической поддержке, отборе полевых материалов и выполнении сопутствующих работ по просьбам коллег специалистами, которым удалось добраться до Шпицбергена.

Несмотря на возникшие в 2020 г. трудности и отмену многих полевых исследований и натурных экспериментов, организациям-партнерам по РНЦШ удалось в большой мере выполнить программу исследований и наблюдений. Целевые показатели программы достигнуты.

Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2020 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)	37	41
2	Прирост объема информации о природной среде арх. Шпицберген (гигабайт), в том числе данные постоянных метеорологических, геофизических и спутниковых наблюдений	17500	18200
3	Количество молодых ученых (специалистов) ВУЗов, студентов и аспирантов, привлеченных к выполнению НИОКР в рамках проекта	22	25
4	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности, в том числе направленных на государственную регистрацию	0	3