

УТВЕРЖДЕНО
протоколом Наблюдательного совета
по координации деятельности
Российского научного центра на
архипелаге Шпицберген
от 17 декабря 2019 г. № 9

ОТЧЕТ
о выполнении
Межведомственной программы
научных исследований и наблюдений на архипелаге
Шпицберген в 2019 году

Москва 2019

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	19
Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген	24
Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена	29
Мероприятие 5. Палеогеографические исследования	33
Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты	37
Мероприятие 7. Спутниковый мониторинг акватории и побережья Северного ледовитого океана и арктических морей	41
Мероприятие 8. Экологические исследования	43
Мероприятие 9. Проведение учебной практики для студентов-географов на базе РНЦШ ...	51
Мероприятие 10. Работы по линии международного сотрудничества на арх. Шпицберген ..	53
Мероприятие 11. Логистическое обеспечение и развитие научного консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген	56
ФГБУ «Мурманское УГМС»	62
Мероприятие 12. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург»	62
ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «ААНИИ»	65
Мероприятие 13. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген	65
Мероприятия Роснедр	70
АО «ПМГРЭ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология»	70
Мероприятие 14. Региональные геолого-геофизические исследования с целью изучения геологического строения и минерально-сырьевого потенциала территории архипелага Шпицберген	70
Мероприятия организаций Минобрнауки	74
ФГБУН Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)	74
Мероприятие 15. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген ..	74
Мероприятие 16. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата	76
ФГБУН Кольский научный центр Российской академии наук (КНЦ РАН)	91
Мероприятие 17. Изучение медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов на организм человека в условиях архипелага Шпицберген	91
ФГБУН Мурманский морской биологический институт Российской академии наук	92
Мероприятие 18. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген	92
ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Российской академии наук (ПАБСИ КНЦ РАН)	96
Мероприятие 19. Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и	

антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.....	96
Кольский филиал ФГБУН ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН».....	102
(КоФ ФИЦ ЕГС РАН).....	102
Мероприятие 20. 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.....	102
ФГБНУ Полярный геофизический институт (ПГИ).....	107
Мероприятие 21. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.....	107
ФГБУН Институт археологии Российской академии наук (ИА РАН)	110
Мероприятие 22. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген	110
ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (им. А.М. Обухова РАН).....	114
Мероприятие 23. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена	114
Заключение	118
Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2019 г.	120

Введение

В марте 2019 г. была утверждена Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген. 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 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.

Для этого были поставлены следующие задачи:

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

2. Мониторинг состояния загрязнения окружающей среды, в том числе на территории действующих и законсервированных производственных объектов, и оценка вклада атмосферного переноса из средних широт в уровни загрязнения природной среды архипелага.

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

5. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.

6. Исследование межгодовой изменчивости параметров снежного покрова и многолетней мерзлоты, влияющих на деятельность человека в Арктике;

7. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген.

8. Исследование динамики углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген в условиях меняющегося климата.

9. Разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах.

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

11. Исследование уровня геодинамического риска в районе архипелага Шпицберген и в частности в природно-технических системах (ПТС) районов угледобычи на архипелаге.

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

13. Исследование растительно-почвенных ресурсов и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.

14. Совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями Западного Шпицбергена в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия.

15. Исследование мохообразных и лишайников на градиенте тундровая зона – полярные пустыни в западноевропейском секторе Арктики и Кольской Субарктике.

16. Геологическое изучение и оценка минерально-сырьевого потенциала недр архипелага Шпицберген, сбор материалов для региональной геологической корреляции

разновозрастных комплексов и палеотектонических построений как в пределах Баренцевоморского, так и в масштабах Западно-Арктического регионов.

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

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

19. Мониторинг психического и физиологического состояния жителей российских населенных пунктов на арх. Шпицберген.

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

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

Для решение поставленных задач Программа были сформированы 23 Мероприятия, выполняемых 13 организациями-участниками Консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген»:

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. Проведение учебной практики для студентов-географов на базе РНЦШ. Мероприятие 10. Работы по линии международного сотрудничества на Шпицбергене. Мероприятие 11. Логистическое обеспечение и развитие научного консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген».

ФГБУ «Мурманское УГМС – Мероприятие 12. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

ФГБУ «НПО «Тайфун» – Мероприятие 13. Фоновый и локальный экологический мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген.

Организации Роснедр

ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и АО «ПМГРЭ» – Мероприятие 14. Региональные геолого-геофизические исследования с целью изучения геологического строения и минерально-сырьевого потенциала территории архипелага Шпицберген.

Организации Минобрнауки

ФГБУН «ИГ РАН» – Мероприятие 15. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген. Мероприятие 16. Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата.

ФГБУН «КНЦ РАН» – Мероприятие 17. Изучение медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов на организм человека в условиях арх. Шпицберген.

ФГБУН «ММБИ КНЦ РАН» – Мероприятие 18. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген.

ФГБУН «ПАБСИ КНЦ РАН» – Мероприятие 19. 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 20. 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 «ПГИ» – Мероприятие 21. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли.

ФГБУН «ИА РАН» – Мероприятие 22. Сохранение и исследование памятников российского культурно-исторического наследия на архипелаге Шпицберген.

ФГБУН «ИФА им. А.М. Обухова РАН» – Мероприятие 23. Разработка параметризаций для расчета характеристик взаимодействия атмосферы и поверхности над сложным рельефом в полярных районах.

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 в себя:

- изучение аэрозоля и атмосферных примесей в приземном слое воздуха с целью определения вклада переноса из умеренных широт в состав антропогенных примесей на арх. Шпицберген,
- исследование теплового баланса снежно-ледникового покрова, необходимое для 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,
- изучение особенностей энергообмена атмосферы с подстилающей поверхностью в прибрежной зоне Западного Шпицбергена с помощью данных, полученных градиентным метеокомплексом, установленным на криосферном полигоне АНИИ.

Изучение оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля

С октября 2018 г. по сентябрь 2019 г. Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ) Росгидромета совместно с Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА) СО РАН продолжены измерения характеристик атмосферного аэрозоля на архипелаге Шпицберген. Измерения направлены на изучение особенностей динамики среднерегионального аэрозольного фона, а также влияния дальнего переноса аэрозольных загрязнений и воздействия местных источников. Контроль содержания в аэрозоле сажи используется для оценок воздействия антропогенных источников аэрозоля. Измерения характеристик атмосферного аэрозоля выполнялись на территории ГМО «Баренцбург» сотрудниками АНИИ: Лубо-Лесниченко К.Е., Мовчан В.В., Масловский А.С. под руководством зав. лаб. отдела взаимодействия океана и атмосферы Радионова В.Ф. (vradion@aan.ru).

Аэрозольная станция содержит в своем составе приборы для измерения основных микрофизических характеристик аэрозоля и обеспечивает круглосуточные наблюдения динамики аэрозольного состава в приземном слое воздуха. Полученные результаты позволяют оперативно контролировать изменчивость аэрозольного загрязнения воздуха для различных временных масштабов (сутки, месяц, сезон) и при накоплении достаточного объема данных используются для разработки средних эмпирических микрофизических моделей аэрозоля в регионе работы станции.

Для измерений АОТ и общего влагосодержания атмосферы использовались солнечные фотометры SP9 (21318 замеров) и SPM (1177 замеров). В комплекс аппаратуры также входят: четырехволновой дифференциальный аэталометр МДА-02, аэталометр АЕ-33, оптический счетчик частиц AZ-10, оптический счетчик частиц Grimm 1.109, аспиратор аэрозольных частиц на фильтры (в составе воздушного насоса HAILEA, ротаметра и фильтродержателя).

В течение года измерялись: интегральные (по всей толще атмосферы) характеристики – аэрозольная оптическая толщина (АОТ) 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.

Временная изменчивость средних значений спектральных составляющих аэрозольной оптической толщины τ_{λ}^{α} , параметра Ангрстрема α ($\tau^{\alpha}(\lambda)=\beta \cdot \lambda^{-\alpha}$), АОТ мелко- и грубодисперсного аэрозоля ($\tau_{0.5}^f$, τ^c), а также влагосодержания атмосферы в районе Баренцбурга в период измерений объединены на рис. 1.1.

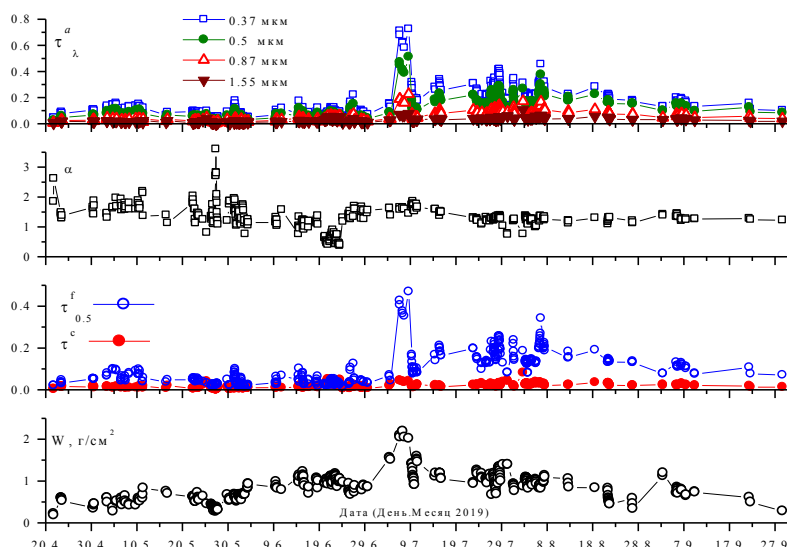


Рисунок 1.1 – Вариации АОТ (0,37, 0,50, 0,87 и 2,14 мкм), показателя Ангрстрема α , $\tau_{0.5}^f$, τ^c и влагосодержания атмосферы W в районе Баренцбурга в 2019 г.

По средним значениям уровень аэрозольного замутнения и селективность спектрального хода АОТ в 2019 г. оказались выше, чем в предыдущие годы. Средние значения $\tau_{0.5}^f$ и α в период 2011-2018 гг. (по дневным значениям) составляли $0,084 \pm 0,068$ и $1,27 \pm 0,34$, соответственно. То есть превышение в 2019 г. для $\tau_{0.5}^f$ составляет около 30%, а для α – около 4%.

Особенность 2019 г. проявилась и в сезонной изменчивости АОТ. Минимальные значения АОТ атмосферы в отличие от средних многолетних наблюдались в период апрель-июнь, а максимальные в июле (рис. 1.2) Повышение замутнение атмосферы началось 06.07.2019 г. с резкого скачка АОТ, продолжавшегося три дня, за которым последовал достаточно длительный период, в течение которого значения АОТ превышали средний многолетний уровень. В 2019 г. основные отличия с многолетними данными проявляются в коротковолновой части спектра, то есть обусловлены изменениями содержания в атмосфере мелкодисперсного (субмикронного) аэрозоля. Повышенное содержание мелкодисперсного аэрозоля в атмосфере над Баренцбургом в летне-осенний периоды отразилось и в межгодовой изменчивости $\tau_{0.5}^f$ – в 2019 г. наблюдаются максимальные значения (рис. 1.2). Как следует из карт обратных траекторий и карт локализации крупных лесных пожаров, всплеск атмосферного замутнения 06-08.07.2019 г., был обусловлен выносом мелкодисперсного пирогенного аэрозоля из районов оз. Байкал и севера Западной Сибири (рис.1.3). Объяснение причины повышенных значений АОТ в последующий период (июль-август) требует дальнейшего анализа.

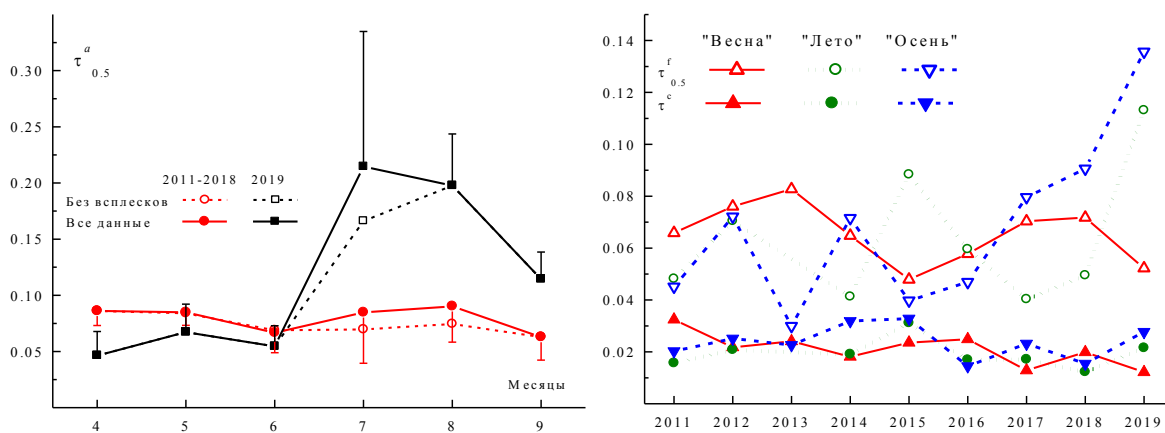


Рисунок 1.2 – Среднемесячные значения $\tau_{0.5}^f$ в 2019 г. и 2011-2018 гг. (слева) и межгодовая изменчивость сезонных значений оптической толщины грубодисперсного (τ^c) и мелкодисперсного ($\tau_{0.5}^f$) аэрозоля (справа)

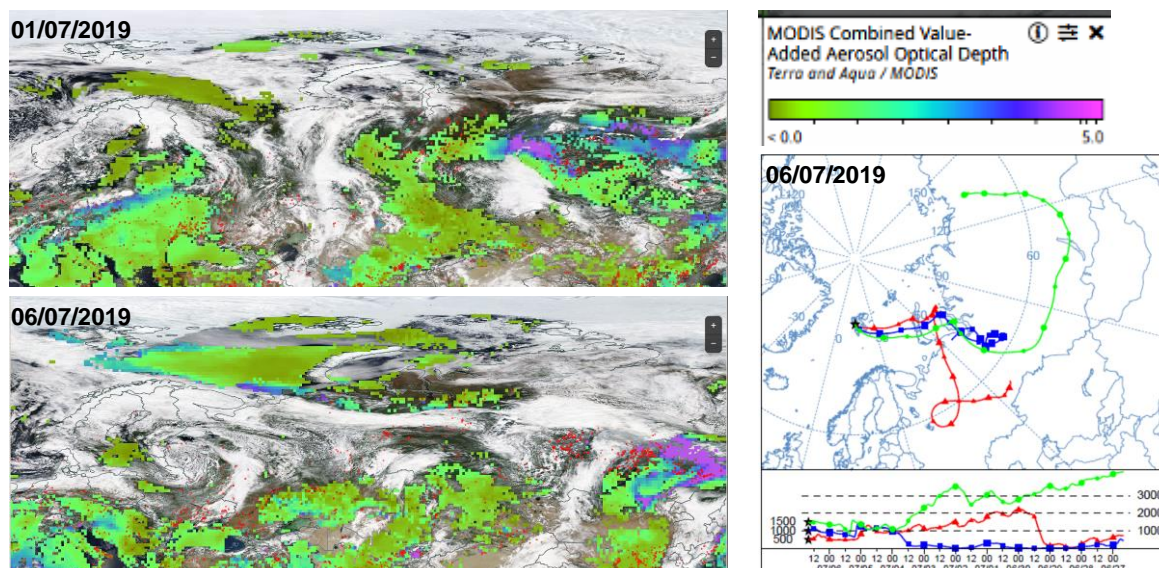


Рисунок 1.3 – Карты пожаров (красные точки), АОТ(550нм) MODIS (Aqua & Terra) (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>) и карта обратных траекторий для 6 июля арх. Шпицберген (<aeronet.gsfc.nasa.gov>)

В динамике влагосодержания (рис.1.1), несмотря на межсуточные вариации, как и в предыдущие годы, диапазон изменчивости определяется в основном сезонным ходом: увеличение W от весны к лету и снижение к осени. Среднее значение влагосодержания в последней декаде апреля составило $\bar{W}=0,39\pm 0,19$ г/см², в июле $\bar{W}=1,33\pm 0,39$ г/см², в сентябре $W=0,71\pm 0,27$ г/см².

Временная изменчивость массовой концентрации сажи M_{BC} , счетной N_A и массовой M_A концентраций аэрозоля показана на рисунке 1.4. На рисунках жирными линиями отмечены кривые с плавным сглаживанием (и выбраковкой исходных данных подверженных влиянию локальных источников сажи и аэрозоля) в течение 24 часов, то есть эти кривые иллюстрируют динамику во времени среднесуточных значений концентраций. Диапазон вариаций массовой концентрации сажи за полный период измерений составил $0,002\pm 3,96$ мкг×м⁻³ при среднем значении $0,094$ мкг×м⁻³.

В форме годового хода массовой концентрации «сажи» в 2018-2019 гг. (рис. 1.4) проявляются существенные отличия по сравнению с предыдущими годами. Так, повышенные значения концентраций «сажи» наблюдались в октябре 2018 года и эти значения сопоставимы с максимумами, наблюдавшимися при воздействии лесных пожаров 2015 г. При обработке данных проводилось сопоставление с данными метеонаблюдений. В октябре 2018 г. нередко наблюдались ситуации, когда ветры с юго-юго-западного направления приносили к измерительному полигону дым от трубы ТЭЦ. Несмотря на то, что такие ситуации подвергались выбраковке, возможно, что в итоговой оценке среднемесячной концентрации остался вклад таких дымовых выносов.

Один из среднемесячных максимумов, связанный с влиянием «арктической дымки», как и в 2018 г., проявился в апреле 2019 года. Кроме того, повышенные концентрации M_{BC} , сопоставимые с весенним максимумом, наблюдались также в январе и в июне 2019 г. Форма годового хода концентраций в июле-сентябре повторяет тенденцию уменьшения массовых концентраций «сажи» в летние месяцы, с последующим их ростом к сентябрю.

Диапазон вариаций массовой и счетной концентраций аэрозоля с октября 2018 по сентябрь 2019 составил: $M_A = 0,005\pm 46,3$ мкг×м⁻³ при среднем значении $1,49$ мкг×м⁻³; $N_A = 0,083\pm 78,6$ см⁻³ (среднее $6,39$ см⁻³). Максимальные значения счетной концентрации аэрозоля наблюдались в марте 2019 года. В летний и осенний периоды происходило снижение средних значений N_A , за исключением всплеска концентраций в июле. В период с октября по декабрь 2018 г. по абсолютным значениям счетная концентрация является минимальной с

момента начала круглогодичных измерений в 2016 г. Доля массовой концентрации аэрозоля максимальна в апреле и в июне 2019 г., что согласуется с максимумами массовой концентрации «сажи». По абсолютным значениям массовая концентрация аэрозоля в период «полярной ночи» является минимальной, а в период «полярного дня» занимает промежуточное положение между максимальными значениями в 2016 г. и минимальными в 2017-2018 гг.

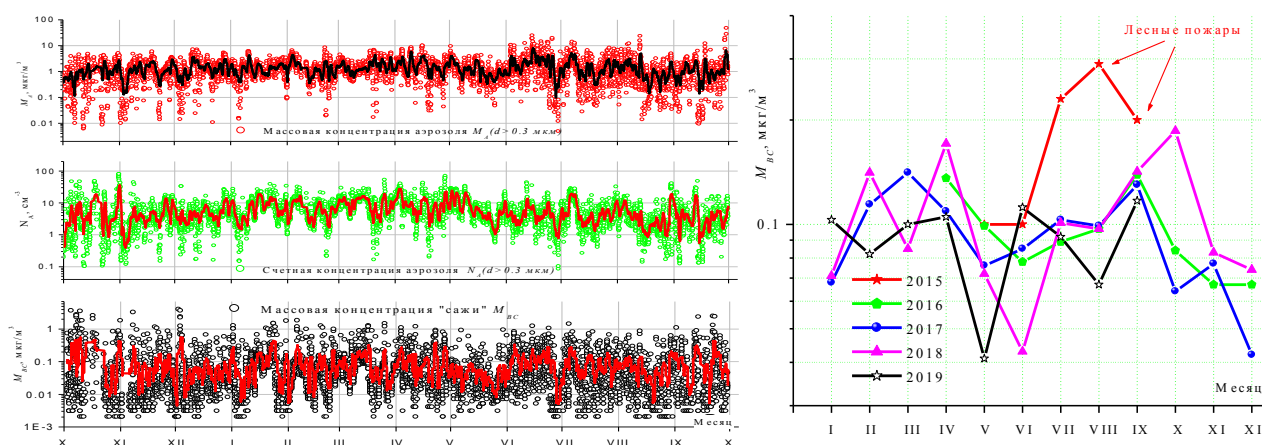


Рисунок 1.4 – Временной ход массовой концентрации сажи, счетной и массовой концентраций аэрозоля с октября 2018 г. по сентябрь 2019 г. в пос. Баренцбург (слева) и среднемесячные значения массовых концентраций сажи в 2015 – 2019 гг. в пос. Баренцбург (справа)

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

Целью этого раздела работ является уточнение влияния загрязненности снежного покрова на его отражательные характеристики на примере ледника Альдегонда и пос. Баренцбург и исследования теплового баланса снежных (весной) и ледниковых (летом) покровов для корректного описания процессов абляции и процессов энергомассообмена атмосферы с подстилающей поверхностью и физических процессов в радиационно-активном деятельном слое ледников и снежного покрова тундры. Экспедиционные работы выполнялись в весенний и летний периоды. Исполнители работ: Безгрешнов А.М., Прохорова У.В., Курапов М.В., Парамзин А.Н. Руководитель: Иванов Б.В. (b_ivanov@aari.ru)

Регулярный мониторинг отражательных характеристик поверхности снежного покрова (альbedo в двух спектральных диапазонах, 400-700 нм и 300-3000 нм) и отбор проб поверхностного слоя снежного покрова выполнялся на «стандартном» разрезе на леднике Альдегонда (11 точек) и на территории поселка Баренцбург от м. Хееродден до м. Финнесет и включал 20 точек, расположенных, по возможности, вблизи основных потенциальных источников загрязнения: ТЭЦ, угольные склады, отвалы пород и т.п. Такие наблюдения выполняются с 2013 г. Основные результаты, полученные на леднике Альдегонда, представлены таблице 1.1.

Таблица 1.1. Средняя концентрация (мг/л талого снега) поверхностного загрязнения в пробах снега на леднике Альдегонда в апреле

Год	2013	2016	2017	2018	2019
Концентрация	4,269	3,966	3,536	2,134	8,700

Подтвердилась устойчивая тенденция снижения средней концентрации поверхностного загрязнения (интегральное количество загрязняющих частиц минерального и биологического происхождения) за предшествующий период. При этом среднее альbedo поверхности, как следует из таблицы 1.2, практически не изменилось и находится в пределах точности расчета этой величины по данным полевых измерений (Александров и др., 1996).

Таблица 1.2. Среднее альbedo (%) поверхности снежного покрова ледника Альдегонда

Год	2016	2017	2018	2019
300-3000 нм	80	80	85	80
400-700 нм	84	88	88	88

Минимальные величины альbedo (58 и 64%) и максимальные значения загрязнения поверхности (0,8 г/л), как и ожидалось, были обнаружены в районе основного угольного склада в центре поселка (рис. 1.5).

Непрерывные измерения характеристик радиационно-активного (деятельного) слоя снежного покрова позволили оценить его реакцию на процессы, протекающие в поверхностном слое воздуха (оттепели, сопровождающимися осадками в виде мокрого снега и дождя) (рис. 1.6). Также был зафиксирован момент (26.04.2019), когда вся поверхностная толща снега за счет прогрева, обусловленного повышением температуры воздуха и радиационным прогревом, достигла температур близких к 0°C и процесс таяния приобрел необратимый характер. При этом до этой даты температура поверхности была ниже температуры воздуха (инверсионные условия), что обуславливало ее определенное выхолаживание. Однако положительный радиационный баланс (приток радиационного тепла к поверхности и в верхние слои снега) был значительно выше, а увеличение облачности (циклон) способствовало дополнительному увеличению температуры приземного воздуха.

Попытка напрямую измерить величину испарения с поверхности снежного покрова с применением методики, использовавшейся при аналогичных измерениях в Антарктиде, успеха не имела. Проблемы («увеличение» массы измеряемого объема) связаны с неблагоприятными погодными условиями в период проведения экспериментов в районе ГМО «Баренцбург». Наблюдались сильные ветра, сопровождаемые значительным горизонтальным переносом снега (поземок) или выпадение твердых осадков в виде снега. Периоды без сильного ветра, переноса снега и осадков наблюдались крайне редко и носили непродолжительный. Подобные эксперименты следует проводить, когда процессы таяния приобретают необратимый характер, а выпадение твердых осадков отсутствует.

Радиационный баланс поверхности определяется не только величиной приходящей коротковолновой солнечной радиацией, которая связана с астрономическими факторами,

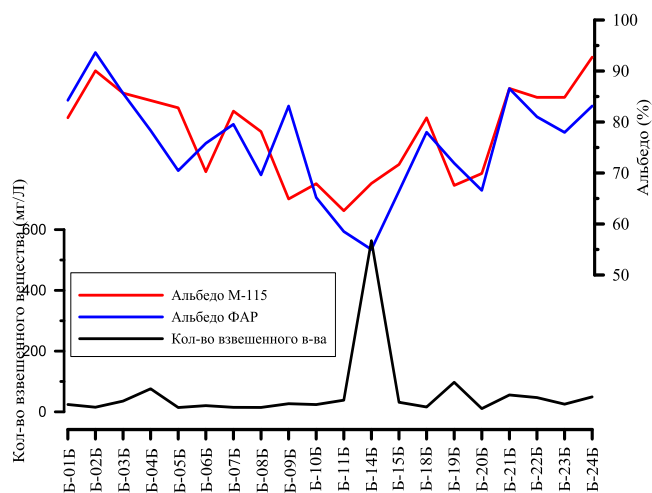


Рисунок 1.5 – Альbedo (%) и загрязнение поверхности снега (мг/л) в районе поселка Баренцбург

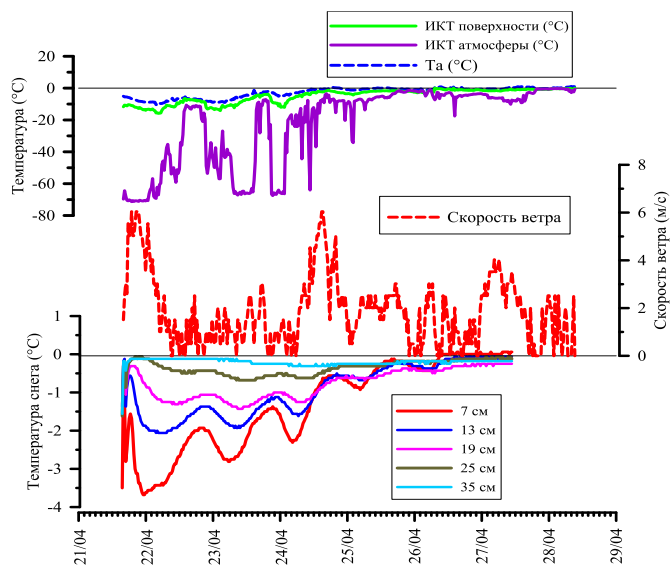


Рисунок 1.6 – Результаты измерений характеристик деятельного слоя снежного покрова и приземного слоя воздуха а районе метеоплощадки ГМО «Баренцбург» (21-29 апреля 2019 г.)

влажностным содержанием атмосферы, наличием различных газовых компонент и влиянием облачности, но и собственно отражательной способностью подстилающей поверхности (альбедо). Альбедо является важной характеристикой для определения поглощённой коротковолновой радиации радиационно-активным слоем ледника, которая, в свою очередь, определяет долю абляции, обусловленную радиационными причинами. Пространственные измерения альбедо (так называемые, площадные/маршрутные съёмки) на ледниках Шпицбергена проводились в 2005, 2006 и 2016 гг. (Ivanov et al. 2015). Однако, пешеходные маршруты являются крайне трудоемкими, продолжительными и проходят при постоянной смене условий освещенности, что при известной инерционности стандартных средств измерений (СИ), таких как пиранометры М-115М, приводят к существенной неопределенности при анализе полученных данных.

В летнем этапе экспедиции 2019 г. были использованы новейшие СИ – беспилотные летающие аппараты (БПЛА), которые зарекомендовали себя в аналогичных исследованиях в международной экспедиции «Трансарктика-2019» в Арктическом бассейне (Фролов и др. 2019). Нами была использована популярная модель Phantom Pro-4 и измерительный блок, сконструированный на базе малоинерционного фотометра LI-190SA, фотокамеры, ИК-термометра и микропроцессора «RaspberryPi». Измерительный блок является «know-how», разработанное в отделе ледового режима и прогнозов ААНИИ. На методику расчета альбедо с помощью этого устройства получен патент, а результаты применения опубликованы (Zhuravsky et al. 2018; Журавский и др. 2019). Приобретение оборудования и разработка измерительного блока осуществлялись при поддержке гранта РФФИ № 05-18-00470.

Измерения с помощью БПЛА позволили объективно оценить особенности поверхностного распределения альбедо на леднике Альдегонда при различных синоптических ситуациях (06.08.19 – период интенсивного таяния; 16.08.19 – временное похолодание, выпадение твердых осадков в виде снега), чего невозможно достичь путем «рутинных» инструментальных наблюдений (рис. 1.7).

Общая выявленная закономерность – это низкие величины альбедо в нижней части ледника Альдегонда, что обусловлено высокой концентрацией элементов обломочных горных пород. В верхней части (рис. 1.7а) встречаются участки, покрытые фирном, что обуславливает более высокие значения альбедо. Свежевыпавший снег в значительной степени нивелирует пространственные различия альбедо, полностью изменяя картину отражения солнечной радиации с поверхности, изменяя радиационный баланс и скорость поверхностного таяния (рис. 1.7б). В результате обработки данных удалось подтвердить количественную связь величин альбедо с высотой поверхности ледника над уровнем моря, что было отмечено в съёмках 2016 и 2017 гг. Альбедо поверхности ледника испытывает значительную пространственную и временную изменчивость в летний период и это обстоятельство имеет большое значение для корректных расчетов радиационного баланса и доли энергии солнца, затрачиваемой на нагрев, таяние поверхности и внутрислойное таяние. Всё это должно учитываться в современных математических моделях различного уровня разрешения.

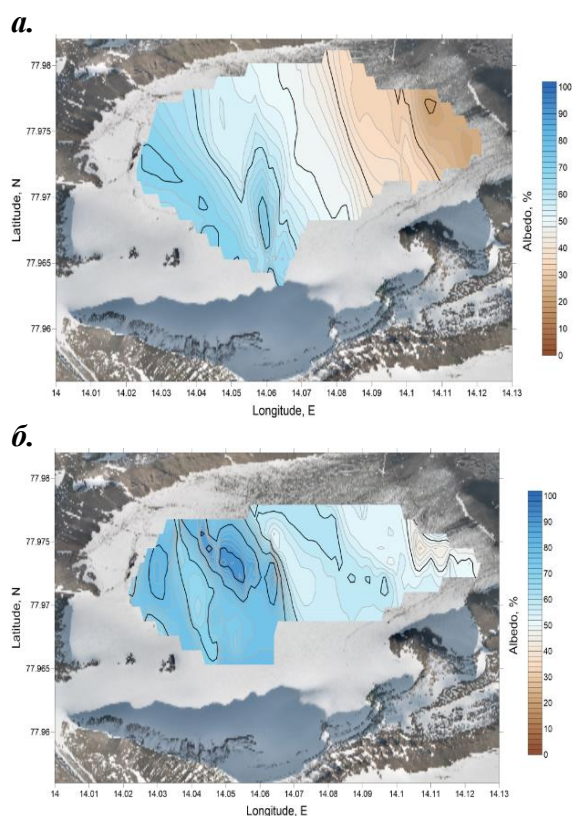


Рисунок 1.7 – Измерения альбедо на леднике Альдегонда (а) – 06.08.19 и (б) – 16.08.19

Ледник Альдегонда можно рассматривать в качестве базового (тестового) полигона, учитывая данные, полученные на нем в течение ряда лет специалистами ААНИИ, ИГ РАН, СПбГУ. Очевидно, что дальнейшую совместную наблюдательскую программу необходимо расширить, концентрируя внимание на отдельных, характерных участках ледника – зонах максимальной абляции, различных условиях затененности, естественного загрязнения, наличия площадей с интенсивным развитием криоконитов, синхронизируя наземные наблюдения с орбитами, периодичностью съемок, шириной полосы обзора (съемки) соответствующих ИСЗ высокого разрешения (типа Sentinel).

Измерения, выполненные на леднике Эсмарк, позволили впервые в отечественной практике оценить альbedo краевой зоны выводных ледников, посещение которой и проведение стандартных наземных измерений невозможно из соображений безопасности (рис.1.8). С использованием БПЛА удалось построить 3-D модель поверхности и получить подробную картину рельефа этой зоны (рис.1.8б,в), что необходимо для оценки ее суммарного радиационного баланса и, как следствие, потери массы ледника в целом. Предварительные результаты проведенных работ были представлены на рабочем семинаре по проекту Ny-Ålesund Atmospheric Flagship (Ivanov 2019).

Программа микроклиматических наблюдений на леднике Альдегонда получила развитие за счёт дооборудования автоматической метеорологической станции НОВО на вершине ледника дополнительным комплектом датчиков. Это позволит регистрировать скорость и направление приземного ветра в этой точке и осуществлять мониторинг особенностей ветрового режима в различные сезоны годы на разных высотах ледника. Результаты исследований 2016-2018 гг. были представлены на международной конференции Svalbard Science Conference 2019 (Ivanov et al. 2019).

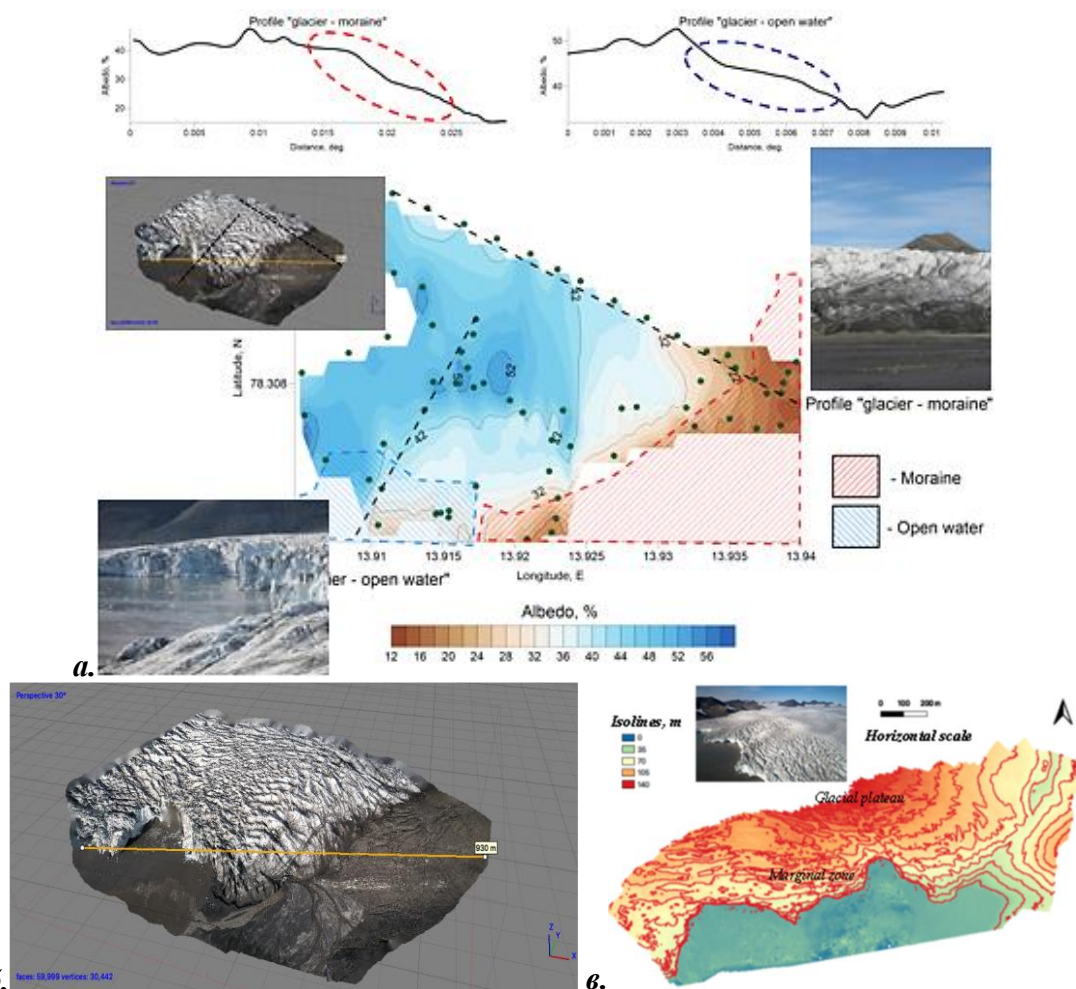


Рисунок 1.8 – Ледник Эсмарк: (а) альbedo краевой зоны; (б) 3-D модель поверхности краевой зоны; (в) карта рельефа поверхности

Список литературы:

Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Радионов В.А.// Снежный покров в Арктике. СПб, Гидрометеоздат. 1996. 214 с.

Ivanov V.V., Svyashchennikov P.N. Albedo of the snow-glacier surface of Svalbard. Atmosphere and Oceanic Physics, Issue of RAS, 2015, V. 51, № 9, pp. 943-948. <https://link.springer.com/journal/11485> DOI: 10.1134/S0001433815090108

Фролов И.Е., Иванов В.В., Фильчук К.В., Макштас А.П., Кустов В.Ю., Махотина И.А., Иванов Б.В., Уразгильдеева А.В., Сёмин В.Л., Зимина О.Л., Крылов А.А., Богин В.А., Захаров В.Ю., Малышев С.А., Гусев Е.А., Барышев П.Е., Пильгаев С.В., Ковалев С.М., Тюряков А.Б. Трансарктика-2019: зимняя экспедиция в Северный Ледовитый океан на НЭС «Академик Трёшников». Проблемы Арктики и Антарктики. 2019; 65(3):255-274. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-3-255-274>

D. M. Zhuravsky, B. V. Ivanov, S. V. Kaschin, and N. M. Kuprikov. Remote Evaluation of Albedo Using Photorecording Equipment. Atmosphere and Oceanic Physics, 2018, Vol. 54, No. 9, pp. 1266–1271. DOI: 10.1134/S0001433818090463

Журавский Д.М., Прохорова У.В., Б.В. Иванов, А.С. Янжура, Н.М. Куприков, М.В. Курапов. Полевые испытания методики фотограмметрической оценки альbedo снежно-ледниковых поверхностей. Исследования Земли из Космоса. 2019, №4, С. 18-28, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019418-28>

Ivanov B. Albedo observation using drone at Esmark and Aldegonda glaciers. Ny-Ålesund Atmosphere Flagship open workshop. 4 November 2019, Oslo, Norway <https://www.npolar.no/en/arrangement/2019-ny-alesund-atmosphere-flagship-open-workshop/>

B. Ivanov, P. Sviashchennikov, Y. Prokhorova, A. Urazgildeeva, E. Zotova, O. Mankova. Microclimatic features of Barentsburg and Pyramiden area. Modern and historical data. Svalbard Science Conference 2019. 5-6 November, Oslo, Norway. Abstract Book, №5203, с. 65. <https://forskingsradet.pameldingssystem.no/svalbard-science-conference-2019>.

Исследования режима осадков, формирования снежного покрова и коррекция методик наблюдений

Основные ошибки при измерении на метеорологической станции с использованием осадкомера Третьякова связаны как с недоучетом выпавших твердых осадков, так и вследствие их переоценки. Наибольшие погрешности, связанные с выдуванием и надуванием осадков с поверхности, наблюдаются при измерении твердых осадков и могут достигать десятков процентов. Для оценки погрешности, вызванной действием аэродинамических факторов при измерении твердых осадков проводится специальный (ежегодный) мониторинг высоты и плотности на специальном снегомерном полигоне вблизи метеорологической площадки ГМО «Баренцбург» и рассчитан водный эквивалент слоя снега, накопившийся за сезон 2018-2019 гг. На конец зимнего сезона 2019 г. он составил 144 мм (рис. 1.9). Полученный результат оказался минимальным за весь предыдущий период измерений (2013-2019 гг.), что свидетельствует о серьезной перестройке режима осадконакопления на архипелаге Шпицберген.



Рисунок 1.9 – Водный эквивалент слоя снега на конец сезона накопления твердых осадков

Изучение особенностей энергообмена атмосферы с подстилающей поверхностью в прибрежной зоне Западного Шпицбергена

Беспрецедентное потепление Арктики ставит оценку темпов деградации её криосферы в число приоритетных задач геофизики (МГЭИК, 2014). Динамика одной из её наиболее инерционных составляющих – вечной мерзлоты является целью глобального мониторинга, проводимого в рамках ряда международных проектов, включая программу Циркумполярного мониторинга активного слоя (CALM), предусматривающую измерения мощности сезонно-талого слоя (СТС) на сети стандартных наблюдательных площадок по единой методике, обеспечивающей статистическую достоверность получаемых данных (Brown et al. 2017). Однако на большей части арктического побережья и островов, испытывающих наибольшее воздействие потепления климата, мониторинг мерзлоты не проводится. В этой связи естественен интерес к эволюции мёрзлых пород на Шпицбергене, расположение которого на пути переноса тёплых водных и холодных воздушных масс делает его криосферу крайне чувствительной к изменениям взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью, а темпы изменения геокриологических условий – наиболее высокими среди арктических архипелагов.

Геокриологический мониторинг был начат РАЭ-Ш в августе 2016 г. с подготовки площадки для измерения мощности СТС, соответствующей стандартам CALM на южном берегу залива Исфьорд в 2 км к северу от Баренцбурга (рис. 1.10, см. также Мероприятие 6). Качественно новым этапом мерзлотных наблюдений стала установка в сентябре 2017 г. на ней градиентного метеорологического комплекса Campbell Scientific (CS), обеспечивающего непрерывные измерения характеристик приземного слоя атмосферы на высотах 2, 8 и 10 м.

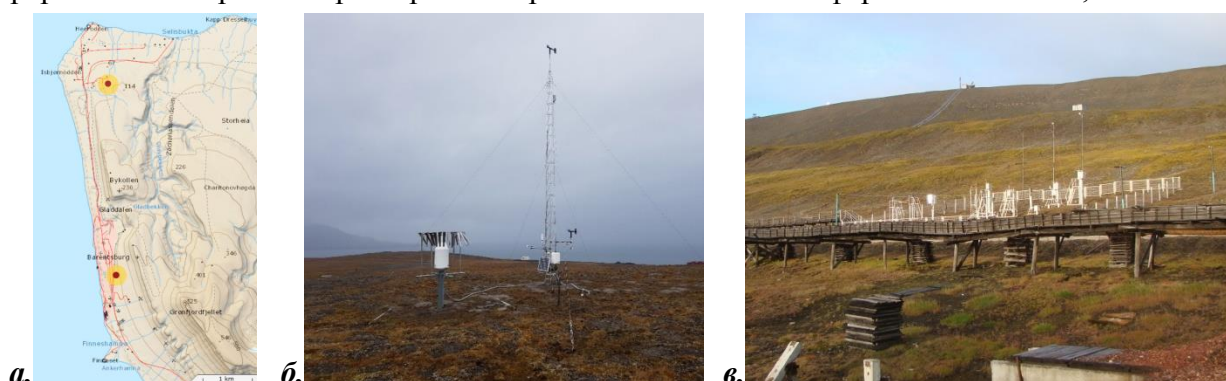


Рисунок 1.10 – (а) расположения комплекса CS и метеостанции Баренцбург на побережье Грэнфьорда (<https://toposvalbard.npolar.no>); общий вид градиентного комплекса CS (б) и метеостанции «Баренцбург» (в)

Почва в районе метеоплощадки является типичной для побережья Западного Шпицбергена и, согласно данные прямых измерений (Putkonen 1998), характеризуется однотипным криолитологическим строением и состоит гравийно-галечникового грунта с песчано-илистым заполнителем. Благодаря преобладанию бриофитов, органико-растительный покров объединяющий мохово-лишайниковый и торфяной подслои может считаться однородным, с постоянной толщиной 3 см. Первые контактные измерения показали, что мощность СТС, определенная ручным методом варьировала от 1,2 до 2,6 м (Демидов и др. 2016).

Наличие двух, сравнительно близко расположенных друг от друга метеостанций (CS и Баренцбург) закономерно ставит вопрос о сравнимости результатов их измерений, примеры которых приведены на рисунках 1.11-13. Несмотря на большой интерес к этому вопросу, проблема репрезентативности данных измерений снежного покрова в Баренцбурге остается открытой. Одной из её возможных причин считаются неудовлетворительные условия измерений на метеостанции Баренцбурга, расположенной на склоне слагающей берег фьорда морской террасы. Как следует из рисунков, они достаточно велики, особенно в скорости ветра и высоте снежного покрова.

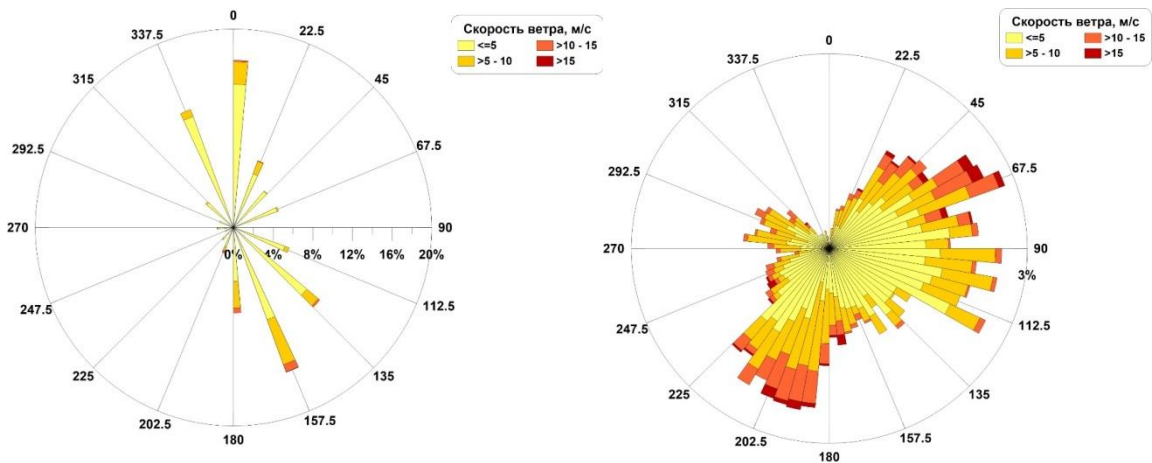


Рисунок 1.11 – Распределение скорости и направления ветра по 8-ми срочным данным метеостанции «Баренцбург» (слева) и соответствующих им данным комплекса CS (справа)

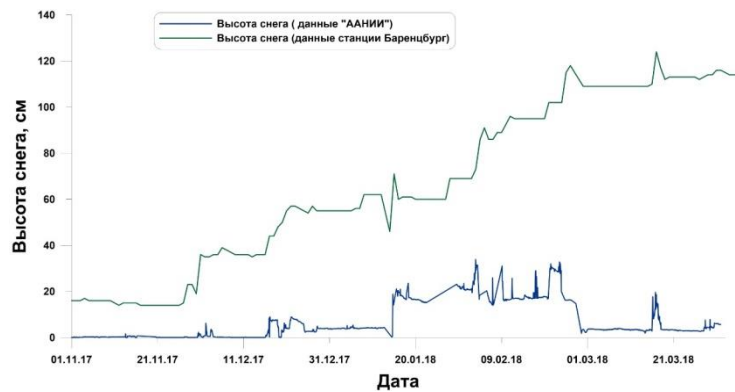


Рисунок 1.12 – Динамика высоты снежного покрова в начальный период снегонакопления по данным метеостанции «Баренцбург» и комплекса CS

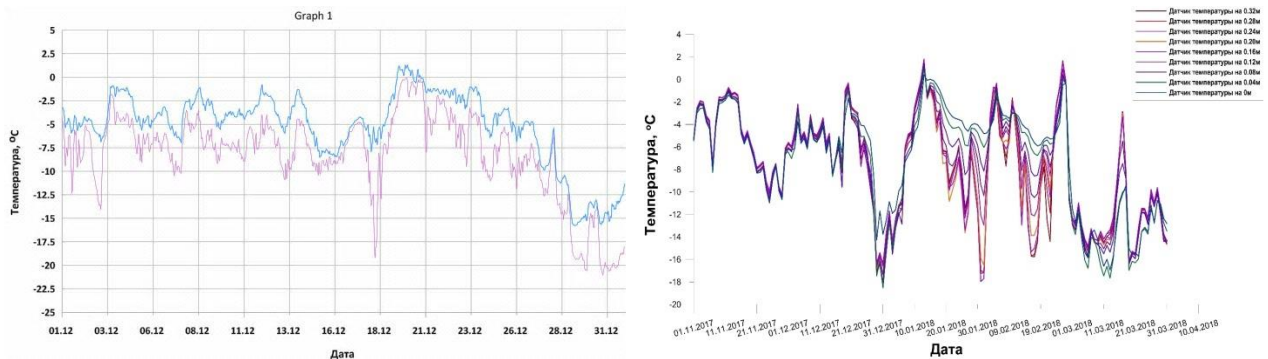


Рисунок 1.13 – Временной ход температуры воздуха на высоте 2 м (синяя кривая) и ИК-температуры подстилающей поверхности (розовая кривая), измеренных комплексом CS в декабре 2017 г. (слева); временной ход среднесуточных значений приземной температуры воздуха и толщи снега, измеренный комплексом CS в период с 01.11.2017 г. по 01.04.2018 г. на 9 горизонтах от 0 до 0,32 м над поверхностью грунта (справа)

Центральным вопросом эволюции мерзлоты является вопрос о её связи с меняющимися атмосферными условиями, решение которого до накопления длительных рядов качественных метеорологических и геокриологических данных, возможно только методами математического моделирования. Оценка многолетней динамики мощности СТС и её температуры выполнялась по данным ГМО «Баренцбург» 1946-2018 гг. с помощью варианта стационарной модели GIPL (Sazonova, Romanovsky 2003). В основе модели лежит предположение о балансе теплооборотов холодного и теплого периодов и гармоническом виде годового цикла температуры T , амплитуда которого A экспоненциально затухает по мере распространения тепловой волны (Кудрявцев и др. 1974). Другими входными параметрами является средняя высота снежного и растительного покровов, а также осредненные теплофизические характеристики снега, растительности и грунта. Мощность

СТС X и его среднегодовая температура определяются из решения алгебраической задачи (квадратного уравнения относительно X) и, при более чем скромных требованиях к вычислительному ресурсу, дают результаты, точность которых, по оценке (Sazonova, Romanovsky 2003) сопоставима как с данными измерений, так и расчётов по физически полным термодинамическим моделям.

Значения амплитуды годового цикла температуры уменьшаются при увеличении временной дискретности входных температурных данных из-за неизбежного сглаживания абсолютных максимумов и минимумов. При этом, наименьшее значение амплитуды получается при расчёте по среднемесячным данным; более высокие значения – при использовании, соответственно, среднесуточных и срочных (максимальных и минимальных) данных. Динамика их среднегодовых значений и их квадратичные тренды приведены на рис.1.14, откуда следует, что для них характерны существенные межгодовые вариации, отражающие вариабельность атмосферных условий Западного Шпицбергена.

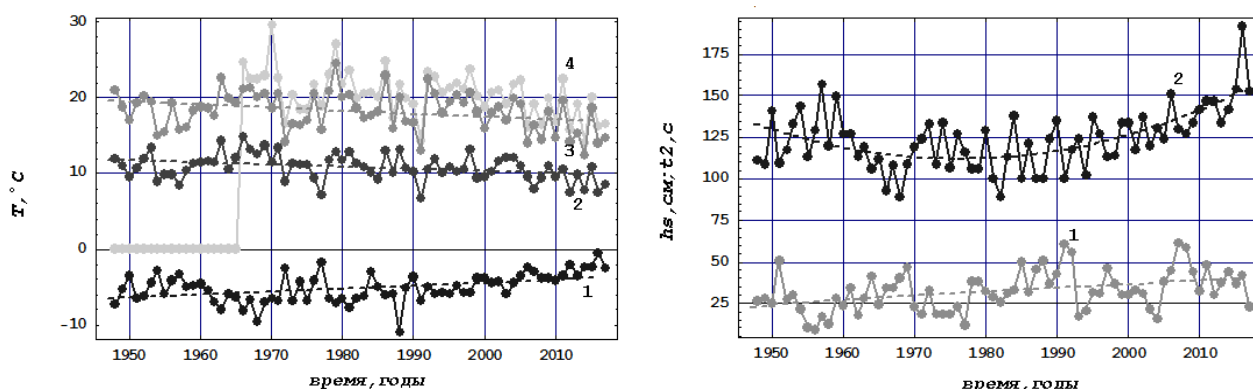


Рисунок 1.14 – Многолетняя динамика среднегодовых значений и трендов температуры воздуха (1) и её амплитуд, определённых по среднемесячным (2), среднесуточным (3) и срочным (4) данным (слева) и её высоты снега (1) и продолжительности дней с положительной температурой (2) (справа)

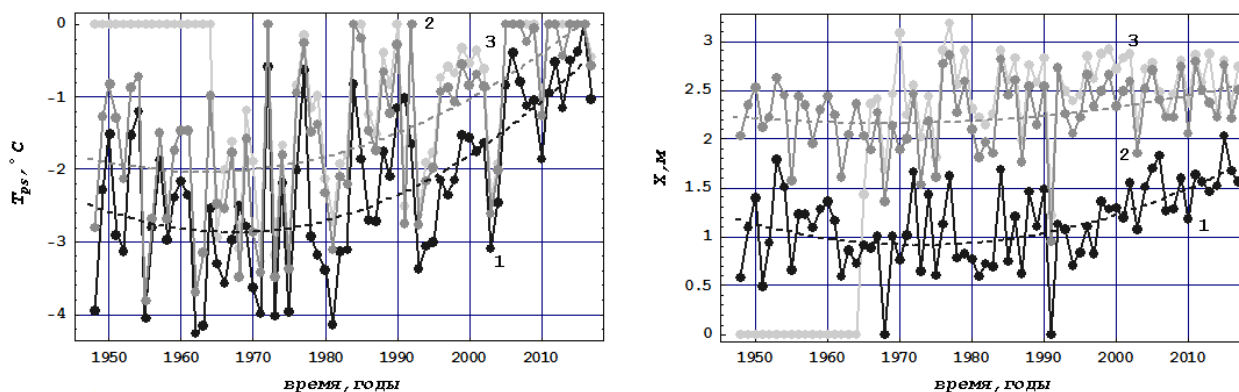


Рисунок 1.15 – Многолетняя динамика температуры мерзлоты (слева) и мощности СТС (справа), рассчитанных по среднемесячным (1), среднесуточным (2) и срочным (3) метеоданным

Несмотря на существенную разность значений, обусловленную использованием среднемесячных, среднесуточных и срочных данных, многолетние распределения T_{ps} и X (рис.1.15) и их тренды демонстрируют уверенный рост, начинающийся примерно с середины 1970-х гг. Их характерной чертой является существенная межгодовая изменчивость, обусловленная, исходным предположением о гармоническом виде годового температурного цикла. Поэтому модель обладает высокой чувствительностью к амплитуде температуры воздуха. При достаточно хорошем совпадении рассчитанных оценок с известными данными следует иметь в виду, что параметры протаивания могут обладать значительной пространственной изменчивостью, обусловленной вариативностью теплофизических свойств грунтов и НП, начиная уже с расстояний порядка единиц метров. Это обусловлено противоречием между детерминистическим характером одномерной математической модели, изначально разработанной для точечных расчетов, и стохастической природой

физических процессов, формирующих сезонное протаивание мерзлоты в конкретной точке территории. Поэтому в пределах любой площадки глубина СТС является, в известном смысле, случайной величиной, обладающей функцией распределения, которую невозможно учесть в принципе в рамках используемого детерминистического метода (Анисимов 2008).

Представление о характере энергомассообмена даёт распределение температур в граничащих слоях воздуха, растительности и грунта (рис.1.16) в период окончания летнего прогрева и начавшегося осенне-зимнего выхолаживания подстилающей поверхности, построенный по данным измерений комплекса CS. Особый интерес в этом распределении представляют колебания температуры грунта на глубине 10 см и температурой подстилающей поверхности. Преобладания значений первой над второй в период максимального теплозапаса грунта свидетельствует о возникновении неустойчивости паровоздушной смеси, насыщающей поры напочвенных покровов и, как следствие, возможном функционировании конвективного механизма тепло-, массо- и газообмена грунта с пограничным слоем атмосферы.

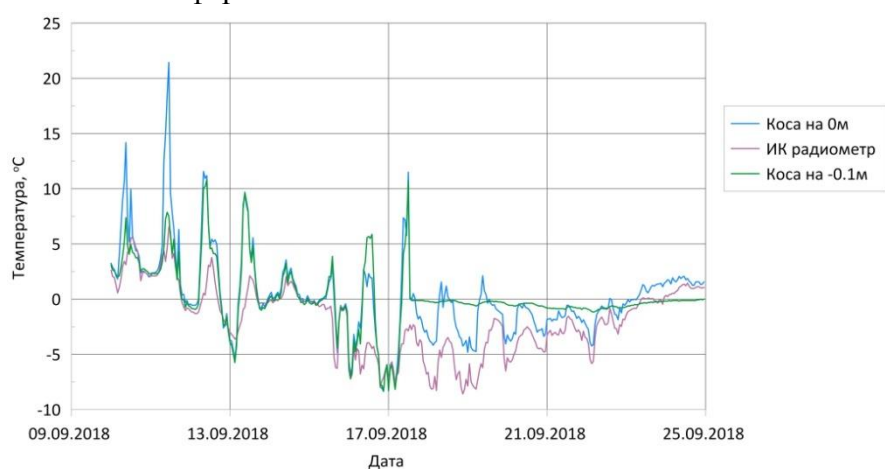


Рисунок 1.16 – Распределение температуры подстилающей поверхности, измеренной ИК-радиометром (фиолетовая кривая), полупроводниковым термистором (голубая кривая) и температуры грунта на глубине 10 см (зелёная кривая) в сентябре 2018 г.

Результаты работ 2018-2019 гг. позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Получаемые данные свидетельствуют об устойчивой работе установленной аппаратуры и о реальности перспектив дальнейшего получения неизвестной до настоящего времени, информации о тепломассообменных процессах во взаимодействующих пограничных слоях атмосферы и литосферы в прибрежной зоне высокоширотной Арктики, наиболее подверженной влиянию глобального потепления. В частности, собранные данные свидетельствуют о возможности конвективного тепломассопереноса, массо- и газообмена, грунта с пограничным слоем атмосферы.

2. Результаты измерений, выполняемых комплексом CS, позволяют существенно дополнять метеоинформацию станции Баренцбург и, при необходимости, служить её альтернативным источником.

3. Модельные оценки влияния атмосферных характеристик на многолетнюю динамику сезонного протаивания грунта Западного Шпицбергена за последние 70 лет подтверждают согласованность мерзлотно-климатических изменений с ходом глобального потепления. При существенной межгодовой изменчивости рассчитанных параметров, их положительные тренды демонстрируют уверенный рост глубины СПС и его температуры, свидетельствующего о деградации вечной мерзлоты на Западном Шпицбергене. Несмотря на использование в модели ряда упрощающих предположений и пробелы в используемых данных, расчёты показывают, что стационарные модели могут с успехом использоваться при анализе пространственно-временной динамики мерзлоты на региональном масштабе.

Результаты исследований представлены в публикациях:

Богородский П.В., Ермохина К.А., Кустов В.Ю., Мовчан В.В. Возникновение термической конвекции в напочвенных покровах сезонно-талых грунтов. Всероссийская конференция «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» (КЛИМАТ 2019) 26 – 28 ноября 2019 г., Москва.

Богородский П.В., Ермохина К.А., Кустов В.Ю., Мовчан В.В. Возникновение термической конвекции в мохово-снежном покрове сезонно-протаивающих грунтов побережья Западного Шпицбергена// Криосфера Земли (на рецензии).

Список литературы:

Анисимов О.А. Современные и будущие изменения вечной мерзлоты: синтез наблюдений и моделирования. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2008. №1 (78). С.7 – 16.

Демидов Н.Э., Караевская Е.С., Веркулич С.Р., Никулина А.Л., Саватюгин Л.М. Первые результаты мерзлотных наблюдений на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ) // Проблемы Арктики и Антарктики, 2016, №4 (110), с.67-79.

Кудрявцев В.А., Гарагуля Л.С., Кондратьева К.А., Меламед В.Г. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. М.: Наука, 1974. 431 с.

МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. Женева, Швейцария, 163 с.

Brown J., Hunkel K.M., Nelson F.E. The circumpolar active layer monitoring (CALM) program: research designs and initial results // Polar Geogr., 2000, No.24, p.163-258.

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

Sazonova T.S., Romanovsky V.E. A model for regional-scale estimation of temporal and spatial variability of active-layer thickness and mean annual ground temperatures. // Permafrost and Periglacial Processes. 2003. No.2. P.125 – 140.

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

Мероприятие 2 включает комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов архипелага Шпицберген. Гидрологические исследования проводились в весенне-осенний период и продолжили экспедиционные наблюдения ААНИИ, начатые в 2001 году.

Весенние наблюдения велись для оценки распределения снеготпасов на водосборах исследуемых рек (рис. 2.1), исследования характера структуры и текстуры залегания снежно-ледяного покрова в долинах рек и на ледниках, оценки степени загрязненности снежного покрова. Работы по данному этапу продолжались с 1 апреля по 5 мая 2019 г. Исполнители: Ромашова К.В. (romashova.kv@hotmail.com), Василевич И.И., Коробов П.В., Звегинцев Д.И.

Задачей летнего этапа гидрологических исследований являлся мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, включая проведение наблюдений за гидрохимическими характеристиками и элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген, проведение специализированных лимнологических наблюдений и гидрохимических исследований (рис. 2.1). Экспедиционные наблюдения выполнялись в период с 3 июня по 29 сентября 2019 г. Исполнители: Ромашова К.В., Василевич И.И., Фалеева О.А., Сиваков Д.О.

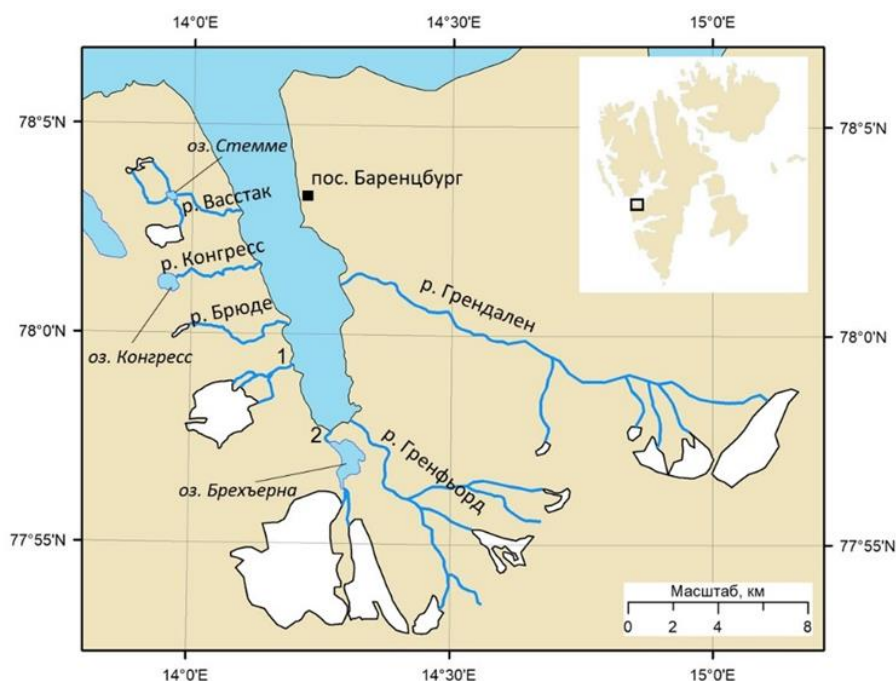


Рисунок 2.1 – Районы проведения гидрологических исследований в бассейне залива Грөнфьорд в 2019 г. Цифрами обозначены реки 1-Альдегонда, 2-Бретьерна

Особенности снегонакопления на водосборах рек и ледниках залива Грөнфьорд

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

Основные результаты снегомерных исследований 2019 года представлены в таблице 2.1. В 2019 г. в среднем снеготпасы больше на 50 мм в.э., чем в 2018 г.

Таблица 2.1. Результаты снегомерной съемки 2019 г.

Объект	Высота снега, см			Средняя плотность снега, г/см ³	Запас воды в снеге, мм в. э.
	мин.	макс.	ср.		
Ледник Альдегонда	79	240	156	0,339	521
Морена л. Альдегонда	20	250	89	0,315	463
Ледник В. Грөнфьорд	28	271	118	0,437	564
Ледник З. Грөнфьорд	18	260	138	0,408	520
Долина р. Конгресс	18	180	65	0,307	280
Долина р. Брюде	19	235	92	0,309	378
Долина р. Грөн	16	117	50	0,288	298
Долина р. Грөнфьорд	14	200	60	0,305	347

Распределение снежного покрова на ледниках Зап. и Вост. Грөнфьорд однородно по ширине ледника, высота снежного покрова уменьшается к языку ледника, что связано с ориентацией ледников с юга на север. Распределение снежного покрова ледника Альдегонда более изменчиво и достаточно сильно зависит от силы и направления ветра, в большинстве случаев основное снегонакопление происходит вблизи крутых выступов скальной породы по краям ледника. В 2019 году наибольшее количество снеготпасов зарегистрировано в западной и юго-западной частях поверхности ледника.

В долинах рек высота снега максимальна на склонах, моренных отложениях и других элементах рельефа, способствующих накоплению снега в результате ветрового переноса. По мере приближения к середине ложа долины высота снега, как правило, уменьшается, и появляется приземный лед максимальной мощностью до 37 см (в долине реки Грэн), обусловленный оттепелями в зимний период.

Химический анализ проб снежного покрова, показал, что на всех водосборах содержится достаточно большое количество хлоридов (до 12,3 мг/л в долине реки Брюде), натрия (до 9,51 мг/л в долине реки Брюде), сульфатов (до 3,23 мг/л в долине реки Грэнфьорд) и калия (до 0,54 мг/л на леднике Альдегонда), что свидетельствует о поступлении их соединений из атмосферы. Исходя из того, что сульфат ионы накапливаются в снеге за счёт осаждения аэрозолей диоксида серы, которая является продуктом горения каменного угля, происхождение всех данных аэрозолей вероятнее всего связано с работающей ТЭЦ в пос. Баренцбург.

Особенности речного режима на водосборе залива Грэнфьорд

Измерения расходов воды и наносов на реках Грэн, Грэнфьорд, Бретьерна, Альдегонда, Брюде и Конгресс производились вблизи намеченных в предыдущие годы гидростворов. На реке Вастак измерения производились впервые. Применялся сокращенный способ измерения расходов воды методом «скорость–площадь». В середине сезона гидрометрический створ на реке Бретьерна был перенесен выше по течению из-за высоких скоростей потока и невозможности измерений вброд. Далее измерения происходили отдельно основной реки и левого ее притока. В таблице 2.2 представлены максимальные и минимальные измеренные расходы воды в 2019 году.

Таблица 2.2. Максимальные и минимальные измеренные характеристики рек залива Грэнфьорд в 2019 г.

Дата измерения	УЭП, мкСм/см	Расход воды, м ³ /с	Площадь водн. сечения, м ²	Скорость течения, м/с		Шир. реки, м	Глубина, м		Мутн., г/м ³	Расход взвеш. н., кг/с
				Ср	Макс		Ср	Макс		
Грэн										
26.09	749	0,996	1,99	0,623	0,478	40,9	0,09	0,26	1,41	0,001
31.08	347	24,2	23,2	1,412	0,990	74,2	0,30	0,86	15600	376
Грэнфьорд										
19.09	605	0,643	1,00	0,751	0,908	15,1	0,11	0,30	7,83	0,005
2.07	-	15,7	13,4	1,122	2,100	54	0,25	0,70	-	-
Бретьерна										
19.09	149	1,44	3,37	0,402	0,726	17,7	0,18	0,44	0,80	0,001
8.07	140	13,8	10,1	1,152	1,659	19,8	0,44	1,00	2,00	0,028
приток р. Бретьерна										
19.09	141	0,181	0,43	0,608	0,608	6	0,07	0,12	0,89	0,0001
30.08	70,5	1,58	1,62	1,018	1,399	8,1	0,18	0,29	3,06	0,005
Альдегонда										
19.09	418	0,207	0,89	0,251	0,316	5,5	0,14	0,24	0,21	0,0004
9.07	56,5	6,09	3,87	1,243	2,333	7,9	0,48	0,82	1890	11,5
Брюде										
25.09	235	0,157	0,55	0,341	0,366	5,5	0,10	0,16	0,20	0,00003
24.06	68,5	2,76	2,48	1,126	1,539	8,0	0,29	0,47	2,65	0,007
Конгресс										
8.08	1073	0,567	1,20	0,487	0,649	8,3	0,13	0,25	0,21	0,0005
11.09	653	3,04	2,51	1,212	1,795	9,65	0,24	0,38	117,14	0,36
Вастак										
20.09	343	0,294	0,769	0,463	0,494	7,2	0,10	0,16	0,20	0,00006
19.09	71,2	2,29	2,22	1,037	1,378	6,5	0,34	0,43	241	0,552

Переход среднесуточной температуры через ноль в 2019 году произошел в средние для последних лет сроки и зафиксирован 28 мая. Вскрытие рек также произошло в ожидаемые сроки – 3-6 июня. В конце июня произошло падение среднесуточной температуры до $-0,2^{\circ}\text{C}$. Первые заморозки зафиксированы 16 сентября, и, после краткосрочной оттепели (23-27 сентября), преобладание отрицательных температур сохранилось и, как и в 2018 году, установление ледяного покрова на реках произошло 26-30 сентября.

Быстрее всего вскрытие ледяного покрова произошло на реках Бретьерна (рис. 2.2) и Конгресс. Установка уровнемерных устройств и работы на реках начались 8 и 10 июня соответственно. Наиболее затяжное таяние льда, а соответственно и формирование устойчивого русла, происходило на реках Брюде и Васстак из-за их расположения в узких долинах и плохо поступающей солнечной радиации. Датчики уровня воды установлены на них 19 июня. Демонтаж уровнемерных комплексов выполнен одновременно на всех реках 25 сентября.

Суммарное количество осадков за период с апреля по сентябрь составило 179 мм.

Распределение внутри периода, по сравнению с предыдущим годом, отличается. В 2018 году максимальное количество осадков было характерно для середины июля, конца августа – начала сентября. В 2019 году наблюдалось засушливое лето с обильными осадками весной и осенью. Что хорошо отражается на полученных гидрографах стока рек (рис. 2.2).

В летне-осенний период 2019 г. на всех исследуемых водотоках наблюдалось понижение стока воды и взвешенных наносов по сравнению с предыдущим годом. Что объясняется практически месячной задержкой во вскрытии рек – середина мая в 2018 г. и начало июня в 2019 г. А также низкой абляцией ледников, которые являются основным источником питания рек, в июне.

Исходя из данных таблицы 2.2 можно обобщить некоторые особенности рек. Так относительно длинные реки преимущественно смешанного питания (Грэн и Грэнфьорд) характеризуются большим колебанием расхода сопровождаемым также большими колебаниями объема влекомых взвешенных наносов, собираемых с большого водосбора. В них также значительно меняется минерализация в течении года. Во время увеличения расхода воды их глубина меняется незначительно, но при этом сечение резко увеличивается, т.е. реки разливаются. У коротких рек ледникового питания (горного типа) такие как Альдегонда, и в некоторой степени Брюде, расход воды увеличивается за счёт увеличения скорости потока, но в меньшей степени его сечения. В период активного таяния ледников их расход воды может повышаться в 30 раз, а расход наносов в 20000 раз. При схожем повышении уровня расхода воды в реке Грэн, количество влекомых наносов возрастает в сотни тысяч раз. На реках Конгресс, Васстак и Бретьерна, вытекающих из озер и в большей степени зарегулированных, расход может увеличиваться в 5-10 раз при увеличении и площади сечения, и скорости течения в 2-3 раза.

Мониторинг химического состава речных вод показал, что соотношение ионов остается постоянным для каждой реки. Содержание биогенных элементов во всех реках низкое. Минерализация наибольшая в р. Конгресс и наименьшая – в р. Брюде. Преобладанием сульфат-иона характеризуются реки Конгресс, Грэн, Грэнфьорд и Васстак. Реки Альдегонда, Брюде и Бретьерна относятся к гидрокарбонатным.

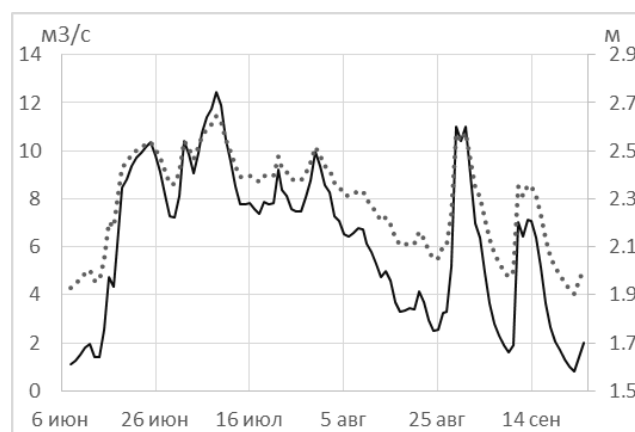


Рисунок 2.2 – Гидрограф стока реки Бретьерна в 2019 году: сплошная линия – расход воды в $\text{м}^3/\text{с}$, пунктирная линия – высота воды относительно репера ГТ «Арктикуголь»

Помимо регулярных расходных измерений впервые на всех гидрологических постах исследуемых рек выполнен монтаж и привязка рабочих реперов к высотной системе треста «Арктикуголь» с использованием ГНСС-приемников, получены их высотные отметки. Для плано-высотной привязки реперов и уровнемерных свай на реках использована «базовая станция» возле аппаратной ВППИ. Выполнены сезонные нивелировки уровнемерных свай (рис. 2.3) для уточнения положения русла рек, морфометрии створа и динамики изменений.

В 2019 г. закончены методические работы – 2-х летняя серия параллельных экспериментальных измерений расходов воды реки Брюде методом ионного паводка и методом «скорость-площадь». В среднем за 6 экспериментов совместного измерения расхода воды реки Брюде двумя методами, метод ионного паводка давал значения больше, чем метод смещения, на 15%.

Особенности режима озер

Наблюдения за уровнями озер в 2019 году начались в разные сроки – 13 апреля оз. Стемме, 8 июня оз. Бретьерна, 21 июня оз. Конгресс. В озере Стемме самопишущее устройство регистрации уровня воды установлено в зимний период, что позволило зафиксировать момент вскрытия озера, произошедшее 12 июня. В озерах Бретьерна и Конгресс регистраторы уровня воды устанавливались в освободившиеся от льда прибрежные области. Уровень воды в озерах повышался до полного очищения водной поверхности от льда, происходившей примерно в начале июля.



Рисунок 2.3 – Геодезические измерения вблизи гидрометрического створа реки Грэнфьорд

Удельная электропроводность вод озер понижается в летний период измерений в сравнении с весенним периодом на величину около 100 мкСм/см вследствие распреснения тальми водами. Температура озерной воды в весенний период находится в пределах от +0,5 °С до +1,2 °С и имеет обратную стратификацию, в летний период температура вод озер прогревалась до +3,5+4,0 °С (рис. 2.4). Водородный показатель слабо изменчив в весенний и летний периоды 2019 года.

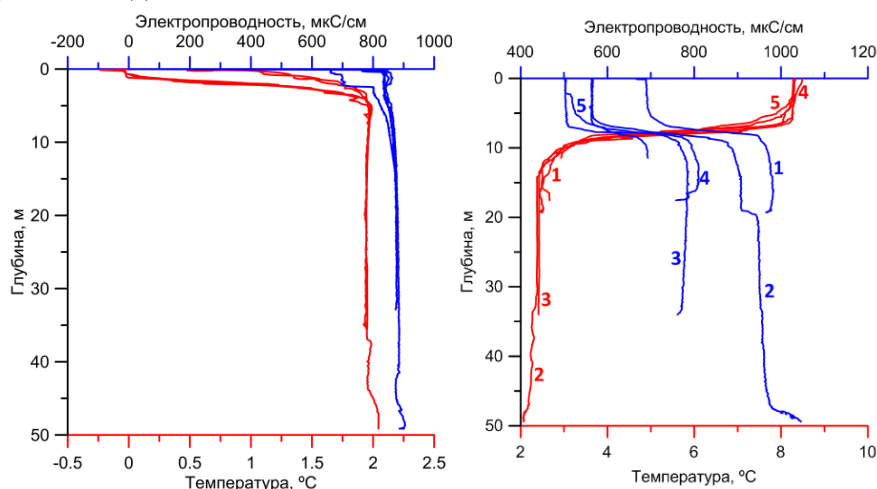


Рисунок 2.4 – Результаты STD-зондирования озера Конгресс весной 2019 г. (слева) и летом 2019 г. (справа)

Для озера Конгресс характерна высокая, относительно других озер, минерализация – 400-700 мкСм/см. По классификации природных вод О.А. Алекина воды озера Конгресс относятся к сульфатному классу, группа кальция II типа. Концентрации химических веществ в летний период повышаются по мере увеличения глубины, что является следствием

разбавления озерных вод талыми водами и осадками. Относительное увеличение редко превышает 30% от концентрации на поверхности.

Озеро Бретьерна имеет слабую минерализацию и по классификации природных вод О.А. Алекина относится к сульфатному классу, группа кальция II типа. Воды озера Стемме слабоминерализованные и относятся к гидрокарбонатному классу, группа кальция II типа. Распределение химических веществ по глубине в озерах Стемме и Бретьерна носит неравномерный характер в связи с малой глубиной. Небольшие различия между точками отбора можно объяснить влиянием локальных источников озер.

Выводы:

В 2019 г. в среднем снегозапасы водосборов рек залива Грэнфьорд больше на 50 мм в.э., чем в 2018 г. В снежном покрове присутствовали многочисленные прослойки ледяных корок, связанных с кратковременными оттепелями в зимний период. В долинах рек приземный лед достигал мощности до 37 см.

Вскрытие рек произошло в средние для последних лет сроки – начало июня. Замерзание – в конце сентября. Максимальные расходы проходили во время обильных паводков в конце августа – начале сентября. На всех реках зафиксировано некоторое понижение стока воды и взвешенных наносов по сравнению с 2018 г., что объясняется практически месячной разницей во вскрытии рек – середина мая в 2018 г. и начало июня в 2019 г., а также низкой абляцией ледников в июне, которые являются основным источником питания рек.

По результатам исследований на арх. Шпицберген опубликована статья и представлены доклады на конференциях:

Ромашова К.В., Чернов Р.А., Василевич И.И. Исследование ледникового стока рек в бассейне залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген). Проблемы Арктики и Антарктики. 2019;65(1):34-45.

Ромашова К.В., Румянцева Е.В., Третьяков М.В. Минерализация и ионный сток рек водосбора залива Грэнфьорд (архипелаг Шпицберген). Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование – MARESEDU 2019», 28-31.10, г. Москва.

Romashova K., Vasilevich I., Tretiakov M. Long-term observations of rivers in the Grønfjorden area. Svalbard Science Conference 2019, 05-06.11, Oslo.

Vasilevich I., Romashova K., Tretiakov M. Variability of snow cover characteristics in the Grønfjorden basin. Svalbard Science Conference 2019, 05-06.11, Oslo.

Ромашова К.В., Василевич И.И. Опыт измерения расхода воды реки Брюде (арх. Шпицберген) методом смешения (способ ионного паводка). III Всероссийская конференция «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», 18-19.12.19, г. Санкт-Петербург.

Мероприятие 3. Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген

Основной целью исследований является получение новых данных о распределении океанографических характеристик в акваториях заливов о-ва Западный Шпицберген, о флуктуациях Западно-Шпицбергенской ветви Норвежского течения, как индикатора изменчивости поступления тепла в Северный Ледовитый океан на основе исследования вариации затока атлантических вод в заливы архипелага, совершенствование существующих представлений о механизмах формирования и развития мезомасштабных океанологических процессов в прибрежных водах архипелага Шпицберген. В 2019 г. работы выполнялись по трём направлениям:

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

Полевые работы выполняли в.н.с. - зав. отделом океанологии Фильчук К.В. (kirill@aar.ru), с.н.с.- зав.лаб. отдела океанологии Махотин М.С., м.н.с отдела океанологии Рыжов И.В., рук. зимовочного состава РАЭ-Ш Новиков А.Л., зам. рук. зимовочного состава РАЭ-Ш Бакланов А.В.

Динамика водных масс в заливах Грэнфьорд и Исфьорд

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

В октябре в Исфьорде Атлантическая водная масса (АВ) наблюдалась на глубинах 150-250 м в западной и центральной частях фьорда (рис. 3.2), максимальные значения температуры АВ +4,5°C были зарегистрированы в горле Исфьорда (рис. 3.3). В слое от поверхности до глубин 30-60 м наблюдалась поверхностная водная масса (ПВ), образующаяся поздней весной и летом под влиянием увеличения объёма речного стока, таяния морского льда и процессов теплообмена с атмосферой. Температура в ПВ изменялась в пределах от +2,5°C на поверхности до +5,5°C на глубине 50-60 м. Увеличение температуры с глубиной в ПВ связано с началом процессов осеннего выхолаживания. Под ПВ залегала промежуточная водная масса (ПрВ), формирующаяся в результате смешения ПВ и АВ, и трансформированная атлантическая водная масса (ТАВ), образующаяся в результате смешения АВ и арктической водной массы (АрВ).



Рисунок 3.1 – Положение океанографических станций в заливах Исфьорд, Биллефьорд и Грэнфьорд в 2019 г. Зеленым цветом отмечены точки постановки притопленных буйковых станций

В заливе Биллефьорд от 60 м до 75 м была зафиксирована локальная водная масса со значениями температуры от -0,5°C до +1°C, формирующаяся здесь в результате процессов осенне-зимней конвекции. От 75 м до дна располагалась зимняя водная масса (ЗВ) со значениями температуры ниже -0,5°C и солёности выше 34,8‰, формирующаяся здесь в осенне-зимний период в результате выхолаживания воды до температуры замерзания при данной солёности и выделения рассола при формировании льда. В целом, распределение водных масс в Исфьорде и Биллефьорде было типичным для этого времени года.

В октябре 2019 г. в Грэнфьорде ПВ с минимальными значениями солёности до 32‰ во внутреннем фьорде наблюдалась от поверхности до глубин 40 м (рис. 3.4). Температура поверхностного слоя изменялась от +3 до +4,5°C. Под ПВ до глубины 90–10 м была

зафиксирована ПрВ с максимальными значениями температуры $+4,7^{\circ}\text{C}$. Под ПрВ до дна залегала ТАВ, значения температуры которой достигали $+4,3^{\circ}\text{C}$. Такое распределение термохалинных характеристик является типичным для этого времени года.

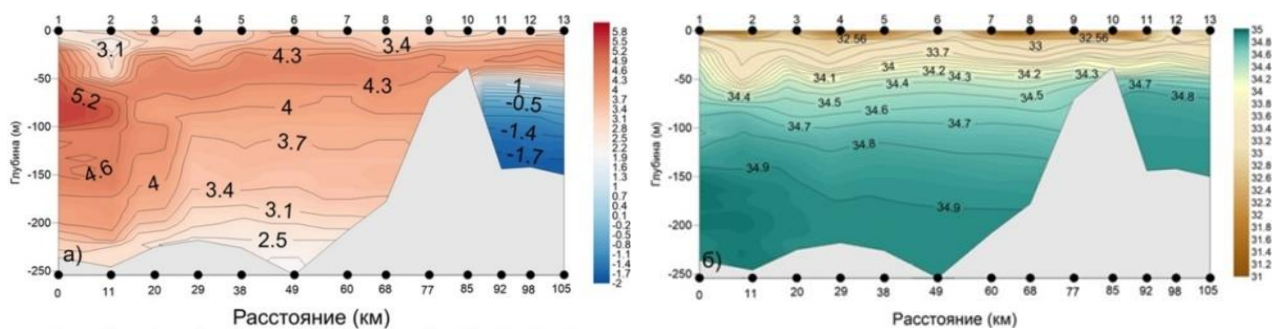


Рисунок 3.2 – Распределение температуры (а) и солёности (б) на разрезе вдоль оси Исфьорд в октябре 2019 г.

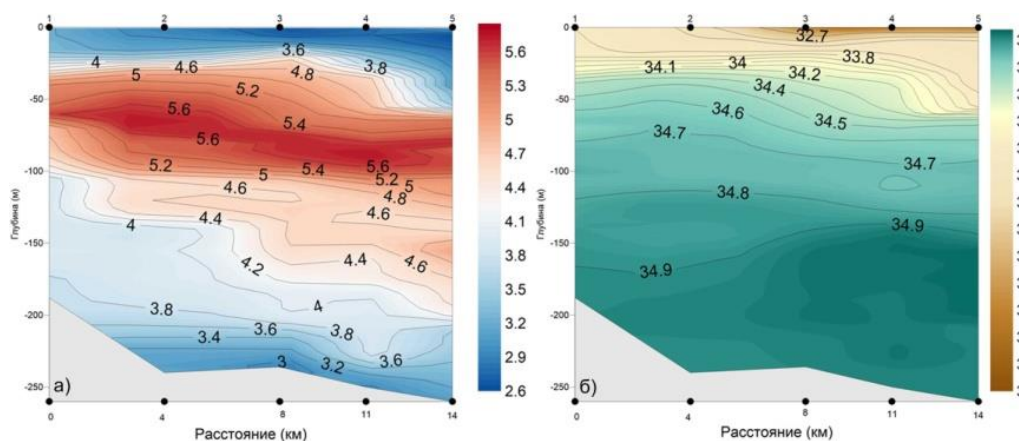


Рисунок 3.3 – Распределение температуры (а) и солёности (б) в горле Исфьорда в октябре 2019 г.

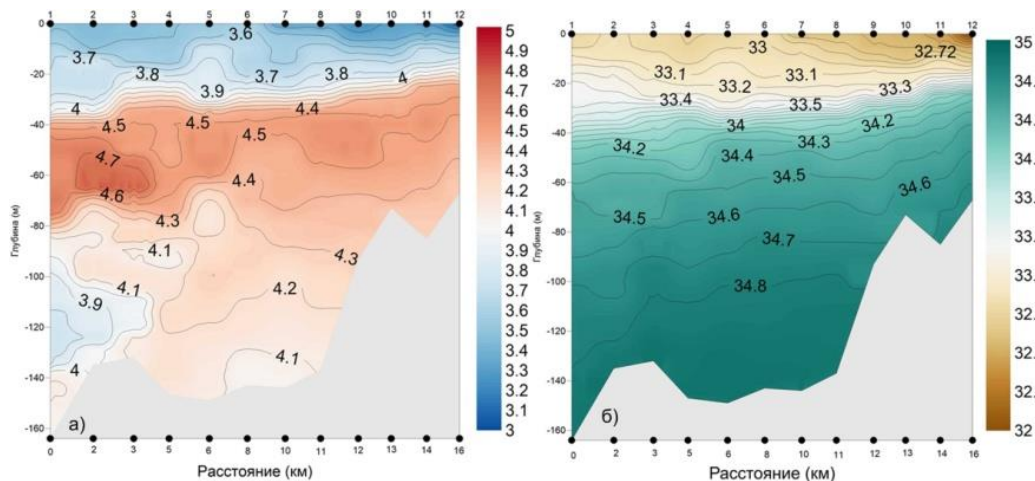


Рисунок 3.4 – Распределение температуры (а) и солёности (б) на разрезе вдоль оси Грэнфьорда в октябре 2019 г.

В целях оценки продуктивности морских вод, в ходе весеннего и осеннего профилирования водной толщи залива Грэнфьорд, на трех точках вдоль залива на двух горизонтах (поверхность и 30 м) отобраны пробы морской воды для последующего анализа на содержание хлорофилла *a*, фосфатов и силикатов. Пробы переданы в химико-аналитическую лабораторию РАЭ-Ш. Анализ фосфатов и силикатов проведен в день отбора проб, для анализа содержания хлорофилла *a* образцы воды (5 л) отфильтрованы, фильтры заморожены для дальнейшей экстракции и анализа фотометрическим методом. Анализ образцов и данных будет проведен в зимнее время.

Постановка притопленных буйковых станций в заливе Исфьорд

За последние пятнадцать лет гидрологических наблюдений в заливах Западного Шпицбергена было зафиксировано несколько аномальных ситуаций полного заполнения фьордов Атлантическими водами со значениями температуры выше $+2^{\circ}\text{C}$ и солёностью выше 34,9‰. Такие аномальные ситуации наблюдались в Конгсфьорде в апреле 2002, 2006, 2007 гг. (Tverberg et al. 2007) и в летние месяцы 2014 г. (Promińska et al. 2017). В Исфьорде и Грэнфьорде аналогичные условия сложились в апреле-июне 2014 г. и в марте 2017 г. в Грэнфьорде (Блошкина, Фильчук 2018) (рис. 3.5а-б).

При этом во всех случаях нетипичные ситуации были зафиксированы в результате одномоментной океанографической съёмки, которая не может дать полное представление о точном моменте начала процесса заполнения фьорда АВ, скорости распространения вод внутри фьорда, времени заполнения фьордов АВ и т.д.

Для более точного описания условий возникновения, развития и затухания процесса заполнения фьордов АВ в октябре 2019 г. были установлены притопленные автономные буйковые станции (ПАБС), несущие регистраторы температуры, давления, электропроводности и профилографы течений, в двух репрезентативных точках Исфьорда: в горле фьорда в точке $78^{\circ}06,775'$ с.ш., $13^{\circ}36,174'$ в.д., что даст возможность зафиксировать начало процесса поступления АВ во фьорд, вторая станция была установлена в точке $78^{\circ}19,187'$ с.ш., $15^{\circ}08,743'$ в.д. на оси Исфьорда на траверзе Адвентфьорда, так как при типичном распределении водных масс в этой точке АВ не наблюдалась (рис. 3.5в-е). Здесь она была зафиксирована только в 2014 г. (рис. 3.5а-б).

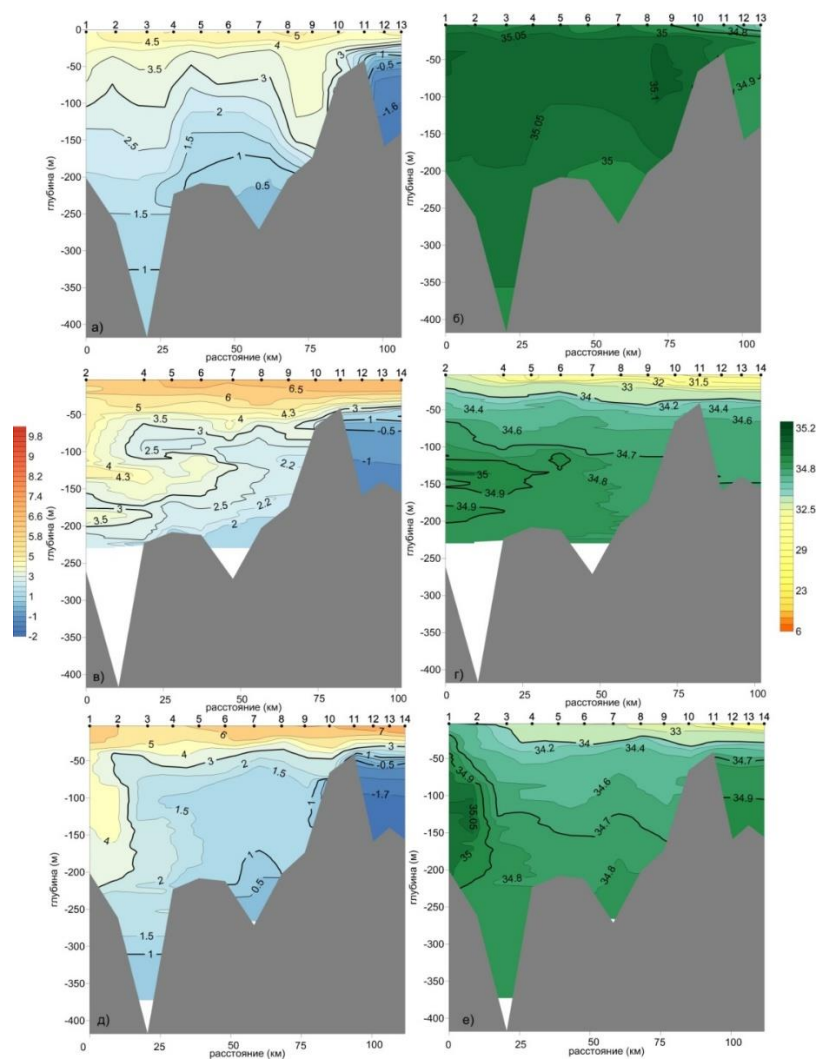


Рисунок 3.5 – Распределение температуры, $^{\circ}\text{C}$ (а, в, д) и солёности, ‰ (б, г, е) вдоль оси Исфьорда в июне 2014 г. (а, б), августе 2016 г. (в, г) и июле 2017 г. (д, е)

Разработка алгоритмов пост-процессинга данных автономного уровнемерного регистрирующего комплекса на основе измерений, поступающих от уровнемерного комплекса ААНИИ и мареографа СУМ ГМО «Баренцбург» (совместно с Мурманским УГМС)

В Баренцбурге проведен контроль функционирования и верификации данных автономного уровнемерного регистрирующего комплекса в составе датчика гидростатического давления и температуры 3001 LT Levellogger Edge M10/F30, логгера Campbell Scientific CR1000, спутникового трансмиттера Iridium SBD 9602, развёрнутого на уровненом посту ГМО «Баренцбург».

В результате анализа временных рядов значений уровня моря, зарегистрированных и переданных комплексом в период эксплуатации, было выявлено расхождение несистематического характера с результатами наблюдений за уровнем, выполняемых ГМО «Баренцбург».

На рисунке 3.6а красный график отображает, значения уровня, зарегистрированные автономным комплексом, зелёный – результаты регистрации уровня мареографом СУМ. В качестве возможной причины расхождений рассматривалось отсутствие барокомпенсации. С использованием ряда ежечасных значений атмосферного давления, зарегистрированного автоматическим метеорологическим комплексом ГМО «Баренцбург» и приведённого к уровню моря (рис. 3.6б), была введена барокомпенсирующая поправка путём вычитания из зарегистрированного значения уровня в метрах синхронного значения атмосферного давления, выраженного в эквиваленте высоты водного столба, определяемого соотношением $1 \text{ Гпа} = 0,01022 \text{ м}$.

Компенсированный ряд значений уровня (обозначен фиолетовым цветом на рисунке 3.6в) показал хорошую согласованность с данными СУМ. Введение барокомпенсации привело к устранению несистематической невязки, однако при полном совпадении фазы и среднего значения наблюдаются расхождения до 10 см в экстремумах (занижение показаний датчика гидростатического давления относительно значений, регистрируемых мареографом), что может быть обусловлено влиянием конструктивных особенностей механического самописца.

Результаты исследований опубликованы:

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

Список литературы:

Tverberg V., Nilsen F., Goszczko I., Cottier F., Svendsen H., Gerland S. The warm winter temperatures of 2006 and 2007 in the Kongsfjorden water masses compared to historical data / R. Azzolini (eds). 8th Ny Alesund seminar Polarnet technical report. Rome: Earth and Environment Department, National Research Council, 2007. P. 40–44.

Promińska A., Cizek M., Walczowski W. Kongsfjorden and Hornsund hydrography–comparative study based on a multiyear survey in fjords of west Spitsbergen // Oceanologia. 2017. V. 59. doi.org/10.1016/j.oceano.2017.07.003.

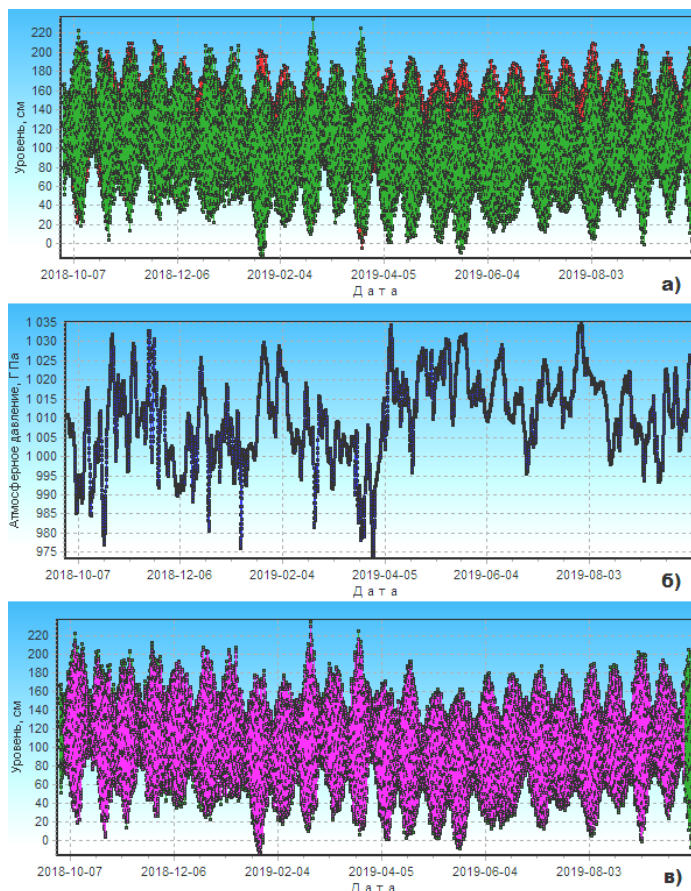


Рисунок 3.6 – Временной ряд значений уровня моря, зарегистрированных и переданных автономным комплексом в сравнении с результатами наблюдений за уровнем, выполняемых в ГМО «Баренцбург»

Мероприятие 4. Наблюдения за динамикой баланса массы ледников Западного Шпицбергена

Наблюдения за абляцией и динамикой ледников Земли Норденшельда являются продолжением многолетних наблюдений, проводившихся на протяжении нескольких десятилетий и имеют своей целью получение данных для понимания процессов эволюции криосферы арх. Шпицберген как реакции на изменения климата в этой части Северного полушария. Результаты наблюдений являются исходными данными для анализа процессов и изменений, происходящих как на поверхности, так и внутри ледников (изменения внутренней структуры) под воздействием внешних климатических факторов.

Исследования и наблюдения проводили: В.Э. Демидов (vasdemidov@mail.ru), А.В. Терехов, А.Л. Борисик, А.Л. Новиков.

В 2019 г. были выполнены следующие задачи:

- определение расходной составляющей бюджета массы ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд методом абляционных рек для получения оценочных характеристик их масс баланса (рис. 4.1);
- наблюдения за изменением высоты сезонной снеговой линии ледников Альдегонда и Зап. Грэнфьорд;
- измерение движения поверхности ледников Альдегонда и Зап. Грэнфьорд;
- топографическая съёмка ледника Зап. Грэнфьорд;
- георадарные исследования структуры ледников Западный и Восточный Грэнфьорд.

Масс-балансовые наблюдения на ледниках

В ходе летне-осенних гляциологических исследований были выявлены особенности хода абляции и наличие значительных межгодовых изменений величины убыли массы ледника Альдегонда. Ледниковая поверхность таяла неравномерно при соблюдении основной тенденции к уменьшению абляции с увеличением высоты. В целом, максимальное таяние на леднике приходится на вторую половину июля – первую половину августа (Таблица 4.1), что связано, прежде всего, с наблюдавшимися в этот период максимумами годовой температуры воздуха, которая является для л. Альдегонда ведущим фактором абляции. Осадки и солнечная радиация, максимумы которых пришлось на смежные периоды, играли, очевидно, второстепенную роль в увеличении абляции. Абляция практически отсутствовала за предшествующий наблюдениям период с сентября 2018 г. по июль 2019 г.

Таблица 4.1. Динамика абляции по периодам наблюдений на л. Альдегонда

Период наблюдений	Количество дней	Средняя абляция за период (мм)	Средняя абляция за день (мм)
07.07-31.07	25	576	23
01.08-02.09	33	608	18
03.09 -16.09	14	100	7

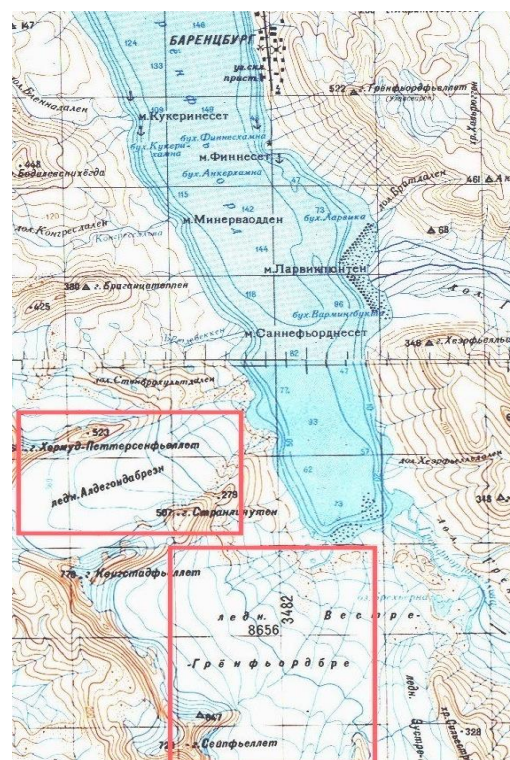


Рисунок 4.1 – Карта района проведения гляциологических наблюдений

В момент начала наблюдений снеговая линия располагалась по всей поверхности ледника, за исключением самой окраины выводного языка. Это отличает 2019 год от предыдущего, когда снеговая линия отступала значительно быстрее, что приводило к раннему началу таяния ледника Альдегонда.

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. Итоговый общий объем абляции на леднике Альдегонда в период с сентября 2018 года по сентябрь 2019 года составил 6,72 млн. м³ в. э. Это в полтора раза меньше, чем за аналогичный период прошлого года, когда суммарная абляция достигала величины в 9,87 млн. м³ в.э. Таким образом тренд на уменьшение объемов абляции, сохраняется с 2016-2017 гг., когда ее объем составил 10,53 млн. м³ в.э. Зона абляции занимает все высотные уровни, что говорит об активной деградации ледника Альдегонда в настоящее время, несмотря на замедление объемов таяния за прошедшие два года. В середине сентября 2019 года сплошная снеговая линия на поверхности ледника отсутствовала. Зона аккумуляции оставалась приурочена только к очень небольшим площадям на крутых склонах западного борта долины (где установка реек затруднена и измерения не ведутся), и не может по масштабам поступления льда восполнить потери его на всей остальной площади.

Измерения поверхностной абляции на л. Западный Грэнфьорд показывают, что максимальное таяние здесь приходилось на вторую половину июля – первую половину августа (Таблица 4.2), что связано с наблюдавшимся в этот период максимумом годовой температуры воздуха, которая является здесь ведущим фактором абляции. Основная тенденция уменьшения абляции при увеличении высоты над уровнем моря линейная с коэффициентом зависимости 0,97. Такая упрощенная картина объясняется как линейным расположением реек, так и ориентированностью ледника по оси север-юг, исключающей затенение с бортов долины средних и нижних высотных уровней.

Таблица 4.2. Динамика абляции по периодам наблюдений на леднике Западный Грэнфьорд

Период наблюдений	Количество дней	Средняя абляция за период (мм)	Средняя абляция за день (мм)
06.07-31.07	26	796	31
01.08-01.09	31	603	19
02.09 -14.09	13	73	6

Из особенностей ледника Зап. Грэнфьорд можно отметить итоговую аккумуляцию с сентября 2018 г. по сентябрь 2019 г. на верхнем уровне (397 м). Это отличает верхние уровни л. Зап. Грэнфьорд от аналогичных уровней на л. Альдегонда, где даже самые верхние рейки (свыше 400 м) зафиксировали значительную абляцию с сентября по июль. Аналогичная разница между ледниками наблюдалась и в предшествующие годы. Вероятно, это объясняется значительным метелевым снегонакоплением на обращенных к северу скатах л. Зап. Грэнфьорд. Поверхность ледника здесь поздно освобождается (в отдельные годы вообще не освобождается) из-под массы снега, и абляция начинается только с середины лета. Суммарная абляция с сентября 2018 по сентябрь 2019 года составила 12,56 млн м³ в.э., что в полтора раза меньше, чем за аналогичный период прошлого года, когда объем абляции составил 18,79 млн. м³ в.э.

Движение поверхности ледников

Для ледников в окрестностях Грэнфьорда не существует опубликованных данных о скоростях движения их поверхности. С целью определения этих скоростей в 2018 г. рядом с уже существующими абляционными рейками на ледниках Альдегонда и Зап. Грэнфьорд были забурены дублирующие их «геодезические» рейки. В августе 2018 года для них были измерены их плановые координаты с помощью высокоточного спутникового геодезического оборудования (спутниковые приёмники Sokkia GRX2, Topcon NetR5 с антенной Topcon G3-A1, и др.). В конце июля-начале августа 2019 года измерения были проведены повторно, что

позволило рассчитать сдвиг поверхности ледников за год (рис. 4.2). Итоговая точность измеренных перемещений оценивалась в 10 см: меньшие по модулю перемещения считались незначимыми.

Для уточнения морфологических характеристик ледника Зап. Грэнфьорд в 2019 году выполнена топографическая съёмка его поверхности. Она охватила основной язык и два более мелких, спускающихся к северо-востоку и к северо-западу, а также большую часть верховий, за исключением наиболее южных частей с обилием трещин и колодцев, затрудняющих передвижение, всего 14,4 квадратных километра.

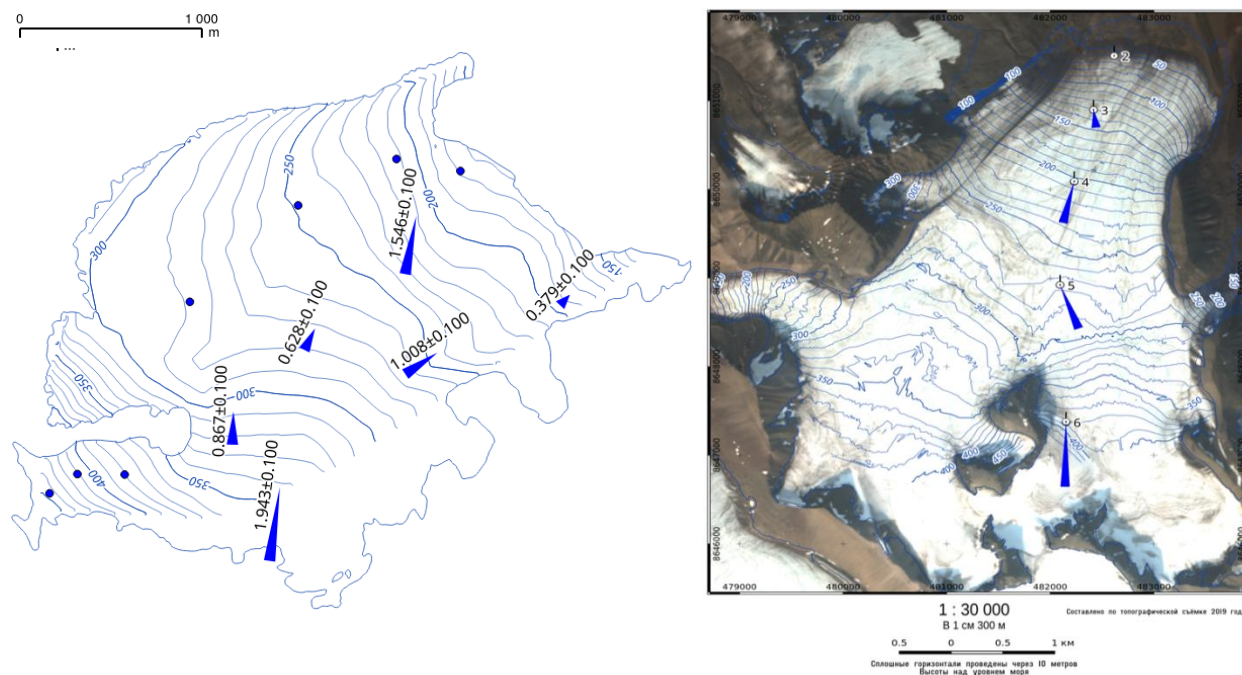


Рисунок 4.2 – Слева: годовые перемещения абляционных рек на леднике Альдегонда (м/год). Кружками обозначено отсутствие значимых движений. Горизонталы проведены по топографической съёмке 2018 года. Справа: топографической съёмки ледника Зап. Грэнфьорд и измеренные перемещения рек за год (рейка 3 – $1,35 \pm 0,10$ м, рейка 4 – $3,22 \pm 0,10$ м, рейка 5 – $3,50 \pm 0,10$ м, рейка 6 – $4,91 \pm 0,10$ м).

Кроме того, в методических целях проведена аэрофотосъёмка ледника Вёринг, занимающего на сегодняшний момент менее 1 квадратного километра и питающего озеро Стемме – источник питьевой воды пос. Баренцбург. В результате получена детальная цифровая модель рельефа поверхности ледника (рис. 4.3), которая, может быть использована впоследствии для: (1) определения масс-балансовых характеристик ледника геодезическим методом, (2) сравнения с уже существующими моделями рельефа прошлых лет (например, с ArcticDEM), (3) для подсчёта точных значений площади высотных зон, использующихся при гляциологических расчётах.

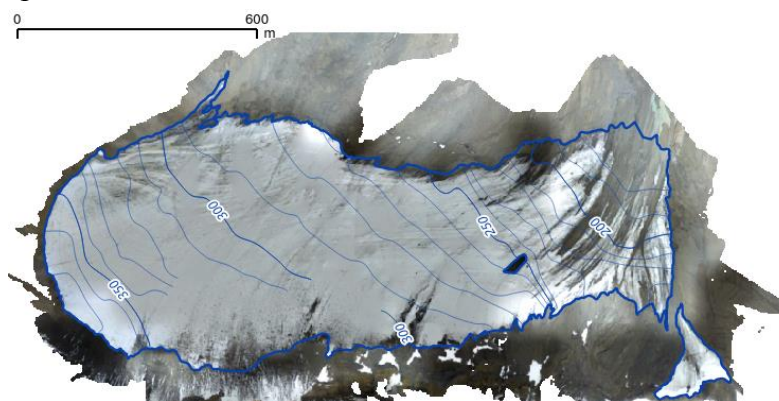


Рисунок 4.3 – Топографическая карта поверхности части ледника Вёринг – показаны горизонталы (от уровня моря) по состоянию на август 2019 г. Сами горизонталы даны по топосъёмке, контур ледника обведён по ортофотоплану, получившемуся в результате обработки данных аэрофотосъёмки

Исследования структуры ледников геофизическими методами

С учетом тестовых измерений в 2018 г., показавшем эффективность применения георадарного метода для гляциологических, мерзлотных и палеогеографических исследований в районе пос. Баренцбург, исследования 2019 г заключались в расширении и углублении знаний о мощности и внутренней структуре политермичных ледников Шпицбергена, в получении данных, которые позволят проследить тенденции их эволюции. В соответствии с изменениями объемов наблюдений был расширен район работ, в который были включены ледники Западный и Восточный Грэнфьорд (рис. 4.4).

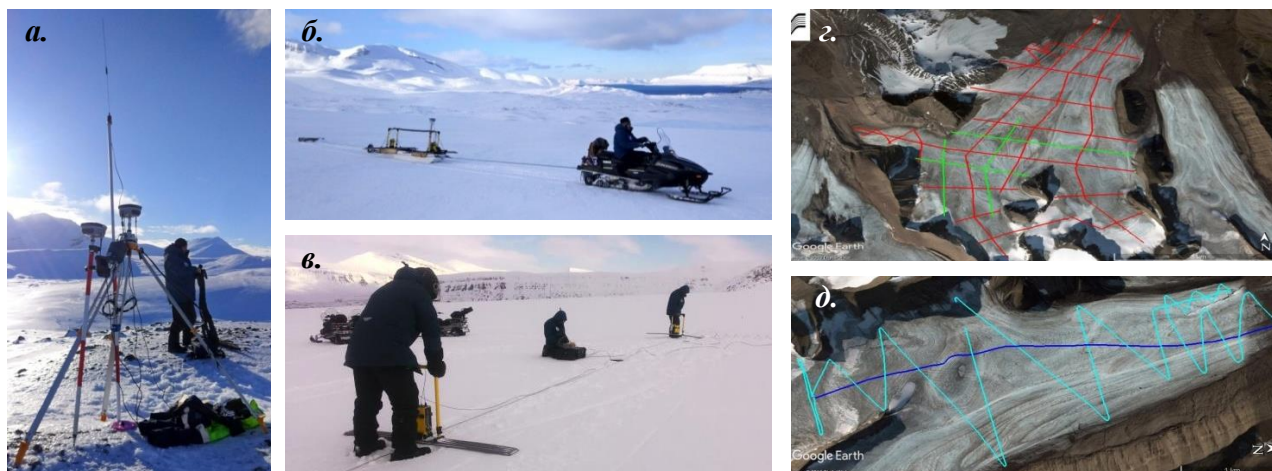


Рисунок 4.4 – Георадарные исследования на ледниках: (а) комплект ГНСС аппаратуры на точке с известными координатами ALDB; (б) георадиолокационные наблюдения с антенной 50 МГц; (в) георадиолокационные наблюдения методом общей глубинной точки (ОГТ) с антенной 50 МГц; карты профилей георадиолокационных исследований ледников Западный Грэнфьорд (г) и Восточный Грэнфьорд (д)

Изучался рельеф подледного ложа, внутреннего строения и мощности ледников Зап. и Вост. Грэнфьорд; проводились детализированные исследования внутренней структуры ледника Альдегонда в районах возможного присутствия талых толщ; тестировалась эффективность исследований строения четвертичных отложений, донных осадков озера Стемме с применением георадара.

В результате выполненных на ледниках георадиолокационных исследований получен материал пригодный для дальнейшей обработки и интерпретации. Помимо чётко прослеживаемой границы подошвы ледника, на большей части профилей отмечены внутрiledниковые отражения, связанные с его неоднородным строением и слоистостью.

Таким образом, выполненные в 2019 г. гляциологические исследования и геодезические измерения позволили получить большой объем новых данных, необходимых для продолжения и повышения качества мониторинга ледников в районе пос. Баренцбург (арх. Шпицберген):

- определены величины баланса массы ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд в 2018-2019 балансовом году, что продлевает ряд оценок межгодовой динамики ледников и связи этой динамики с климатическими изменениями;
- выявлены особенности хода абляции ледников в 2019 г., зависимости процессов абляции от сезонных изменений солнечной радиации, температуры и влажности, от высотных характеристик, рельефа поверхности ледников и окружающих склонов;
- впервые для района получены данные о полях скоростей движения поверхности ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд;
- составлены точные карты поверхности ледников Западный Грэнфьорд и Вёринг, которые послужат основой для анализа многолетних изменений их массы.

Дополнительные геодезические измерения позволили также протестировать возможности применения БПЛА для совершенствования методики и повышения эффективности наблюдений за состоянием и динамикой ледников района.

Мероприятие 5. Палеогеографические исследования

В 2015-2018 гг., в ходе палеогеографических работ РАЭ-Ш в окрестностях пос. Баренцбург 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 (Полещук и др., 2018, Соловьева и др. 2018, Verkulich et al. 2018). Целью экспедиционных работ 2019 года являлся сбор дополнительных материалов для детализации реконструкции хронологии, параметров и механизмов изменений климата и природной среды архипелага Шпицберген за последние столетия и тысячелетия. Задачи работ включали:

- выполнение маршрутных геоморфологических и палеогеографических исследований в двух районах Земли Норденшельда – в районе Баренцбурга, залив Грэнфьорд (долины Грэндален, Грэнфьорддален, Холлендардален и Линнедален); в районе Ван-Майен фьорда (в долинах Рейндален, Вассдален, Берцелиусдален, Итердален, Семмельдален, Кальвдален) (рис. 5.1);
- выполнение первичных исследований образцов четвертичных отложений в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш ААНИИ (Баренцбург);
- проведение микропалеонтологического мониторинга (установка и смена спорово-пыльцевых ловушек, отбор проб современной диатомовой флоры);
- отбор проб льда, снега, вод из озер и рек для последующего изотопного анализа.

Экспедиционные работы на арх. Шпицберген проводились 28 мая – 28 августа 2019 г. под руководством зав. отделом географии полярных стран С.Р. Веркулича (verkulich@aaig.ru). Исполнители: Полещук К.В; Соловьева Д.А.; Демидов В.Э.; Ежиков И.С., Буйнов Р.П.

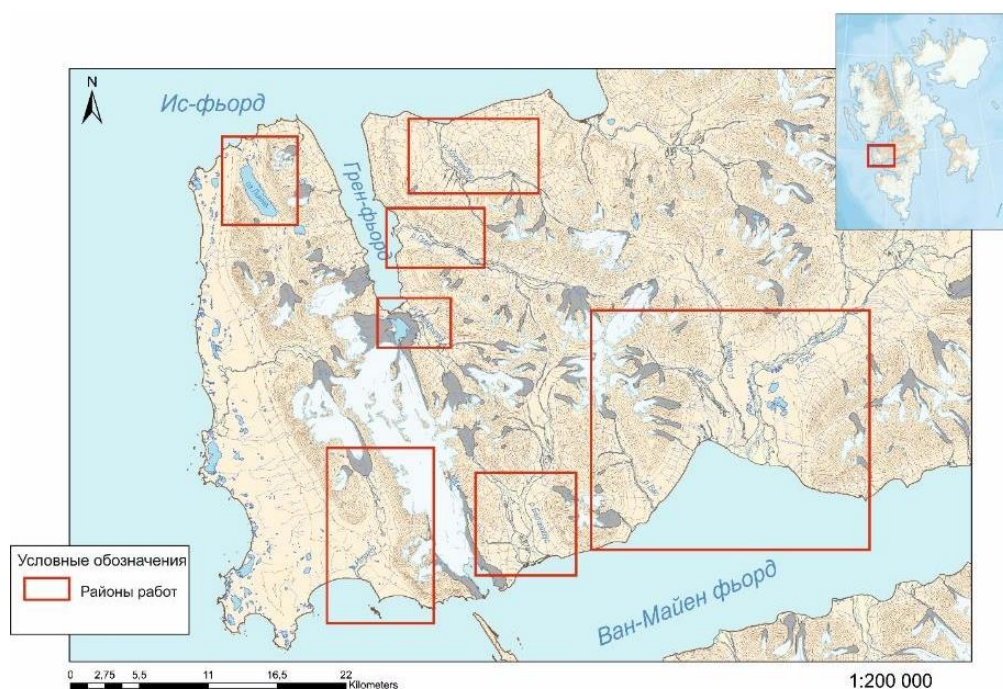


Рисунок 5.1 – Районы палеогеографических исследований на архипелаге Шпицберген в 2019 г.

Двое сотрудников с 9 июля по 16 августа исследовали рельеф и четвертичные отложения на северном побережье Ван-Майенфьорда (южная часть Земли Норденшельда) в выносном лагере в составе геоморфологического отряда ПМГРЭ. Трое сотрудников выполняли работы в различных долинах и точках в окрестностях пос. Баренцбург (район залива Грэнфьорд). Работы выполнялись в ходе пеших суточных маршрутов; доставка в районы работ осуществлялась на маломерных плавсредствах.

В ходе маршрутов фиксировались морфология, генезис, соотношение и высотное положение преобладающих форм рельефа, велся поиск и изучение разрезов четвертичных отложений. Описание разрезов включало выделение однородных горизонтов, фиксирование цвета, состава, характера залегания слагающего материала, контакт с перекрывающими и подстилающими горизонтами, высотные отметки границ горизонтов и места отбора образцов. При изучении разрезов четвертичных отложений проводился подробный отбор образцов на диатомовый, спорово-пыльцевой, фораминиферовый, геохимический анализы, датирование возраста.

Исследования в районе залива Ван-Майенфьорд

В районе Ван-Майенфьорда было выполнено 22 маршрута, описано 130 точек наблюдения, расчищено и изучено 16 разрезов отложений, а также отобрано 273 образца отложений на различные виды анализов. В ходе работ были описаны разрезы различных генетических типов четвертичных отложений (речные, морские, склоновые, водно-ледниковые, биогенные и др.). Особое внимание уделялось изучению речных отложений, как источника разнообразной информации об изменениях климата и ландшафтов района в течение последних 5 тысяч лет.

Морские формы рельефа и отложения, изученные в районе, содержат комплексную информацию об изменениях уровня моря и оледенения в районе в течение последних 10-12 тысяч лет. Для извлечения этой информации выполнялся детальный отбор образцов отложений для последующих исследований в лабораториях ААНИИ и других организаций (пример строения изученных разрезов – рис. 5.2а). В ходе исследований в долинах были изучены отложения водно-ледникового генезиса, представленные толщиной массивных алевритов, перекрытой галечно-гравийным материалом (рис. 5.2б) – подобные образования ранее были описаны в районе пос. Баренцбург. В двух долинах также были проведены работы по изучению и отбору биогенных отложений – торфяников (см. рис. 5.2б).

Исследования в районе пос. Баренцбург (залив Грэнфьорд)

В районе залива Грэнфьорд изучены дополнительные разрезы в нескольких точках. В долине Грэн проведено описание и детальный отбор проб из разрезов четвертичных отложений ГД-19-1 и ГД-19-2, расположенных в приустьевой части, на правом борту долины, вскрывающих отложения, формирующие первую надпойменную террасу и характеризующие последние 3-4 тысячи лет развития природной среды района (рис. 5.3).

В долине реки Грэнфьорд произведено описание и отбор отложений из разреза, расположенного в стенке напорной морены ледника Западный Грэнфьорд. Этот разрез представлен дислоцированными морскими отложениями предположительно прибрежно-дельтовой фации, мощностью до 35 м и представляет значительную последовательность палеогеографической информации, он содержит раковины рода *Mytilus*, что указывает на формирование части отложений в период климатического оптимума голоцена.

В ходе маршрута в долину Холлендар уточнялись имеющиеся представления о генезисе форм рельефа на высотных отметках более 80 м над уровнем моря, а также был обнаружен и отобран новый разрез мощностью около 10 м, содержащий информацию о голоценовых изменениях климата, уровня моря и ландшафтов района. В общей сложности в разрезах района было отобрано для дальнейших комплексных аналитических исследований более 100 образцов.

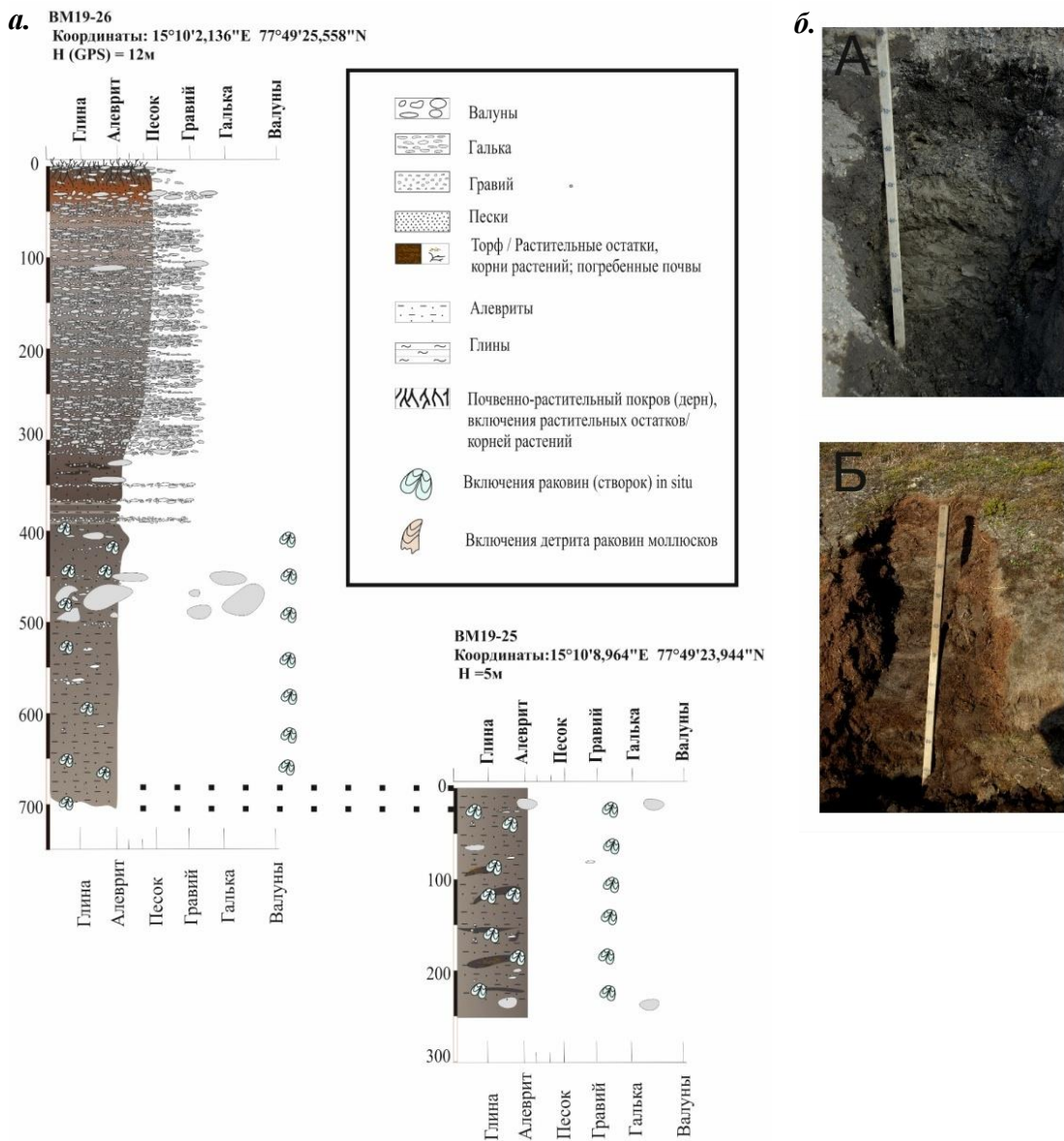


Рисунок 5.2 – (а) литологические колонки разрезов ВМ19-26 и ВМ19-25 (долина р. Вассдален); (б) изученные отложения (А –толща алевритов, долина р. Васс, Б – торфяник, долина р. Рейн)

Микропалеонтологический мониторинг

Микропалеонтологический мониторинг выполнялся в течение сезона во всех районах работ. Он включал отбор и первичный диатомовый анализ в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш (определение состава современной диатомовой флоры) 18 образцов поверхностных осадков из залива Грэн-Фьорд и озер в окрестностях пос. Баренцбург (оз. Линне). Кроме того, в районах устанавливались и сменялись спорово-пыльцевые ловушки, проводился отбор поверхностных проб в ходе всех маршрутов палеогеографического отряда, направленный на установление современной картины переноса спор и пыльцы, выявления субрецентных спорово-пыльцевых спектров, что необходимо для уточнения палеогеографических реконструкций.

Первичные исследования образцов четвертичных отложений проводились в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш ААНИИ (Баренцбург) и заключались в подготовке образцов для дальнейших исследований в лабораториях Санкт-Петербурга, проведении экспресс-анализа ископаемой и современной диатомовой флоры в отобранных образцах. Всего обработке и исследованиям подверглись 65 образцов.

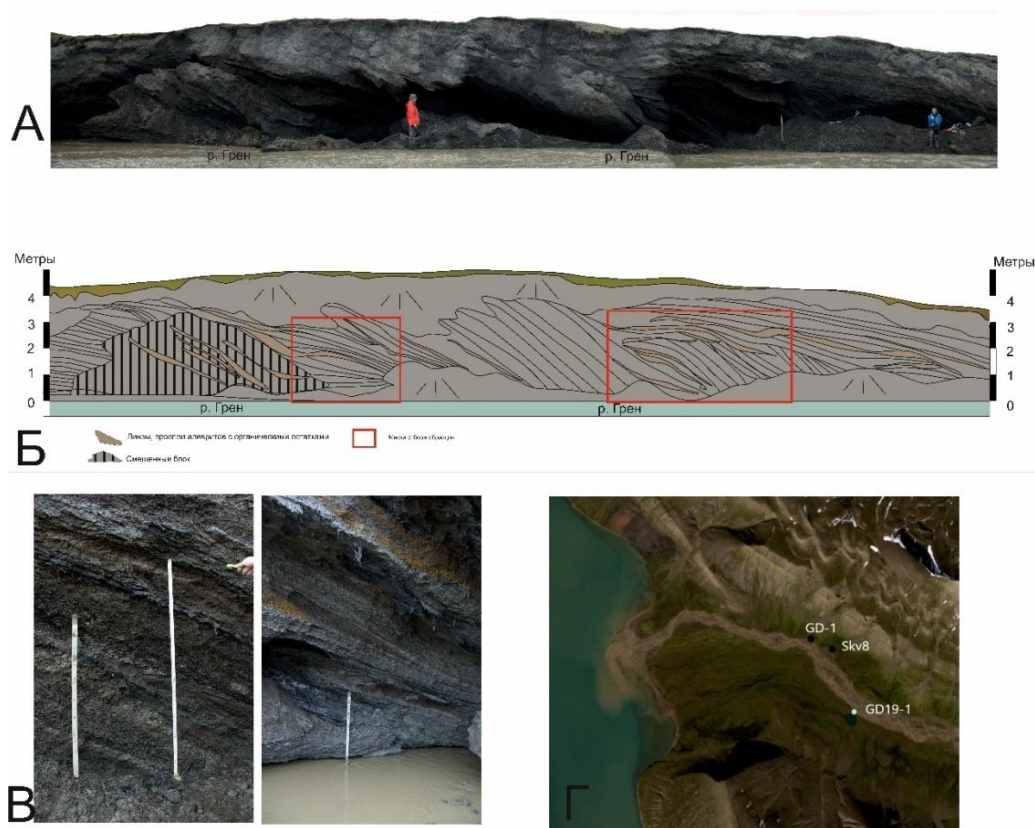


Рисунок 5.3 – Разрез в долине реки Грэн GD19-1 и GD19-2. А – фото разреза, Б – схема строения разреза (красными прямоугольниками показаны места отбора образцов), В – особенности залегания (фото), Г – местоположение разреза и объектов, изученных ранее

Мониторинг изотопного состава природных вод

Отбор проб льда, снега, вод из озер и рек для изотопного анализа продолжил наблюдения, начатые в 2017 г.; важность этих данных отражена в первой публикации по изотопному составу вод района (Скакун и др. 2020). Всего в районах было отобрано 60 проб. Объектами пробоотбора были в основном реки, а также озёра и снег, сохранившийся в фирновых зонах ледников. Большинство из исследуемых объектов уже изучались в ходе экспедиций 2016, 2017 и 2018 гг.; в таких случаях отбирались только ключевые местоположения (исток реки, озёра и самые крупные водотоки) с целью контроля предыдущих данных и выявления межгодовой изменчивости.

Предварительные результаты и предложения по дальнейшим исследованиям:

Палеогеографические исследования 2019 года позволили получить новые натурные данные и собрать уникальную коллекцию образцов, дальнейший анализ и интерпретация которых значительно уточнит и обновит существующие представления:

- о временных границах и параметрических характеристиках изменений климата, оледенения, уровня моря и ландшафтов в районе Грэнфьорда, Исфьорда и Ван-Майенфьорда в послеледниковое время (последние 10–12 тысяч лет);
- в ходе работ по мониторингу изотопного состава природных вод получены не только данные, подтвердившие результаты предыдущих экспедиций, но также данные по ранее не изученным районам;

В качестве рекомендаций для будущих исследований предлагается:

- продолжить непрерывный мониторинг субрецентных спор и пылицы в районе Баренцбурга;

- продолжить комплексный сбор и исследования диатомовой флоры в различных водоемах и их участках с целью составления собственной базы данных для уточнения палеоэкологических реконструкций;
- провести детальное исследование современной диатомовой флоры с определением гидрохимического состава воды в пресных водоемах региона озера Линне;
- провести отбор донных осадков со дна Грёнфьорда с целью дополнения базы данных диатомовой флоры;
- проводить точечные полевые исследования в различных долинах на побережье Исфьорда с целью получить пространственную палеогеографическую информацию об изменении природной среды на острове Западный Шпицберген;
- продолжить непрерывный мониторинг изотопного состава атмосферных осадков в Баренцбурге;
- выполнить отбор донных осадков в нескольких озерах в районе Баренцбурга для получения палеоклиматической информации высокого разрешения для последних 5–2 тысяч лет.

По результатам работы опубликованы тезисы конференций и статьи:

К. В. Полещук, С. Р. Веркулич, З. В. Пушина, А. С. Окунев. Ископаемые диатомовые комплексы голоценовых морских отложений района Дундербухты (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018. – 95–97 с. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0

А.А. Скакун, К.Б. Чихачев, А.А. Екайкин, А.В. Козачек, Д.О. Владимирова, А.Н. Верес, С.Р. Веркулич, О.Р. Сидорова, Н.Э. Демидов. Изотопный состав атмосферных осадков и природных вод в районе Баренцбурга (Шпицберген), Лед и Снег, 2020 г., 60 (1) принята к печати.

Соловьева Д. А., Савельева Л. А., Веркулич С. Р., Зазовская Э. П. Последледниковые изменения природной среды в районе поселка Баренцбург (остров Западный Шпицберген) // Theory and Methods of Polar Science: Proceedings of International youth scientific conference on the polar geodesy, glaciology, hydrology and geophysics. St. Petersburg, Russia, 17–19 May 2018 / eds. Popov S.V., Gavrilkina S.A., Pryakhina G.V. СПб: 2018. С.68 – 69.

Verkulich S., Zazovskaya E., Pushina Z., Savelieva L., Soloveva D., Demidov N., Dercon G. The postglacial environmental changes in vicinity of the Barentsburg settlement (West Spitsbergen) // EGU Assembly theses. Vienna: 2018.
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-7729.pdf>

Мероприятие 6. Современное состояние и динамика многолетней мерзлоты

Выполняемые с 2016 г. исследования мерзлоты в районе пос. Баренцбург позволили заложить основу для непрерывных наблюдений за откликом мерзлых пород района на климатические флуктуации (динамика сезонно-талого слоя), установить наблюдения за состоянием вечной мерзлоты (строение мерзлых пород и термометрия глубоких скважин), начать изучение уникальных мерзлотных объектов (булгуньяхи или пинго/ гидролакколиты/ бугры пучения).

Для получения более полного и достоверного представления о состоянии и эволюции мерзлоты на архипелаге необходимо расширение сети мерзлотных наблюдений, а также дальнейшее изучение вопросов происхождения и развития булгуньяхов (наиболее динамичных мерзлотных объектов) – в этом заключается цель исследований в 2019 г. В соответствии с этой целью ставились следующие задачи:

- бурение новых скважин с извлечением кернов мерзлых пород и установкой термометрических кос для расширения мониторинговых наблюдений и изучения эволюции мерзлоты (весна);
- снятие данных термометрических измерений кос, установленных в 2016-2018 гг. в ранее пробуренных скважинах мерзлотных наблюдений (весенний и осенний периоды);
- проведение режимных наблюдений на криосферном полигоне РНЦШ в пос. Баренцбург (термометрия скважины, измерения мощности сезонно-талого слоя) в сентябре;
- геофизические исследования мерзлотных форм рельефа для уточнения их структуры (весна).

Исследования и полевые работы выполняли Н.Э. Демидов (nikdemidov@mail.ru), В.Э. Демидов, С.С. Воронежский, Н.В. Желтенкова.

Исследование мерзлотных форм рельефа и таликов

Весенние экспедиционные работы помимо колонкового бурения установкой УКБ-12/25 включили также термометрические замеры в скважинах, оборудование двух новых термометрических скважин, шнековое бурение ледяных блистеров и наледей с целью отбора проб незамерзающих источников подземных вод, пробоподготовку и химические анализы отобранных кернов мерзлых пород и льда, рекогносцировочные работы в долинах Берзелиусдален, Колесдален и Холлендардален с целью выбора точек бурения на следующие сезоны. Также проводились георадарные и электроразведочные работы методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) в долинах рек Грэн, Грэнфьорд, Холлендар, Колес, и на геофизическом полигоне РНЦШ (рис. 6.1).

Бурение скважин проводилось с целью продолжения изучения строения и механизма образования группы бугров пучения (булгунняхов) в долине Грэндален, отбора проб льда из их ледяных ядер и проб вмещающих отложений. Группа булгунняхов в долине Грэндален представляет собой интереснейший мерзлотный объект, генетически связанный с выходом долины из-под уровня моря и промерзанием отложений в условиях подтягивания к фронту промерзания подмерзлотных вод, питающихся донным таянием ледников. Кроме того, интерес к булгунням обусловлен их подверженностью к быстрой деградации в связи с потеплением климата.



Рисунок 6.1 – (а) район исследования мерзлоты весной 2019 г.; (б) колонковое бурение скважины на булгуньяхе Нориз; (в) георадиолокационные исследования булгунняхов в долине реки Грэн (положения булгунняхов отмечено пунктирной окружностью, красные линии отмечают радиолокационные профили)

Скважиной номер 12 на булгунняхе Нори (рис. 6б), общей глубиной 22 м, было вскрыто ледяное ядро на глубине 4,5 м. С глубины 21 м лед сменился мерзлой породой. В разрезе булгунняхя обнаружена линза незамерзающего рассола криопэг. Скважиной номер 13 проведено повторное вскрытие ледяного ядра булгунняхя Фили с целью отбора стерильных проб льда на микробиологические виды анализов с соблюдением стерильности. Скважина номер 15 вскрыла ледяное ядро булгунняхя Кили на глубине 13,0 м. Скважины 12 и 15 оборудованы под долговременный мониторинг температурного состояния мерзлоты, логгеры запрограммированы на снятие четырех отсчетов в сутки, устье скважин затампонировано.

Для исследования источников питания массивного льда ядер булгунняхов летом была проведена серия отборов воды из грунтовых источников на гидрохимический анализ. Одновременно измерялась температура воды и состав газовыделений в случае газифицирующихся источников. Химический анализ образцов воды, отобранного из скважин льда и вмещающих отложений ведется в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш АНИИ.

По результатам изучения бугров пучения опубликована статья в журнале *The Cryosphere Discussion* (Demidov et al. 2019) и научно-популярная статья в журнале *Российские полярные исследования* (Демидов и др. 2019).

В пределах долины реки Грэн, выполнены георадиолокационные исследования на буграх пучения для выделения ледяных ядер всех доступных булгунняхов, а также детальные исследования булгунняхя Кили (рис. 6.1в). При производстве работ использовался георадар PulseEKKO с антеннами 50 и 200 МГц. Полученный в результате детальных георадиолокационных наблюдений на булгунняхе Кили (скв. 15) массив данных имеет хорошее качество и позволяет проследить и оконтурить ледяное ядро булгунняхя в его центральной части. Однако, в краевых частях профилей, расположенных вне центрального понижения бугра, проследить границу ледяного тела не представляется возможным из-за увеличения мощности глинистой толщи, перекрывающей лёд.

Дополнительно для уточнения границ ледяного ядра булгунняхов, установления подошвы мерзлых пород, выделения таликовых зон на побережье фьордов, под реками и озерами проводились геофизические работы методом ЗСБ (зондирование становлением поля в ближней зоне) аппаратурой «Tem-Fast» (AEMR, Ltd., Нидерланды). С целью повышения точности интерпретации кривых ЗСБ тестовые измерения были проведены также в местах бурения опорных скважин. Геофизические работы методом ЗСБ позволили проследить подрусловые и подозерные таликовые зоны, а также талики, приуроченные к тектоническим нарушениям. Интереснейшим выводом оказалось наличие в нижних частях речных долин на удалении до 2-3 км от моря таликовых зон, связанных с интрузией морских вод (рис. 6.2). Эти данные опубликованы в научно-популярной статье в журнале *Российские полярные исследования* (Кошурников А.В. и др. 2019).

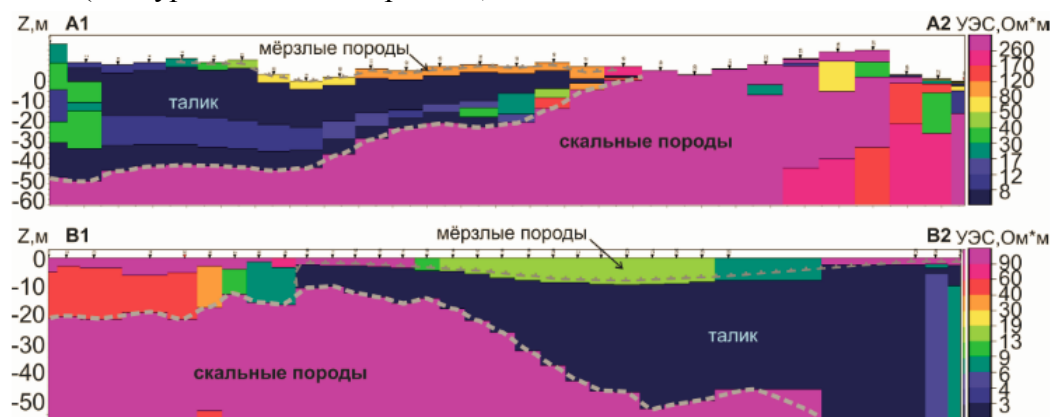


Рисунок 6.2 – Геоэлектрические разрезы через нижнюю часть долины Грэндален

В 2019 г. были завершены микробиологические анализы с кернами мерзлых пород полученных при бурении на Шпицбергене в 2016 г. Статья, посвященная этим результатам, находится в редакции журнала «Микробиология». Астробиологический аспект изучения гидролакколитов докладывался на международном «Симпозиум по исследованиям Солнечной системы (Solar System Symposium)» в Москве. Обобщение результатов мерзлотных работ на Шпицбергене было сделано в рамках конференции по исследованию Шпицбергена (Svalbard Science Conference)» в Осло.

Мониторинг температуры многолетнемерзлых отложений и мощности сезонно-талого слоя

Наблюдения за динамикой многолетней мерзлоты проводились в летний сезон и включали: считывание данных с наблюдаемых скважин № 2, 9, 12, 13, 15; установку новой термометрической косы на дно во внутренней части залива Грэнфьорд; проведение замеров мощности СТС (сезонного талого слоя) на площадке CALM; отбор проб грунтовых вод из источников на гидрохимический анализ (рис. 6.3).

Измерения СТС на площадке CALM проводились в 121 точке по сетке квадрата со стороной 50 м. Контроль глубины СТС сверен с данными нулевой температуры со скважины 2, расположенной на границе площадки. Минимальная глубина СТС составила 114 см, максимальная 154 см при среднем значении 133,5 см. По сравнению с предыдущими наблюдениями, протайка летом 2019 года оказалась минимальной, что связано с поздним установлением теплой погоды в июне (табл. 6.1). Сравнительные данные по глубине СТС наблюдаемые на CALM за несколько предшествующих лет приведены в Таблице 6.1.

Сеть скважин для осуществления термометрических наблюдений в настоящее время состоит из пяти объектов. Скважина 2 на площадке CALM предназначена для проведения мониторинга на останце типичных для Баренцбурга морских террас. Скважина 12 предназначена для мониторинга температурного поля в скальных породах. Скважины 9, 13, 15 предназначены для проведения мониторинга на булгуннях в долине Грэндален. В скважинах установлены термокосы, работающие в штатном режиме, считывание температурных данных производится минимум два раза в год, что позволяет передавать данные в международные базы данных. В скважине 12, вдобавок к ранее установленной термокосу, установлена более длинная коса на глубину 19 м, что позволило проводить наблюдения на глубине нулевых годовых амплитуд. Температура на забое скважин варьировала от -2.37 до -2.81°C. Учитывая это и наличие засоленных пород в разрезе скважин с температурой начала замерзания порядка -1°C можно говорить о том, что даже незначительное потепление климата может привести к



□ - Измерения СТС на площадке CALM ▮ - Термометрические замеры в скважинах
○ - Отбор проб на гидрохимический анализ ▮ - Установка термокосы в заливе Грэнфьорд

Рисунок 6.3 - Места расположения объектов наблюдений в летний период 2019 г.

Таблица 6.1. Глубина сезонно-талого слоя в сентябре, наблюдаемая на площадке CALM в 2016-2019 гг.

Год наблюдения	Средняя величина СТС, см
2016	1,56
2017	137,6
2018	144,6
2019	133,5

частичной деградации мерзлоты. Данные мониторинга мерзлоты на полигоне в Баренцбурге были обобщены вместе с данными других национальных программ мониторинга мерзлоты в первом ежегодном отчете SESS report 2018 (Christiansen et al. 2018).

Чтобы оценить состояние подводной мерзлоты, на дно залива Грэнфьорд в его внутренней части была установлена пятидесятиметровая термокоса производства ОАО «МГУ-Геофизика», данные которой позволят получить распределение температур донных осадков в течение года.

В целом в результате бурения новых скважин и проведения в них термометрических измерений расширена сеть и повышена репрезентативность наблюдений за реакцией вечной мерзлоты Шпицбергена на текущие климатические изменения, которая зависит от ряда локальных географических и геолого-геоморфологических факторов. Бурение скважин и отбор кернов мерзлых четвертичных пород на булгунняхх дает важный дополнительный материал для выявления механизма образования этих уникальных мерзлотно-геологических объектов, для реконструкции прошлых природных условий и этапов развития мерзлоты на архипелаге. Измерения на криосферном полигоне пополняют ряд данных о межгодовой динамике сезонно-талого слоя, которые включаются в международные базы данных мониторинга мерзлоты TSP и CALM. Все получаемые с 2016 г. данные мерзлотно-наблюдений и исследований закладывают и укрепляют фундамент для корректного моделирования и прогноза отклика многолетней мерзлоты на климатические изменения, а также служат источником важной информации для проведения инженерно-геологических изысканий под строительство в пос. Баренцбург и его окрестностях.

По результатам исследований опубликованы статьи и материалы конференций:

Christiansen, H.H., Gilbert, G.L., Demidov, N., Guglielmin, M., Isaksen, K., Osuch, M., Boike, J.: Permafrost thermal snapshot and active-layer thickness in Svalbard 2016-2017, In: SESS report 2018, The State of Environmental Science in Svalbard – an annual report, Eds.: Orr, E., Hansen, G., Lappalainen, H., Hübner, C., Lihavainen, H., SIOS, Longyearbyen, Svalbard, pp. 26-47, https://www.sios-svalbard.org/sites/sios-svalbard.org/files/common/SESSreport_2018_FullReport.pdf, 2019

Demidov, N., Wetterich, S., Verkulich, S., Ekaykin, A., Meyer, H., Anisimov, M., Schirmeister, L., Demidov, V., and Hodson, A. J.: Pingo development in Grøndalen, West Spitsbergen, The Cryosphere Discuss., <https://doi.org/10.5194/tc-2019-76>, in review, 2019.

Н.Э. Демидов, С.Р. Веркулич. Загадка булгунняхх долины Грэндален (Шпицберген) // Российские полярные исследования. 2019. № 1. С.14–16.

Кошурников А.В., Демидов Н.Э., Гунар А.Ю., Желтенкова Н.В., Кривошея К.В., Погорелов А.А., Зыков Ю.Д. Информативность геофизических методов разведки при решении геокриологических задач на суше и шельфе // Российские полярные исследования. 2019. № 2. С. 17-23.

Demidov N.E., Demidov V.E., Gunar A.U., Karaevskaya E.S., Krasilnikov S.S., Leibner. Pingos on Spitsbergen and on Mars as Astrobiological targets // Abstract 10MS3-AB-15 of 2019 X Moscow Solar System Symposium, IKI RAS, 2019.

Demidov N., Verkulich S., Shirmeister L., Wetterich S. Permafrost monitoring network in Barentsburg as part of Eurasian Arctic high-latitude permafrost monitoring transect // Abstract of Svalbard Science Conference, Oslo, 2019

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

Выносной пункт приема-передачи спутниковой информации (ВППИ) (рис. 7.1), размещенный в пос. Баренцбург, является важнейшим элементом инфраструктуры РАЭ-Ш АНИИ.



Рисунок 7.1 – Спутниковые антенны ВППИ в пос. Баренцбург

ВППИ представляют комплекс технических и программных средств приема, первичной обработки и передачи спутниковой информации. Управление работой комплекса осуществляется из удаленного пункта управления и тематической обработки (УПУ), 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 (пос. Баренцбург):

- 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.

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.

Выгодное географическое положение обеспечивает преимущество ВППИ на Шпицбергене по сравнению с другими отечественными пунктами приема спутниковой информации (Санкт-Петербург, Обнинск, Новосибирск, Хабаровск), так как зона его обзора в Баренцбурге почти полностью охватывает акваторию Северного Ледовитого океана. Также над архипелагом находится точка схождения орбит спутников дистанционного зондирования Земли, благодаря чему эти спутники попадают в зону видимости ВППИ. При условии одновременной работы трех станций это обеспечивает прием максимально возможного количества информации.

В течение 2019 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 в I-IV кв. 2019 г.

Количественные показатели информации	2019 г.				Всего
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	
Количество сеансов приема информации с ИСЗ	9922	11627	11294	10248	43091
Количество подготовленных и переданных в ААНИИ tif - файлов	13529	15853	15399	13973	58754
Объем переданной информации, Гб	265,5	311,1	302,2	274,2	1153,0

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

В сентябре 2019 г. компанией Kongsberg Spacetec AS выполнены работы по регламентному техническому обслуживанию и модернизации ВППИ в соответствии с заключенным между компанией и ФГБУ «ААНИИ» контрактом. Работы включали проверку кабельных соединений антенных комплексов, юстировку положения антенн, замер уровня сигнала и шума и другие технические операции. Помимо плановых работ был произведен демонтаж блока управления антенной (ACU) станции BG-3 в связи с его выходом из строя. С 03.09 по 30.10.2019 г. работа станции BG-3 была временно приостановлена до возвращения и установки блока ACU, отремонтированного компанией Kongsberg Spacetec AS. Проведенные работы повысили надежность функционирования ВППИ.

В марте и сентябре 2019 г. ВППИ инспектировала комиссия Губернатора Шпицбергена, в состав которой входили представители администрации Губернатора, Государственного управления связи Норвегии и Норвежского института оборонных исследований. Такие проверки работы спутниковых станций предусмотрены норвежским законодательством. Результаты проверок положительные, замечаний нет, о чем засвидетельствовано в официальных Заключениях.

Мероприятие 8. Экологические исследования

В 2019 г экологические исследования на базе химико-аналитической лаборатории проводились по нескольким направлениям: исследование накопления металлов в криоконитах ледников, миграции металлов по пищевой цепи в наземной экосистеме и накопление металлов в морских организмах, проводился мониторинг состояния приземного воздуха с помощью анализаторов станций контроля качества атмосферного воздуха (ККАВ), велись поисковые исследования фторорганических соединений в районе Баренцбурга. Также были проведено изучение микробиоты криоконитов на ледниках и в почвах птичьих базаров.

1. Мониторинг состояния приземного воздуха автоматическими станциями

Две станции контроля качества атмосферного воздуха в поселке и на горе над пос. Баренцбург работали в 2019 г., однако в течении года некоторое оборудование было отключено, так как выходило из строя и требовало ремонта, в частности происходило отключение системы сбора данных. 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. Количество замеров за январь-октябрь 2019 г. указано в таблице 8.1.

Данные станций контроля качества атмосферного воздуха участвовали в совместном с международными организациями проекте по отслеживанию концентраций диоксида серы, оксидов азота и пыли в приземном воздухе в летний период (Мероприятие 10, раздел 4). Анализ данных ведется также 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. С 2017 г. годовая динамика остается сравнительно неизменной и в летнее время с началом открытия навигации в пос. Баренцбург возрастает концентрация оксидов азота, что связано с заходом и стоянкой кораблей в порту и на рейде (рис. 8.1).

Таблица 8.1. Количество измерений станций контроля качества воздуха за 2019 г.

Показатель	Количество измерений, ед.	
	станция «Гора»	станция «Поселок»
Оксид, диоксид азота и аммиак	72912	62620
Оксид и диоксид углерода	49988	47686
Диоксид серы и сероводород	47956	46658
Концентрации озона	25009	24278
Общая газообразная ртуть	20994	22462

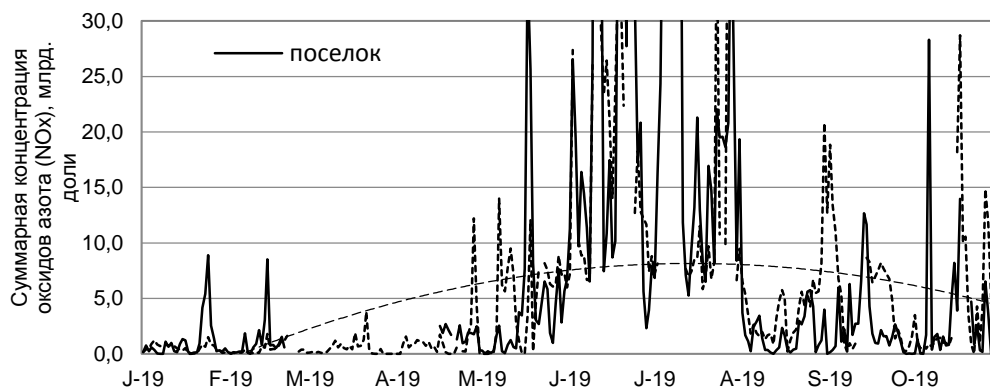


Рисунок 8.1 – Содержание оксидов азота (суммарное) в воздухе на двух станциях с января по октябрь 2019 г. Длинная пунктирная линия – тренд для концентраций, измеренных на станции «Поселок»

На верхней станции, расположенной на плато над поселком, эта закономерность выражена обычно слабо, но в 2019 г. анализаторы фиксировали концентрации сравнимые с тем, что наблюдались в поселке. Также, в июне и июле отмечены экстремально высокие концентрации оксидов азота на обеих станциях, совпадают ли они в одинаковые периоды или являются случайными выбросами данных, вызванных неполадками в приборах, покажет последующий анализ. Причина повышения содержания оксидов осенью также не ясна и вероятно связана с метеорологическими условиями, установившимися в этот период.

Другой годовой ход имеет концентрация диоксида серы (рис. 8.2). Хотя диоксид серы содержится в выбросах транспорта и судов, основным его источником в воздухе поселка, очевидно, является ТЭЦ. Нестабильность режима работы ТЭЦ и недостаточная фильтрация газов и твердых частиц на выходе, возможно, resultируются в резких кратковременных повышениях концентрации диоксида серы на общем, относительно низком для населенного пункта, фоне. Этот эффект усиливается специфическими метеорологическими условиями в холодное время года, предупреждающими рассеивание шлейфа ТЭЦ.

Содержание в приземном воздухе консервативных газов (диоксид углерода, озон), практически постоянно, однако и для них характерна сезонная динамика, связанная с атмосферной циркуляцией. Так в годовом ходе концентрации озона помимо синхронных суточных колебаний выявляются более длительные колебания, находящиеся в противофазе с атмосферным давлением, что связано с интенсивностью ветровых переносов (рис. 8.3). Максимальные концентрации озона наблюдаются весной, а минимальные в августе, при этом изменения происходят синхронно на обеих станциях. В годовом ходе содержания диоксида

углерода не наблюдается схожей синхронности между станциями, причины чего предстоит выяснить в сравнении данных между годами.

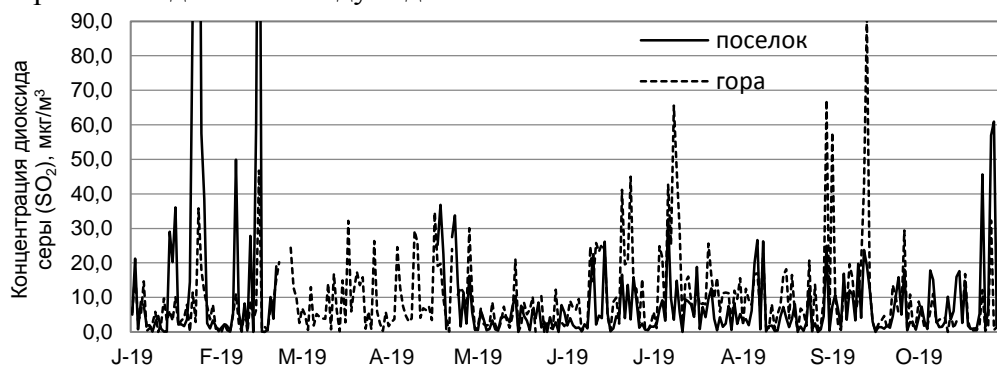


Рисунок 8.2 – Содержание диоксида серы в приземном воздухе на двух станциях с января по октябрь 2019 г.

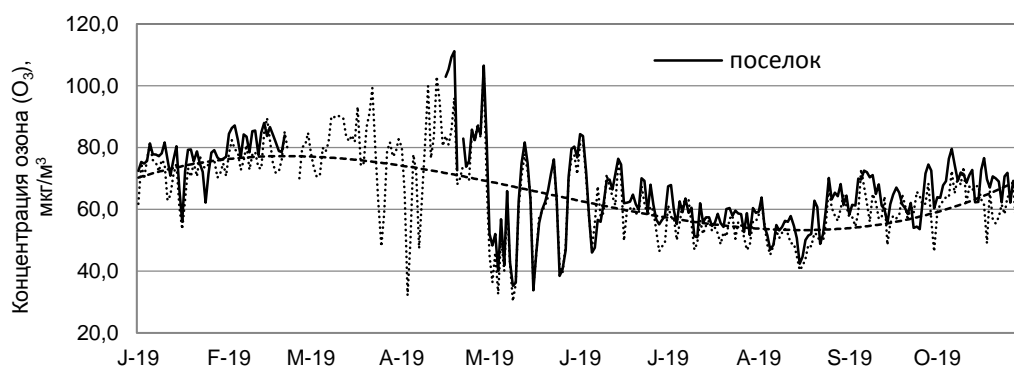


Рисунок 8.3 – Содержание озона в воздухе на двух станциях с января по октябрь 2019 г. Пунктир – линия тренда, совпадающая для обеих станций

Сбор данных со станций ККАВ продолжается, при этом анализ данных требует привлечения данных о метеорологических условиях и атмосферной циркуляции, аэрозоле, ультрафиолетовой радиации, режиме работы ТЭЦ и движения судов, влияющих на качество воздуха в пос. Баренцбург.

2. Пилотные работы по химическому анализу криоконитов на ледниках Западного Шпицбергена

В результате попадания на поверхность ледника минеральных или других частиц на его поверхности образуются каналы протаивания, в которых развиваются особые минерально-биологические структуры криокониты. В каналах формируется особенный микроклимат, что способствует активному заселению этих местообитаний цианобактериями и одноклеточными водорослями. Криокониты в ходе своего развития накапливают в себе материал, принесенный воздушным переносом, это могут быть как минеральные и биологические частицы (споры, бактерии), так и антропогенный аэрозоль, содержащий металлы и сложные органические вещества. Этот привнесенный материал частично обрабатывается микроорганизмами криоконитов, однако остается в сравнительно замкнутой системе пока канал протаивания не разрушается. В результате таяния ледников, материал из криоконитов, содержащий также загрязняющие вещества, поступает в почвы или водные потоки, или сам становится основой для формирования почв.

Таким образом изучая содержание загрязняющих веществ в криоконитах можно получить представление о накоплении и переносе материала, о влиянии дальнего переноса и локальных источников загрязнения на поверхности ледников. Цель работ в 2019 году была в первую очередь отработать методику пробоотбора криоконитов из каналов протаивания, а затем провести скрининг взвешенного вещества и раствора на содержание тяжелых металлов и стойких загрязняющих веществ, чтобы определить уровень их накопления и возможные источники загрязнения. Химические исследования выполняли сотрудники химико-

аналитической лаборатории В.В. Бойко и А.Л. Никулина. Одновременно проводились микробиологические исследования вещества криоконитов к.б.н. И.Ю. Кирцидели (Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН).

Отбор проб криоконитов осуществлялся на ледниках Альдегонда и Зап. Грэнфьорд в июле-августе 2019 г. В первую очередь были опробованы разные методы отбора проб, и отработана единая методика отбора. На репрезентативной площадке, содержащей большое количество однотипных криоконитов достаточного объема, отбирались поверхностный лед, жидкость из криоконитового канала, и само вещество криоконита в виде взвеси. Так как криокониты на выбранных ледниках небольшого размера, отбиралась кумулятивная проба с участка. Пробы на микробиоту отбирались стерильным способом. На точке отбора делалось описание поверхности, измерялась глубина и диаметр криоконитовых каналов, фиксировались признаки присутствия биологических объектов, делались фотографии поверхности ледника и криоконитов в макро-режиме. На химический анализ было отобрано 17 образцов криоконитов и воды криоконитовых каналов (рис. 8.4), для микробиологического анализа было отобрано 78 образцов.

В лаборатории жидкость и взвесь фильтровались. Фильтры с микробиотой сохранены в стерильных контейнерах и доставлены в Санкт-Петербург для исследования на содержание микроорганизмов в лабораторных условиях (с использованием культуральных и молекулярно-генетических методов). В пробах воды из криоконитовых каналов и растопленного льда определялись основные гидрохимические показатели – pH, электропроводность, содержание основных ионов (ионный хроматограф LC Prominence), растворенного органического углерода и азота (анализатор углерода и азота TOC-L), содержание тяжелых металлов (атомно-абсорбционный спектрометр AA-7000). Пробы взвеси криоконитов были высушены и подготовлены к анализу содержания тяжелых металлов методом кислотного разложения.

Предварительный анализ данных показал очень низкую минерализацию льда и воды из криоконитовых каналов, крайне низкое содержание основных ионов. Интересно, что вода криоконитов бедна силикатами, в то время как лед вокруг содержит силикаты, что говорит о развитии диатомовых. Содержание растворенного азота и углерода также ниже в каналах, чем в растопленном льду. Концентрации металлов в воде и льде ниже пределов обнаружения используемого метода. Однако, в пробах взвеси, т. е. самого вещества криоконитов, концентрации металлов значительны (таблица 8.2).

В среднем концентрации металлов в пробах, отобранных на леднике Альдегонда выше тех, что отобраны на леднике Зап. Грэнфьорд. Это может объясняться разными типами горных пород, слагающих борта ледника, с которых минеральный материал попадает на поверхность ледника, а также разным возрастом криоконитов, преобладающих на леднике. Дальнейшее исследование горных пород района и сравнение полученных концентраций, поможет понять источники металлов в криоконитах и оценить объем металлов, накапливаемых на ледниках. Микробиологические исследования помогут выявить родковую

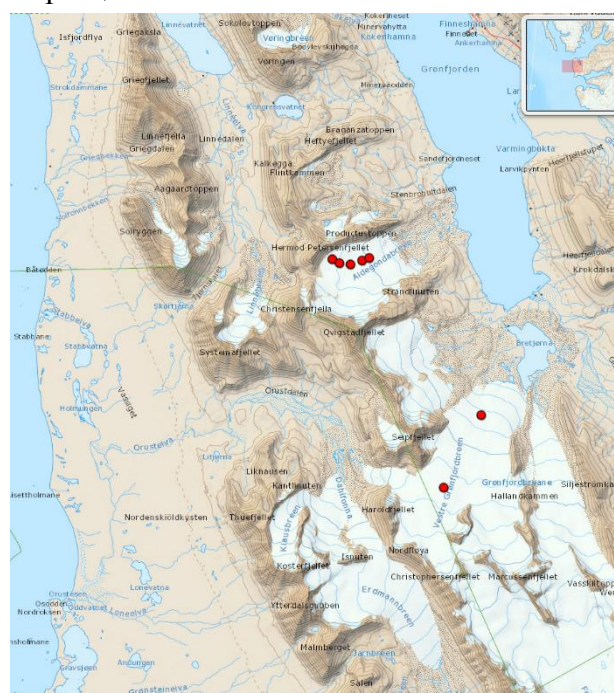


Рисунок 8.4 – Места отбора проб криоконитов для химического анализа

принадлежность микроорганизмов криоконитов и определить их потенциальную патогенность.

Таблица 8.2. Содержание металлов в твердом веществе криоконитов, отобранных на ледниках Зап. Грэнфьорд (WG) и Альдегонда (A) в 2019 г.

Образец	WG-Cr-1-S	WG-Cr-2-S	A-Cr-1	A-Cr-2	A-Cr-3	A-Cr-4	A-Cr-5
Cd, мкг/г	< 0,0002	< 0,0002	0,295	0,136	0,224	0,151	0,164
Co, мкг/г	9,717	8,603	11,903	10,888	12,125	12,721	9,192
Mn, мкг/г	196,417	174,492	262,199	276,811	357,668	299,574	228,205
Cu, мкг/г	9,677	8,565	10,750	11,220	9,701	10,139	7,079
As, мкг/г	16,228	11,697	< 0,004	11,640	< 0,004	11,025	< 0,004
Ni, мкг/г	30,475	26,854	48,139	39,301	38,784	37,696	28,535
Sn, мкг/г	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Pb, мкг/г	53,877	48,336	27,564	44,750	31,908	54,387	27,886
Sb, мкг/г	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Cr, мкг/г	32,601	45,951	8,020	60,481	52,135	34,504	38,814
Zn, мкг/г	58,622	53,821	90,386	74,336	72,468	68,674	54,924

3. ММБИ КНЦ РАН совместно с ААНИИ: Накопление тяжелых металлов в трофической цепи (бентосных организмах) и оценка современного состояния фитоценозов заливов Исфьорда

Совместные исследования Мурманского морского биологического института и ААНИИ по изучению миграции экологических токсикантов в экосистемах заливов Шпицбергена в 2019 г. сосредоточились на накоплении тяжелых металлов (ТМ) в прибрежной экосистеме в районе пос. Баренцбург на градиенте влияния ТЭЦ. Кроме того, продолжался анализ образцов бентосных организмов и донных отложений, отобранных в 2018 г., на содержание набора ТМ с целью изучения их аккумуляции в трофической цепи фьордов.

Загрязняющие вещества поступают в наземные экосистемы арх. Шпицберген не только из других районов Земли (Расуна et al. 2010), но и от локальных источников (Nikitina, Ророва 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). Изучению накопления ТМ в наземных позвоночных Арктики посвящено много исследований, поскольку высокоширотные экосистемы особенно чувствительны к их воздействию (Prestrud et al. 1994; Sagerup et al. 2009; Расуна et al. 2018). К растительноядным животным, таким как гуси и олени ТМ поступают с пищей, в основном с мхами и лишайниками, формирующими растительный покров в кормовых местообитаниях этих видов.

В рамках данного исследования в июне-июле 2019 г. в трех местообитаниях, представленных типичной арктической тундрой, были отобраны образцы растительности (кормовая база), экскременты белошекой казарки *Branta leucopsis* и шпицбергенского северного оленя *Rangifer tarandus platyrhynchus* для изучения накопления ТМ (кадмий, кобальт, марганец медь, никель, олово, свинец, сурьма, хром, цинк и мышьяк). Содержание ТМ и мышьяка во всех образцах определяли в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш в пос. Баренцбург.

В окрестностях Баренцбурга гуси кормятся на приморской арктической тундре. Эти кормовые биотопы характерны также и для северного оленя *Rangifer tarandus platyrhynchus*

на Западном Шпицбергене. Часто в районе пос. Баренцбург гуси и олени кормятся на одних и тех же пастбищах. В окрестностях поселка имеется ТЭЦ, работающая на каменном угле местного происхождения, которая является источником загрязнения. Для отбора образцов были выбраны 3 участка на разном удалении от ТЭЦ.

Из всех проанализированных металлов концентрации олова и сурьмы во всех образцах мхов и экскрементов гусей и оленей было ниже пределов определения ($<0,01$ и $<0,008$ соответственно мкг/г сух.веса). Самые высокие концентрации свинца и кадмия в растения были обнаружены на третьем участке, что объясняется розой ветров, особенностями выпадения ТМ в результате выбросов ТЭЦ и аккумуляирования растениями. Поедая растения в районе действия ТЭЦ, гуси аккумулируют кадмий, кобальт, медь, мышьяк, никель, свинец, хром и цинк. Олени, очевидно, чаще кормятся вдали от обследованных участков, поскольку уровни выведения элементов у них выше, чем в растениях на обследованных участках. Особенности концентрирования элементов гусями и оленями были оценены по общей модели баланса: $C1=C2-C3$, где $C1$ – концентрация элемента в организме, $C2$ – концентрация элемента в пище, $C3$ – концентрация элемента в экскрементах. Предварительно было установлено, что такие высокотоксичные элементы, как мышьяк, свинец и кадмий, гуси аккумулируют в теле в большей степени, чем олени (рис. 8.5).

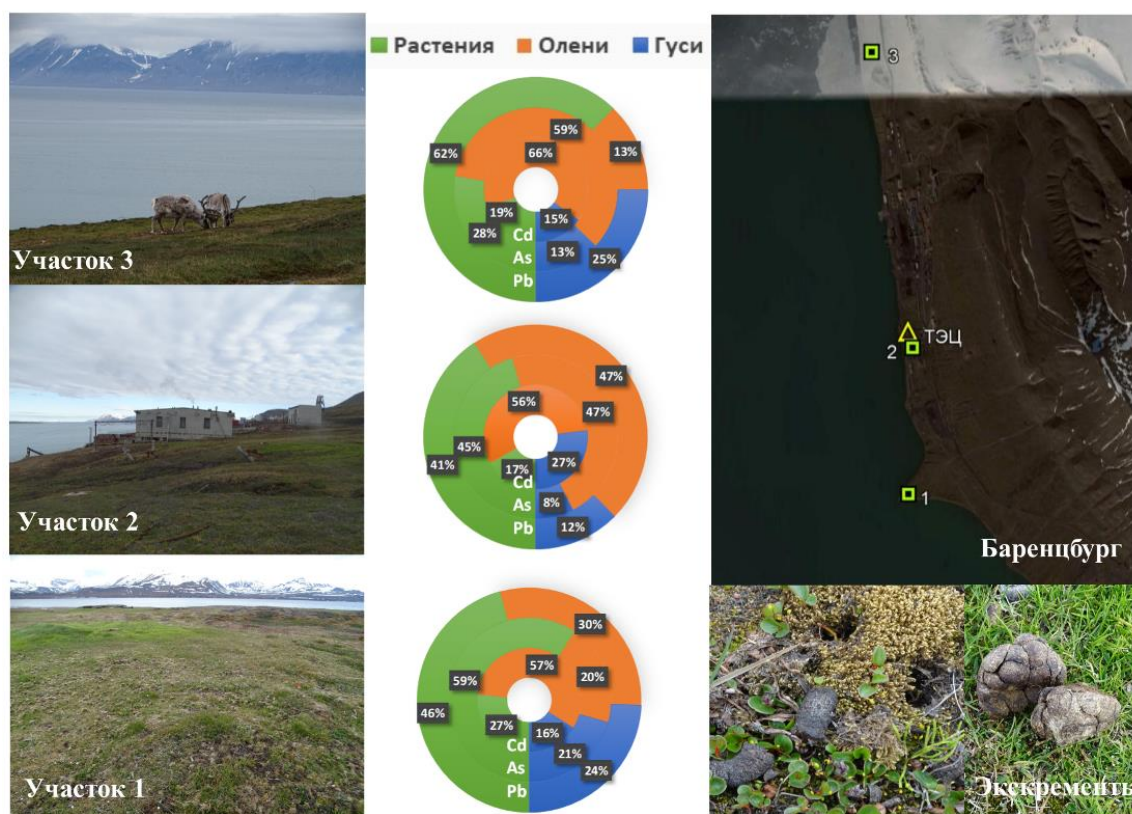


Рисунок 8.5 – Соотношение концентраций элементов (%) в растениях, экскрементах оленей и гусей на трех участках опробования

Список литературы:

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 A.D., Koziarowska K., Chmiel S., Mazerski J., Polkowska Ż. Svalbard reindeer as an indicator of ecosystem changes in the Arctic terrestrial ecosystem// *Chemosphere*. – 2018. – V. 203. – P. 209–218.

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.

Prestrud P., Norheim G., Sivertsen T., Daae H. L. Levels of toxic and essential elements in arctic fox in Svalbard// *Polar Biology*. – 1994. – V. 14(3). – P. 155–159.

Sagerup K., Savinov V., Savinova T., Kuklin V., Muir D. C., Gabrielsen G. W. Persistent organic pollutants, heavy metals and parasites in the glaucous gull (*Larus hyperboreus*) on Spitsbergen// *Environmental pollution*. – 2009. – V. 157(8–9). – P. 2282–2290.

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

Перфтороктансульфонат (PFOS) и перфтороктановая кислота (PFOA) являются частью большой группы химических веществ, так называемых полифторированных соединений (PFAS). PFAS представляют собой полностью или частично фторированные алифатические молекулы, которые попадают в окружающую среду во время их использования в промышленности в качестве: замазочных, поверхностно-активных веществ, эмульгаторов, пенообразователей или продуктов утилизации PFAS-содержащих материалов. PFOS и PFOA являются наиболее широко изученными химическими веществами в группе PFAS, так как они постоянно присутствуют в окружающей среде в связи с их устойчивостью к типичным процессам деградации в природе.

Эта группа веществ обнаруживается в биоте во многих частях мира, включая Арктику и океаны, что указывает на возможность переноса на большие расстояния. Рост концентрации PFAS у организмов, находящихся на более высоком трофическом уровне, указывает на их способность к биоаккумуляции. Токсичность, высокая растворимость в воде и жирах, способность к биоаккумуляции являются свойствами, способствующими оказанию неблагоприятного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. За последние 3 года медицинские клинические исследования зарубежных организаций подтвердили возможность PFOS и PFOA вызывать раковые заболевания у человека. PFOS была включена в Стокгольмскую конвенцию в 2009 (Annex B), статус PFOA в настоящий момент находится на рассмотрении. В 2015 году PFOA была официально отнесена в США к канцерогенам группы A3.

Имеющийся в лаборатории жидкостной хромато-масс-спектрометр с тройным квадруполем 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 и сыворотки и плазмы крови. Также оптимизируются методики пробоподготовки в этих матрицах: экстракции, концентрирования и очистки образцов от мешающих факторов.

В 2019 г. усилия были сосредоточены на поиске оптимального метода экстракции и очистки образцов почвы, растений и фильтров со взвешенным веществом. В зависимости от матрицы, вида анализа и элюента, имеющегося в наличии, были оптимизированы условия хромато-масс-спектрометрического анализа. Работы включали:

- неоднократное техническое обслуживание прибора, включая очистку нагревательного блока и элементов ионной оптики.

- настройка масс-спектрометра по смеси этиленгликолей и раффинозы для его настройки по массам, настройки напряжения на компонентах ионной оптики и электроспрея и проверки качества работы системы, а также промывка настроечного капилляра и замена настроечного раствора на свежий.
- подбор условий масс-спектрометрического определения перфторированных кислот режимах полного сканирования масс (Scan) и мониторинга отдельных ионов (SIM).
- оценка чувствительности прибора по отношению к 15 перфторорганическим соединениям (13 целевых, одна изотопно-меченная кислота и 1 кислота для оценки текущей чувствительности прибора) соединениям в режиме SIM на разных разрешениях в первом и третьем квадруполях.
- анализ стабильности отклика прибора и влияние различных настроек инструмента на чувствительность. Подобраны оптимальные параметры.
- эксперимент по определению влияния добавки в элюент на выход ионизации молекул электроспреем. В дальнейшем пробы анализировались с добавлением 2 мМ ацетата аммония в воде к раствору PFOA в метаноле либо ацетонитриле в соотношении 1:1.
- выбор колонки для хроматографического разделения компонентов по уровню шума самой колонки и качеству хроматографического разделения. В дальнейшем применялась колонка Phenomenex Luna(2).
- подбор метода хроматографического разделения 15 PFAS с использованием следующих элюентов: 2 мМ раствор ацетата аммония в деионизованной воде и 2мМ ацетата аммония в метаноле.
- в соответствии с получившимися программами хроматографа была проведена оптимизация масс-спектрометрического анализа тандемной масс-спектрометрией с применением коллизионной ячейки.

Проводился подбор условий экстракции PFAS из матриц с помощью разных типов картриджей для твердофазной экстракции. Смыв экстрагированных компонентов с картриджей проводился двумя способами, подбирались скорость центрифугирования образцов, скорость прохождения экстракта через картридж и другие условия.

В рамках продолжения экспериментальной работы 2018 года, в 2019 году в качестве объекта анализа были выбраны 14 проб почвы из окрестностей пос. Пирамида (рис. 8.6). Для образцов почвы был проведен анализ на содержание перфторированных карбоновых кислот и сульфокислот по расширенному списку: 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),

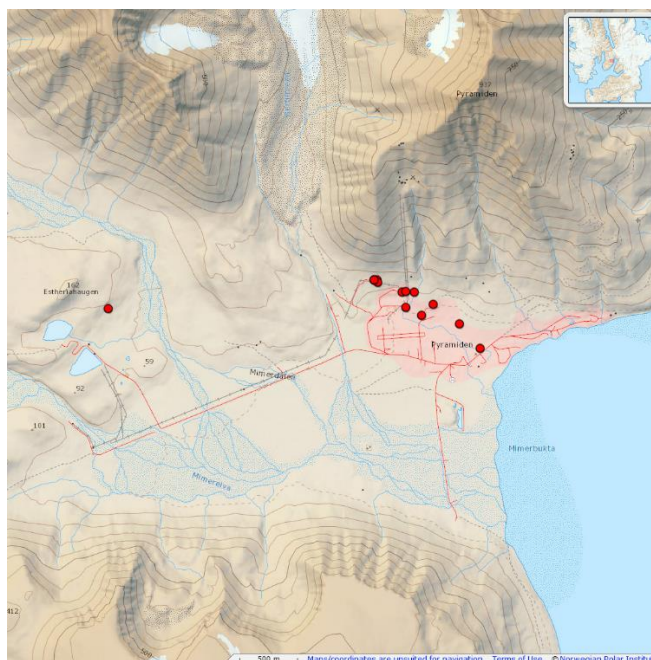


Рисунок 8.6 – Точки отбора образцов почвы для анализа на содержание PFAS, PFOS и сопутствующих фторированных соединений в пос. Пирамида

перфторбутансульфоновая кислота (PFBS), перфторгектановая кислота (PFHpA), перфтордекансульфоновая кислота (PFDS), перфтордодекановая кислота (PFDoDA).

Обнаружено присутствие PFAS в концентрационном пределе 14 пг/г, с преобладанием PFOA, PFNA, PFDA и PFUnDA (табл. 8.3), что позволяет делать выводы о распространении PFAS. Содержание PFBA 150,4 пг/г в образце почвы St.854 вероятно связано с использованием в данном месте средств пожаротушения, так как PFBA является одним из компонентов противопожарной пены, а сам образец отбирался на месте с характерным запахом пролитых нефтепродуктов.

На данный момент, ввиду тестовой выборки проб почвы, невозможно сделать выводы о распространении PFAS в окрестностях пос. Баренцбург и Пирамида, так как требуется проработка процедуры очистки и концентрирования пробы твердофазной экстракцией.

Таблица 8.3. Содержание фторированных соединений в пробах почвы в окрестностях поселка Пирамида, пг/г сух.веса

	PFBA	PFBS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFHxS	PFNA	PFDA	PFOS	PFUnDA	PFDS	PFDoDA	PFTeDA
St. 942	28,2	1746,4	*	*	*	*	785,1	75,8	630,2	6,7	*	*	*
St. 825	26,1	*	22,1	203,5	621,0	*	49,2	11,9	*	13,7	*	*	*
St. 1	*	2110,4	2136,9	2274,6	1375,2	1703,5	1319,5	387,0	1050,1	38,6	*	*	*
St 854	*	*	25,8	199,5	494,5	*	54,4	11,9	*	14,4	*	*	*
St 847	*	800,6	830,3	974,3	772,2	715,5	269,3	15,9	189,1	7,5	*	*	*
St 2	*	*	*	252,2	751,5	*	46,4	13,1	*	9,9	*	*	*
P.Ny 3	5440,4	786,9	1119,8	888,3	1085,7	1054,6	822,4	749,0	833,6	627,7	*	*	*
P 943	6871,4	*	*	*	597,7	*	*	32,5	*	*	*	*	*
P 74	*	911,5	889,3	1004,5	805,1	872,7	379,4	37,9	321,5	8,7	*	*	*
St. 866	*	*	22,9	124,4	451,8	*	40,3	7,4	*	13,6	*	*	*
P. 78	*	846,3	946,8	1037,4	871,8	786,6	498,6	101,4	418,7	12,1	*	*	*
P. 73	*	*	*	111,8	492,2	*	38,1	8,5	*	13,7	*	*	*
P. 53	544,2	2540,2	2428,3	*	*	*	700,7	19,9	667,4	0,8	*	*	*
St. 942	28,2	1746,4		*	*	*	785,1	75,8	630,2	6,7	*	*	*

* пик определяемого вещества не обнаружен.

Дополнительно в лаборатории в августе проведена переконфигурация прибора LCMS-8040: произведено отделение масс-детектора от хроматографа, сконфигурированного для анализа на полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), к хроматографу с электрохимической ячейкой, а также установлен новый плунжерный насос. Проведенная переконфигурация позволит использовать масс-детектор для определения PFAS независимо от загрузки лаборатории сезонными экспедиционными работами.

Мероприятие 9. Проведение учебной практики для студентов-географов на базе РНЦШ

В 2019 г. ФГБУ «АНИИ» организовал проведение научно-производственной практики на базе инфраструктуры РАЭ-Ш в пос. Баренцбург для одной группы студентов (4 студента – бакалавры последнего года и магистранты и преподаватель) из МГУ, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии. Руководитель практики от МГУ с.н.с. кафедры криолитологии и гляциологии Кизяков А.И. Практика проходила с 22 июля по 4 августа 2019 г. в окрестностях пос. Баренцбург (рис. 9.1).

Перед студентами и их руководителем были поставлены следующие цели и задачи: изучение чехла поверхностных отложений, изучение криогенных форм рельефа, гляциологические наблюдения на ледниках, гидрологические работы.

За время практики студенты и их руководитель выполнили 7 маршрутов с криолитологическими и геоморфологическими наблюдениями; 2 маршрута с гляциологическими работами; 3 камеральных дня включающих в себя обработку полученных материалов. В ходе производственной практики студентами обследовано 24 точки с криолитологическим и геоморфологическим описанием в районах мыса Хееродден, геофизического полигона РНЦШ, Исфьорд-радио и мыса Линне, Грэндален, склонов горы Улаф, а также проделаны гляциологические работы на ледниках Грэнфьорд и Альдегонда.

Во время практики студенты овладели следующими методами полевых и камеральных работ:

- Геоморфологический блок работ - выделение форм рельефа, ориентируясь по местности, космическим снимкам сверхвысокого пространственного разрешения и мозаике аэрофотоснимков (привязываясь к местности по GPS). Выполнены шурфы и зачистки для описания строения поверхностных отложений и определения литологического состава.
- Криолитологические исследования – выделение морфологических и морфометрических характеристик криогенных форм рельефа, изучение их строения в результате зачистки или выполнения шурфов. Настройка, установка и снятие температурных данных с термокос, устанавливаемых в скважины. Для термометрических наблюдений использовались термокосы GeoPrecision с логгерами M-Log5W.
- Использование беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптер) для съемки ключевых точек.
- При обработке материалов использовались: настольная ГИС (ESRI ArcGIS), программа обработки данных термокос (GP5W-SELLWIRELESS), полевые записи в дневниках, данные с GPS-приемников, программа для построения цифровых моделей рельефа с полученных квадрокоптером данных Photoscan.

РАЭ-Ш обеспечил группе студентов проезд до Баренцбурга, проживание и питание. Зимовочный состав РАЭ-Ш обеспечил логистическое сопровождение практики: обеспечение экспедиционным снаряжением, средствами связи, средствами защиты от белых медведей, доставка в районы работ на автомобиле и лодке с мотором. Полевую работу студентов курировал ведущий инженер зимовочного состава АНИИ Демидов В.Э (рис. 9.2). Студенты включались в состав полевых групп, проводящих гидрологические, мерзлотные, гляциологические и палеогеографические наблюдения.

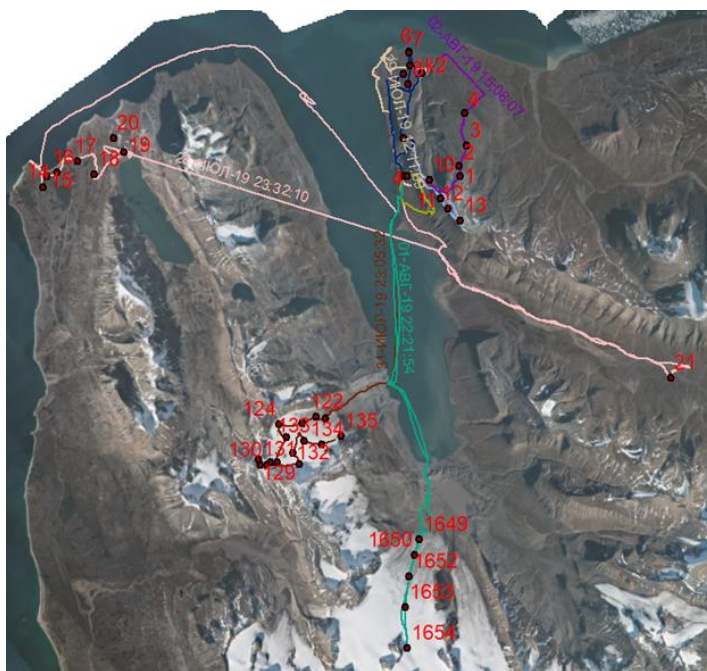


Рисунок 9.1 – Карта фактического материала студенческой практики МГУ: линиями указаны маршруты, пройденные в течение каждого дня, обозначенные разными цветами и указанной датой



Рисунок 9.2 – Группа студентов с руководителем и сотрудник ААНИИ В.Э. Демидов на маршруте, мыс Линне, Исфьорд

Сотрудники зимовочного состава РАЭ-Ш провели ознакомительные экскурсии на выносной пункт приема-передачи спутниковой информации (ВППИ) в пос. Баренцбург, химико-аналитическую лабораторию РАЭ-Ш. Были организованы лекции специалистов по гляциологии, мерзлотоведению, гидрологии, студенты получили представление о научной работе, ведущейся сотрудниками ААНИИ на арх. Шпицберген.

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 8-10 апреля 2019 г. (Лонгйирбюен);
- Участие в семинаре «Загрязнение воздуха в Арктике (Arctic Air Pollution Workshop)», завершающим международный проект Укрепление сотрудничества в области исследования загрязнения воздуха на Шпицбергене (Strengthening of the cooperation within air pollution research in Svalbard)» 3-4 июня 2019 г., г. Милан, Италия. Обсуждались результаты реализации проекта, качество и сравнимость полученных данных измерений, перспективы развития исследований в данном направлении и возможности дополнительного финансирования.
- Участие в рабочем семинаре «Природная обсерватория Мыс Линне (Kapp Linne Environmental Observatory)», 5-6 августа 2019 г. Лонгйирбюен, Норвегия. Представление научно-исследовательских работ ААНИИ в смежном мысу Линне западном побережье Грэнфьорда в области гидрологии, метеорологии, гидрохимии и палеоэкологии, инструментализации района, деятельности химико-аналитической лаборатории, обсуждение возможности совместной обработки полученных данных, сравнение результатов наблюдений в смежных районах, написание главы отчета о состоянии природной среда Шпицбергена.
- Участие в международном семинаре «Система наблюдения снега на Шпицбергене (Svalbard Snow Net Workshop)» 21-24 октября 2019 г. Представление информации о работах ААНИИ в области исследования снежного покрова, в частности химического загрязнения, обсуждение возможностей совместной работы, унификации методов исследования.
- Участие в международной конференции «Научная конференция по Шпицбергену (Svalbard Science Conference)» 5-6 ноября 2019 г., г. Осло, Норвегия, представление устных и постерных докладов, укрепление международного сотрудничества.

- Участие в международном семинаре для молодых ученых «Исследования на Шпицбергене (Research in Svalbard)» 4 ноября 2019 г., г. Осло, Норвегия. Представление ключевых докладов на сессиях, участие молодых ученых, обмен опытом, укрепление международного сотрудничества.
- Участие в международном семинаре «Атмосферные исследования в Нью-Олесунне (Ny-Ålesund Atmosphere Flagship open workshop)». 4 ноября 2019, г. Осло, Норвегия с докладом об использовании квадрокоптеров при исследовании радиационных характеристик поверхности ледник Альдегонда и Эсмарк.

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

В рамках соглашения о научно-исследовательском сотрудничестве между ААНИИ и UNIS, в лаборатории Баренцбурга с 28 апреля по 3 мая 2019 г. в третий раз состоялась практика магистров и аспирантов UNIS по курсу A324/A824 по исследованию загрязнения окружающей среды «Техники детектирования сложных органических загрязняющих веществ в Арктике / Techniques for the Detection of Organo-Chemical Pollutants in the Arctic Environment».

В 2019 г. в полевой и лабораторной практике участвовало 11 студентов из Норвегии, Швеции, Франции, Италии, Германии, Великобритании, Китая, их сопровождали четыре ассистента-преподавателя и руководитель курса проф. д-р Роланд Калленборн. Учебный курс A324/A824 представляет собой углубленное изучение методик отбора, обработки и анализа образцов на следовые содержания стойких органических загрязняющих веществ (ПАУ, ПХБ, пестициды, замедлители горения, перфторированные кислоты) в природной среде Арктики, а также ставит задачу оценить роль локальных источников и глобального переноса в загрязнении арх. Шпицберген.

В течении недели студенты в небольших группах с помощью ассистентов и зимовочного состава РАЭ-Ш ААНИИ отобрали пробы снега, воздуха в пос. Баренцбург и на мысе Хееродден и рачков-амфипод в зал. Грэнфьорд. Все пробы были обработаны и подготовлены для дальнейших методических работ и химического анализа на базе лаборатории UNIS (рис. 10.1). Кроме полевой и лабораторной работы, студенты слушали лекции по разработке методики, оценке и контролю качества при выполнении анализа органических веществ в природных средах, а также познакомились с научной деятельностью, ведущейся на арх. Шпицберген сотрудниками ААНИИ.

Логистическую поддержку в проведении практики в пос. Баренцбург обеспечивали сотрудники зимовочного состава РАЭ-Ш под руководством Е.П. Савченко. Координировала проведение практики со стороны ААНИИ гл. специалист РАЭ-Ш к.г.н. А.Л. Никулина.

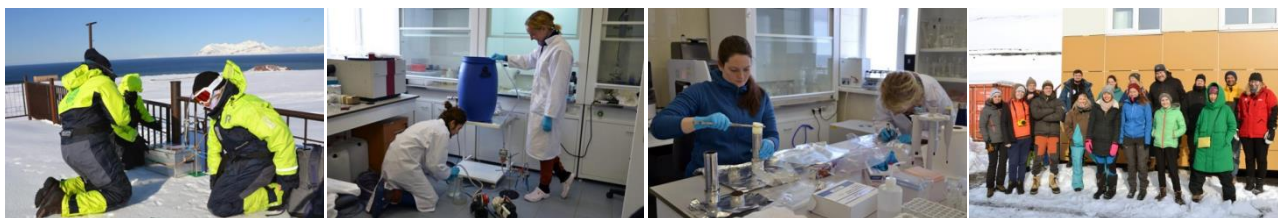


Рисунок 10.1 – Полевая и лабораторная практика студентов UNIS на базе химико-аналитической лаборатории ААНИИ в пос. Баренцбург в апреле-мае 2019 г.

3. UiT, UNIS, NILU (Норвегия), AWI (Германии), ААНИИ, Университет Перуджи (Италия), Университет Вальядолид (Испания): Укрепление сотрудничества в области исследования загрязнения воздуха на Шпицбергене

Совместный проект по исследованию качества атмосферного воздуха в поселениях Шпицбергена выполняется Арктическим университетом г. Тромсё, Университетским центром на Шпицбергене, Институтом исследования воздуха (Норвегия), ААНИИ (Россия),

Институтом им. Альфреда Вегенера (Германия), Университетом г. Перуджи (Италия) и Университетом Вальядолид (Испания) и поддержан стратегическим грантом Шпицбергенского научного форума (SSF) 2018 г.

Несмотря на то, что атмосферные исследования на Шпицбергене в настоящее время сосредоточены на мониторинге переноса загрязняющих веществ на большие расстояния, в регионе существуют местные источники загрязнения воздуха, вклад от которых может быть значительным в определенные периоды времени, оказывая влияние на жителей архипелага и природную среду, и влияя на качество данных о трансграничном переносе.

Проекта реализовывался в марте 2018 – июне 2019 г. и включал проведение синхронизированных измерений содержания аэрозоли, пыли, черного углерода, озона и газовых примесей в поселках Шпицбергена (Лонгйирбюен, Нью-Олесунн и Баренцбург) с целью определения локальных и трансграничных источников загрязнения. Кроме того, проводилась совместная калибровка приборов, оценка качества получаемых данных и их сопоставимости. Завершающий семинар собрал более 20 участников из организаций, участвовавших в проекте, и других заинтересованных институтов и позволил обсудить и объединить полученные за год данные, а также рассмотреть общие тренды в Арктике и возможность расширения сети измерений и последующего анализа данных. По результатам обработки данных и обсуждениям готовится статья.

Стала очевидна необходимость более активного вовлечения в международную научную деятельность на Шпицбергене представителей Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, которые совместно с ААНИИ собирают и анализируют данные по содержанию в приземном воздухе аэрозоля, черного углерода, а также вариациям оптической толщины атмосферы. Кроме того, важно контролировать качество получаемых на Шпицбергене данных, в частности своевременно проводить калибровку и поверку измерительного оборудования. Потенциал для дальнейшего развития исследований загрязнения атмосферы на арх. Шпицберген видится в привлечении заинтересованных студентов и/или аспирантов для обработки и анализа большого объема данных, получаемых в Баренцбурге, в том числе в сотрудничестве с иностранными коллегами.

4. UNIS (Норвегия), Университет Ноттингема (Великобритания), Университет Дармштадта (Германия), Store Norske (Норвегия) и ААНИИ: Использование природного угольного архива на Шпицбергене для развития палеоклиматического направления исследований

Проект объединяет представителей научных сообществ Шпицбергена – Лонгйирбюена (Университетский центр Шпицбергена, угледобывающая компания Store Norske), Нью-Олесунна (Университеты Ноттингема и Дармштадта) и Баренцбурга (ААНИИ) для развития исследований природной среды прошлого с помощью исследования природного угля.

Палеоценовые угли из формации Фиркантен на Шпицбергене представляют важный архив изменений окружающей среды – относительно ненарушенную среду, из которой можно получить геохимическую информацию об изменении климата прошлого. Неорганические геохимические данные высокого разрешения из угольных пластов могут документировать системы циркуляции атмосферы, скорости осаждения пыли (приток питательных веществ из атмосферы), лесные пожары, условия формирования угля и реакцию среды на изменение климата, составляющих основу моделей климатических условий в прошлом. Такие модели в свою очередь являются инструментом для количественной оценки и понимания биогеохимических циклов, критических точек и ответных реакций в среде с более высоким уровнем CO₂ в атмосфере, чем в настоящее время.

Основная цель проекта подтвердить и далее развивать потенциал угольных пластов Шпицбергена для использования в качестве климатического архива высокого разрешения.

Для этого планировалось отобрать пробы эталонного материала для настоящих и будущих исследований в пос. Лонгйир, Свеа и Баренцбург и предпринять первые шаги по созданию основы инфраструктуры для палеоклиматических исследований угля на международном уровне и развить международное сотрудничество в области палеоклиматических исследований на Шпицбергене. В связи с логистическими сложностями проект начал реализовываться лишь летом 2019 г., когда были отобраны первые образцы угля из шахт в районе Лонгйирбюена. Ведется обсуждение дальнейших действий по отбору материала для исследований.

Посещение РНЦШ иностранными учеными

07.06.2019 – корейские учёные из Корейского института полярных исследований (Korea Polar Research Institute – KOPRI): Dr. Hong Kum Lee (отделение полярной биологии) и Dr. Ki-Tae Park (отделение полярного климата). Коллеги были подробно ознакомлены с историей создания, а также с целями и задачами, стоящими перед РНЦ-Ш и РАЭ-Ш. Презентация и обстоятельная экскурсия по помещениям и лабораториям РАЭ-Ш. В фокусе внимания находились вопросы морской биологии и химии атмосферных аэрозолей.

17.06.2019 – двумя сотрудниками станции было дано интервью журналисту французского журнала «Telerama» Оливье Теске (Olivier Tesquet). Журналист по заданию редакции посетил Лонгйир, Нью-Олесунн и Баренцбург. Темы интервью: история создания РНЦШ, цели и задачи консорциума, предмет и формы международного сотрудничества на базе Центра.

04.07.2019 – в период второго захода в Баренцбург НИС «Профессор Молчанов» Северного УГМС по программе «Плавучий университет» на его борту была выполнена презентация на английском языке о деятельности РАЭ-Ш. Дополнительная детальная экскурсия по химико-аналитической лаборатории была организована для 5 специалистов. Два специалиста-мерзлотоведа из КНР в сопровождении переводчика были доставлены на криосферный полигон, где при помощи сотрудника ААНИИ китайские специалисты произвели отбор проб мёрзлого грунта.

24.07.2019 – визит девяти участников Первой турецкой арктической экспедиции на арендованном французском судне «Anakena». Экспедиция под руководством д-ра Вигси Ozsoy организована Полярным исследовательским центром при Стамбульском техническом университете. В ознакомительных целях вниманию гостей была предложена презентация о деятельности РНЦШ на английском языке. С турецкой стороны был представлен двухминутный видеоматериал о деятельности экспедиции.

12.08.2019 – по просьбе Центра арктического туризма «Груммант» в РАЭ-Ш состоялся кратковременный приём группы около 20 человек норвежских туристов – государственных служащих (дипломаты, юристы и т.д.) с целью общего ознакомления с историей создания, целями, задачами и инфраструктурой РНЦШ.

Мероприятие 11. Логистическое обеспечение и развитие научного консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген»

Логистическое обеспечение научно-исследовательской и экспедиционной деятельности ААНИИ и других участников научного консорциума на Шпицбергене, а также развитие инфраструктуры РНЦШ осуществлялось Российской научной арктической экспедицией на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ФГБУ «ААНИИ».

1. Материально-техническое снабжение, доставка грузов и личного состава

В 2019 г. было обеспечено необходимое материально-техническое снабжение научно-исследовательской базы ААНИИ в пос. Баренцбург.

Большая часть грузов доставлялась контейнерами по маршруту Санкт-Петербург–Мурманск–Тромсе (автомобиль)–Баренцбург (судно).

Ротация сотрудников зимовочного состава РАЭ-Ш и участников сезонной экспедиции «Шпицберген» осуществлялась чартерными рейсами ФГУП «ГТ «Арктикуголь» по маршруту Москва–Лонгйир–Баренцбург–Лонгйир–Москва и регулярными пассажирскими авиарейсами по маршруту Санкт-Петербург–Лонгйир–Санкт-Петербург, и туристическими судами (либо вертолетом Ми-8 треста «Арктикуголь») по маршруту Лонгйир–Баренцбург–Лонгйир.

Зимовочный состав РАЭ-Ш в пос. Баренцбург включал до 10 сотрудников.

В период сезонной экспедиции «Шпицберген» в 2019 г. было совершено 217 человеко–выездов (рис. 11.1), из них:

- долина р. Грён – 36 выездов;
- ледник Альдегонда – 21 выезд;
- ледник Западный Грёнфьорд – 24 выезда;
- ледник Восточный Грёнфьорд – 4 выезда;
- рр. Бретьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс, Грёнфьорд, Васстак – 18 выездов;
- р. Грёндален – 26 выездов;
- оз. Стемме – 20 выездов;
- оз. Конгресс – 6 выездов;
- оз. Бретьерна – 5 выездов;
- район оз. Линне – 4 выезда;
- долина Холлендардален – 8 выездов;
- г. Улаф - вертолетная площадка – 6 выездов
- м. Финнесет-Баренцбург-вертолетная площадка – 4 выезда;
- м. Финнесет – 6 выездов
- пос. Пирамида – 1 выезд;
- долина р Колес – 2 выезда;
- площадка CALM – 3 выезда
- зал. Грёнфьорд, Исфьорд – 8 выездов;
- ледник Вёринг – 2 выезда;
- ледник Эсмарк, Имербухта – по 1 выезду.

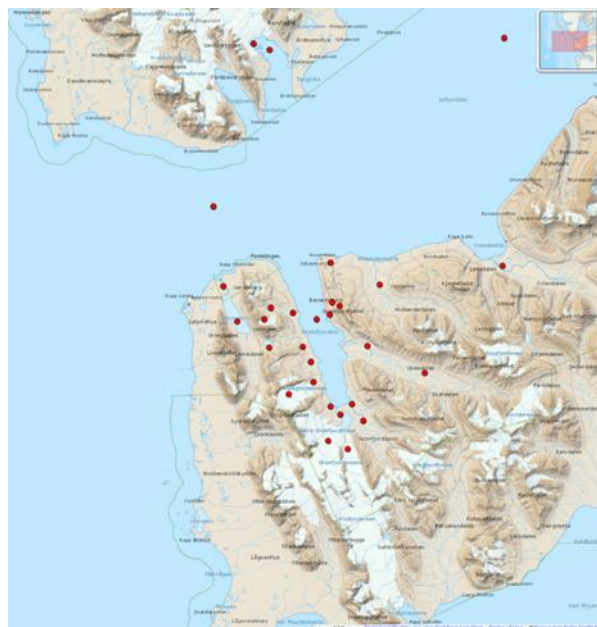


Рисунок 11.1 –Примерное расположение районов выездов участников сезонной экспедиции «Шпицберген» в 2019 г.

Доставка работников в районы работ осуществлялась транспортными средствами РАЭ-Ш, а также с помощью катера «Баренцбург» в соответствии с договором между ФГБУ «АНИИ» и ФГУП «ГТ «Арктикуголь».

2. Обслуживание транспортных средств, приборов и оборудования

В 2019 г. проведены работы по техническому обслуживанию транспортных средств, приборов и оборудования РАЭ-Ш.

Научное оборудование и приборы

Работы включали:

- регламентное техническое обслуживание станций контроля качества атмосферного воздуха «Гора» и «Поселок» совместно с сервис-инженером ООО «ЕвроИнструмент» в рамках Договора между ФГБУ «АНИИ» и ООО «ЕвроИнструмент»;

- диагностику и техническое обслуживание атомно-абсорбционного спектрометра модели AA-7000 производства фирмы Shimadzu инженером ООО «Аналит Продактс» в рамках Договора между ФГБУ «ААНИИ» и ООО «Аналит Продактс»;
- диагностику электротермического атомизатора GFA-7000 и автодозатора ASC-7000 фирмы Shimadzu инженером ООО «Аналит Продактс» в рамках Договора между ФГБУ «ААНИИ» и ООО «Аналит Продактс»;
- переоснащение жидкостного хроматографа Prominence фирмы Shimadzu инженером ООО «Аналит Продактс» в рамках Договора между ФГБУ «ААНИИ» и ООО «Аналит Продактс»;
- диагностику и техническое обслуживание анализатора углерода и азота модели TOS-Lcsh производства фирмы Shimadzu совместно с инженером ООО «Аналит Продактс» в рамках Договора между ФГБУ «ААНИИ» и ООО «Аналит Продактс»;
- организацию проведения калибровок и поверок приборов в соответствии с регламентом организаций-производителей;
- работы по регламентному техническому обслуживанию аппаратуры ВППИ совместно со специалистами компании «Kongsberg Spacetec AS» (Норвегия) в соответствии с заключенным между компанией и ФГБУ «ААНИИ» контрактом;
- профилактические и ремонтные работы по поддержанию работоспособности градиентного метеорологического комплекса на криосферном полигоне РНЦШ;
- установку автоматической метеорологической станции НОВО и термокос на оз. Стемме, профилактические и ремонтные работы;
- опытно-методические работы по применению георадарного оборудования pulseEKKO PRO с антеннами 500, 200 и 50 МГц для определения толщины ледового покрова, мощности водной толщи и толщины рыхлых донных осадков на оз. Стемме;
- опытно-методические работы по применению электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне для уточнения границ ледяного ядра булгунняхов, установления подошвы мёрзлых пород, выделения таликовых зон на побережье фиордов, под реками и озерами;
- установку и отладку работы оптоволоконного спектрометра AvaSpec-3648 на крыше лабораторного корпуса №1;
- проверка метрологических характеристик мелкого измерительного оборудования – пиранометров, дозаторов; ремонт и проверка двух счетчиков частиц АЗ-10 и регистратора уровня и температуры воды Solinst 3001 LT Levelogger Edge M10.

Кроме этого на полигон пос. Лонгйир были сданы на утилизацию отходы производства химико-аналитической лаборатории в рамках договора между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ «Арктикуголь» в количестве 333,9 кг.

Транспортная техника

Парк транспортных средств РНЦШ включает:

- снегоход Yamaha RS Viking Professional – 5 шт.;
- снегоход Yamaha RS Ventura Professional – 5 шт.;
- автомобиль легковой Toyota Hilux – 2 шт.;
- квадроцикл Yamaha Grizzly 300 – 4 шт.;
- лодка моторная Polarcirkel 660 Work с моторами – 1 шт.;
- лодка резиновая Zodiac Classic – 3 шт.;
- лодка резиновая Zodiac Futura – 2 шт.

Автомобили и снегоходы были застрахованы в соответствии с законами Норвегии, действующими на арх. Шпицберген.

Работы по обслуживанию ТС включали следующие мероприятия:

- регламентное техобслуживание всей снегоходной и автомобильной колесной техники, а также лодочных моторов;
- диагностику электросистем снегоходной и автомобильной колесной техники;
- замену лобового стекла на легковом автомобиле Тойота Hilux ZN12672;
- обкатку лодочных моторов Suzuki DF2,5 и Yamaha F150DET;
- ремонт ходовой части снегоходов;
- замену датчика положения топливной заслонки ПЛМ Polarcirkel 660 Work с транспортировкой лодки в Лонгйирбюен и обратно;
- наклейку днища лодки Zodiac;
- замену аккумуляторных батарей, реле стартера, генератора на снегоходной технике;
- замену изношенных деталей на автомобилях и снегоходах.

Все операции по регламентному техническому обслуживанию ТС и замене деталей фиксировались в журнале обслуживания техники.

Дизельное топливо для легковых автомобилей Тойота приобреталось у ФГУП «ГТ «Арктикуголь» в рамках договора между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ «Арктикуголь». Бензин закупался в Лонгйирбюена и доставлялся в пос. Баренцбург силами ЗС РАЭ-Ш снегоходами или морским путем на моторной лодке Polarcirkel 660 Work.

3. Обслуживание зданий и сооружений

На балансе ФГБУ «ААНИИ» в пос. Баренцбург находится 6 зданий:

- Лабораторный корпус № 1;
- Лабораторный комплекс № 2 (химико-аналитическая лаборатория);
- Общежитие;
- Гараж (холодный);
- Склад (теплый) – ½ здания;
- Хранилище (холодное).

Помимо них, к ведению РАЭ-Ш относятся аппаратный балок ВППИ и станции контроля качества атмосферного воздуха «Гора» на антенном поле, ангар для транспортной техники, контейнер с аппаратурой станции контроля воздуха атмосферы «Поселок».

В течение года выполнялись неотложные мероприятия по ремонту зданий и сооружений, обеспечению их сохранности, улучшению условий труда сотрудников и условий функционирования приборов и оборудования. В том числе:

- оборудован 20-футовый морской контейнер в качестве дополнительного помещения для пробоподготовки химико-аналитической лаборатории;
- установлен новый водяной канальный теплообменник в системе приточной вентиляции лабораторного корпуса №2;
- утеплена труба подачи холодной воды в химико-аналитическую лабораторию с установкой внутри греющего электрического кабеля ЭНГЛ;
- заменены старые потолочные люминесцентные светильники на современные светодиодные энергосберегающие в лабораторном корпусе №1 и в общежитии;
- установлены новые светодиодные наружные светильники на фасадах общежития, лабораторного корпуса №1 и холодного гаража;
- установлены новые информационные таблички на фасадах общежития и лабораторных корпусов №1 и №2;

- в общежитии: заменены 2 вышедшие из строя электрические проточные водонагреватели; заменены радиаторы отопления в количестве 38 штук; установлена наружная металлическая противопожарная дверь; заменены несколько смесителей и умывальников в отдельных жилых комнатах и в общей душевой; выполнен настил нового линолеума на кухне; повешены светонепроницаемые шторы «блэкаут» во всех жилых помещениях РАЭ-Ш;
- оборудована сушилка для гидрокостюмов в помещении теплового узла в общежитии;
- выполнена укладка ленточного резинового настила в здании ангара для хранения снегоходной техники;
- установлен умывальник с подключением теплой воды в теплом гараже;
- произведен ремонт ворот холодного гаража;
- выполнена очистка помещения теплого гаража от бытового и технического мусора, все запасные части и смазочные материалы рассортированы и уложены на установленные стеллажи, установлены дополнительные светильники над рабочим местом механика;
- выполнена сортировка и укладка материальных ценностей на теплом складе и составлена опись имущества.

Часть зданий по-прежнему находится в неудовлетворительном состоянии и требует проведения капитального ремонта. Имеются протечки кровли в зданиях лабораторных корпусов №1 и №2, холодного и теплого гаражей, теплого склада.

В период с 22 по 26.07.19 г. пос. Пирамида посетил с инспекционными целями гл. механик ЗС РАЭ-Ш Ваганов С.Н. Им было установлено, что 2 домика и 2 контейнера, принадлежащие ААНИИ, были перемещены на другое место примерно в 100 м от прежнего расположения, а третий домик оставлен на прежнем месте, перекрашен в синий цвет и занят сотрудниками Центра арктического туризма «Груммант» под офис. Таким образом, произошел несанкционированный захват принадлежащего ФГБУ «ААНИИ» имущества и перемещение без согласования с ним 2-х домиков и 2-х контейнеров. О происшествии было уведомлено руководство ФГБУ «ААНИИ».

4. Развитие инфраструктуры РАЭ-Ш (РНЦШ)

В 2019 г. для развития инфраструктуры научных исследований и повышения эффективности работ на основе проведения конкуретных закупочных процедур было поставлено следующее крупное оборудование:

- автоматическая система выпаривания растворителей TurboVar II, Biotage для серийной подготовки проб для анализа стойких органических загрязнителей в химико-аналитическую лабораторию;
- градиентный метеорологический комплекс Campbell Scientific Inc. для измерения турбулентных потоков тепла;
- ветрогенераторная установка CFX300 Manblan Windpower производства Manblan для градиентного метеорологического комплекса;
- оптоволоконный спектрометрический комплекс AvaSpec-Mini2048CL-UV-25 и AvaSpec-ULS2048L-USB2 производства Avantes BV для спектрального мониторинга УФ-радиации;
- пробоотборник ударный UWITEC Corer 60 производства компании Uwitec для отбора проб морских и озерных донных отложений.

Транспортные и плавающие средства не приобретались.

Осуществлялся комплекс мероприятий и процедур для поддержания и сохранения действующей инфраструктуры РАЭ-Ш в рабочем и функциональном состоянии.

- Обеспечение и развитие химико-аналитической лаборатории РНЦШ в пос. Баренцбург (см. Мероприятие 11 п. 2 и Мероприятие 8 п.4).
- Обслуживание и развитие Выносного пункта приема-передачи спутниковой информации (ВППИ) в пос. Баренцбург (см. Мероприятие 7).

5. Логистическая поддержка участников научного консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген» в проведении научных исследований и наблюдений

В соответствии с Концепцией РНЦШ и Положением о РАЭ-Ш зимовочный состав РАЭ-Ш оказывал логистическую поддержку организациям-участникам Научного консорциума «РНЦШ» в проведении научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген. Помощь оказывалась на основании письменных заявок и в соответствии с временным регламентом, который был доведен до организаций-участников Консорциума.

При выдаче и возврате приборов и снаряжения подписывались соответствующие акты. Виды и объем услуг, оказанных участникам Консорциума, приведены Таблице 11.1.

Таблица 11.1. Оказание услуг участникам научного консорциума РНЦШ

№ п/п	Дата	Организация	Вид услуги	Представитель заказчика
1	2	3	4	5
1	1-я декада июля	ММБИ КНЦ РАН	Ракетница, видеокамера, транспортные услуги	Лебедева Н.В.
2	25.07	ГИ КНЦ РАН	Транспортные услуги	Компанченко А.А.
3	12-24.08	ИГ РАН	Бур ручной шнековый в комплекте со шнеками и резцами, кошки Petzl, ноутбук Acer	Осокин Н.И., Чернов Р.А.
4	15-18.08	МГУ, Географический факультет	Транспортные услуги	Айбулатов Д.Н.
5	16.08	ИА РАН	Транспортные услуги	Державин В.Л.
6	1-я декада августа	ГМО «Баренцбург»	Ремонт уровнемерной рейки в порту (сварные работы)	Акулов А.А.
7	27.08	КоФ ФИЦ ЕГС РАН	Транспортные услуги	Кулешов В.Г.
8	07.09	ММБИ КНЦ РАН	Оружие	Мещеряков Н.И.
9	18.10	ГМО «Баренцбург»	Водолазный осмотр колодца уровнемерного поста	Акулов А.А.
10	в течение года	КНЦ РАН	Транспортные услуги	Кулешов В.Г.

ФГБУ «Мурманское УГМС»

Мероприятие 12. Проведение регулярных наблюдений на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург»

В целях реализации Стратегии российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2020 года в области фундаментальных и прикладных научных исследований в соответствии с Концепцией создания и развития Российского научного центра на архипелаге Шпицберген, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2014 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, выполнение на базе инфраструктуры Российского научного центра на архипелаге Шпицберген комплексных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

В соответствии с Межведомственной программой научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2019 г. выполнение ФГБУ «Мурманское УГМС» комплексных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды на базе гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург».

В период с 01.01.2019 года по 31.12.2019 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 2019 году составило 2702 ч/дн.

Основные результаты наблюдения за гидрометеорологическими параметрами окружающей среды в 2019 году:

1. Метеорологические наблюдения

Метеорологические наблюдения проводились 8 раз в сутки в стандартные сроки. Наблюдения проводились за температурой воздуха и подстилающей поверхности, метеорологической дальностью видимости, количеством, формой и высотой облачности, атмосферным давлением, влажностью воздуха, атмосферными явлениями, высотой снежного покрова. Всего по программе станции было выполнено 2920 комплексных наблюдений.

Климатические особенности 2019 года на архипелаге Шпицберген по данным ГМО «Баренцбург»

В 2019 году на архипелаге Шпицберген сохраняется тенденция повышения температуры воздуха, как в целом за год, так и отдельно в каждом сезоне. Положительная аномалия средней месячной температуры воздуха отмечалась на протяжении всего прошедшего периода 2019 года и в среднем за десять месяцев составила плюс 2,9 °С.

Температура воздуха

Специалистами ФГБУ «Мурманское УГМС» было предложено следующее разделение года на сезоны: 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. Такое разделение года на сезоны на архипелаге Шпицберген было основано на анализе средней месячной изменчивости средней суточной температуры воздуха, а также с учетом средней месячной повторяемости направления ветра.

Зима 2018-2019 гг. (с октября 2018 г. по апрель 2019 г.) была очень теплой, аномалия средней сезонной температуры воздуха составила плюс 5,1 °С. Это четвертая зима подряд с сезонной аномалией, превышающей 5 °С. Положительная аномалия средней месячной температуры воздуха отмечалась во все зимние месяцы, наибольшее отклонение от климатической нормы – плюс 7,5 °С было зафиксировано в апреле 2019 года. Очень теплым

был также декабрь 2018 года, аномалия средней месячной температуры воздуха составила плюс 6,3 °С (рис. 12.1).

Весной 2019 года (май 2019 года) средняя температуры воздуха составила минус 2,8 °С, что на 1,3 °С выше климатической нормы.

Лето 2019 года в пос. Баренцбург было теплым, средняя сезонная температура воздуха была выше климатической нормы на 1,7 °С. Наибольшая аномалия средней месячной температуры воздуха – плюс 2,2 °С отмечалась в июле. В августе 2019 года аномалия средней месячной температуры воздуха также превысила 2 °С.

Осенью (сентябрь 2019 г.) средняя температуры воздуха составила плюс 2,5 °С, что выше климатической нормы на 2 °С.

Осадки

За десять месяцев 2019 года количество выпавших осадков в Баренцбурге составило менее 60 % от своей годовой нормы.

В июне и июле 2019 года в Баренцбурге выпало лишь около 30 % месячной нормы осадков. Наибольшие аномалии месячных сумм осадков за период с октября предыдущего года по октябрь текущего года отмечались в ноябре и декабре 2018 года, когда количество выпавших осадков составило 154 и 192 % соответственно (рис. 12.2).

Опасные явления

В 2019 году в пос. Баренцбург отмечались опасные явления: дважды в январе – очень сильный ветер с порывами до 25-30 м/с; в марте - очень сильный ветер с порывами до 32 м/с.

2. Морские наблюдения

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 Грэнфьорд 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 ареометром 1 раз в сутки в 12 ВСВ;
- измерение температуры воды ежедневно в 06, 12, 18 ВСВ.

Всего проведено 1095 комплексных наблюдений.

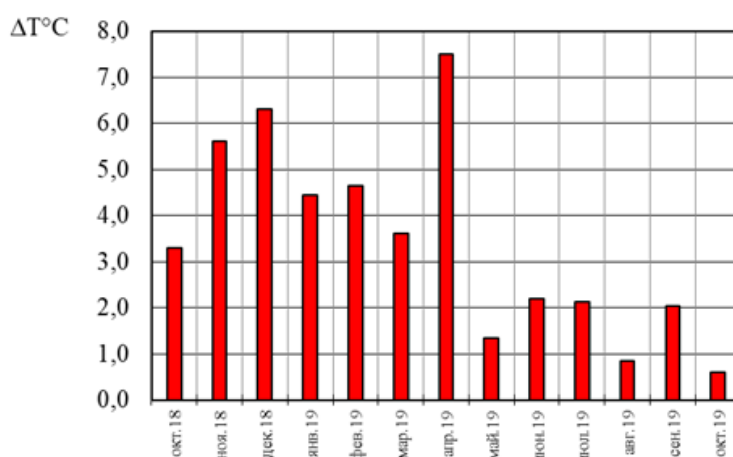


Рисунок 12.1 – Аномалии средней месячной температуры воздуха (°С) в 2019 г.

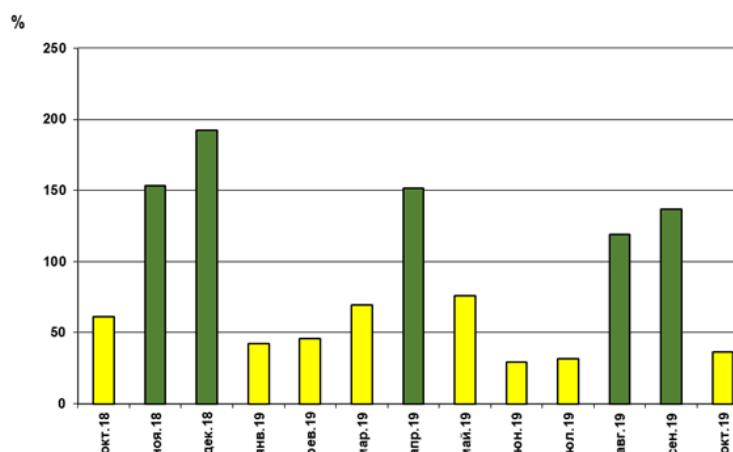


Рисунок 12.2 – Аномалии месячного количества осадков в % от климатической нормы в 2019 г.

3. Радиационный мониторинг

В пос. Баренцбург производятся ежедневное измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) на расстоянии 1 м от поверхности – выполнено 365 измерения. Данные передаются 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 0,10 до 0,17 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 365 наблюдений.

Измерения общего содержания озона в атмосфере выполнялись в светлое время суток озонотром М-124. Количество измерений составило 370.

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

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

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

Определение периодов аномального поглощения радиоволн – 365 час.

Зарегистрирована 96 магнитная буря. 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 передаётся в Гелиогеофизический Центр Росгидромета, Мурманский Центр мониторинга геофизической обстановки, отдел геофизики ФГБУ «ААНИИ».

5. Прочее

Специалистом Службы средств измерений ФГБУ «Мурманское УГМС» поведена поверка и профилактический ремонт приборов и оборудования.

Материалы наблюдений ГМО «Баренцбург» обработаны, результаты занесены в климатическую базу данных. Объем полученной информации за 2019 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.

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

Мероприятие 13. 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 2019 г. были выполнены 2 экспедиции на архипелаге Шпицберген, включающие в себя работы по фоновому и локальному экологическому мониторингу загрязнения объектов окружающей среды в районе поселка Баренцбург и его окрестностях, в том числе акваторию и побережья залива Грэнфьорд и обследование состояния загрязнения окружающей природной среды в районе пос. Пирамида.

Исследования проводятся в соответствии с планом НИОКР Росгидромета на 2017–2019 гг., тема 1.5.3.7 «Исследования современного состояния и анализ предшествовавших изменений характеристик природной среды архипелага Шпицберген».

Работы выполняются Северо-Западным филиалом ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «АНИИ» в рамках Научного консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген». В полевых работах принимало участие 7 специалистов СЗФ «НПО «Тайфун», использовалось имеющееся в РНЦШ полевое пробоотборное и измерительное оборудование, а также оборудование химико-аналитической лаборатории. Экспедиционные работы выполнялись в два этапа: весенний – апрель-май и летний – июль-август.

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, других объектов инфраструктуры, включая сопредельные территории и акватории заливов;
- Выявление источников загрязнения природной среды на территории действующих и ликвидированных производственных объектов, локализация, паспортизация, оценка их степени опасности.

К основным задачам относились:

- Организация и проведение отбора проб компонентов природной среды в районе 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).

Содержание работ:

Полевые работы включали: отбор проб атмосферного воздуха и атмосферного аэрозоля; почвенных вод, почв, растительного покрова, снежного покрова на территории пос. Баренцбург и пос. Пирамида и фоновых районов; морских поверхностных и придонных вод; морских водных взвесей на акватории залива Грэнфьорд и бухты Петунья (залив Исфьорд), поверхностных вод озера Стемме и реки Грэн, долина которой расположена южнее поселка Баренцбург.

Весенние полевые работы

Полевым отрядом Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» в составе экспедиции «Шпицберген-2019» ФГБУ «АНИИ» в период с 1 апреля по 5 мая 2019 г. был выполнен весенний этап полевых работ по отбору проб объектов природной среды для химико-аналитических и других лабораторных исследований.

Полевой отряд Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» в составе экспедиции «Шпицберген-2019» ФГБУ «ААНИИ» состоял из 4-х человек:

- Бажуков К.А. - начальник экологического отряда;
- Рыбалко И.А. - инженер гидролог;
- Вежливцева Т.А. - инженер-химик;
- Жувикина Е.Г. - инженер-химик.

Работы проводились на 14 наземных и 2 водных точках геоэкологического опробования в районе пос. Баренцбург, район оз. Стемме, на которых произведены:

Отбор проб (образцов) для определения содержания загрязняющих веществ на точках геоэкологического опробования: 14 проб снежного покрова, 2 пробы озерной воды, 42 фильтра для определения содержания твердых частиц в снежном покрове, 3 фильтра для определения содержания водных взвесей в озерной воде, 6 проб атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА.

Полевые гидрохимические наблюдения включали:

- определение растворенного кислорода в озерной воде (2 записи);
- определение электропроводности озерной воды (2 записи);
- определение рН озерной воды (2 записи);
- определение Т воды озерной воды (2 записи).

Метеорологические наблюдения включали:

- измерения направления и скорости ветра (15 записей);
- измерения температуры воздуха (15 записей);
- измерения атмосферного давления (15 записей);
- определения количества и формы облачности, видимости (15 записей).

Всего за время проведения экспедиции в лаборатории РНЦШ было проанализировано следующее количество проб:

- Измерение рН и электропроводности: 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.
- Определение общей щелочности: 2 пробы озерной воды. Итого выполнено 2 определения.
- Определение ХПК и БПК₅ (расчётные величины): 2 пробы озерной воды. Итого выполнено 4 определения.
- Определение содержания общего углерода и общего азота: 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.
- Определение содержания общего кремния: 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.
- Определение содержания компонентов минерального состава: 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 168 определений.
- Определение содержания нефтяных углеводородов (НУ): 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 32 определения.
- Определение содержания анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ): 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.
- Определение содержания ртути: 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.
- Определение содержания 16 приоритетных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ): 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 256 определений.

- Определение содержания фенола: 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.
- Определение содержания хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ): 2 пробы озерной воды, 14 проб талого снега. Итого выполнено 16 определений.

Для дальнейшей транспортировки и анализа в лаборатории Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» были подготовлены следующие образцы: фильтры на содержание твердых частиц в снежном покрове, пробы водной взвеси озера (мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм), полученные в результате фильтрации 1 дм³ пробы для каждого фильтра, были высушены и упакованы, воздушные фильтры на определение ХОС, ПАУ и ТМ, законсервированные профильтрованные пробы талого снега и озерной воды на содержание ТМ.

Летне-осенние полевые работы

Полевой отряд Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» в составе экспедиции «Шпицберген-2019» ФГБУ «ААНИИ» состоял из 5 человек:

Бажуков К.А	- начальник полевого отряда;
Сторожилова А.В.	- эколог;
Кропотов М.Ю.	- инженер-химик;
Жувикина Е.Г.	- инженер-химик;
Долейко А.О.	- инженер-химик.

Полевые работы проведены на 27 наземных и 16 водных точках геоэкологического опробования в районе пос. Баренцбург, пос. Пирамида, акватории заливов Биллефьорд и Грэнфьорд, район оз. Стемме.

В течение летних полевых работ было отобрано:

- 47 проб почвы;
- 40 проб растений;
- 11 проб донных отложений;
- 22 пробы морской воды;
- 4 пробы озерной воды;
- 2 пробы речной воды;
- 2 пробы сточной воды;
- 6 проб почвенной воды;
- 16 проб водной взвеси;
- 3 пробы атмосферного аэрозоля на фильтрах АФА

Проведены следующие гидрохимические и метеорологические наблюдения:

- определение растворенного O₂ (16 записей);
- определение электропроводности морской воды (16 записей);
- определение pH (16 записей);
- определение температуры воды (16 записей).
- измерения направления и скорости ветра (43 записи);
- измерения температуры воздуха (43 записи);
- измерения атмосферного давления (43 записи);
- определения количества и формы облачности, видимости (43 записи).

Всего за время проведения экспедиции в лаборатории РНЦШ было проанализировано следующее количество проб:

- Измерение рН и электропроводности: 4 пробы озерной воды, 2 пробы речной воды, 6 проб почвенной воды, 22 пробы морской воды и 2 пробы сточной воды. Итого выполнено 72 определений.
- Определение общей щелочности: 30 проб воды. Итого выполнено 30 определений.
- Измерение содержания растворённого кислорода: 8 пробы поверхностной и сточной воды, 22 проб морской воды. Всего выполнено 30 определений.
- Определение ХПК и БПК5 (расчётные величины): 36 проб воды. Итого выполнено 72 определения.
- Определение содержания общего углерода и общего азота: 36 проб воды. Итого выполнено 72 определения.
- Определение содержания общего кремния: 36 проб. Итого выполнено 72 определения.
- Определение содержания компонентов минерального состава: 36 проб. Итого выполнено 288 определений.
- Определение содержания нефтяных углеводородов (НУ): 84 пробы. Итого выполнено 84 определения.
- Определение содержания анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ): 84 пробы. Итого выполнено 84 определения.
- Определение содержания ртути: 124 пробы. Итого выполнено 124 определения.
- Определение содержания 16 приоритетных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ): 124 пробы. Итого выполнено 1984 определения.
- Определение содержания хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ): 36 проб. Итого выполнено 1368 определений.

В лаборатории РНЦШ не выполнены следующие виды анализа отобранных проб:

- Измерение содержания неполярных алифатических углеводородов (в лаборатории не используется соответствующая методика выполнения измерений).
- Измерение содержания фенолов (в лаборатории не используется соответствующая методика выполнения измерений в связи с ее затратностью).
- Измерение содержания ТМ, за исключением ртути, в пробах не производилась, т.к. измерительное оборудование подлежало диагностике и ремонту.
- Измерение содержания азота аммонийного, азота нитритного и азота нитратного в пробах морской воды (в лаборатории не используется соответствующая методика выполнения измерений).
- Определение гранулометрического состава в пробах донных отложений (лаборатория не располагает оборудованием для выполнения анализа).
- Измерение содержания ХОС и ПАУ в водных взвешях.
- Измерение содержания ХОС и ПАУ в воздушных фильтрах.
- Измерение содержания ХОС в пробах почвы и растений.

Исследования проб компонентов природной среды, которые невозможно выполнить в РНЦШ, планируется выполнить в лаборатории Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун». Для проведения необходимых исследований, подготовленные к анализу образцы, доставлены в лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» в г. Санкт-Петербург.

Заключение

В результате полевых работ по мониторингу загрязнения окружающей среды, проведенных в рамках реализации Мероприятия 13 «Фоновый и локальный экологический

мониторинг в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген» межведомственной программы РНЦШ, полевым отрядом Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» были произведены:

- отбор проб объектов окружающей природной среды, гидрометеорологические и гидрохимические исследования на точках геоэкологического опробования в районе пос. Баренцбург и пос. Пирамида;
- Частичный химический анализ отобранных проб в лаборатории РНЦШ, Баренцбург;
- Доставка непроанализированных проб в лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун».

В настоящее время ведутся химико-аналитические исследования проб, поступивших в лабораторию Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун». 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.

Мероприятия Роснедр

АО «ПМГРЭ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Мероприятие 14. Региональные геолого-геофизические исследования с целью изучения геологического строения и минерально-сырьевого потенциала территории архипелага Шпицберген

По заказу и техническому заданию ФГБУ «ВНИИОкеангеология» Шпицбергенская партия АО «ПМГРЭ» АО «Росгеология» провела работы по государственному контракту № 1.3.2/2018 от 25 июня 2018 г. (Геологическое доизучение и оценка минерально-сырьевого потенциала недр центральной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген)). В рамках проекта велись работы по составлению карт, схем и разрезов геологического содержания и оценке минерально-сырьевого потенциала центральной части Земли Норденшельда. Полевые работы преимущественно велись в южной части площади и явились продолжением работ 2018 г.

Полевые работы проводились с 6 июля по 26 августа 2019 г. Сотрудники Шпицбергенской партии работали в составе 5 человек (1 геолог, 1 геоморфолог, 1 инженер и 2 студента) совместно с группой (2 чел.) палеогеографов ФГБУ «ААНИИ» и двумя сотрудниками ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и одним свободным художником. Таким образом общее количество персонала в полевом лагере составило 10 человек. Кроме того, на базе партии в пос. Баренцбург находился начальник Шпицбергенской партии, который осуществлял радиосвязь с отрядом и обеспечивал логистику. Основной лагерь был организован на северном побережье Ван-Майен-фьорде в районе Вассдален (рис. 14.1). Для кратковременных работ в удаленной от побережья площади использовался туристический домик в долине Сэммдален. При проведении маршрутов применялись две моторные лодки. Заброска персонала и экспедиционный груз к месту работ из пос. Баренцбург и обратно осуществлялось катером «Баренцбург». В середине сезона был проведен промежуточный рейс этим катером для подвоза продуктов и вывоза использованного инвентаря и отобранных проб. Связь с базой в пос. Баренцбург осуществлялась посредством спутникового телефона два раза в день.



Рисунок 14.1 – Полевой лагерь ПМГРЭ на северном берегу Ван-Майен-фьорда. Зеленые палатки закуплены ААНИИ для своих сотрудников по рекомендации ПМГРЭ

Конечной целью работ являлось составление комплекта карт, схем и разрезов геологического содержания центральной части Земли Норденшельда и оценка минерально-сырьевого потенциала района. Основные задачи работ согласно геолого-технического задания:

1. Актуализация предварительных карт масштаба 1:100 000: геологическая с пунктами проявлений полезных ископаемых, геоморфологическая, четвертичных отложений центральной части Земли Норденшельда, включая районы российских рудников Баренцбург и Грумант.

2. Сбор материалов по уточнению возраста, состава, формационной принадлежности, тектонической позиции стратифицированных и нестратифицированных образований, границ и площадей картографируемых подразделений, в том числе:

- стратиграфической схемы расчленения палеогеновых отложений;

- степени регионального метаморфизма и тектонической позиции верхнерифейских и вендских метавулканогенно-осадочных образований;
- генетических типов четвертичных отложений.

3. Сбор материалов для составления предварительных схем палеогеографических реконструкций для позднеплейстоцен-голоценового этапа развития территории масштаба 1:100 000.

4. Выявление и изучение проявлений полезных ископаемых в пределах исследуемой площади, сбор материалов по полезным ископаемым района работ.

5. Геоэкологические исследования на выделенных площадях с последующим выявлением факторов, влияющих на экологическую обстановку района.

В соответствии с этими задачами было проведено 76 геологических маршрутов, из них 37 маршрутов по ГДП, 13 маршрутов по специализированным исследованиям, 14 маршрутов по составлению разрезов четвертичных пород, 2 геоэкологических маршрута и 10 поисковых маршрутов со шлиховым опробованием по водотокам.

Основными результатами работ явилось:

- Актуализация карт геологического содержания центральной части Земли Норденшельда масштаба 1:100 000 (геологическая с пунктами проявлений полезных ископаемых (рис. 14.2), геоморфологическая и четвертичных отложений);

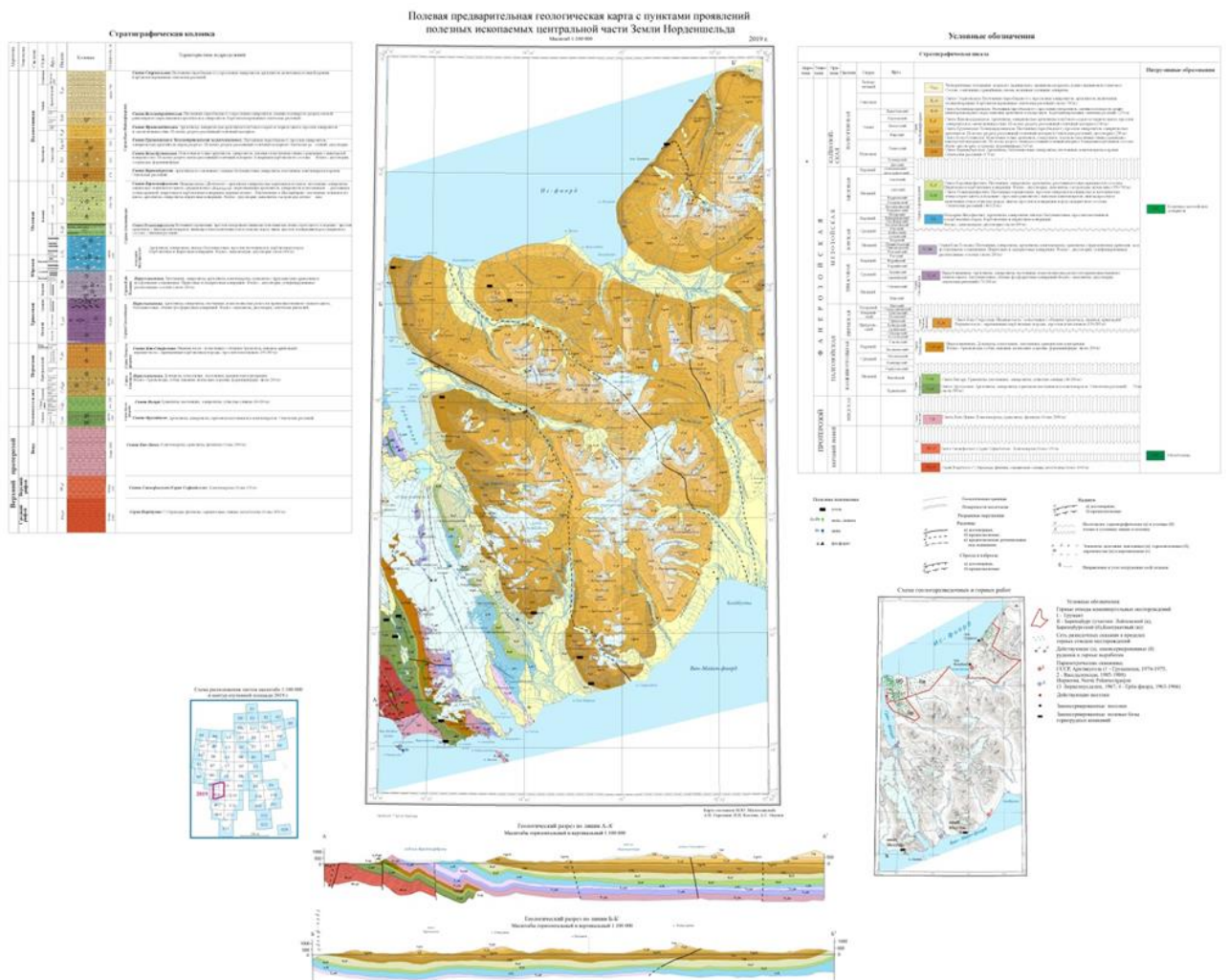


Рисунок 14.2 – Предварительная геологическая карта с пунктами проявлений полезных ископаемых центральной части Земли Норденшельда. Масштаб 1:100 000

- Доизучены докембрийские комплексы района долины Иттердален, собран дополнительный материал для характеристики природы метаморфизованных пород, условий регионального метаморфизма и определения их абсолютного возраста.
- Доизучены особенности стратиграфии палеогенового комплекса южного и центрального участков проектной площади; собран дополнительный материал по вещественному составу палеогеновых отложений, литологической характеристике отдельных свит, фаціальным особенностям осадконакопления и соотношения палеогенового комплекса с подстилающими образованиями.
- Доизучены особенности тектонического строения площади работ в пределах южного и центрального участков, выявлены три крупных сброса, являющихся региональными для этой территории и определяющих последовательность вывода на дневную поверхность известных свит палеогена.
- Выявлены и изучены проявления каменного угля раннекарбонового и палеогенового возрастов.
- Доизучено рудопроявление цинковых руд на острове Синкхольмен.
- В породах среднего венда в Ван-Мюйден-бухте выявлены зоны брекчирования, сопровождаемые кварцево-жильной и карбонат-жильной минерализацией в ассоциации с сульфидами. Проведено детальное геохимическое опробование с целью их корреляции с рудопроявлением о. Синхольмен и определения общих перспектив района на полиметаллы.
- Изучены вложенные морские аккумулятивные террасы уровней: 5-10; 15-20; 25-30; 40-50 метров. Установлено, что большинство морских аккумулятивных террас связано с осадконакоплением в пределах дельт крупных долин. Установлен верхний морской уровень, составляющий 55 м.
- Основными процессами рельефообразования являются флювиальные и флювиогляционные, протекающие синхронно с криогенными, осложняя и способствуя развитию новых форм экзогенного рельефа. Собраны материалы для палеогеографических реконструкций в пределах площади на этапы четвертичного времени (рис. 14.3).
- На левом борту Рейндален обнаружен и описан мощный торфяник, который может являться маркером при составлении палеогеографических схем.

В заключении надо отметить, что проведенный комплекс работ обеспечил завершение геологических исследований центральной части Земли Норденшельда.

Специалисты АО «ПМГРЭ» руководящие работами:

Милославский М.Ю. нач. партии m.miloslavskiy@mail.ru

Сироткин А.Н. гл. геолог партии pecheng-67@yandex.ru

Окунев А.С. геолог-геоморфолог geoalex26@gmail.com

Специалистами партии за период январь-сентябрь 2019 года по шпицбергенской тематике в реферируемых изданиях опубликованы 2 статьи.

Предварительная палеогеографическая схема центральной части острова Западный Шпицберген на позднелейстоценовый – раннеголоценовый этап (15 000-9 000 лет), Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген

Масштаб 1:100 000

2019 г.



Рисунок 14.3 – Предварительная палеогеографическая схема на позднелейстоцен-раннеголоценовый этап четвертичного времени центральной части Земли Норденшельда. Масштаб 1:100 000

Мероприятия организаций Минобрнауки

ФГБУН Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН)

В апреле, июле-сентябре 2019 г. на архипелаге Шпицберген сотрудниками Шпицбергенской экспедиции Института географии Российской академии наук выполнялись исследования по Мероприятию 15. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген – в рамках выполнения проекта РФФИ-БРИКС 17-55-80107 «Совместные исследования изменчивости характеристик ледников, снега и фирна в полярных и субполярных районах» и по Мероприятию 16. 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» и частично исследования на Пирамиде по гранту РФФИ №17-04-01475 (рис. 15.1).

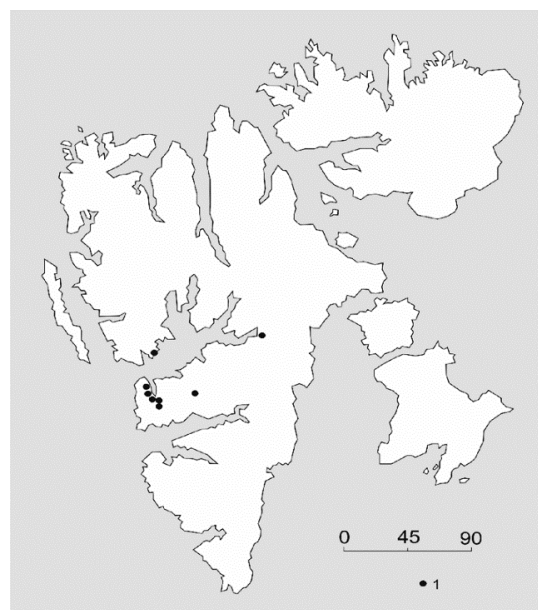


Рисунок 15.1 – Районы работ Института географии РАН в 2019 г.

Мероприятие 15. Комплексные гляциологические исследования на архипелаге Шпицберген

Цель исследований – оценка пространственной изменчивости характеристик ледников, снега и фирна с помощью радиолокационного зондирования. С использованием метода наземного радиолокационного зондирования на частотах 50 и 500 МГц и маршрутных снегосъемок.

Работы на Шпицбергене в апреле 2019 г. проводились за счет финансирования и в рамках проекта РФФИ-БРИКС 17-55-80107 «Совместные исследования изменчивости характеристик ледников, снега и фирна в полярных и субполярных районах» (рук. А.Ф. Глазовский). Исполнители: Глазовский А.Ф. в.н.с., к.г.н., Носенко Г.А., в.н.с., к.г.н., Лаврентьев И.И., с.н.с., к.г.н., Туров С.Н. – студент.

В результате комплекса полевых работ на Шпицбергене, включавших стандартную и радарную снегосъемки на леднике и прилегающих территориях, а также анализа синхронных космических радарных изображений высокого разрешения, найдены эмпирические связи, которые позволяют по поляриметрическим параметрам этих изображений дистанционно вычислять толщину снежного покрова и определять его пространственную изменчивость.

Снежный покров на ледниковых и внеледниковых поверхностях существенно влияет на локальный и региональный климат полярных областей, термический режим подстилающих субстратов, баланс массы ледников, а также ледниковый и речной сток. Основные его параметры – толщина, структура и плотность – определяют снегозапасы и его теплоизолирующие свойства.

На архипелаге Шпицберген снежный покров на ледниках существует в течение большей части года, но к концу лета сохраняется лишь в областях их питания. С 5 по 15 апреля 2019 г. выполнялись комплексные полевые исследования снежного покрова и ледников на западе Земли Норденшельда, Шпицберген. Эти работы включали: (1) снегомерную съемку в долине Грёндален, на приледниковом озере и леднике Восточный Грёнфьорд (рис. 15.2), которая выполнялась по одним и тем же профилям с использованием

стандартного снегомерного щупа и высокочастотного (1400 МГц) локатора ПИКОР-Лёд; (2) закладку снежных шурфов с измерениями в них толщины снега, плотности снега и диэлектрической проницаемости снега. Общая длина снегомерных профилей составила 69 км, из них на леднике 51 км, на озере 5 км, и в долине 12 км, где средняя толщина снега составила по щупу/радару 122/119 см, 41/40 см, и 42/38 см соответственно.

Эти работы позволяют оценить пространственные особенности и изменчивость залегания снега в разных условиях. Они служат основой для разработки модели инверсии толщины снега путем анализа поляриметрических параметров космических радарных изображений и контроля этой модели в сравнении с полученными полевыми данными.

Для ледника Восточный Грэнфьорд получена высокая положительная корреляция между измеренными по толщине снега и поляриметрическими параметрами когерентности и мощности нормированного объемного рассеяния по космическим радарным данным высокого пространственного разрешения (около 5



Рисунок 15.2 – Радиолокационная съемка и синхронные измерения характеристик снежного покрова на леднике Восточный Грэнфьорд (толщина, плотность, температура, диэлектрическая проницаемость)

м), полученным с космической платформы ALOS-2 ($R_2=0,84$ и $R_2=0,73$ соответственно). Использование сведения о мощности рассеяния, полученные из их шестикомпонентного модельного разложения (6SD), также позволяют оценить неоднородность строения в фирновых областях ледников. На основе выполненного анализа был предложен и реализован алгоритм обратного преобразования указанных поляриметрических параметров в толщину снежного покрова. Наибольшая корреляция выявлена для одномерной модели с кополяризационной когерентностью ($R_2=0,84$, $RMSE=0,18$). Также были протестированы на одном и том же эмпирическом материале несколько многомерных моделей. Установлено, что комбинация когерентности, нормированного объема и двойного отраженного рассеяния имеет высокую корреляцию с толщиной снега ($R_2=0,84$, $RMSE=0,18$). Кроме того, исследовалась временная и пространственная изменчивость толщины снега, рассчитанная по трем разновременным поляриметрическим SAR-изображениям, полученным в ранее в 2015 г. с 4 апреля по 15 мая в районе Земли Норденшельда, Шпицберген. Установлено, что увеличение толщины снега, обнаруживаемое по этим поляриметрическим космическим данным, соответствует событиям выпадения твердых осадков.

На основе проведенные ранее исследований опубликована статья:

Лаврентьев И.И., Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я., Мацковский В.В., Муравьев А.Я. Запасы льда в ледниках на Земле Норденшельда (Шпицберген) и их изменения за последние десятилетия. *Лёд и Снег*. 2019;59(1):23-38. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-23-38>.

С учетом полученных данных и на основе измерений, выполненных весной 2019 г., подготовлена, сдана и принята к печати статья:

Singh Gulab, Lavrentiev Ivan I., Glazovsky Andrey F., Patil Akshay, Khromova Tatiana E., Nosenko Gennady A., Sosnovskiy Aleksandr, Arigony-Neto Jorge. Retrieval of Spatial and Temporal Variability in Snowpack Depth over glaciers in Svalbard Using GPR and spaceborne POLSAR measurements. // "Water" (MDPI-Multidisciplinary Digital Publishing Institute), ISSN 2073-4441, www.mdpi.com/journal/water (импакт-фактор журнала 2,574)

Мероприятие 16. 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 сезоне 2019 г. решались две группы задач:

1. Гляциологические

- Исследование влияния величины солнечной радиации, жидких осадков и параметров мха, включая его влажность, на термический режим сезонно-талого слоя грунта на основе натурных измерений и экспериментальных работ;
- Исследование особенностей пространственной изменчивости величины сезонно-талого слоя и высотной динамики температурного режима грунта на криосферном полигоне (г. Улаф) для оценки условий деградации многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген;
- Измерение величины абляции в течение теплого сезона – с июля по сентябрь на ледниках Земли Норденшельда (Западный Шпицберген).

2. Почвенно-экологические:

- Исследования внутрисуточной и межгодовой изменчивости динамики углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген в условиях разной антропогенной нагрузки на экосистемы;
- Анализ состава и свойств органического вещества почв, отбор образцов и исследование радиоуглеродного возраста/активности углерода почв, формирующихся в условиях быстрого отступления ледников;
- Исследование материала криоконитов, формирующихся на ледниках, с точки зрения почвенных коллоидов;

1. Гляциологические задачи

Исполнители: Осокин Н.И., зам. директора, к.г.н., Мавлюдов Б.Р., с.н.с., к.г.н., Чернов Р.А., н.с., к.г.н., Кудиков А.В., инженер-исследователь, Чеховских С.А., Симакова Н.А. – студенты.

а.



б.



Рисунок 16.1 – Подготовка измерительного комплекса к установке (а) и измерительный комплекс в рабочем состоянии (б)

Для исследования влияния величины солнечной радиации, жидких осадков и параметров мха, включая его влажность на термический режим сезонно-талого слоя грунта был подготовлен измерительный комплекс (рис. 16.1а) на основе 2 микрометеостанций НОВО и 8 температурных датчиков, радиационного датчика, датчика влажности. Солнечная радиация измерялась на высоте 50 см от поверхности мха, температура измерялась на высоте 10 см от поверхности мха, на поверхности мха, под мхом (мох толщиной 5 см), на глубине 5,

10 и 15 см в грунте и в точке со мхом толщиной 1 см – температура под мхом и в грунте на глубине 5 см. Измерительный комплекс в рабочем состоянии показан на рисунке 16.1б.

Измерения проводились каждые 10 минут. Получен большой объем данных, которые обрабатываются. Образец данных приведен на рисунке 16.2. Эти данные лягут в основу уточнения теплофизических характеристик мха и грунта при разной влажности и солнечной радиации.

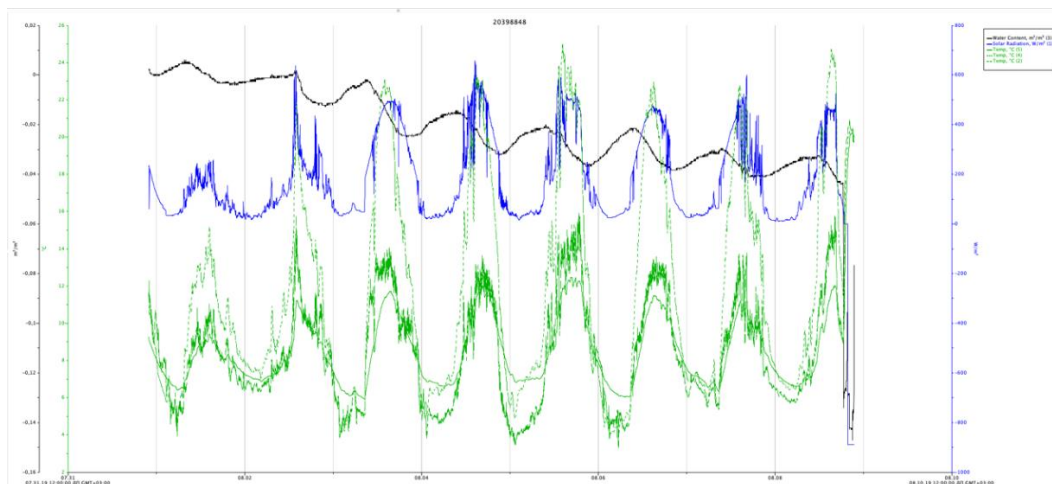


Рисунок 16.2 – Образец данных, полученных измерительным комплексом на основе набора метеорологических датчиков

В рамках исследования особенностей пространственной изменчивости величины сезонно-талого слоя и высотной динамики температурного режима грунта на криосферном полигоне (г. Улаф) для оценки условий деградации многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген сняты годовые данные с термохрон на температурных профилях криополигона в точках №1, 2 и 7 (рис. 16.3) и переустановлены на 2019-2020 гг.

Измерения толщины сезонно-талого слоя были проведены на криополигоне в окрестностях пос. Баренцбург во второй половине августа, когда СТС достигает максимальной величины. Наблюдения проводились на 7 площадках, расположенных на различной высоте на склоне г. Улаф. Характеристики площадок и глубина СТС представлены в таблице 2.1. В 2018 году измерения были проведены 18 августа, в текущем году измерения выполнены 12 августа. В таблице 16.1 указаны высоты площадок, максимальная глубина СТС, и различия в сравнении с 2018 годом. Измерения проводились с помощью металлического щупа диаметром 11 мм, длиной 2 м.



Рисунок 16.3 – Термохроны, установленные в августе 2018 г.

Глубина СТС уменьшается с высотой и максимальная глубина отмечена на нижней площадке (высота 70 м) и равна 225 см. По данным 2018 года к концу августа глубина СТС на этой площадке увеличивается до 3 м, в то время как на верхних площадках глубина СТС начинает уменьшаться. Наибольшие различия глубины СТС при сравнении результатов 2018 и 2019 гг. отмечаются на верхних площадках. Различия достигают 40 см, что определено различными летними условиями прогрева поверхности грунта. Изменчивость величины СТС на склонах разной экспозиции приведена на рисунке 16.4.

Таблица 16.1. Глубина СТС на площадках профиля г. Улаф в августе 2018 и 2019 гг.

Номер площадки	Характер поверхности	Абсолют. высота, м	Глубина СТС 18.08.2018, см	Глубина СТС 12.08.2019, см	Различия между 2018 и 2019 гг.
площ. 1	мох	70	220	225	5
площ. 2	мох	115	180	160	20
площ. 3	мох	170	135	140	5
площ. 4	мох	275	100	130	30
площ. 5	щебень	320	150	130	20
площ. 6	щебень	360	110	90	20
площ. 7	щебень	444	140	100	40

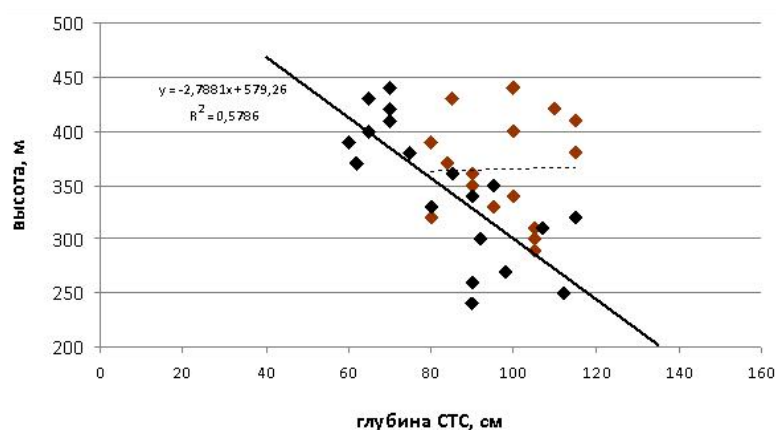


Рисунок 16.4 – Изменчивость величины СТС на западном (красные точки) и северном (черные точки) склонах г. Улаф (измерения 22.08.2019 г.)

Измерения температур грунта на различной глубине на площадках, выполненные с помощью электронных термометров показаны на рисунке 16.5. Измерения температуры грунта проводятся в скважинах, которые выбиваются металлическим шупом и кувалдой до глубины оттайки грунта. Запись показаний термометров происходит после установления температуры, так как установления температуры датчика в скважине занимает обычно 10 минут на каждом уровне, реже свыше 15 минут. Таким образом на каждой скважине измерения длятся около 1 часа. Утром с 10 до 13 часов были измерены нижние площадки, вечером измерены верхние площадки. Время окончания измерений 19-00.

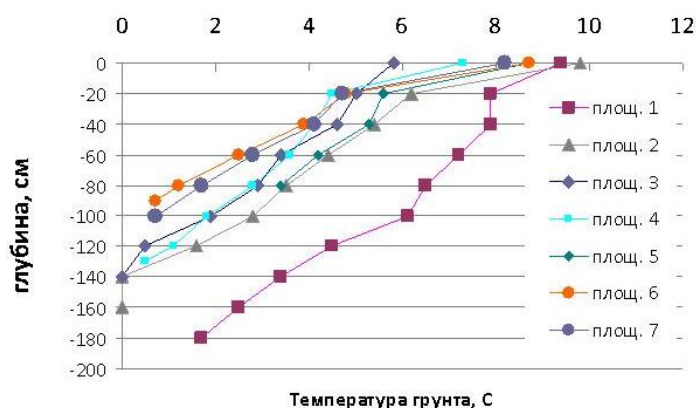


Рисунок 16.5 – Температура СТС на площадках № 1-7, 12.08.2019

Распределение температуры грунта по глубине имеет линейный профиль на всех площадках. Некоторые отклонения наблюдаются лишь в верхнем слое грунта, что определено температурой поверхности. Средний градиент температуры в грунте равен около 0,05 С/см. Максимальный градиент T отмечен на верхних площадках №4-7, который равен

0,058 С/см, минимальный градиент T отмечен на нижних площадках №1 и №2 и равен 0,044 С/см.

Измерение величины абляции в течение теплого сезона – в августе и сентябре на ледниках Земли Норденшельда (Западный Шпицберген)

Гляциологические наблюдения на леднике Восточный Грэнфьорд включали в себя следующие работы:

- измерена величина абляции льда по рейкам и тросику. Упавшие рейки были перебурены;
- проведены измерения толщины коры таяния по высотным и горизонтальным профилям;
- установлены логгеры температуры на рейках на различных высотах;
- проведена оценка снежного остатка в верховье ледника;
- выполнены отдельные измерения величины расхода воды в коре таяния и ледниковых водотоках;
- определены контуры края ледника и величина его отступления за минувший год;
- измерены температуры воздуха на различных высотных уровнях с помощью автоматических датчиков температуры iButton;
- на морене около ледника был построен каркас укрытия (домика) размером 2*2,5 м, выс. 1,5 м.

В 2019 году край ледника отступил в среднем на 40 метров. Сравнение высотного положения рек, забуренных весной 2012 года с положением 2019 года показали понижение поверхности ледника в среднем на 24 метра (западная ветвь ледника и его центральная часть). Изменение высоты связано с таянием во всех высотных зонах и смещением рек вниз по леднику при движении льда. Погрешность измерений высоты GPS навигатором дает ошибку около 6 м, что дает общую ошибку при сопоставлении результатов около 8,5 м. Измеренные ранее скорости движения льда (2015, 2016 гг.) показали значения скорости движения льда около 6-8 метров в год. При забуривании новых рек скважина устанавливалась обычно на 1-2 метра выше по склону. Таким образом, смещение рек было не менее 5 метров в год, что за 6,5 лет составило около 30 метров. При уклонах поверхности ледника в пределах 10 градусов вертикальное смещение рек составляет около 3 метров. Таким образом, основная доля изменения высотного положения рек относится к понижению поверхности за счет абляции. В верховье правой ветви ледника понижение поверхности было небольшим в пределах 1 м (рейки 12 и 23), так как в этой зоне значение баланса массы близко к нулю.

Величина годового таяния льда 2018-2019 гг. на леднике от 30 см – в верховьях ледника до 300 см льда и более – у фронта ледника (рис. 16.6).

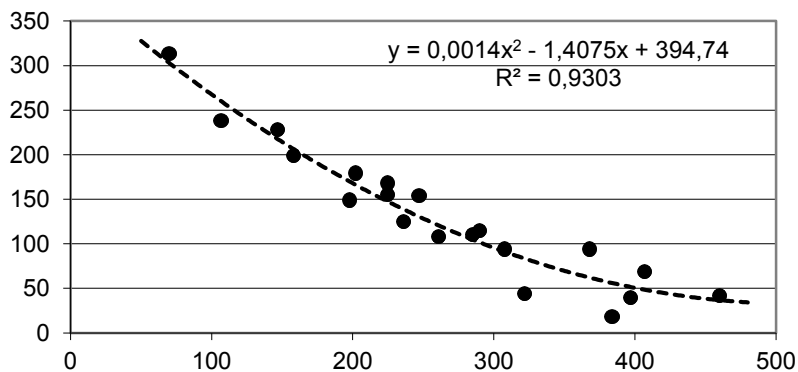


Рисунок 16.6 – Величина таяния (см льда) на леднике Восточный Грэнфьорд (мм в.э.) с по 23 августа 2018 г. по 19 августа 2019 г.

Среднесуточное таяние составило 1,42 см/сут при средней суточной температуре воздуха в этот период +2,9°C. Таким образом, при наблюдаемых погодных условиях один градус положительной температуры «обеспечил» таяние около 0,45 см слоя льда. При его средней плотности 0,88 г/см³ затраты тепла на таяние слоя льда толщиной в 14,2 см составили 4170 Дж, или около 41 740 кДж на каждый м² поверхности. Для сравнения, *теплота сгорания природного газа метана равна 35 700 кДж/м³*. За период абляции затраты тепла на таяния 1 м² поверхности ледника будут почти в 11 раз больше, т.е. около 460 000 кДж или 460 МДж/м².

В сентябре группой Б.Р. Мавлюдова на ледниках Альдегонда, Западный и Восточный Грэнфьорд, Вёринг, Фритьоф, Тавле и Эсмарка выполнены следующие работы:

- привязаны при помощи GPS приемника положение современной поверхности отдельных ледников и их участков: Альдегонда, Грэнфьорд Восточный и Западный, Фритьоф, Тавле и Эсмарка;
- измерены величины летней абляции по рейкам на ледниках: Грэнфьорд Западный, Грэнфьорд Восточный, Альдегонда, Тавле, Вёринг;
- привязаны при помощи GPS приемника активные ледниковые колодцы (мельницы) ледников: Альдегонда, Западный Грэнфьорд, Фритьоф, Эсмарка, Тавле;
- изучено строение элементов внутренней дренажной сети ледников: Тавле, Западный Грэнфьорд и Альдегонда;
- изучена динамика сезонной снеговой линии на ледниках земли Норденшельда;
- проведены измерения химического состава воды на реке Альдегонда в разные периоды;
- проведена аэрофотосъемка морской части моренного комплекса ледника Альдегонда, части языка ледника Альдегонда, части ледника Фритьоф, языка ледника Восточный Грэнфьорд и части языка ледника Эсмарка.

Результаты гляциологических работ:

1. Получены данные для численной оценки влияния солнечной радиации, жидких осадков и параметров мха на изменчивость термического режима сезонно-талого слоя грунта для уточнения модели взаимодействия системы «атмосфера–снежный и моховой покров–многолетняя мерзлота».

2. Получены данные для оценки межгодовой изменчивости сезонно-талого слоя и состояния многолетней мерзлоты в районе пос. Баренцбург на основе измерений пространственной изменчивости сезонно-талого слоя грунта и высотной внутригодовой динамики температурного режима грунта на криосферном полигоне на склоне г. Улаф.

3. Выполнены масс-балансовые наблюдения на леднике Восточный Грэнфьорд, которые основаны на показаниях 20 абляционных реек. Забурены новые абляционные рейки на месте вытаявших старых.

4. Получены данные о положении краевой части ледника и положении снеговой линии.

5. Для решения задачи о характеристике температурного поля над ледником в период абляции были получены данные о температуре воздуха на различных высотных уровнях. Всего обработано 15 записей логгеров температуры, установленных на абляционных рейках.

6. Для оценки величины ледникового стока проведены измерения расхода воды в ледниковых водотоках и значения скорости фильтрации талой воды в коре таяния на леднике Восточный Грэнфьорд. Определена высотная зависимость толщины коры таяния на поверхности ледника.

7. В рамках мониторинга состояния мерзлых грунтов были получены значения глубины и температуры СТС на склоне г. Улаф (пос. Баренцбург) на семи площадках.

Определена пространственная изменчивость глубины СТС как на самих площадках, так и на склоне в целом.

8. С помощью логгеров проведены измерения температуры воздуха на склоне г. Улаф и на леднике в одном высотном диапазоне. Определены высотные градиенты температуры воздуха над ледниковой и неледниковой поверхностью в одном временном интервале. Определены различия температур воздуха между показаниями сетевой метеостанцией «Баренцбург» и ледником Восточный Грэнфьорд.

9. Выполнен отбор дендрообразцов плавника в береговой линии залива Грэнфьорд и на берегу Исфьорда.

10. Для обеспечения безопасности проведен монтаж каркаса укрытия на морене ледника.

По результатам исследований опубликована статья:

Чернов Р.А., Кудиков А.В., Вшивцева Т.В., Осокин Н.И. Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген). *Лёд и Снег*. 2019;59(1):59-66. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-59-66>

2. Почвенно-экологические задачи

- Исследования внутрисуточной и межгодовой изменчивости динамики углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген в условиях разной антропогенной нагрузки на экосистемы;
- Анализ состава и свойств органического вещества почв, отбор образцов и исследование радиоуглеродного возраста/активности углерода почв, формирующихся в условиях быстрого отступления ледников;
- Исследование материала криоконитов, формирующихся на ледниках, с точки зрения почвенных соллоидов.

Исполнители: зав. лаб, к.г.н. Зазовская Э.П., с.н.с., д.б.н. Карелин Д.В., с.н.с, к.г.н. Мергелов, Н.С., н.с, к.б.н. Шишков В.А.

- Исследования внутрисуточной и межгодовой изменчивости динамики углерода в системе «почва-атмосфера» для почв архипелага Шпицберген в условиях разной антропогенной нагрузки на экосистемы.

Исполнители: зав. лаб, к.г.н. Зазовская Э.П., зам. директора, д.г.н. Н.И. Осокин, в.н.с., д.б.н. Карелин Д.В., н.с., к.б.н. Шишков В.А.

Глобальные изменения концентрации углекислого и других парниковых газов в атмосфере оцениваются инструментально уже более 60 лет, однако имеются лишь очень приблизительные количественные оценки вкладов естественных и антропогенных стоков и источников, которые за этим стоят. При этом вклад местных факторов землепользования в этот процесс почти неизвестен. Особенно это относится к криогенным (управляемым низкими температурами) наземным экосистемам, которым принадлежат не только арктические, но и ультра-континентальные территории. Их биосферная значимость определяется не только тем, что они занимают на планете около 16% суши, но и тем, что они содержат около 50% запасов углерода в почвах и огромные запасы метана в составе газогидратов. Помимо этого, криогенные, и в частности, арктические экосистемы характеризуются нехваткой «запаса прочности», что связано с их функционированием в условиях почти повсеместного распространения подстилающих многолетнемерзлых пород на границе зон толерантности по значимым абиотическим факторам, прежде всего, таким, как температура и влажность почвы. Из этого следует, что даже небольшие изменения климата или степени антропогенного воздействия могут привести здесь к ощутимым последствиям, которые будут выражаться, прежде всего, в повышенной эмиссии парниковых газов в атмосферу. Среди зональных экосистем, такого рода данные по арктической тундре в

литературе наиболее редки. Ниже обобщены данные многолетних наблюдений за эмиссией углекислого газа из почвы, а также ряд релевантных данных, в подзоне арктической тундры на территории архипелага Шпицберген.

Полевые работы проводились на острове Западный Шпицберген архипелага Шпицберген (Норвегия), в ближайших окрестностях и на территории пос. Баренцбург (78°04 с.ш., 14°13 в.д.) ежегодно с конца июля по середину августа в 2014–2018 гг. В 2014 г. в качестве постоянных участков для наблюдений за потоками CO₂ и других биогенных парниковых газов были выбраны следующие: 1) полигональная кустарничково-моховая арктическая тундра с доминированием по трещинам *Dryasoctopetala L.*, *Cassiope tetragona L.*, *Salix polaris L.*, а также мхами вокруг полигонов, покрытых водорослевыми и циано-бактериальными пленками. Иногда такие тундры называются пятнистыми (медальонными), в случае выраженности пятен открытого грунта в центре полигонов. Такие тундры представляют собой начальные стадии зарастания пятен мерзлотного пучения, что относится и к нашему случаю. Этот участок использовался в качестве основного контроля при сравнении с антропогенно-измененными территориями; 2) орнитогенный арктический луг в районе птичьего базара с нитрофильной растительностью на хорошо дренированном склоне юго-западной ориентации; 3) различные варианты антропогенно-измененных территорий: угольные отвалы разного возраста и степени зарастания, селитьба, грунтовые дороги с разным уровнем нагрузки. Среди этих вариантов выделяли участки с активной антропогенной нагрузкой (дороги, селитьба и проч.), и самовосстанавливающиеся после прекращения нагрузки территории (зарастающие угольные отвалы и проч.). Всего за годы наблюдений по состоянию на 2018 г. оценено 22 таких выдела. Часть из них (фоновые участки) измеряется ежегодно (12), а кроме того, дополнительно каждый год включаются новые участки для пополнения базы данных по пространственной вариативности потоков.

Измерения потоков CO₂ с поверхности почвы (почвенной эмиссии) проводили прямоточным методом закрытых камер с помощью портативных инфракрасных CO₂-анализаторов со встроенной помпой, выполненных на основе датчиков AZ77535 или AZ 77532 (Temp-CO₂) (КНР, Тайвань), а также высокоточным полевым анализатором CO₂ и паров воды Li-6400 ХТ (США, Небраска, LiCorCorp.), который, кроме того, использовался для калибровки приборов на основе AZ. Для проведения замеров почвенной эмиссии на каждом изучаемом объекте в почву (грунт) вкапывалось по 5–10 цилиндрических ПВХ-оснований, объемом около 2 л, на расстоянии от 3 до 10 метров друг от друга. Основания устанавливались на глубину 2–3 см за 2 ч. до начала измерений, после чего проводился замер эмиссии CO₂ в течении 3 мин на каждом из оснований.

Всего за период исследований было проведено 674 (2014–2019 г.) единичных измерений почвенного дыхания, а также валового дыхания и нетто-потоков диоксида углерода в ключевых точках (2017–2019: 78). Дополнительно отбирались пробы поверхностных потоков метана и закиси азота на избранных участках (16 измерений). Кроме того, оценивались температуры воздуха и почвы на глубине 1 и 5 см, объемная влажность почвы в слое 0–6 см, проективное покрытие и высота ярусов растений, мощность подстилки, мохово-лишайникового и гумусового горизонтов, экспозиция склона, характер почвы или грунта, а также отбирались монолиты почвы на объемную плотность, pH и C/N состав. Также оценивали проективное покрытие растительности (%) и общий запас надземной фитомассы (г а.с.м.), мощность мохового или мохово-лишайникового покрова (см), мощность органогенного горизонта (см), мощность дернины (см), гранулометрический состав субстрата, тип почвы или грунтов, мощность сезонно-талого слоя (см), уклон местности (градусы) и экспозицию. Привязка каждого объекта осуществлялась с помощью навигатора GARMIN GPSmap 62s (США). Измерение потоков метана и закиси азота проводили отбором газовых проб в вакуумированные флаконы из тех же герметично закрытых ПВХ-оснований (общая экспозиция на почве составляла 120 или 180 мин с отбором проб в начальный момент и через каждый час).

В 2017-2019 г. дополнительно проводились исследования по оценке чистого потока углерода, валовой первичной продукции и валового дыхания. С этой целью на участки почвы с растительностью на предварительно вкопанные базы устанавливали прозрачные для фотосинтетически активной радиации (ФАР) камеры размером 40×40×40 см. Интенсивность солнечной радиации (микроэйнштейн (μE) $\text{м}^2 \text{сек}^{-1}$) определяли с помощью переносного датчика ФАР и логгера (HOBO DataLogger, США). Герметичность достигалась с помощью водяного затвора. Измерения на свету проводили около 3 мин, затем проветривали и накрывали непрозрачным для ФАР материалом и измеряли еще 3 мин. Показатель потока на свету служил оценкой чистого потока CO_2 , а в темноте – валового дыхания. Валовую первичную продукцию оценивали по их разнице (рис. 16.7).

Статистическую обработку данных и расчеты проводили с помощью пакетов Microsoft Excel, SPSS Statistics V.20.0 (IBM), а также PRIMER V.7 (PRIMER-E Ltd).

Полевые наблюдения на опытных участках впервые позволили проследить 6-летнюю (2014-2019 гг.) динамику изменений почвенной эмиссии CO_2 в наблюдаемых антропогенно-измененных (АИ) и контрольных (фоновых) экотопах арктической тундры. Среди обследованных АИ экотопов, наименьшие уровни эмиссии демонстрируют грунтовые дороги разного возраста и строительные площадки ($0,053 \text{ гС м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$), наибольшие – загоны для животных ($0,330$), участки селитьбы ($0,130$) и угольные отвалы разного возраста и степени зарастания ($0,119$). Среди незатронутых антропогенной активностью естественных участков наибольшие уровни эмиссии отмечены в орнитогенных нитрофильных сообществах ($0,129$), вдвое превышающие потоки в пятнистых моховых тундрах ($0,063$). В составе этих тундр центры полигонов (пятна пучения грунта) занимают в среднем 1/3 их площади и являются очень слабыми источниками CO_2 ($0,025$), а окружающие их заросшие растительностью понижения (трещины) выделяют втрое больше углекислого газа ($0,083$). Последнее связано не только с наличием растительности и органогенного слоя почвы в трещинах, но и с облегченным транспортом газа. При этом, в разные годы, несмотря на флуктуации потоков, связанные с погодными изменениями, сохраняются соотношения между уровнями эмиссии в отдельных экотопах, что говорит об устойчивом преобладании пространственных факторов эмиссии над временными во внутригодовом масштабе.

Выяснено, что ежегодные потоки почвенной эмиссии в вегетационный сезон могут существенно (в 2 раза) меняться даже за относительно небольшой, 6-летний, период наблюдений. Судя по полученным данным, эта динамика определяется, в основном, значимыми погодными изменениями. В основном это зависит от влажности верхнего слоя почвы, которая, в свою очередь, определяется выпадением осадков. Температура воздуха является, на первый взгляд, малозначимым фактором, поскольку за период наблюдений она менялась очень незначительно. В целом за 6 лет наблюдений отмечена тенденция к небольшому, но значимому снижению уровня почвенной эмиссии, как в АИ, так и в фоновых экотопах. При этом влажность почвы и температура воздуха несколько возросли, что отвечает современному тренду потепления в Арктике. Это говорит о том, что влажность почвы уже достигла зоны верхнего субоптима для почвенного дыхания, когда оно начинает подавляться, тогда как прирост температуры ещё не оказывает на него заметного положительного влияния. Сравнение уровней эмиссии CO_2 из почв показывает, что фоновые



Рисунок 16.7 – Измерение нетто-потоков CO_2 с помощью установки на основе анализатора AZ 77535 и прозрачной для ФАР камеры. Рядом с камерой – датчики влажности и температуры почвы, и ФАР сенсор с даталоггером

пятнистые тундры меньше реагируют на меняющиеся внешние условия (прежде всего, изменения влажности почвы) по сравнению с АИ экотопами.

Различия в уровнях потоков CO_2 между отдельными экотопами определяются, главным образом, разным характером и состоянием почв и грунтов, т.е. пространственными особенностями. Несмотря на то, что влияние погодных условий может существенно сблизить уровни эмиссии (например, в 2016 г.), антропогенно-измененные участки во все годы наблюдений продолжают устойчиво демонстрировать почти вдвое более высокие значения почвенной эмиссии по сравнению с фоновыми ($0,111 \pm 0,021 > 0,064 \pm 0,011 \text{ гС м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$; t -тест, $P < 0,05$). С учетом более чем в 6 раз более низких, в среднем, запасов живой надземной фитомассы на антропогенно-измененных участках ($311,9 > 52,04 \text{ г а.с.м. м}^{-2}$, t -тест, $P < 0,001$), это может служить косвенным подтверждением, что последние являются устойчивыми нетто-источниками CO_2 для атмосферы.

На рисунке 16.8 обобщены полученные за все годы наблюдений данные по потокам почвенной эмиссии CO_2 во всех (1) фоновых участках ($N = 23$), (2) на участках, где многолетнее антропогенное воздействие продолжается ($N = 29$), и (3) на участках, где антропогенное влияние прекратилось 5-30 лет назад ($N=20$), и которые можно отнести к самовосстанавливающимся. Как видим, участки с продолжающимся активным антропогенным воздействием существенно превышают по эмиссии фоновую тундру почти во всем диапазоне изменчивости. При этом диапазон наблюдаемых величин эмиссии также существенно выше. Исключение среди фоновых участков составляют орнитогенные почвы, находящиеся под влиянием птичьих базаров (точки по порядку выделов с 18 по 23), с высоким содержанием биогенных элементов (азота, в частности). Положение участков, где активное антропогенное воздействие прекратилось (в основном, это угольные отвалы) является промежуточным между двумя описанными кривыми. Его можно охарактеризовать как стремящийся к фоновому уровню.

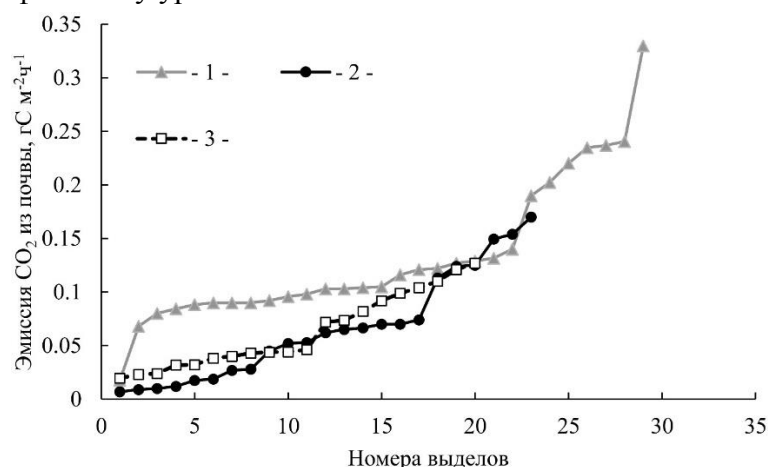


Рисунок 16.8 – Ранжированные по возрастанию величины почвенной эмиссии CO_2 (1) на участках, где активное многолетнее антропогенное воздействие продолжается ($N = 29$), (2) на фоновых участках ($N = 23$), и (3) на самовосстанавливающихся участках, где активное антропогенное влияние прекратилось 5-30 лет назад; $N = 20$ (Западный Шпицберген, 2014–2019 г.)

Помимо измерений почвенного дыхания в контрольных и АИ экосистемах в 2017-2019 г. проводились оценки чистого потока C , валовой первичной продукции и валового дыхания. Как показали наблюдения и модельные расчеты, даже в условиях оптимальной для зоны арктической тундры освещенности и температуры воздуха пятнистые тундры, равно как АИ участки, не продемонстрировали суточного стока C , и находились в равновесном (околонулевом) по C -балансу, состоянию (рис. 16.9). Согласно расчетам, это свидетельствует о том, что по отношению к году в целом эти участки с высокой вероятностью являются источниками C для атмосферы. В то же время, АИ участки, которые находятся на стадии активного восстановления и зарастания растительностью (зарастающие старые угольные отвалы, зарастающие участки селитбы и проч.), и больше не подвергаются активному

антропогенному воздействию, демонстрируют сток углерода в условиях даже низкой освещенности.

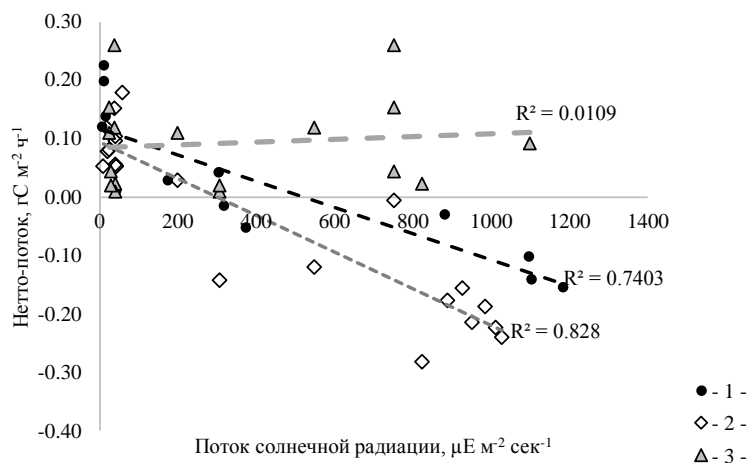


Рисунок 16.9 – Сравнение оценок нетто-потока CO_2 в различных экосистемах арктической тундры Западного Шпицбергена в зависимости от мощности потока солнечной радиации (микроэйнштейн $\text{м}^{-2} \text{сек}^{-1}$) в июле-августе 2017, 2018 и 2019 г. 1 – фоновые сообщества арктической полигональной тундры, 2 – зарастающие (самовосстанавливающиеся) антропогенно-измененные (АИ) участки, 3 – активно используемые АИ участки.

Положительные значения нетто-потока обозначают его источник в атмосферу, отрицательные – сток.

Пунктирные линии – линейные тренды с коэффициентами детерминации

К третьей категории относятся участки (на рис. 16.9 они обозначены как участки с активным антропогенным воздействием), которые продолжают подвергаться значительному антропогенному прессу (участки дорог и складов, активная селитебная зона, свалки, домовые и инженерные строения и проч.). Для них характерен положительный баланс углерода (источник для атмосферы) вне зависимости от уровня освещенности.

Хотя круглосуточных измерений для оценки суточного нетто-баланса С не проводили, была сделана попытка оценить относительные различия в величине суточного баланса в фоновых и антропогенных участках с помощью комбинации дневных (в период наибольшей внутрисуточной освещенности) и ночных (при минимальной освещенности) измерений нетто-потока CO_2 . Оценки нетто-потоков для фоновых и самовосстанавливающихся сообществ рассчитывали с помощью соответствующих линейных регрессий от освещенности, приведенных на рис. 16.9, а для активно используемых участков, где такой зависимости не было выявлено, использовали среднюю величину между дневными и ночными измерениями. Регрессии применяли к суточной динамике освещенности в дни измерений, восстановленной с помощью датчика ФАР и автоматического регистратора.

Несмотря на то, что благодаря преобладанию мохообразных фотосинтез местной тундровой растительности фиксируется даже при освещенности менее $40 \mu\text{Е м}^{-2} \text{сек}^{-1}$, данный участок, как правило, становится стоком С (CO_2) только при освещенности более $300 \mu\text{Е м}^{-2} \text{сек}^{-1}$ в экосистемах, самовосстанавливающихся после антропогенного воздействия, и при освещенности более $500 \mu\text{Е м}^{-2} \text{сек}^{-1}$ в фоновых пятнистых тундрах. Анализ показал, что фоновые тундры даже в оптимальные по освещенности дни ($800\text{--}1200 \mu\text{Е м}^{-2} \text{сек}^{-1}$) находятся в состоянии околонулевого баланса ($0,58 \pm 1,7 \text{ гС м}^{-2} \text{сут}^{-1}$), и только самовосстанавливающиеся сообщества демонстрируют в такие же дни сток диоксида углерода порядка $-0,94 \pm 0,08 \text{ гС м}^{-2} \text{сут}^{-1}$. Участки, находящиеся под активным антропогенным воздействием, всегда оставались в дни наблюдений источниками С для атмосферы в пределах $2,23 \pm 0,47 \text{ гС м}^{-2} \text{сут}^{-1}$. В пасмурные дни, когда освещенность не превышает $300 \mu\text{Е м}^{-2} \text{сек}^{-1}$, по-видимому, вся территория является источником углерода.

Кроме того, на основе этих наблюдений был выяснен диапазон суточной динамики почвенной эмиссии CO_2 в фоновых и АИ биотопах. Если в фоновых пятнистых арктических тундрах он составлял 2,6 раза (превышение максимального дневного уровня почвенного дыхания над минимальным ночным), то в АИ экотопах это превышение было существенно

меньше: 1,28–1,77 раза, что объясняется меньшей амплитудой внутрисуточных колебаний температуры, а также меньшим участием растительности. Оценка доли, которую составляет почвенное дыхание от валового дыхания показала, что в фоновых арктических экосистемах это достаточно устойчивый показатель, меняющийся от 75 (ночной период, заросшие трещины между полигонами) до 95% (дневной период, пятна пучения). В то же время на АИ участках он может широко меняться от 36 (зарастающие участки) до 100% (участки с открытым грунтом).

В завершение был проведен статистический анализ всех независимых (предикторных) переменных почвенной эмиссии CO₂, обладающих на данном этапе наблюдений достаточным количеством данных для сравнения. Целью анализа была относительная оценка вкладов пространственных и временных переменных в целом, а также выявление количественного вклада основных значимых переменных. В качестве метода был выбран множественный регрессионный анализ на матрицах сходства (distance-based Linear Modelling) с пошаговым отбором предикторов.

Переменной отклика (зависимой переменной) служил поток почвенной эмиссии CO₂ гС м⁻²ч⁻¹, (CO₂), предикторными (независимыми) переменными – год (YEAR), температура воздуха (Ta), температура почвы на глубине 1 см (T1) и 5 см (T5), запас надземной фитомассы (PHYTO, баллы), близость верхней кровли многолетней мерзлоты (PERM, баллы), мощность органогенного слоя почвы (ORGSOIL, баллы), степень антропогенного влияния (ANTHR, баллы), рН водный (PH, единицы), и влажность верхнего 6-см слоя почвы (MOIST, %). Выбор оптимальной регрессионной модели осуществляли по информационному критерию Акаике с поправкой на малый размер выборки (AIC_c), позволяющему выбрать модель, наиболее полно описывающую данные наименьшим числом параметров. Для выявления побочного влияния на результаты используемых балльных оценок, анализ проводили в двух вариантах: 1. все переменные, включая балльные, рассматривались как количественные с фиксированным эффектом; 2. балльные переменные (PHYTO, PERM, ORGSOIL, ANTHR) рассматривались как качественные (применяли кодирование каждой балльной переменной набором номинальных бинарных переменных) (табл. 16.2).

Таблица 16.2. Применение множественного регрессионного анализа на матрицах сходства к данным наблюдений почвенной эмиссии CO₂ (Западный Шпицберген, 2014–2019 г.)

Вариант 1. Все переменные включены в анализ как количественные						
Предикторная переменная	AICc	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.	res.df
ORGSOIL	-285,72	41,475	0,001	0,47962	0,480	45
YEAR	-288,70	5,207	0,027	5,5067E-2	0,535	44
MOIST	-291,91	5,449	0,034	5,2336E-2	0,587	43
T5	-292,19	2,571	0,125	2,3819E-2	0,611	42
Вариант 2. Все балльные переменные включены в анализ как качественные						
ORGSOIL	-282,45	9,914	0,001	0,5473	0,547	41
T5	-285,75	5,520	0,021	5,4898E-2	0,602	40
YEAR	-287,55	4,118	0,044	3,7993E-2	0,640	39
PERM	-289,33	4,132	0,055	3,5285E-2	0,676	38
MOIST	-289,87	3,103	0,086	2,5112E-2	0,701	37

Примечание: AIC_c – критерий Акаике, Pseudo-F – псевдо-критерий Фишера, P – уровень значимости переменной, Prop.– доля объясненных ею различий, Cumul. – накопленный % объясненных различий, res.df – остаточное число степеней свободы. Переменные обозначены в тексте.

В обоих вариантах наилучшая модель включает сходный набор объясняющих переменных. В первом варианте это *мощность органогенного слоя, год наблюдений, влажность почвы (0-6 см) и ее температура на глубине 5 см*, в сумме объясняющие 61% общих различий эмиссии CO₂ между отдельными измерениями (столбец “Prop” в табл. 16.2).

Во втором варианте в модель входит также *близость верхней кровли многолетней мерзлоты*, в сумме эти пять переменных объясняют 70% различий. В обоих вариантах основным предиктором является *мощность органогенного слоя*, объясняющая 48-55% общих различий между измерениями; вклад каждой из оставшихся переменных на порядок меньше. Так, на межгодовые вариации приходится лишь от 3,8 до 5,5 % общих различий потоков почвенной эмиссии. Примечательно, что доли объясненной дисперсии в обоих вариантах близки, что указывает на относительно монотонное изменение потока CO₂ при изменении значений балльных переменных (отсутствие влияния используемой балльной системы на результаты).

Отдельного объяснения требует отсутствие среди значимых предикторов переменной, отражающей наличие антропогенного влияния (ANTHR), несмотря на значимо более высокую почвенную эмиссию CO₂ из АИ участков. Как показывает корреляционная матрица (табл. 16.3), построенная на основе исходного массива наблюдений, это связано с наличием комплекса тесно скоррелированных предикторных переменных. В нашем случае это *наличие антропогенного влияния, мощность органогенного слоя почвы, pH и относительная влажность верхнего слоя почвы*, с которыми в свою очередь тесно связана переменная отклика. Как видим из табл.16.3, наиболее тесная положительная связь наблюдается между *наличием антропогенного воздействия и мощностью органогенного слоя*, что объясняет присутствие в результатах табл. 16.2 только одной из этих переменных. Таким образом АИ участки имеют более мощный органогенный слой, более низкую кислотность, высокую влажность и более глубокое расположение многолетней мерзлоты, что связывается с большими потоками почвенной эмиссии CO₂.

Таблица 16.3. Корреляционная матрица переменных почвенной эмиссии CO₂, вошедших в регрессионный анализ (Западный Шпицберген, 2014–2019 г.)

	CO2	YEAR	Ta	T1	T5	PHYTO	PERM	ORGSOIL	ANTHR	pH	MOIST
CO2		1	1	1	1	1	0,354	<u>2,71E-08</u>	<u>0,00097</u>	<u>0,0285</u>	0,06483
YEAR	-0,149		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ta	-0,193	0,062		<u>0,015</u>	1	1	1	1	1	1	0,52533
T1	-0,161	-0,102	<u>0,457</u>		<u>0,0006</u>	1	1	1	1	1	0,42622
T5	0,095	-0,293	0,216	<u>0,539</u>		1	1	1	0,26382	0,21283	1
PHYTO	-0,018	0,106	0,044	0,013	-0,1399		1	1	1	1	1
PERM	-0,320	0,016	0,075	-0,098	-0,2667	0,219		1	<u>5,28E-05</u>	0,42237	0,95444
ORGSOIL	<u>0,657</u>	-0,088	-0,108	-0,098	0,2355	0,180	-0,227		<u>1,40E-10</u>	<u>2,07E-05</u>	0,038518
ANTHR	<u>0,483</u>	-0,072	-0,116	-0,039	0,3624	-0,190	<u>-0,544</u>	<u>0,715</u>		<u>2,10E-12</u>	<u>0,023519</u>
pH	<u>0,461</u>	-0,222	-0,116	0,027	0,4135	-0,268	-0,362	<u>0,632</u>	<u>0,823</u>		0,033161
MOIST	0,412	0,159	-0,335	-0,343	-0,0239	-0,282	-0,309	<u>0,429</u>	<u>0,444</u>	<u>0,482</u>	

Примечание: Левая нижняя часть таблицы – ранговые корреляции Спирмена, верхняя правая – уровень значимости *P* (с последовательной поправкой Бонферрони на множественность сравнений). Достоверные (*P*<0,05) корреляции и соответствующие им уровни значимости подчеркнуты, наиболее сильные связи дополнительно выделены полужирным шрифтом. Обозначения переменных приведены в тексте.

Дополнительно к измерениям потоков CO₂ в августе 2017 и июле-августе 2019 г. на участках наблюдений были проведены оценки поверхностных потоков более редких биогенных парниковых газов (метана и закиси азота). Эти измерения показали, что во всех случаях, как на автоморфных, так и на гидроморфных участках, и независимо от антропогенного воздействия, потоки метана (-0,061±0,084 мгC-CH₄ м⁻² ч⁻¹, *N* = 8) и закиси азота (0,087±0,096 мгN₂O м⁻² ч⁻¹, *N* = 8) значимо не отличаются от нулевых. Однако не исключена недооценка потоков, связанная с потерями при транспортировке газов к месту анализа.

Вторая часть работ сосредоточена на анализе состава и свойств органического вещества почв, отбор образцов и исследовании радиоуглеродного возраста/активности

углерода почв, формирующихся в условиях быстрого отступления ледников; исследовании материала криоконитов, формирующихся на ледниках, с точки зрения почвенных коллоидов. Основные исследования велись в районе ледника Бертиль (Пирамида) и ледника Альдегонда (залив Грэнфьорд).

Криокониты – седименты, преимущественно эолового генезиса, которые аккумулируются на поверхности ледника и включают в себя как минеральную, так и биологическую составляющие (рис.16.10).

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. Так же вместе с мелкоземом на поверхность ледника приносятся остатки мхов, которые в благоприятных условиях возобновляют вегетацию. При

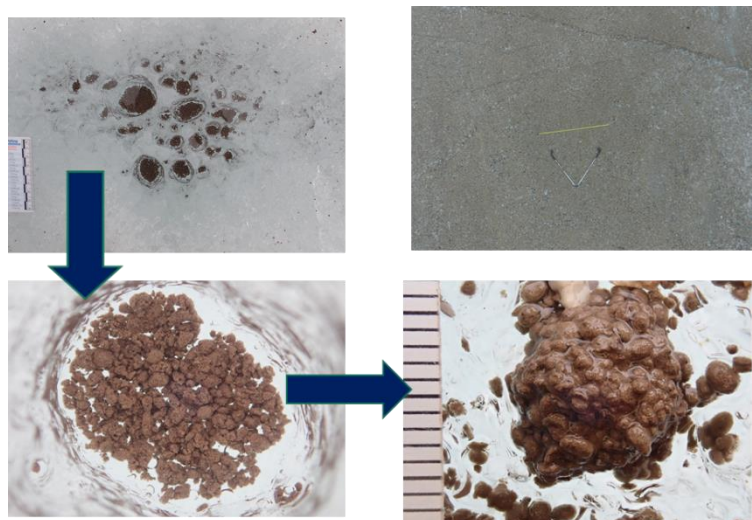


Рисунок 16.10 – Ледник Бертиль: криокониты – разные масштабы исследования

отступании ледника криоконитовый материал, переносится водными потоками и осаждается, чаще всего в местах, защищенных от ветра (ветровые убежища). Благодаря своим свойствам – 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 перегляциальной зоне.

Объектами наших исследований стали криокониты, почвы, развитые на криоконитовом материале в перегляциальной зоне ледника Альдегонда (Земля Норденшельда, Западный Шпицберген 77,98 с.ш., 14,11 в.д.) и ледника Бертиль. В сезон 2019 г. были отобраны образцы для физико-химических, морфологических методов исследования, выполнена съемка с использованием БПЛА пилотных участков для расчета плотности и распространения криоконитового материала на исследуемых ледниках.

Для этих объектов был применен (и применяется в настоящее время, не все образцы прошли еще аналитическую обработку) как комплекс современных инструментальных методов радиоуглеродное AMS датирование, изотопная масс-спектрометрия, ^{13}C -ЯМР, так и традиционные физико-химические и морфологические методы исследования. Для почв, сформированных на разновозрастных моренах ледника Альдегонда показано, что источником органического вещества является материал криоконитов, причем исходя из полученного радиоуглеродного возраста этот материал, поступающий при быстром интенсивном таянии из глубоких слоев ледника. Морфологические особенности криоконитового материала сохраняются в изученных почвах первые десятки лет, основным процессом переорганизации минеральной массы является криогенная дифференциация (рис.16.11). Органическое вещество наследуется от криоконитов. Таким образом на криоконитовом материале за первые десятки лет формируются почвы с развитым профилем, богатые биогенными элементами. При отсутствии криоконитового материала в таких же геоморфологических позициях время, требующееся для формирования аналогичных

почвенных профилей, составляет первые сотни лет. Важным моментом является включение в круговорот пула углерода, депонированного в теле ледника в течение голоцена.

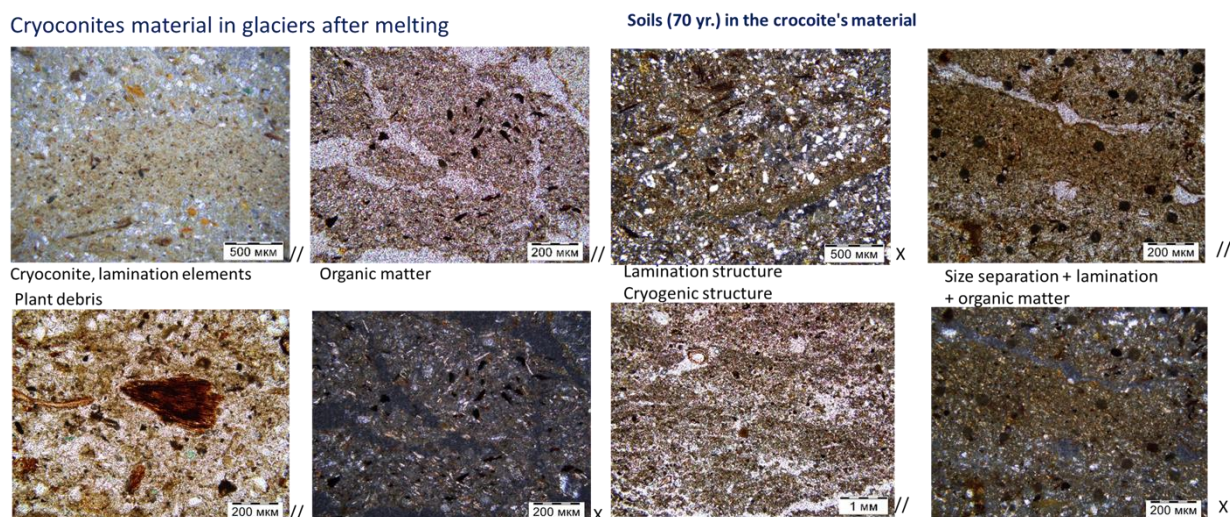


Рисунок 16.12 – Морфологические свойства материала криоконита с ледника Альдегонда и почвы сформированной на морене 70-летнего возраста

Проведенные исследования показывают, что органоминеральные взаимодействия почвенного типа имеют место и на поверхности льда – они записываются в минеральном мелкоземе в виде аккумуляции соединений углерода и азота. Предложено выделять криоконитные солоиды (почвоподобные тела). Их распространение, по-видимому, намного шире в полярных областях, чем внеледниковая суша. Из этого может следовать парадоксальный вывод – почвенные процессы в полярных областях имеют не меньшие, как считалось ранее, а большие ареалы, чем площади островов суши в океане и ледниках.

Краткие результаты

1. Результаты многолетних наблюдений за почвенной эмиссией и нетто-потоками CO_2 в естественных и антропогенно-измененных экосистемах арктической тундры архипелага Шпицберген показали, что антропогенные факторы, связанные с местным землепользованием, могут более чем вдвое увеличивать эмиссию диоксида углерода из почвы в период своего активного воздействия. Нетто-баланс CO_2 на таких участках является положительным (источник для атмосферы). Фоновые экосистемы с высокой вероятностью находятся в состоянии С-равновесия или слабого источника для атмосферы за год. Зарастающие (самовосстанавливающиеся после антропогенного воздействия) участки демонстрируют промежуточные между фоновыми и АИ участками величины почвенной эмиссии CO_2 , но при этом наибольшие по сравнению с ними нетто-потоки С (сток углерода) во всем диапазоне освещенности. Наибольший вклад в различия эмиссии CO_2 между отдельными точками вносят пространственные факторы (объясняют 56-66% дисперсии), тогда как временные факторы объясняют лишь 3,8-5,5% дисперсии.

2. Межгодовые флуктуации условий, среди которых наиболее важны температура и влажность верхнего слоя почвы, одинаково влияют на АИ и фоновые экосистемы, поэтому пространственные различия между ними поддерживаются из года в год. Лидирующей пространственной переменной, тесно и положительно связанной с антропогенным воздействием, является мощность органогенного горизонта (дернины), которая единолично объясняет 48-55% различий. При этом наблюдается положительная зависимость между мощностью органогенного слоя и глубиной залегания мерзлоты. Это отличается от обычно наблюдаемой в арктических экосистемах зависимости, которая реализуется через термоизоляцию: чем больше выражен верхний органогенный слой почвы, тем меньше глубина сезонного протаивания. Но такая зависимость относится к экосистемам уже пришедшим в равновесие с реликтовой мерзлотой. Антропогенные виды землепользования выводят эту сложившуюся систему из равновесия через действие прямого потока

дополнительного тепла, уничтожение местной растительности, а также нарушение физико-химических характеристик почвы (уплотнение, замена на строительный грунт и проч.). Все эти воздействия в первую очередь приводят к увеличению протаивания мерзлоты.

3. После снятия антропогенной нагрузки начинается самовосстановление системы, однако поскольку условия уже изменены в сторону потепления (в том числе за счет трудно обратимого снижения кровли многолетней мерзлоты), то на этом месте восстанавливается совершенно другая экосистема, в частности, с преобладанием злаков и развитой дерниной. Таким образом, возникает нехарактерное для тундры сочетание условий и признаков. Поэтому в местном спектре антропогенных воздействий (напомним, что мы статистически анализируем весь имеющийся набор данных включающий, как естественные, так и АИ биотопы) преобладает вариант, при котором запасы органического вещества в верхнем слое почвы увеличены, а мерзлота обнаруживается глубже или отсутствует.

4. Органоминеральные взаимодействия почвенного типа имеют место и на поверхности льда – они записываются в минеральном мелкоземе в виде аккумуляции соединений углерода и азота. Предложено выделять криоконитные солоиды (почвоподобные тела). Их распространение, по-видимому, намного шире в полярных областях, чем внеледниковая суша. Из этого следует парадоксальный вывод – почвенные процессы в полярных областях имеют не меньшие, как считалось ранее, а большие ареалы, чем площади внеледниковой суши и ледников.

По результатам исследований опубликована статья:

Карелин Д.В., Зазовская Э.П., Шишков В.А., Долгих А.В., Сирин А.А., Суворов Г.Г., Азовский А.И., Осокин Н.И. Наблюдения за потоками CO₂ на архипелаге Шпицберген: использование территории человеком меняет газообмен арктической тундры. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2019. №5. – С. 56–66. doi: 10.31857/S2587-55662019556-66

ФГБУН Кольский научный центр Российской академии наук (КНЦ РАН)

На балансе ФИЦ Кольского научного центра РАН находится «Научно-исследовательская база «Баренцбург» (далее по тексту НИБ) с момента ее создания в 1983 году находилась в ведении Кольского филиала Академии наук СССР, в 1991 году Российской академией наук (РАН) была передана на баланс Кольского научного центра РАН (КНЦ РАН) с целью повышения эффективности логистического обеспечения научных исследований РАН, осуществлявшихся на архипелаге в соответствии с Федеральной целевой программой «Мировой океан» (подпрограмма «Освоение и использование Арктики»).

В 2012 году Распоряжением Правительства Российской Федерации №356-р была утверждена «Стратегия российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2015 года», предусматривавшая оптимизацию и диверсификацию российской деятельности на архипелаге Шпицберген. При создании Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ) НИБ вошла в состав инфраструктурного комплекса РНЦШ, но оперативное ведение НИБ оставлено в функциях КНЦ РАН.

С 2016 года вследствие реорганизации ФГБУН КНЦ РАН в ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН» НИБ передана на баланс ФИЦ КНЦ РАН с сохранением ее главного функционального предназначения – обеспечения оптимальных условий для работ исследовательских организаций РАН, подведомственных ФАНО России, на территории архипелага и в прилегающих акваториях.

Межведомственной программой научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2019 году в ФИЦ КНЦ РАН предполагалось проведение следующих мероприятий: «Изучение медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов на организм человека в условиях арх. Шпицберген». Однако, на выполнение данной программы в 2019 году финансирование не было выделено.

В 2019 году активными пользователями услуг «Научно-исследовательской базы «Баренцбург» помимо ФИЦ КНЦ РАН (Геологический институт) стали экспедиционные группы исследовательских институтов и центров, подведомственных Министерству Науки и высшего образования Российской Федерации: Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН; Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН» Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН; Полярный геофизический институт; Институт археологии РАН; Институт географии РАН, а также Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ФГБУ «ААНИИ») Росгидромета.

Для обеспечения работоспособности НИБ «Баренцбург» ФИЦ КНЦ РАН в 2019 году потрачено 4,9 млн. рублей. Общее количество человеко-дней, проведенных научными и техническими сотрудниками архипелага Шпицберген при выполнении работ (researcher-days) в 2019 году – 514. Исследования на архипелаге Шпицберген играют ключевую роль в развитии научных основ и инновационных технологий природопользования в Арктике и служат усилению геополитических позиций России в Арктическом регионе.

Мероприятие 17. Изучение медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов на организм человека в условиях архипелага Шпицберген

Исполнителем научно-исследовательских работ, включенных в мероприятие, является НИЦ МБП КНЦ РАН. На выполнение запланированной программы работ в 2019 году финансирование не было выделено.

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

Мероприятие 18. Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген

Фундаментальные научные и прикладные исследования на архипелаге Шпицберген в 2019 г. проводились согласно скорректированного календарного плана и научной программы на текущий год, начиная с июня. С начала 2019 г. очередная тема госзадания «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген» проходила целый ряд согласований в Министерстве науки и высшего образования (Минобрнауки).

В рамках комплексных экосистемных исследований в 2019 гг. ученые ММБИ КНЦ 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, разнообразии, динамике и функциональных особенностях зообентоса в прибрежных экосистемах архипелага.
4. Оценка распространения и 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 морских и береговых экспедициях в районе архипелага Шпицберген;
- 2) аналитическая обработка полевого материала в лабораториях в Баренцбурге (Шпицбергенская биогеостанция ММБИ КНЦ РАН и РНЦШ) и в Мурманске;
- 3) публикация научных статей в российских и зарубежных изданиях, а также популяризация проводимых на архипелаге исследований.

Обзор научных работ, проведенных ММБИ КНЦ РАН в 2019 гг. в рамках каждого блока представлен в настоящем материале.

Экспедиционные работы в районе архипелага Шпицберген в 2019 г. выполнялись по двум основным направлениям:

Сбор научного материала в морских и береговых экспедициях в районе архипелага Шпицбергене

Одним из важнейших направлений в исследованиях окружающей среды является экспедиционный сбор научного материала. Полевые работы ММБИ КНЦ РАН в районе архипелага Шпицберген в 2019 г. выполнялись в море, с борта НИС «Дальние Зеленцы» и на суше, в районе поселка Баренцбург.

Морские исследования

Первая экспедиция на НИС «Дальние Зеленцы» состоялась в июне-июле 2019 г. (рис. 18.1) Объем морских научных работ в территориальных водах Шпицбергена составил 110

чел./суток. В экспедиции принимали участие сотрудники ММБИ КНЦ РАН и UNIS. По специальному разрешению, полученному от норвежских властей, судно работало в территориальных водах архипелага и осуществляло заходы в порты Баренцбурга и Лонгйирбюен. В июне 2019 г. география работ расширилась за счет проведения отбора проб в проливе Стурфьорд. Экспедиционные исследования носили комплексный экосистемный характер и охватили западную часть пр. Стурфьорд и большую часть акватории системы залива Исфьорд на нескольких разрезах.

Вторая экспедиция состоялась в ноябре 2019 г. Объем морских научных работ в территориальных водах Шпицбергена составил 104 чел./суток. В экспедиции принимали участие сотрудники ММБИ КНЦ РАН, МАГУ и UNIS. Судно работало в территориальных водах архипелага в районе системы Исфьорда, осуществляло заходы в порты Баренцбурга и Лонгйирбюена.

Комплекс работ включал STD-зондирования для измерения температуры и солености морской воды от поверхности до дна, отбор проб на содержание биогенных элементов и растворенного кислорода, вирио-, бактерио-, фитопланктон, макрозообентос, радиоактивное загрязнение. Производился сетной лов зоопланктона, наблюдения за морскими птицами и млекопитающими.

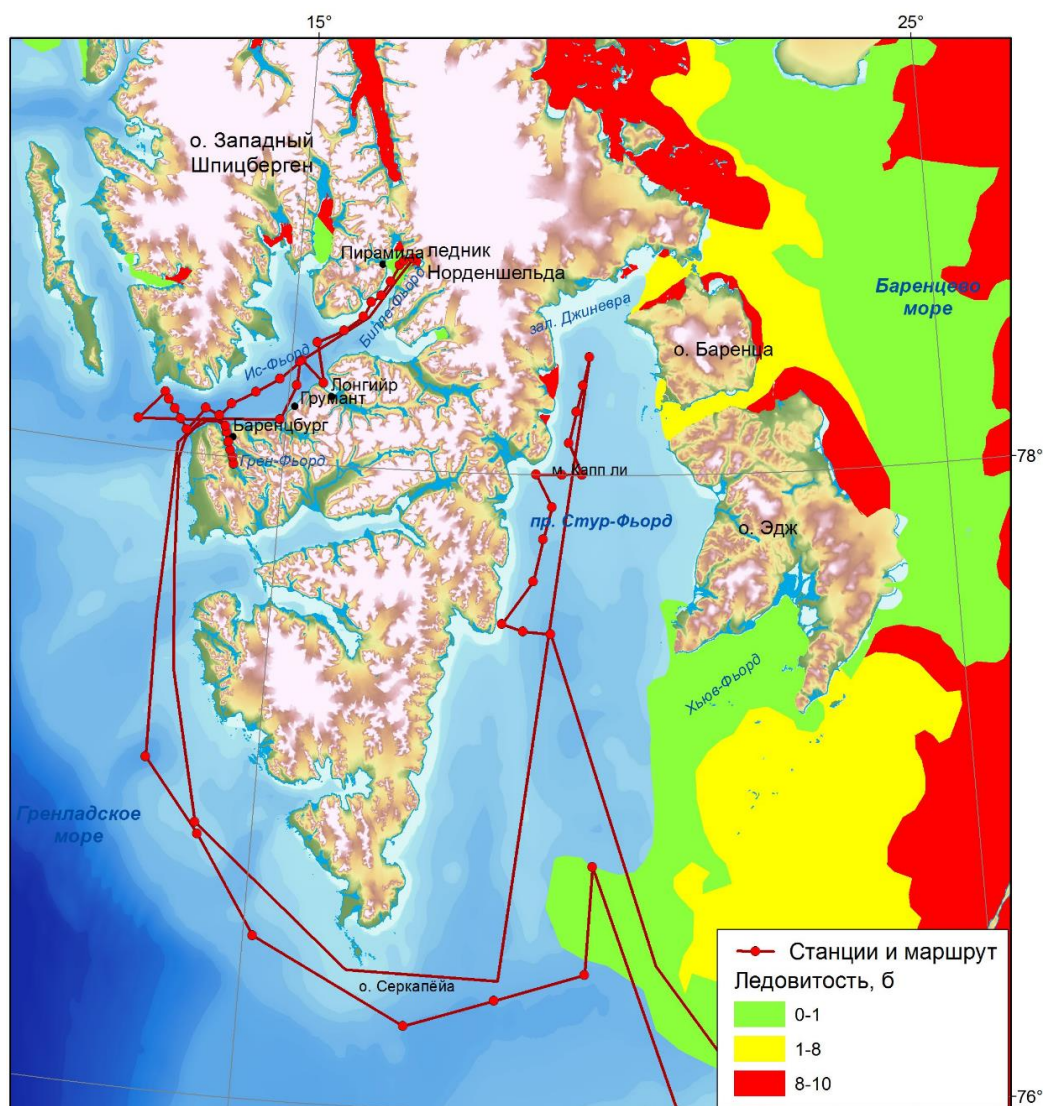


Рисунок 18.1 – Станции и маршрут экспедиционных исследований ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в районе Шпицбергена, 24 июня – 4 июля 2019 г. Ледовитость – по данным недельного анализа с <https://www.natice.noaa.gov> на 24-28 июня 2019 г.

Береговые и прибрежные наблюдения

Местом базового размещения участников береговых экспедиций и предварительной обработки первичного полевого материала является Шпицбергенская биогеостанция ММБИ КНЦ РАН в Баренцбурге (рис. 18.2). В береговых экспедициях проведены альгологические и орнитологические исследования в районе залива Грэнфьорд. Продолжалось изучение процессов осадконакопления и уровней радиоактивного загрязнения в системе «ледниковое озеро – ледник – фьорд».

Выезды сотрудников ММБИ КНЦ РАН в Баренцбург для проведения полевых и камеральных работ состоялись в июне-июле (22 чел./суток), сентябре (16 чел./суток) 2019 г. В то же самое время, во время заходов НИС «Дальние Зеленцы» в Баренцбург в ноябре 2019 г. два научных сотрудника высаживались на берег для работы на биогеостанции в тот период, когда судно выполняло исследования в Исфьорде.



Рисунок 18.2 – Биогеостанция ММБИ КНЦ РАН в Баренцбурге, сентябрь 2019 г. (фото Д. Моисеева)

Аналитическая обработка полевого материала в лабораториях в Баренцбурге (Шпицбергенская биогеостанция ММБИ КНЦ РАН и РНЦШ) и в Мурманске

Доставка проб и материалов, собранных в ходе полевых работ, со Шпицбергена на «большую землю» является достаточно непростым мероприятием, связанным с передвижением авиатранспортом и пересечением государственных границ. Поэтому максимально возможная обработка собранного материала на месте представляет большой интерес для всех научных организаций, работающих на Шпицбергене.

Шпицбергенская биогеостанция ММБИ КНЦ РАН оборудована всем необходимым для первичной обработки биологических и геохимических проб. Однако, если дело касается более сложных анализов, тогда сотрудники ММБИ КНЦ РАН обращаются в химико-аналитическую лабораторию Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ). Лаборатория обслуживается и поддерживается сотрудниками Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген ААНИИ (http://www.aari.ru/rscs_new/index.php?id=3#arc_hlab). Она представляет лабораторный комплекс для решения разнообразных научных задач, поставленных организациями Консорциума РНЦШ.

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

Результаты научных исследований ММБИ КНЦ РАН в районе архипелага Шпицберген, проведенных в 2019 г. в рамках темы госзадания «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген» представлены в форме тезисов 22 докладов на двух международных конференциях. Сотрудники ММБИ КНЦ РАН регулярно публикуют научно-популярные материалы в «Российском вестнике Шпицбергена».

Исполнители: непосредственно в морских и береговых полевых работах на Шпицбергене в 2019 году участвовало 22 научных сотрудника ММБИ КНЦ РАН, из них 13 молодых ученых в возрасте до 39 лет, включая двух студентов: Берченко И.В., Валуйская Д.А., Водопьянов Д.А., Гарбуль Е.А., Горяев Ю.И., Дерябин А.А., Заволока П.А., Зимица О.Л., Ишкулова Т.Г., Калинин О.П., Лебедева Н.В., Максимовская Т.М., Мещеряков Н.И., Моисеев Д.В., Москвин К.К., Олейник А.А., Павлова Л.В., Расхожева Е.В., Румянцова З.Ю., Салахов Д.О., Човган О.В.

По материалам экспедиционных работ на Шпицбергене в 2019 году опубликовано 11 печатных работ, в том числе 6 – в изданиях, индексируемых в РИНЦ, а также в сборниках конференций и 5 – в научно-популярных изданиях:

Даувальтер В.А., Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Духно Г.Н., Шарин В.В., Слукровский З.И. Предварительные результаты исследований донных отложений арктического озера Фара, Западный Шпицберген. Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. 16. С.121–125. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.025>

Лебедева Н.В., Коблик Е.А. Случай меланизма у чайки *Larus sp.* на Шпицбергене// Орнитология. 2019 (43). В печати

Мещеряков Н.И., Тарасов Г.В. Гранулометрический состав донных отложений озера Бретъерна (Западный Шпицберген)// Исследования арктических экосистем. Материалы XXXVII конференции молодых ученых ММБИ КНЦ РАН.; Апатиты – 2019; – С. 55-59.

Мещеряков Н.И., Духно Г.Н., Даувальтер В.А., Шарин В.В. Гранулометрический состав донных отложений залива Колесбухта (Западный Шпицберген). // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, – 2019.16, С.373-377. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.075>

Lebedeva N.V. Climate change and bird invasions on Svalbard// Programme and Abstracts. 2th European Ornithologists' Union Congress 26 – 30 August 2019 Cluj Napoca Romania/ Eds. E.Matthysen, P. L. Pap, G.M. Bóné1. 2019. Publ. European Ornithologists' Union. P. 166–167.

Moiseev D., Maximovskaya T. Inter-annual changes of the Atlantic Waters inflow to the Isfjorden in 2001-2018 / The Svalbard Science Conference 2019. Book of abstract. Oslo, 2019. P. 74-75.

Лебедева Н.В. Почему со Шпицбергена исчез овцебык? // Русский вестник Шпицбергена. 2019. 1(39). С.21.

Лебедева Н.В. Когда олени сбрасывают рога? // Русский вестник Шпицбергена. 2019. 4(42). С.21

Лебедева Н.В. Почему у оленей бывают красные рога? // Русский вестник Шпицбергена. 2019. 5(43). С.21.

Лебедева Н.В. Обычные необычные птицы: белое и черное // Русский вестник Шпицбергена. 2019. 6(44). В печати

Мещеряков Н.И. Скорость накопления осадков в озере Бретъерна // Русский вестник Шпицбергена. М: ФГУП ГТ «Арктикуголь», – 2019. №1(39). – С. 22-23.

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

Мероприятие 19. Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген

Исследования в рамках данной темы (ГЗ № 0229-2017-0005) ведутся под руководством чл.-корр. РАН В.К. Жирова по следующим направлениям программы фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020: экология организмов и сообществ, биологическое разнообразие, почвы как компонент биосферы (формирование, эволюция, экологические функции); эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества.

В основные цели исследований входят:

1. Оценка разнообразия криптогамной биоты и мониторинг растительного покрова.
2. Исследование механизмов устойчивости и оценка продуктивности растений разных таксономических групп в высокоширотных тундровых экосистемах.
3. Почвенные морфолого-генетические, экологические и биогеохимические исследования окружающей среды.
4. Оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.

В 2019 г. для решения были поставлены следующие задачи:

- дать морфологическую и химическую характеристику основных типов почв, выявить особенности химического состава почв и растений, заложить стационарные площадки для режимных наблюдений в западной части Архипелага Шпицберген.
- обработать собранные в 2018 году материалы по анатомо-морфологической характеристике видов сосудистых растений арктических тундр, собрать данные для сравнительного анализа по этим показателям для одноименных видов растений в Хибинах и получить данные по анатомо-морфологической характеристике ассимилирующих органов доминирующих видов растительности для выявления структурной адаптации фотосинтетического аппарата к условиям Арктики.
- для исследования видового разнообразия провести полевые обследования ранее неизученных территорий – побережья Дундербухты, собрать гербарий. Провести или завершить идентификацию собранного ранее материала, анализ литературных данных, анализ полученных списков видов цианопрокариот побережья заливов Трюггхамна и Имербухта, лишайников побережья залива Инвика (Северо-Восточная Земля), печеночников острова Принца Карла, мхов западного побережья Биллефьорда, адвентивных видов сосудистых растений пос. Баренцбург, составить точечные карты распространения ряда редких видов печеночников, подготовить публикации по полученным результатам. Отобрать образцы, выделить ДНК и отсековировать образцы арктических видов, подвидов, разновидностей.
- апробировать технологию рулонных газонов в интерьерах с учетом норвежских законов.
- провести апробацию второго года реабилитационной программы эко-, арт- и садовой терапии для полярников, уточнить данные о психо-физиологически реакциях организма.

Раздел 1. Оценка разнообразия криптогамной биоты и мониторинг растительного покрова

Полевые экспедиционные исследования мхов, лишайников и сосудистых растений на арх. Шпицберген проводились в период 10-18 августа 2019 г. Использовались полевые флористические методы – сбор мохообразных, сосудистых растений и лишайников, фотографирование видов в поле, в том числе макросъемка, фиксация координат в местах сбора, детальные описания мест обитания.

В 2019 г. с 10 августа по 18 августа проводились полевые исследования по изучению лишайников и печеночников на о. Западный Шпицберген в районах мыса Alkepynten бухты Trygghamna (1), восточный склон горы Bertilryggen (Ekmanfjorden) (2), мыса Kapp Fleur de Lys (Billefjorden) (3) при высадке с корабля “Sea Spirit”, а также северный склон горы Plataberget (4) вблизи пос. Лонгйр (рис. 19.1). Сделаны краткие описания местообитаний с топографической привязкой, собрано 36 образцов печеночников. Выявлены новые места обитания редких и охраняемых видов печеночников и лишайников.

Завершена идентификация образцов и подготовлен аннотированный список печеночников острова Принца Карла, включающий 42 вида (Konstantinova, Savchenko, в печати), лишайников о. Баренца, включающей 174 вида. Подготовлен аннотированный список лишайников для района Innvika Bay (Nordaustlandet), включающий 142 вида. Выявлены два новых вида для архипелага – печеночник *Lophozia fuscovirens* Bakalin & Vilnet (Konstantinova, Vilnet, Savchenko, 2019) и лишайник *Caloplaca stillicidiorum* (Vahl) Lyng. На основе анализа полученных впервые данных по нуклеотидным последовательностям ряда видов печеночников и включения их в имеющиеся выборки уточнена таксономия ряда арктических видов.

Выявлено два новых вида сосудистых растений для архипелага Шпицберген: *Ranunculus polyanthemus* и *Allium schoenoprasum*. Также получены новые сведения о натурализации заносных видов и информация о вымирании ряда видов в прежних местонахождениях. Предварительные наблюдения (без идентификации окончательные выводы сделать невозможно, определение будет выполнено в зимний период) заключаются в том, что в обследованных районах на юге Шпицбергена флора печеночников значительно беднее, чем в обследованных ранее точках по берегам Исфьорда и даже на Северо-Восточной Земле. Выявлены новые точки нахождения редких на архипелаге видов.

Исполнители работ: Константинова Надежда Алексеевна (nadya50@list.ru), Савченко Анатолий Николаевич (anatsav@list.ru), Конорева Людмила Александровна (ajdarzapov@yandex.ru), Кожин Михаил Николаевич (mnk_umba@mail.ru).

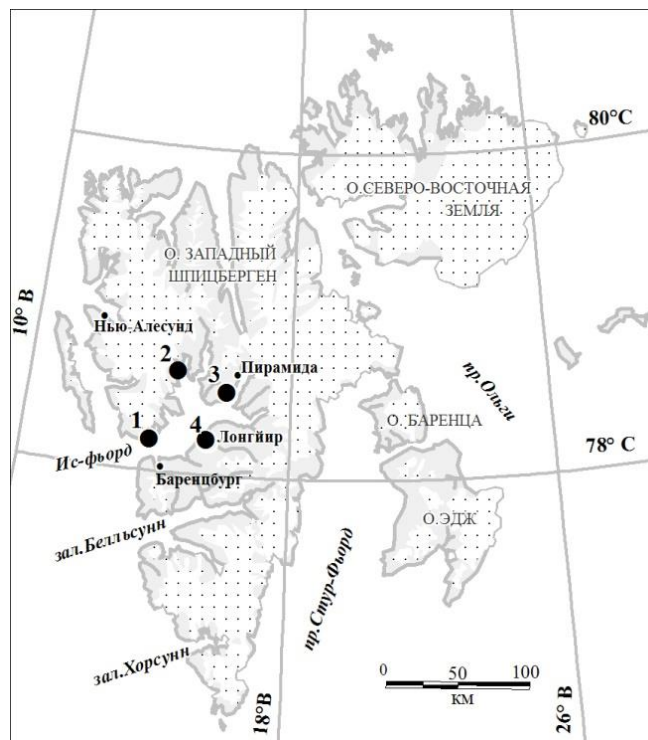


Рисунок 19.1 – Районы полевых работ на архипелаге Шпицберген в 2019 году.

Раздел 2. Исследование механизмов устойчивости и оценка продуктивности растений разных таксономических групп в высокоширотных тундровых экосистемах

Исследования высших сосудистых растений в 2019 г. выполнялись камерально, на основе собранных ранее данных, без выезда на арх. Шпицберген с помощью биометрического метода, методов исследования фотосинтетических пигментов (Саможников и др. 1987) и флуоресценции с использованием прибора РАМ. Для исследования мезоструктуры листа отбирался и фиксировался полевой материал на Кольском полуострове.

Исследование анатомо-морфологических и физиологических параметров ассимиляционного аппарата редкого на территории Западного Шпицбергена вида *Rubus chamaemorus* выявило, что листья имеют дорзовентральный тип строения мезофилла, который у арктических видов растений встречается реже, чем гомогенный. Поддержание выявленной микропопуляции *R. chamaemorus* на границе северного ареала в высоких широтах происходит за счет ежегодного вегетативного размножения. По количеству зеленых пигментов морошка относится к группе видов со средним содержанием хлорофиллов, которые не являются доминантами в арктических тундровых сообществах Западного Шпицбергена, а тяготеют к специфическим экотопам. Показано, что фотосинтетический аппарат *R. chamaemorus* не адаптирован к высокоэффективной работе в условиях Арктики – низкие значения реального квантового выхода (YII) и высокие значения нефотохимического тушения хлорофилла (NPQ). Ингибирование ряда структурно-функциональных параметров жизнедеятельности *R. chamaemorus* в условиях Арктики привело его к положению редкого вида.

Во флоре архипелага Шпицберген произрастает 3 вида рода *Taraxacum*, но только *Taraxacum arcticum* (Trautv.) Dahlst. относится к широко распространенным видам. Заносные виды редки в условиях Арктики и механизмы их адаптации и функциональной активности представляют большой интерес. На о. Западный Шпицберген в сообществах арктических тундр в окрестностях пос. Баренцбург были исследованы аборигенный (*Taraxacum arcticum*) и заносный (*Taraxacum officinale* Wigg.) виды одуванчиков. Сравнительное исследование функциональной активности этих видов в период вегетации выявило разные пути защиты фотосинтетического аппарата. Выяснено, что заносный вид нуждается в защите ассимиляционного аппарата от избытка солнечного света, что обеспечивает большая доля хлорофилла b и больший объем ССК, доля каротиноидов ниже. Арктический вид, напротив, проявляет хорошую степень адаптации фотосинтетического аппарата к экстремальным условиям существования. Изучение фотохимической составляющей (по флуоресценции хлорофилла) показало близкое сходство фотохимических реакций. Два вида одного рода в условиях Арктики одинаково поглощают и утилизируют световую энергию, а различия связаны только с ее последующей тратой, что свидетельствует о разных путях адаптации, о различиях в метаболических процессах в онтогенезе. Таким образом, для заносных видов условия Арктики при наличии локальных и благоприятных экотопов могут быть пригодными для длительного произрастания.

Исследования выполнили: Шмакова Наталья Юрьевна (shmanatalya@yandex.ru), Марковская Евгения Федоровна (volev10@mail.ru), Ермолаева Ольга Владимировна (olia.ermolik@yandex.ru).

Раздел 3. Почвенные морфолого-генетические, экологические и биогеохимические исследования окружающей среды

В рамках подраздела исследовались почвы катен юго-западного склона горы Улаф, экспедиционные работы велись 28 июля-07 августа 2019 г. методом полевых экспериментальных исследований и химического анализа образцов.

Летом 2019 г. был завершен однолетний эксперимент по изучению процессов трансформации листьев ивки полярной (*Salix polaris*) и смеси мхов с преобладанием *Sanionia uncinata* в почвах на 2-ух площадках: на отметках 92 и 252 м н.у.м. Исследования (рис. 19.2)

выявили существенно меньшую потерю в весе (т.е. меньшую скорость разложения) обоих видов растений на площадке 4 (258 м н.у.м.) по сравнению с площадкой 1 (92 м н.у.м.). При этом скорость разложения мха была значительно ниже по сравнению со скоростью разложения листьев ивки на обеих площадках.

Этот эксперимент, как и проведенные в предыдущие годы, показал, что интенсивность разложения листьев ивки (основного листопадного растения Шпицбергена) является довольно высокой: за год экспозиции в почве они потеряли около половины своей биомассы. Это свидетельствует о достаточно высокой микробиологической активности почв юго-западного побережья острова Западный Шпицберген, несмотря на высокое широтное положение.

Летом 2019 года были также сняты 16 температурных регистраторов и получена информация о годовом ходе температур на восьми отметках: в приземном воздухе на высоте 20 см, на поверхности растений, в подушке мха, в верхнем органогенном горизонте почв (гор. О), в верхнем минеральном горизонте почв (гор. АУао) на глубине 5 см от верхней границы минерального горизонта, а также на глубинах 20, 40 и 60 см для 2-ух стационарных площадок, расположенных на отметках 92 и 141 м н.у.м.

Во время экспедиции 2019 года также было отобрано 70 монолитов верхнего органогенного горизонта почв на 4-х площадках, расположенных на высоте 92, 141, 148 и 252 м н.у.м. по геопрофилю горного хребта вдоль Грэнфьорда для дальнейшего изучения их мезоморфологического сложения и химического анализа.

В течение всего года велись работы по обобщению ранее полученных результатов. В частности, были обобщены данные изучения влияния ландшафтного положения на температурный режим верхнего органогенного горизонта грубогумусных серогумусовых почв в окрестностях пос. Баренцбург. Температура почвы на глубине 2 см (гор. О) фиксировалась температурными регистраторами ТР-2 8 раз в сутки с 20 июля 2016 года по 2 августа 2017 г. на 4-х стационарных площадках, расположенных на высоте 92, 141, 252 и 244 м н.у.м. на склонах горного хребта Грэнфьорд. Как показали результаты, площадки, расположенные на разных элементах ландшафта, в профиле незначительно различаются друг от друга по продолжительности периодов с отрицательными и положительными среднесуточными температурами (табл. 19.1). По суммам положительных и отрицательных температур различия между площадками были более очевидны, при этом их распределение не всегда соответствовало их распределению по абсолютной отметке. Для каждой площадки свойственно своё сочетание усредненных за год температурных показателей. Так, самая высокая сумма и отрицательных и положительных среднесуточных температур была обнаружена на площадке на высоте 252 н.у.м, расположенной на вершине хребта. Наибольшее количество дней с температурой $> +5^{\circ}\text{C}$ и сумма среднесуточных температур $> +5^{\circ}\text{C}$ также была приурочена к площадкам, занимающим самые верхние позиции ландшафта. Наименьшие значения этих показателей были свойственны площадке на высоте 141 н.у.м., расположенной на второй морской террасе, т.е., в средней части геопрофиля.

Неоднозначность распределения температурных показателей, рассчитанных за год, между площадками обусловлена тем, что каждая площадка характеризуется своими особенностями годового цикла. Так в июле 2016 и 2017 гг. самыми теплыми площадками являются самые высокие площадки: пл. 244 (крутой восточный склон хребта) и пл. 252 (вершина хребта). Наоборот, самой холодной является пл. 141 (вторая морская терраса,

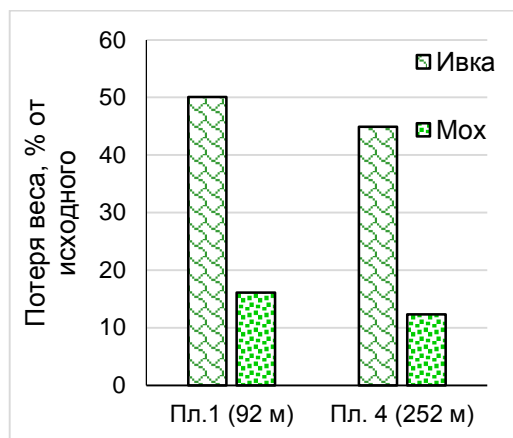


Рисунок 19.2 – Потеря веса растительных остатков ивки и мха за год экспонирования в почве

наименьший уклон). В августе при небольшом снижении температуры воздуха, различия между площадками по температуре почв сглаживаются. В сентябре и октябре при небольшой продолжительности дня, наоборот, почва на пл. 141 была наиболее теплой, а пл. 252 и 244 – самыми холодными.

Таблица 19.1 – Основные показатели температурного режима почв на глубине 2 см на стационарных площадках и воздуха на метеостанции Баренцбург (gr5.ru) за период с 20 июля 2016 по 19 июля 2017 года

Показатель	Пл. 92	Пл. 141	Пл. 252	Пл. 244	Воздух
Температура, °С:					
Средняя	-1,9	-1,4	-2,8	-1,7	-2,2
Максимальная среднесуточная	8,8	8,1	9,7	10,0	10,3
Минимальная среднесуточная	-14,7	-11,0	-18,0	-14,7	-19,9
Абсолютный максимум	11,1	9,6	12,1	13,7	13,2
Абсолютный минимум	-15,6	-11,0	-19,6	-15,5	-22,3
Диапазон варьирования	26,7	20,6	31,7	29,2	35,5
Сумма отрицательных среднесуточных	-1195	-1041	-1564	-1112	-1506
Сумма положительных среднесуточных	517	531	543	511	709
Сумма среднесуточных > +5°С	259,0	235,2	345,3	349,4	359,8
Продолжительность периода, дней					
С отрицательными температурами	211	207	213	208	192
С положительными температурами	154	158	152	157	173
Количество дней со среднесуточной температурой > +5°С	40	38	53	50	55

С ноября по май (7 месяцев), среднемесячные температуры почв находились в отрицательной области. При этом, именно в эти зимние месяцы наблюдаются самые высокие различия между площадками по температуре. В этот период значительно более холодной площадкой является пл. 252 на вершине хребта. Скорее всего, это обусловлено тем, что снег с положительного элемента сдувается, и температура верхнего слоя почвы здесь четко следует за температурой воздуха. Сдуванием снега (визуальные наблюдения) объясняются и низкие температуры почвы на пл. 92. Наоборот, самой теплой в зимний период площадкой является пл. 141. Это обусловлено наличием здесь постоянного снежного покрова. Снежный покров препятствует и резкому снижению температуры на пл. 244.

Таким образом, результаты этих наблюдений показали, что абсолютная отметка места в диапазоне от 92 до 252 м н.у.м. на обследованном геопрофиле на Шпицбергене не оказывает ощутимого влияния на температурный режим почв. Вместе с тем, такие характеристики ландшафта, как экспозиция и крутизна склона, а также форма поверхности оказывают существенное влияние на температурный режим почв.

Научный руководитель и ответственный исполнитель: зав. лаб., д.б.н. Кашулина Г.М. (планирование научных исследований, обобщение результатов, написание статей и отчетов) E-mail: galina.kashulina@gmail.com. Исполнители: м.н.с. Литвинова Т.И. (lita_0409@mail.ru), м.н.с. Коробейникова Н.М., ст. лаб.-иссл. Кощеева Е.В., инж.-иссл. Чуева Н.В.

Раздел 4. Оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген

В рамках работ по этой тематике исследования детей в возрасте 4-6 лет планируется провести с 14 по 28 ноября 2019 г. в период начала полярной ночи. Это будет вторичная апробация программы дополнительного образования «Экологическая терапия для детей, проживающих в экстремальных условиях Арктики» в период «входа» в «полярную ночь» в сравнении с 2018 г., когда апробация проводилась в период выхода из полярной ночи. Будут использованы методы гарденотерапии, анималотерапии, функциональной диагностики (проективный тест личностных отношений, социальных эмоций и ценностных ориентаций «Домики» по методу О.А. Ореховой), а также ежедневные динамические измерения функционального состояния детей на неинвазивном кардиоритмографе «Варикард» фирмы

ООО «Институт Внедрения Новых Медицинских Технологий «Рамена». На основе мониторинга функциональной диагностики детей экспериментальной и контрольных групп будут делаться научные выводы.

Исследования проводят: Гонтарь Оксана Борисовна (gontar_ob@mail.ru), Калашникова Ирина Владимировна, Зотова Олеся Евгеньевна, Ахтулова Елена Михайловна.

По результатам научно-исследовательских работ ПАБСИ КНЦ РАН на арх. Шпицберген в 2019 г. опубликовано 8 статей в реферируемых журналах, из них 4 в журналах, индексируемых в Scopus и WoS, и 5 тезисов докладов и материалов конференций:

Калашникова И.В., Никанов А.Н. Характеристика variability сердечного ритма у дошкольников с различными речевыми расстройствами в Заполярье // Морская медицина, Т. 5, №2, 2019. С. 45-54. DOI: 10.22328/2413-5747-2019-5-2-45-54

Калашникова И.В. Образовательно-просветительская деятельность полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина как пример реализации непрерывного экологического образования // Научно-педагогическое обозрение, №2(24), 2019. С. 168-178. DOI: 10.23951/2307-6127-2019-2-168-178

Konoreva L., Kozhin M., Chesnokov S., Hong S. G. 2019. Lichens and vascular plants in Duvefjorden area on Nordaustlandet, Svalbard. Czech Polar Reports 9 (2): XX-XX. (в печати)

Konstantinova N.A., A.N. Savchenko 2019. Contribution to the hepatic flora of Svalbard III: Hepatics of the Prins Karls Forland (Forlanded nasjonalpark) // Arctoa Vol.28 (2) (в печати)

Markovskaya E.F., Novichonok E.V., Shmakova N.Yu. Eco-physiological peculiarities of *Stellaria humifusa* in West Spitsbergen // Czech Polar Reports. 2019. Vol. 9, N. 2. P. (в печати)

Марковская Е.Ф., Шмакова Н.Ю., Морозова К.В., Ермолаева О.В. Анатомо-морфологические и физиологические особенности ассимиляционного аппарата редкого во флоре Западного Шпицбергена вида *Rubus chamaemorus* L. (Rosaceae) // Ботанический журн. 2019. № 11. С. (в печати)

Konstantinova N.A., A.N. Savchenko, A.A. Vilnet. *Lophozia fuscovirens* Bakalin & Vilnet in Ellis et al., 2019. New national and regional bryophyte records, 60 // Journal of Bryology vol 42, part 4. (в печати)

A. Danilova, N. Koroleva. About vegetation data in high mountain zone ('goltzy' deserts and sub-nival zone) in Kola Peninsula and Svalbard // D. Walker et al. (ed.) Arctic Vegetation Archive and Arctic Vegetation Classification. Proceedings and abstracts from two workshops. CAFF Proceedings Reports. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. P. 34-36.

Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Коробейникова Н.М. Влияние ландшафтного положения на температурный режим верхнего органогенного горизонта грубогумусных серогумусовых почв Шпицбергена // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина: «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы», Москва, 27–30 мая, 2019 - сборник статей, [электронное издание сетевого распространения]. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2019. – С. 735-738. – doi: 10.31453/kdu.ru.91304.0065

Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф. Сравнительный анализ фотосинтетического аппарата двух видов рода *Taraxacum* на Западном Шпицбергене // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Тез. докл. VII Всерос. научн. конф. с международным участием, посвящ. 30-летию ИППЭС. (Апатиты, 16-22 июня 2019 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2019. С. 284-285.

Литвинова Т.И., Кашулина Г.М., Коробейникова Н.М. Содержание и состав органического вещества почв катены в окрестностях пос. Баренцбург, Шпицберген // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Тезисы докладов VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В.В. Никонова (Апатиты, 16-22 июня 2019 г.). / Е.А. Боровичев, О.И. Вандыш (ред). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2019. С. 61-62. (0.13 п.л.) DOI: 10.25702/KSC.978-5-91137-393-1 (РИНЦ)

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

Мероприятие 20. 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 работ в рамках Мероприятия 20 заключалась в мониторинге 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 2019 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 сейсмоинфразвуковых групп КоФ ФИЦ ЕГС РАН.

В ходе выполнения работ в 2019 году сотрудниками КоФ ФИЦ ЕГС РАН была выполнена одна экспедиция на архипелаг Шпицберген в районы поселка Баренцбург и Пирамида общей длительностью 10 дней.

1. Сейсмический мониторинг района архипелага Шпицберген

На протяжении всего 2019 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 20 октября 2019 года системами автоматического обнаружения и локализации было выделено 27 034 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от -1,5 до 3,9.

Сильнейшее землетрясение региона произошло 18.10.2018 00:56:49 UTC в месте с координатами 78.82616° с.ш., 10.85736° в.д. на о. Земля Принца Карла. Магнитуда составила 3,9 единиц ($M_L=3,9$). Эпицентр данного землетрясения располагался в порядка 30 км от поселка Нью-Олесун, подземные толчки опасности для населения и объектов инфраструктуры не представляли. За главным толчком последовала серия повторных более слабых землетрясений (афтершоков), магнитуда сильнейшего из них составила 2,9 единиц локальной магнитудной шкалы. Рассматриваемый район о. Земля Принца Карла отмечался повышенным уровнем слабой сейсмичности на протяжении всего 2019 года. Таким образом, нельзя исключать дальнейшей активизации данной области с проявлением более сильных землетрясений. Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе

архипелага Шпицберген, с магнитудами более 2 единиц представлена на рисунке 20.1.

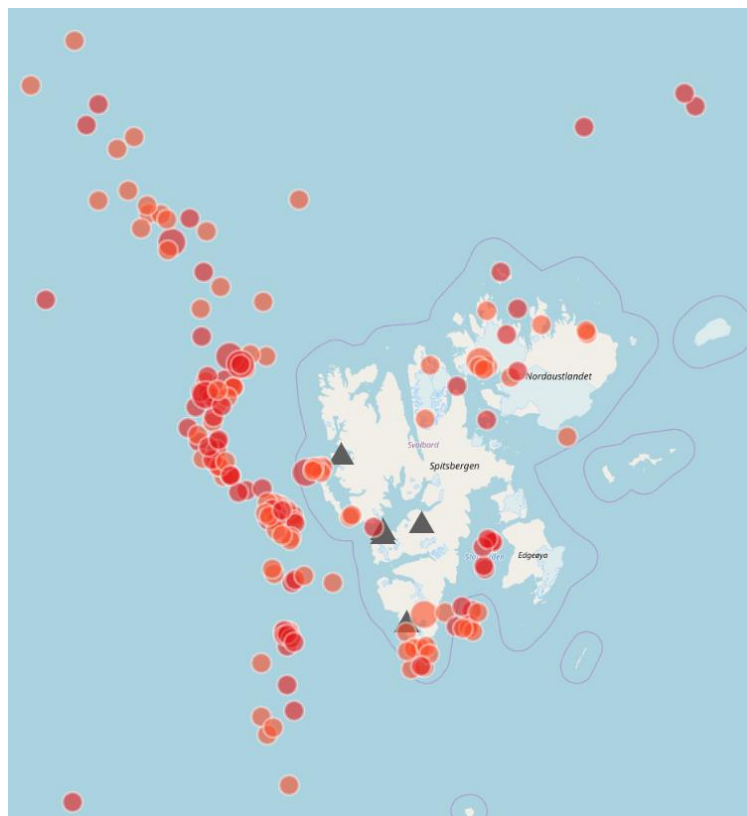


Рисунок 20.1 – Землетрясения с локальной магнитудой больше 2 ед., зарегистрированные местной сетью сейсмических станций в районе архипелага Шпицберген в 2019 году

1.1 Низкоэнергетическая сейсмичность Шпицбергена

Отдельного внимания заслуживает низкоэнергетическая сейсмическая активность на Шпицбергене, так как она маркирует и картирует как геодинамические процессы на архипелаге, так и отражает активность ледникового покрова, занимающего около 60% площади суши архипелага. На рисунке 20.2 представлена карта, одновременно иллюстрирующая энерговыделение и плотность сейсмических событий, обнаруженных в 2019 году.

Анализ рисунка 20.2 показывает, что наиболее активными в плане количества сейсмических событий и суммарной выделившейся энергии являются области в центральной, северо-западной и северо-восточной частях архипелага. Данные области не совпадают с местами проявления сильнейших землетрясений региона, а соответствуют областям расположения активных выводных ледников. Соответственно сейсмичность в данных областях имеет ледниковое происхождение и отражает процесс деструкции ледников Шпицбергена.

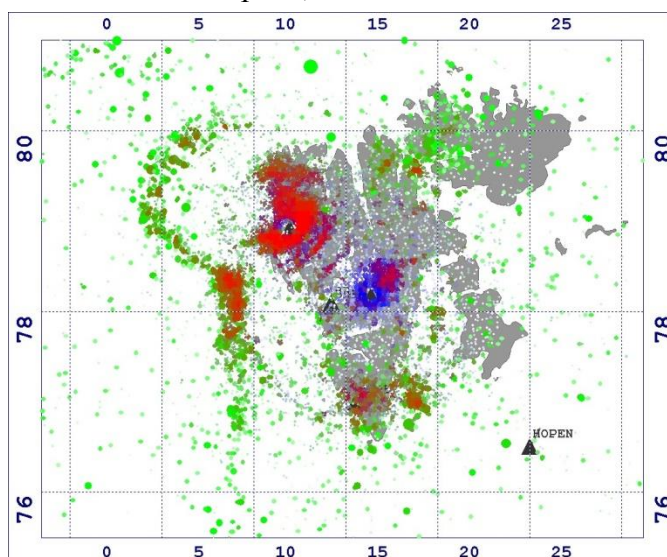


Рисунок 20.2 – Отображение сейсмического процесса в районе архипелага Шпицберген в виде элементов площади, цвета которых зависят от числа сейсмических событий и выделившейся сейсмической энергии

1.2. Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»

В 2019 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения угольной шахты рудника Баренцбург ГТ «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся посредством двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН, установленных вблизи шахты (рис. 20.3). На рисунке 20.3 (слева) 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 локальной магнитудной шкалы. На рисунке 20.3 (справа) показано распределение числа обнаруженных событий по месяцам 2019 года.

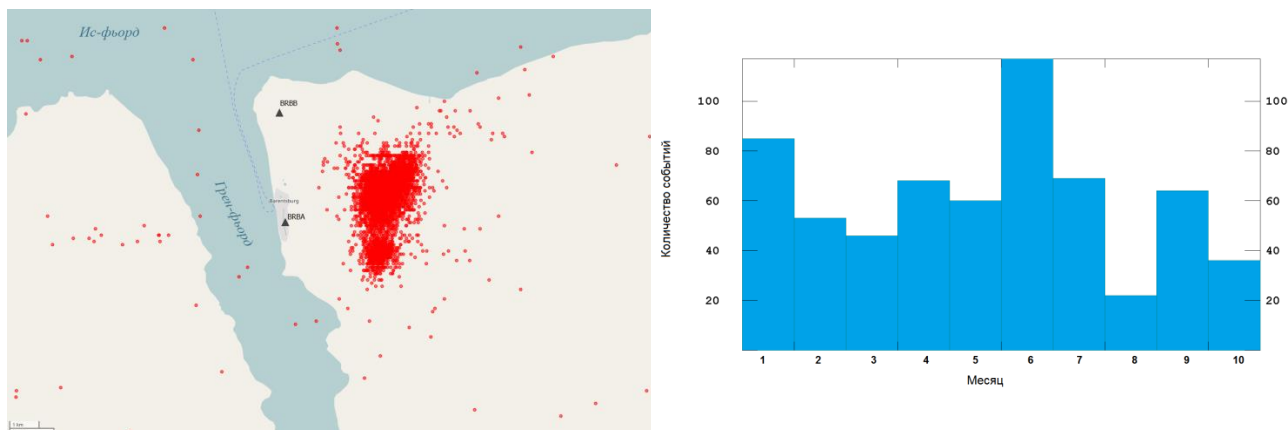


Рисунок 20.3 – Эпицентры сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург в 2015-2019 гг. (слева) и распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург за первые 10 месяцев 2019 года (справа).

2. Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген

В отчетный период КоФ ФИЦ ЕГС РАН 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.

2.1. Наблюдения на сейсмоинфразвуковой группе BRBB

Сейсмоинфразвуковая группа «Баренцбург Б» расположена в 3 км к северу от пос. Баренцбург и состоит из трех разнесенных в пространстве низкочастотных микрофонов и широкополосной сейсмической станции. Расстановка элементов группы показана на рисунке 20.4 (слева). За период с 1.01.2019 по 20.10.2019 зарегистрировано 1063 инфразвуковых события, из них 422 слабых (отношение сигнал/шум <5), 388 средних (сигнал/шум от 5 до 10) и 253 сильных (сигнал/шум >10). Распределение по месяцам показано на рисунке 20.4 (справа) и по азимутам на источник для трех различных диапазонов отношения сигнал/шум на рисунке 20.5

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

В ходе работ в 2019 году по Мероприятию 20 Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН непрерывно проводился мониторинг сейсмической обстановки и инфразвуковых сигналов в районе архипелага.

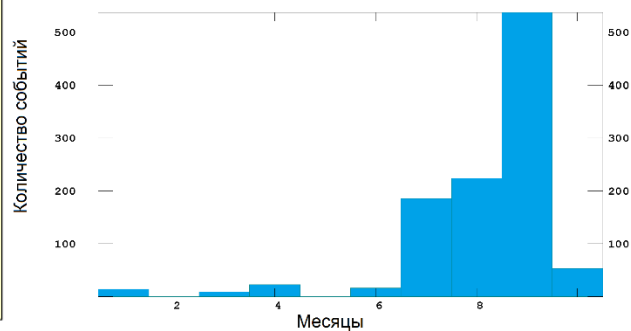
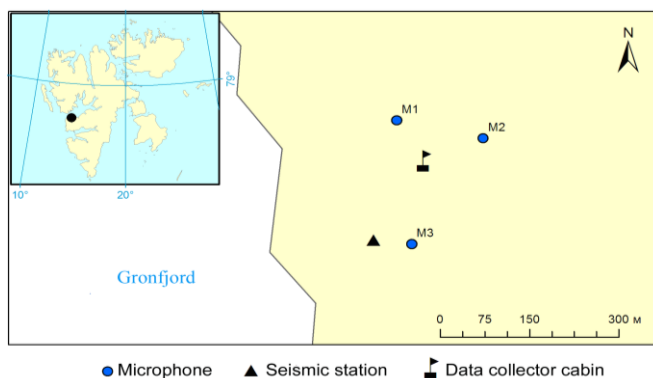


Рисунок 20.4 – Расстановка элементов сейсмоинфразвуковой группы «Баренцбург Б» на местности (слева) и распределение количества зарегистрированных инфразвуковых событий на группе BRBB по месяцам 2019 года (справа)

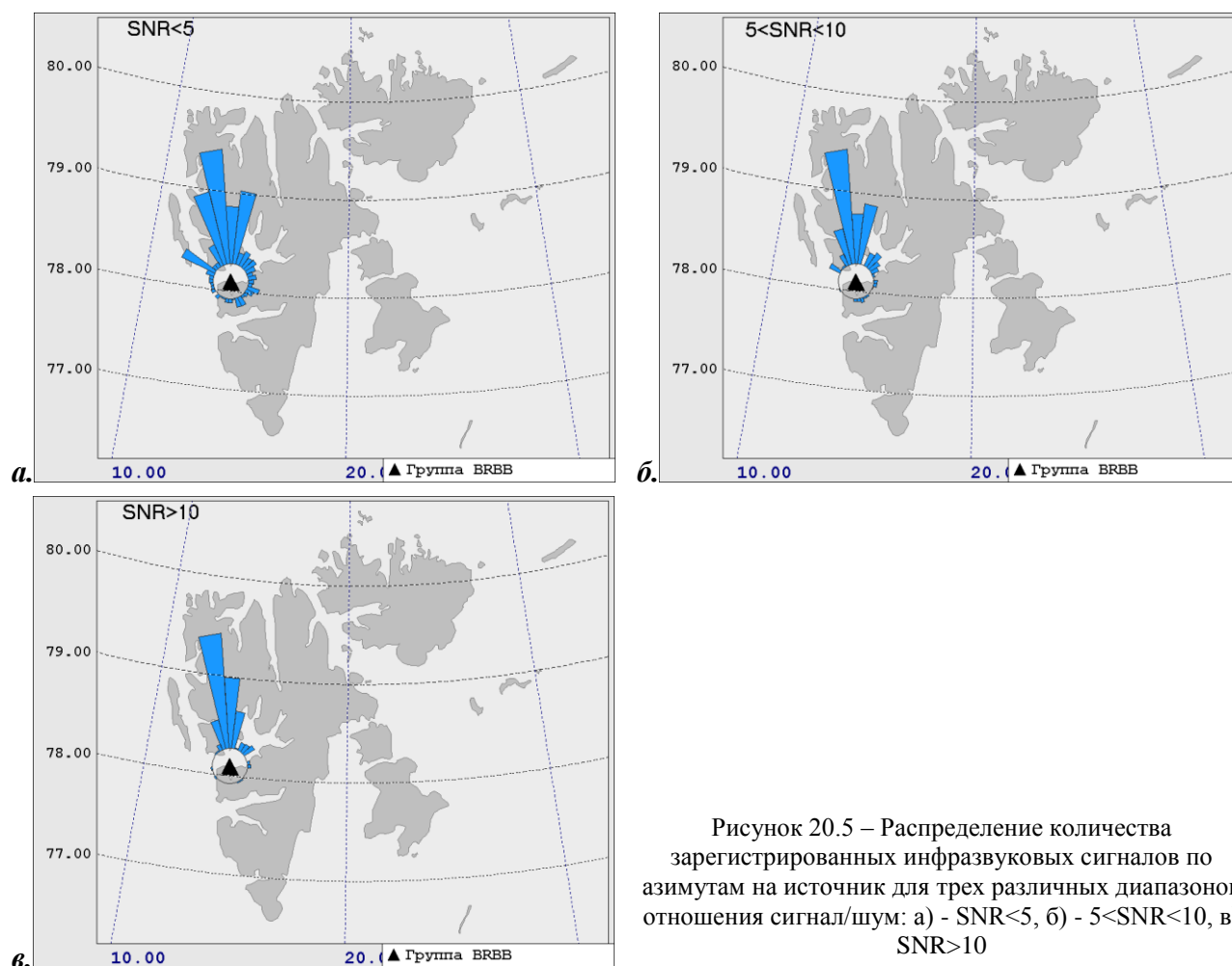


Рисунок 20.5 – Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых сигналов по азимутам на источник для трех различных диапазонов отношения сигнал/шум: а) - $SNR < 5$, б) - $5 < SNR < 10$, в) $SNR > 10$

По результатам мониторинга:

- актуализирован каталог и схема пространственного распределения землетрясений в контролируемом регионе;
- получена детальная пространственно-временная характеристика сейсмического процесса архипелага Шпицберген;
- дана оценка сейсмической опасности региона с учетом современного геодинамического режима тектонических линейментов;

Продолжены работы по развитию методики непрерывного контроля импульсных возмущений инфразвукового поля в атмосфере Западной Арктики.

В экспедициях приняло участие 4 человека: Федоров Андрей Викторович - директор, Соколов Денис Юрьевич - зам. директора, Воронин Алексей Иванович - вед. инженер, Федоров Иван Сергеевич - м.н.с.

По теме работ в 2019 г. опубликованы статьи:

Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Катастрофа вертолета на архипелаге Шпицберген: Дешифровка инфразвуковых и сейсмических сигналов // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 1. С. 111–117.

Morozov, A. N., Vaganova, N. V., Shakhova, E. V., Konechnaya, Y. V., Asming, V. E., Antonovskaya, G. N., & Evtugina, Z. A. Seismicity of the Arctic in the Early Twentieth Century: Relocation of the 1904–1920 Earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2019. – V. 109 – №5 – P. 2000-2008.

Fedorov A. V., V. E. Asming, Z. A. Jevtjugina, A. V. Prokudina. Automated Seismic Monitoring System for the European Arctic. Seismic Instruments, January 2019, Volume 55, Issue 1, pp 17–23. doi.org/10.3103/S0747923919010067

Морозов А.Н., Антоновская Г.Н., Асминг В.Э., Баранов С.В., Болдырева Н.В., Ваганова Н.В., Виноградов Ю.А., Конечная Я.В., Старкова Н.Н., Федоров А.В., Федоров И. С., Шибаев С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России: Арктика// Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 30-33.

Асминг В.Э., С.В. Баранов, С.И. Петров. Результаты детального сейсмического мониторинга: Район архипелага Шпицберген// Землетрясения России в 2017 году – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. с. 114-116.

Баранов С.В., Асминг В.Э., Ковалева И.С., Петров С.И. Район архипелага Шпицберген Каталоги землетрясений по различным регионам России: // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 184.

Vinogradov A.N., Tsukerman V.A. Specific Character of Natural Hazards on High-latitude Sea Transport Passages Europe-Asia-Pacific Region: Challenges for Technosphere Safety // International science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 272 (2019) 022143. С. 1-7. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/272/2/022143 2019.

Асминг В.Э., Федоров А.В., Гудков А.В., Колобов В.В., Толстихин И.Н. Длительные последовательности афтершоков и эманация гелия: попытка совместного исследования // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. 16. С. 653–657. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.134>

Федоров А.В. Развитие методов и аппаратных средств сейсмоинфразвукового мониторинга процессов деструкции арктической криосферы и опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген // Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген. Материалы конференции: электронный ресурс. 2019, С 209 - 222.

ФГБНУ Полярный геофизический институт (ПГИ)

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

Стационарные наблюдения проводятся согласно программе ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 гг. по направлениям исследований:

- п. 12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений;
- п. 15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты;
- п. 16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства.

Целью мероприятия является проведение в обсерватории ПГИ «Баренцбург» на архипелаге Шпицберген геофизических исследований для реализации обеспечения российского присутствия на архипелаге Шпицберген в 2019 году в области фундаментальных и прикладных научных исследований в соответствии с Концепцией создания и развития Российского научного центра на архипелаге Шпицберген, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2014 г. № 1676-р.

Уникальное положение архипелага Шпицберген позволяет проводить на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург» непрерывные долговременные и регулярные стационарные наблюдения за магнитными и оптическими явлениями, происходящими в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной атмосферы, что является основой для исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

Естественные резонансные структуры электромагнитного поля в диапазоне от 0,01 Гц до 10 Гц несут уникальную информацию о состоянии высокоширотной внешней ионосферы, играющей важную роль в распространении электромагнитных волн и их применении при решении прикладных задач.

Современное научное оборудование обсерватории ПГИ «Баренцбург» для регистрации высокоэнергичных частиц, входящее в состав уникальной научной установки Российской Федерации – Российская национальная наземная сеть нейтронных мониторов (Сеть СКЛ) позволяет проводить мониторинг космических лучей. Результаты этого мониторинга играют важную роль как в фундаментальных исследованиях характеристик космических лучей, так и в практических задачах мониторинга и диагностики геофизической обстановки в области высоких широт.

Высокоширотная ионосфера в полярной шапке и в области, примыкающей к авроральному овалу, отличается большой изменчивостью и сложной динамикой, обусловленной солнечно-земными связями и магнитосферными процессами. Размещение обсерватории ПГИ «Баренцбург» на архипелаге Шпицберген и применение современной научной аппаратуры расширяет область ионосферных исследований до полярной шапки и позволяет более детально и комплексно исследовать параметры высокоширотной ионосферы в различных гелиогеофизических условиях.

Оборудование и научная аппаратура для регистрации электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона, размещенная в обсерватории ПГИ делает возможным исследование характеристик распространения электромагнитных волн этого

диапазона как естественного, так и антропогенного происхождения в области высоких широт и в полярной шапке.

Таким образом, задачами стационарных наблюдений являются:

- Исследование развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной ионосферы на базе обсерватории ПИ «Баренцбург»;
- Исследование естественных резонансных структур в диапазоне от 0,1 Гц до 10 Гц;
- Исследование характеристик космических лучей;
- Исследование параметров высокоширотной ионосферы;
- Исследование характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

В 2019 году получены следующие основные результаты:

1. Пополнен банк данных стационарных наблюдений геофизических процессов и их архивация (около 17 Тб):

- вариаций геомагнитного поля в широком диапазоне частот;
- полярных сияний в темное время суток;
- потоков космических лучей;
- сигналов спутниковых навигационных систем.

2. Проведен комплексный анализ умеренной полярной суббури 7 декабря 2015 г. 17:00-18:30UT. Используются данные наблюдений в скандинавском секторе авроральной зоны и в полярной шапке, в том числе в обл. Баренцбург. Опубликована статья Safargaleev V.V., Kozlovsky A.E., Mitrofanov V.N. Polar substorm pre-onset phenomena and features of auroral breakup: a case study // *Physics of auroral phenomena*. 2019.

3. Триангуляцией с использованием разнесенных авроральных камер в Баренцбурге получены высоты лучистых авроральных структур на приполюсной границе аврорального овала во время суббури 8 февраля 2019 г., 21:41-21:44 UT. Полученные высоты 150-200 соответствуют энергиям высыпающихся электронов менее 1 кэВ. Опубликована статья Kozelov B.V., Roldugin A.V., Pilgaev S.V., Grigoriev V.F. Triangulation of auroral structures in Barentsburg, the first data of the season 2018-2019 // *Physics of auroral phenomena*. 2019.

4. Данные по космическим лучам, получаемые в Баренцбурге, являются почти по всем параметрам уникальными. В Баренцбурге вариации фонового гамма-излучения, возникающего в атмосфере от космических лучей, максимально чисты от антропогенного влияния. Благодаря этому наглядно подтверждается факт, что метеорологические процессы в атмосфере (осадки, туманы) способны оказывать влияние на потоки низкоэнергичных космических лучей. Благодаря уникальности географического положения Баренцбурга (длинные периоды полярного дня и ночи, суровые погодные условия, глубокий снежный покров и др.) наблюдаемые в этом месте вариации гамма-излучения наиболее сильны и явны. Это позволяет на основе данных Баренцбурга получать наиболее достоверные корреляции (между локальными условиями в атмосфере и потоком низкоэнергичных космических лучей).

По результатам исследований опубликованы следующие статьи в журналах, индексируемых в Scopus и WoS:

Yu. V. Balabin, B. B. Gvozdevsky, A. V. Germanenko, A. A. Lukovnikova, and A. A. Toropov. Daily and Seasonal Variations of Soft Gamma Radiation in the Lower Atmosphere // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2019, Vol. 83, No. 5, pp. 596.

Yu. V. Balabin, B. B. Gvozdevsky, A. V. Germanenko, E. A. Mauricev, E. A. Mikhalko, A. A. Lukovnikova, and A. A. Toropov. Increases in the Gamma-Ray Background: General

Properties and Statistical Characteristics // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, Vol. 83, No. 5, pp. 600.

E. A. Mikhalko, Yu. V. Balabin, E. A. Mauricev, A. V. Germanenko, B. B. Gvozdevsky. Studying the Energy Spectra of Background Gamma RadiationIncreases // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, Vol. 83, No. 5, pp. 604.

В рамках российско-норвежского проекта ASTRA – «The Arctic Space Training» с 11 по 15 марта 2019 г. в г. Апатиты прошли занятия международной зимней школы по солнечно-земной физике для студентов и аспирантов. Основной целью проекта ASTRA является объединение научных групп из Норвегии и России для совместного изучения проявлений космической погоды в высоких широтах, а также подготовка нового поколения квалифицированных молодых исследователей.

В течение недели под руководством 10 педагогов и исследователей из Университета Осло (Осло), Арктического университета Норвегии - Университета Тромсе (Тромсе), Университетского Центра на Свальбарде UNIS (Лонгйир), Института космических исследований РАН (Москва), Полярного геофизического института (Мурманск- Апатиты) и Института физики Земли РАН (Москва) 23 студента из России и Норвегии изучали свойства ионосферы в авроральной области.

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

Главной целью проведение фундаментальных археологических исследований на архипелаге Шпицберген является спасение, выявление и сохранение культурно-исторических объектов, разрушающихся под воздействием природных и антропогенных процессов, а также исследование объектов на Шпицбергене, связанных с русским угледобывающим производством конца XIX – первой трети XX вв., ведение в научный оборот полученных данных и развитие музейного дела на Шпицбергене.

В 2019 г. были поставлены следующие задачи:

1. Проведение полевых археологических исследований (разведки);
2. Сбор документальных материалов о деятельности поморов на Шпицбергене в Российских архивах;
3. Сбор исторических документальных данных о русских морских экспедициях на Шпицбергене в XVIII- нач. XX вв. в российских архивах;
4. Изучение геоморфологических особенностей в расположении поморских памятников; оценка гипсометрических данных, обуславливавших отличия в местонахождении разновременных поселений и погребений (в сотрудничестве с геологами и гляциологами);
5. Мониторинг археологических памятников, связанных с деятельностью русских промысловых и научных экспедиций XVIII- нач. XX вв.;
6. Аэрофотокартирование и геосканирование археологических памятников с использованием квадрокоптера.

Работы заключались в проведении археологических исследований по изучению и сохранению, в первую очередь русского историко-культурного наследия (16-20 вв.) на архипелаге Шпицберген, осуществлении геoarхеологических исследований поморских памятников (становища, погребальные комплексы, остатки) на северном и южном берегах Исфьорда (рис. 22.1), а также проведение широкомасштабных съемок археологических памятников с применением квадрокоптера и определение геоморфологических особенностей в расположении поморских памятников в районе Исфьорда и Белльсунна и выявлении динамики наращивания и образования мохового покрова на археологических памятниках XVII-XX вв.

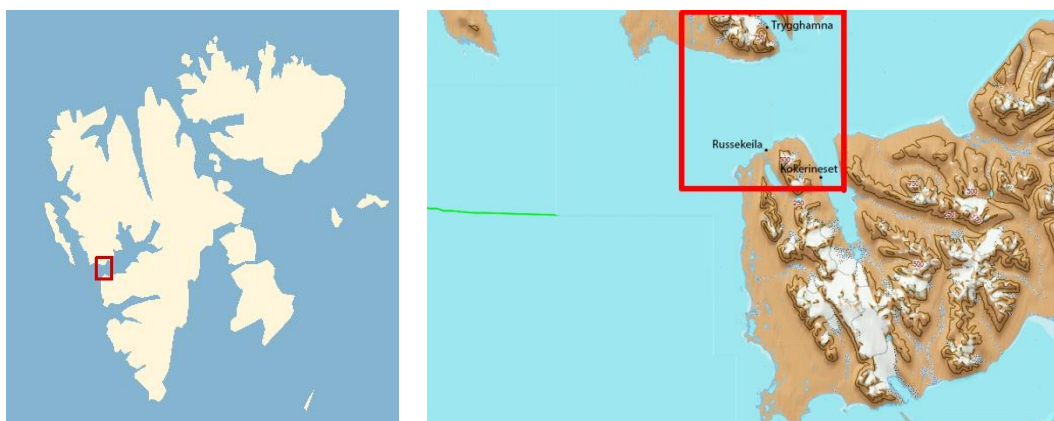


Рисунок 22.1 – Район работ экспедиции ИА РАН в 2019 г.

Развитие музейного дела предусматривало дальнейшую оцифровку индивидуальных находок с поморских становищ Шпицбергена, хранящихся в фондах Свальбардмузеум норвежского поселка Лонгиербюен по предварительной договоренности с администрацией музея.

В заливе Белльсунн планировались совместные работы с геоморфологами (ООО «НПА «Севморгеология», г. Санкт-Петербург) на поморских памятниках, но из-за позднего финансирования (деньги из Минобрнауки поступили в ИА РАН только в августе, когда сезонные пешеходные экспедиции заканчиваются) они не состоялись. В результате план полевых работ пришлось скорректировать и ограничить мониторингом трех памятников в заливе Исфьорд: мыс Старостина, Кокеринесет и залив Трюггхамна. В предыдущем 2018 г. на этих становищах также проводились съемки с применением квадрокоптера, но не были выполнены до конца в связи непредвидимыми погодными условиями. Накануне работ на Трюггхамне выпал обильный снег, не позволивший отснять весь памятник.

Кокеринесет: Памятник расположен на западном берегу Грэнфьорда и состоит из следующих археологических объектов:

Английская жиротопня XVII в. продолжает постепенно размываться прибойными морскими и вешними водами (рис. 22.2а). Трапперская постройка 1901 г., видимо, также посещается туристами, как и раньше, и служит местом их непродолжительного отдыха (рис. 22.2б).

К северу от трапперской постройки располагается крупный поморский хозяйственно-промысловый комплекс (рис. 22.3б) с ярко выраженной обводкой дренажных канавок. Заметных следов каких-либо разрушений на объекте не выявлено. На второй террасе зафиксированы несколько погребений в деревянных гробах, слегка выдавленных на поверхность (рис. 22.3а), предположительно китобойного кладбища.



Рисунок 22.2 – Кокеринесет: а) остатки английской жиротопни XVII в. и б) трапперской постройки 1901 г.

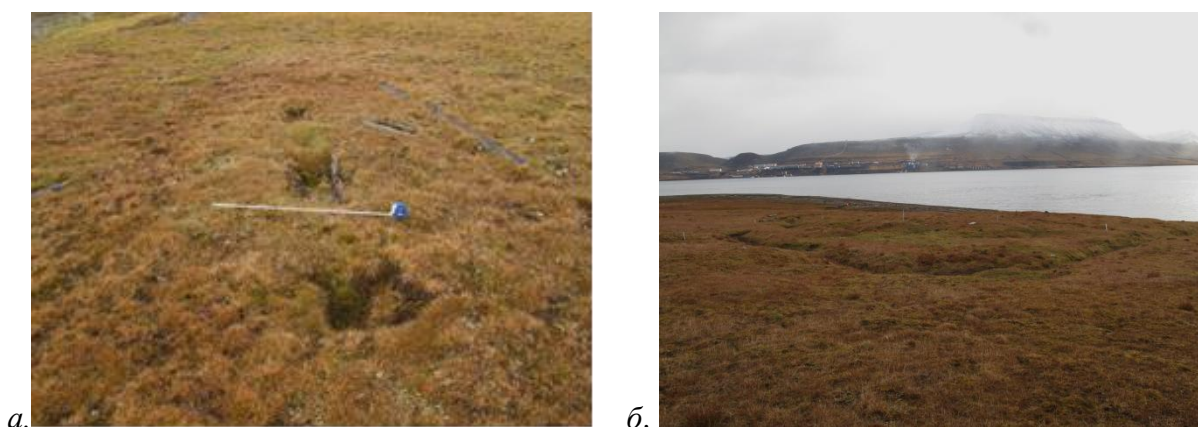


Рисунок 22.3 – Кокеринесет: а) погребения китобойного кладбища, б) поморский комплекс со следами дренажа

Трюггхамна: Памятник на северном берегу Исфьорда состоит из нескольких одновременных объектов: а) одиночного поморского дома на берегу (рис. 22.4); б) крупного становища на останце (рис. 22.5); в) нескольких погребений в гробах, выдавленных

мерзлотными процессами на поверхность (рис. 22.6-7); г) нескольких жиротопен, связанных с китобойным промыслом.



Рисунок 22.4 – Трюггхамна, поморская постройка на уровне пляжа: а) август 2019 г.; б) сентябрь 2018 г.



Рисунок 22.5 – Трюггхамна: основное становище на останце



Рисунок 22.6 – Трюггхамна: парное погребение А – а) квадрокоптерная и б) полевая съемки

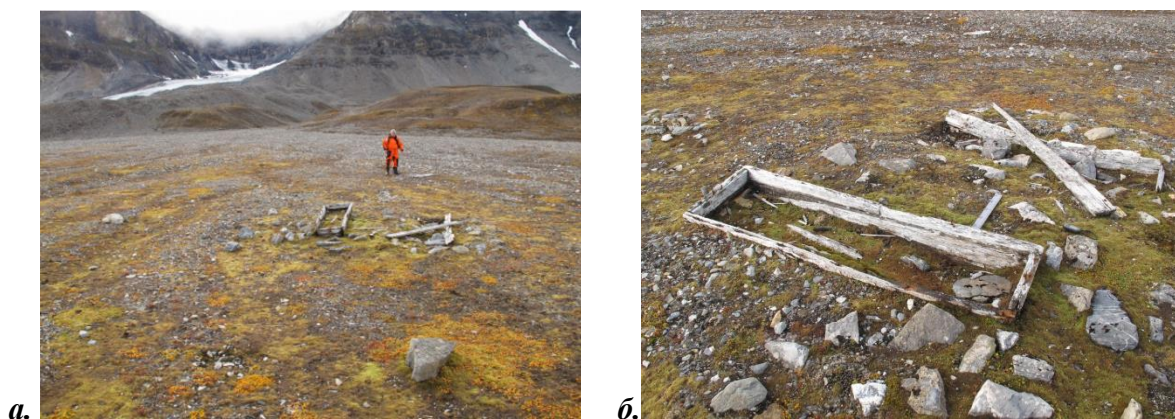


Рисунок 22.7 – Трюггхамна: парное погребение Б

Все археологические объекты на памятнике Трюггхамна по сравнению с прошлым годом мало подверглись разрушениям природного или антропогенного характера, но некоторые визуальные изменения с ними все же происходят, особенно с погребениями. Общая их датировка XVII-XIX вв. Жиротопни с помощью квадрокоптера зафиксировать практически не удалось. Они выявлены непосредственно лишь на местности.

Работы на мысе Старостина заключались в поисках места поморского кладбища XVIII-XIX вв., исследованного Скандинавской экспедицией в 50-х годах прошлого столетия, но обнаружить его сейчас не удалось. Возможно, оно погребено под оползнем правого берега реки.

Развитие музейного дела: Во время работы в Свальбардмузеум в норвежском поселке Лонгйирбюене было обработано (оцифровка, описание, измерения) более 80 индивидуальных археологических находок с разновременных поморских становищ Шпицбергена. Работа ведется с целью создания единого банка данных.

По результатам исследований опубликовано 3 статьи в реферируемых журналах.

Исследования выполняли Державин В.Л. (derzh@yandex.ru), Дербенев М.П. (uionest@mail.ru), Колесников А.Б. (abkolesnikov60@mail.ru), Сулавко П.Г. (sulavko@list.ru).

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

Мероприятие 23. Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена

Цели проекта – исследование динамики и структуры атмосферного пограничного слоя (АПС) над сложным рельефом в полярных районах. Решались следующие задачи:

- 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).

Исполнители: Репина Ирина Анатольевна (repina@ifaran.ru), Чечин Дмитрий Геннадьевич, Артамонов Арсений Юрьевич, Шестакова Анна Андреевна.

В связи с отсутствием целевого финансирования работы непосредственно на архипелаге не проводились.

Работы шли по следующим направлениям:

1. Участие в морских работах в Баренцевом море (июнь 2019 г. НИС «Академик Страхов»)
2. Обработка данных измерений прошлых лет.
3. Моделирование природных процессов на архипелаге Шпицберген.

Применялись следующие методы:

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.

Исследования в акватории Баренцева моря, включая северо-западную часть, проводились по следующим направлениям: измерение составляющих энергетического баланса в приводном слое атмосферы; анализ энергообмена атмосферы и подстилающей поверхности при различных метеоусловиях и условиях атмосферной стратификации с помощью инструментальных измерений потоков тепла и импульса в приповерхностном слое атмосферы; разработка параметризаций для определения коэффициентов обмена в аэродинамических балк-формулах, параметра шероховатости поверхности и универсальных функций теории подобия Монина-Обухова, модификация теории подобия для штормовых полярных районов; исследование динамики и структуры атмосферного пограничного слоя в фронтальных зонах с применением контактных и дистанционных методов; исследование характеристик энергообмена при сменах воздушных масс.

Получены значения характеристик энергообмена (потоки тепла, влаги, импульса) при различных синоптических условиях (волнение моря от 1 до 8 баллов, холодные теплые вторжения во фронтальных зонах), исследованы процессы энергообмена во фронтальных зонах. Установлено влияние зон океанских фронтов на интенсификацию энергообмена. Показана существенная пространственная и временная изменчивость характеристик энергообмена в прибрежной зоне Шпицбергена, связанная с синоптическими условиями и влиянием берегов. Исследована структура атмосферного пограничного слоя (АПС) над

морской поверхностью. Установлено влияние фронтальных зон на температурную структуру в АПС, а также влияние берега в прибрежной зоне.

Проведен анализ случая фёна, наблюдавшегося 31 мая 2017 г. на западном побережье Шпицбергена при восточном ветре, и его влияния на структуру АПС и компоненты теплового баланса поверхности. При этом использованы комплексные метеорологические наблюдения, проводившиеся одновременно в рамках измерительных кампаний ACLOUD (самолетные наблюдения) и PASCAL (судовые наблюдения), а также программ длительного мониторинга в Нью-Олесунне (станционные наблюдения). Кроме того, для получения более полной пространственной структуры фёна было проведено численное моделирование этого случая с помощью модели WRF с высоким разрешением до 1,3 км. Показано, что потепление, вызванное фёном, достигает порядка 8 градусов, однако имеет сильную пространственную неоднородность (рис. 23.1). Потепление приводит к формированию низкого устойчивого пограничного слоя над морской водой с подветренной стороны. Также задокументировано образование мысовых струй, скорость ветра внутри которых существенно превышает скорость крупномасштабного потока. Продемонстрировано, что во время фёна за счет потока явного турбулентного тепла и притока коротковолновой радиации в отсутствие облачности происходило потепление поверхности суши, таяние снега и резкое уменьшение альбедо поверхности.

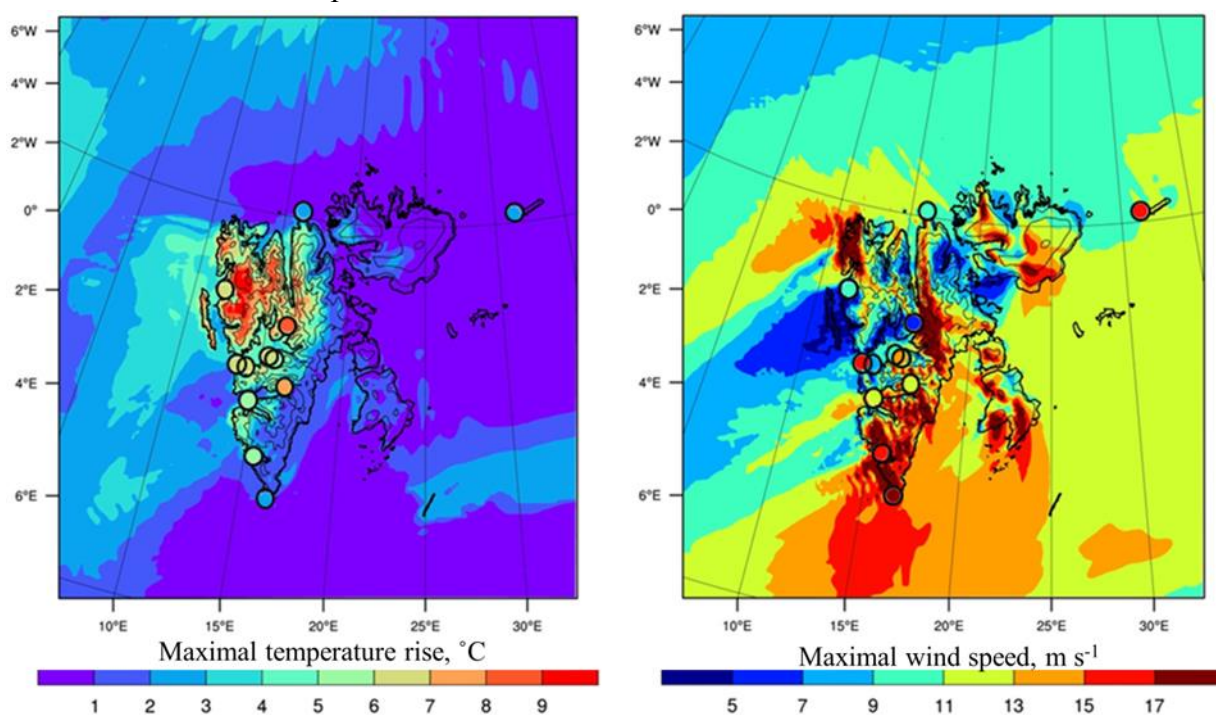


Рисунок 23.1 – Относительное потепление воздуха (с момента начала фёна) (слева) и приземная скорость ветра по данным численного моделирования с моделью WRF, а также станционным наблюдениям (справа)

Проведен анализ самолётных наблюдений в атмосферном пограничном слое над морским льдом и прикромочной зоной морского льда к северо-западу от Шпицбергена при наличии в пограничном слое слоисто-кучевой облачности нижнего яруса. Проанализировано несколько случаев со слабым и сильным ветром, а также при наличии и отсутствии облаков среднего яруса. Показано, что радиационное выхолаживание на верхней границе кучево-слоистой облачности приводит к генерации турбулентности за счет плавучести. Это выражается в наличии максимумов турбулентного потока тепла, дисперсии вертикальной скорости и кинетической энергии турбулентности внутри облачного слоя. Вертикальные движения в облачном слое характеризуются узкими областями сильных нисходящих движений, то есть отрицательными значениями асимметрии распределения вертикальной скорости. Это характерно для так называемой «перевернутой» конвекции. При наличии облачности среднего яруса выхолаживание на верхней границе облаков нижнего яруса

слабое, а генерация турбулентности в пограничном слое происходит прежде всего за счет трения и плавучести на поверхности морского льда и открытой воды.

По данным пульсационных измерений проведено исследование параметра шероховатости заснеженной и свободной от снега поверхности. Проанализированы большие массивы наблюдений для нескольких лет и сезонов. Показано, что сезонная смена типа подстилающей поверхности (летом — тундровая растительность, зимой — снег) влияет на значения параметра шероховатости. Также показано, что окружающие неоднородности рельефа тоже влияют на параметр шероховатости, что приводит к его зависимости от направления ветра. Уточнены коэффициенты в параметризации для термического параметра шероховатости, которая связывает его с динамическим параметром шероховатости. Показано, что использование полученных средних значений параметра шероховатости в аэродинамических («балк») формулах приводит к хорошему согласию рассчитываемых с их помощью потоков импульса и тепла с измерениями.

На примере Шпицбергена были проведены квазидвумерные эксперименты с прямой кромкой льда, эксперименты с изгибами кромки льда различных масштабов, а также с заданием реалистичной прибрежной орографии. Эксперименты проводились с целью оценить, как неоднородности кромки льда и прибрежная орография влияют на атмосферные циркуляции над открытой водой, возникающие на фоне развития конвективного пограничного слоя. Эксперименты с заданием реалистичного распределения морского льда и орографии преследовали своей целью сравнительную оценку влияния этих неоднородностей на изменчивость скорости ветра над открытой водой. В качестве тестового эксперимента был выбран район Шпицбергена и пролива Фрама. Начальные условия и крупномасштабный форсинг в модели NH3D задавались согласно самолетным наблюдениям, когда над проливом Фрама наблюдалось холодное вторжение. Были проведены численные эксперименты по воспроизведению натекания холодного воздуха на свободную ото льда поверхность океана.

На рисунке 23.2 показана скорость приводного ветра в двух экспериментах: а) с реалистичной орографией Шпицбергена; б) в отсутствие орографии. В эксперименте без орографии изменчивость скорости ветра обусловлена лишь неоднородностями температуры и шероховатости подстилающей поверхности, связанными с изгибами кромки льда. Максимумы скорости ветра над открытой водой в этом эксперименте обусловлены интенсивным прогревом атмосферного пограничного слоя и связанной с этим бароклинностью. В эксперименте с реалистичной орографией в изменчивости скорости ветра выделяются также мысовые струи и так называемая ветровая тень с подветренной стороны

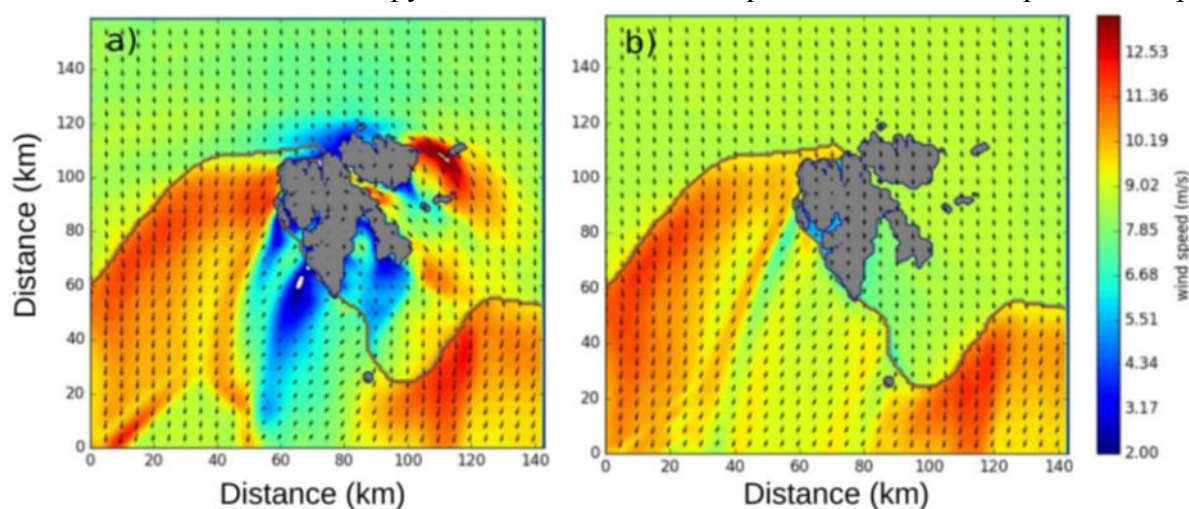


Рисунок 23.2 – Скорость ветра на высоте 10 м по результатам численных экспериментов с моделью NH3D с заданием реалистичной концентрации льда (4 марта 1993 г.) и орографии Шпицбергена (а) и в отсутствие орографии (б)

от архипелага. Видно, что бароклинность, связанная с изгибами кромки льда влияет на скорость ветра на большем пространственном масштабе, нежели орография Шпицбергена.

Предложена и верифицирована одномерная модель ледникового ветра, построенная на основе классической модели Прандтля с использованием переменных по высоте профилей коэффициентов вязкости и теплопроводности. Результаты численных экспериментов сравнивались с данными метеорологических измерений на леднике Конгсвеген (Шпицберген). Данные содара по дисперсии радиальных компонент скорости ветра были использованы для расчёта турбулентной кинетической энергии (ТКЭ). С помощью блэкадаровского приближения для длины пути смещения и значений ТКЭ были рассчитаны значения коэффициента турбулентной вязкости. Полученные таким образом значения коэффициента вязкости оказались хорошо согласующимися с откалиброванными значениями в численной модели. Хорошее согласие с экспериментальными данными показало, что данная модель может быть использована для восстановления профилей метеорологических характеристик на ледниковых склонах с небольшими углами наклона.

Основные выводы:

- По результатам наблюдений и модельных расчетов установлено что ветровой режим Шпицбергена определяется общей синоптической ситуацией и локальными условиями, но не ледовым режимом.
- Характеристики энергообмена в прибрежной зоне Шпицбергена определяются синоптическими условиями и влиянием берегов. Установлено влияние фронтальных зон на температурную структуру атмосферного пограничного слоя, а также влияние берегового ландшафта.
- По результатам моделирования исследовано влияние фёна (теплого склонового ветра) на окружающие территории и обнаружено существенное изменение температурного и ветрового режимов. Продемонстрировано, что во время фёна за счет потока явного турбулентного тепла и притока коротковолновой радиации в отсутствие облачности происходит потепление поверхности суши, таяние снега и резкое уменьшение альбедо поверхности.
- Установлено, что динамическая шероховатость определяется кроме структуры поверхности рельефом местности и стратификацией атмосферы. Термическая шероховатость определяется прежде всего термическими свойствами поверхности. Установлено, что при нейтральной стратификации профильный метод расчета динамической шероховатости хорошо совпадает с пульсационным. При устойчивой и неустойчивой стратификациях точность расчетов зависит от высоты измерений. По результатам расчета установлены характерные значения шероховатости для покрытой мхом поверхности и для снега.
- Предложена и верифицирована одномерная модель ледникового ветра, которая может быть использована для восстановления профилей метеорологических характеристик на ледниковых склонах с небольшими углами наклона.

По результатам исследований опубликованы статья и тезисы:

Chechin, D. G. and Lüpkes, C. Baroclinic low-level jets in Arctic marine cold-air outbreaks IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2019, 231, 012011

Гречушникова М.Г., Артамонов А.Ю. Water objects in Gronfiord basin and some features of their hydroecological regime. Международная Конференция: Research in Svalbard: An APECS workshop, 2019. Осло, Норвегия.

Заключение

Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на арх. Шпицберген 2019 года в целом выполнена. Целевые индикаторы и показатели программы научных исследований и наблюдений в основном достигнуты. Однако одно мероприятие не выполнено, а по трем работы выполнены не в полном объеме из-за отсутствия или сокращения финансирования со стороны Минобрнауки России:

- не выполнено Мероприятие 17 Межведомственной программы, закрепленное за Научно-исследовательским центром медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН по причине отсутствия финансирования;
- Институт физики атмосферы РАН не проводил непосредственные наблюдения на Шпицбергене, для работы использовались собранные ранее или в других проектах данные, причина – отсутствие финансирования;
- сокращена программа экспедиционных работ Полярного альпийского ботанического сада-института, причина – недостаток финансирования;
- сокращена программа экспедиционных работ Института археологии РАН, причина – позднее выделение финансирования.

В 2019 г. получены новые данные по гидрометеорологическому режиму, океанологии, гидрологии, гляциологии, геофизики, геологии, биологии и экологии, пополнены ряды наблюдений природной среды архипелага Шпицберген, выполняемых в рамках долговременного мониторинга. После проведения необходимого анализа, они помогают оценить современное состояние природной среды архипелага, выявить взаимосвязи между протекающими в ней процессами, оценить тенденции происходящих изменений и сделать прогнозы относительно их возможного влияния на социально-экономическое развитие Шпицбергена и Арктики в целом.

С привлечением современных средств измерений – георадар, электроразведка, БПЛА – сотрудниками Арктического и антарктического НИИ получена качественно новая информация о состоянии снежного покрова на ледниках, скорости движения ледников, особенностях залегания мерзлоты и формирования мерзлотных форм рельефа. Эти данные будут основой для дальнейших более детальных наблюдений, мониторинга высокого разрешения и модельных расчетов.

Институтом географии РАН подведены итоги многолетних наблюдений за почвенной эмиссией и нетто-потоками углекислого газа в естественных и антропогенно-измененных экосистемах арктической тундры архипелага Шпицберген. Исследования показали, что антропогенные факторы, связанные с местным землепользованием, могут более чем вдвое увеличивать эмиссию диоксида углерода из почвы в период своего активного воздействия.

Одновременно несколькими институтами начаты исследования природных объектов криосферы – криоконитов на ледниках Шпицбергена и их роли в накоплении металлов, радионуклидов и органического материала, а также их микробиологического разнообразия.

В 2019 г. расширилась география экспедиционных работ при проведении океанологических измерений и отбора биологических образцов в проливе Стурфьорд в июне с борта научно-исследовательского судна «Дальние Зеленцы» Мурманского морского биологического института. В ноябре экспедицией изучалось состояние планктонных и бентосных сообществ организмов заливов Исфьорда в момент наступления полярной ночи.

Положительный опыт совместного выполнения научных проектов показывает эффективность междисциплинарного взаимодействия институтов. ММБИ КНЦ РАН и АНИИ продолжили исследование накопления металлов в трофической цепи биологических объектов залива Исфьорд и исследовали аккумуляцию металлов в наземной экосистеме. Полярная морская геологоразведочная экспедиция и АНИИ использовали общий полевой лагерь для геологических и палеогеографических работ на побережье залива Ван-Майенфьорд. Студенты МГУ, проходившие научно-производственную практику,

организованную ААНИИ, прослушали различные лекции, побывали в геологическом музее ПМГРЭ.

На базе РНЦШ в 2019 г. ААНИИ в третий раз принимал студентов Университетского центра на Шпицбергене для прохождения полевой и лабораторной практики в области загрязнения окружающей среды на базе химико-аналитической лаборатории. В рамках норвежско-российского проекта ASTRA (The Arctic Space Training), Полярный геофизический институт провел в г. Апатиты зимнюю школу по солнечно-земной физике для 23 студентов и аспирантов из России и Норвегии.

На прошедшей в ноябре 2019 г. в Осло международной Научной конференции по Шпицбергену, организованной Шпицбергенским научным форумом, российским научным сообществом были представлены более 20 докладов о результатах научной деятельности на базе РНЦШ.

Тесное взаимодействие организаций-участников РНЦШ и комплексный подход в исследованиях, а также в подготовке молодых специалистов, являются необходимой составляющей научных работ на Шпицбергене, обеспечивая более глубокий анализ природных процессов и механизмов. Межинститутское сотрудничество помогает эффективно использовать логистические ресурсы, заблаговременно планировать полевые работы и оперативно задействовать оборудование.

Неотъемлемой частью исследовательской деятельности на Шпицбергене является сотрудничество с иностранными коллегами, в частности с норвежскими учеными. Это способствует расширению границ исследований и внедрению новых методов, привлечению в арктическую науку молодых ученых. Кроме того, кооперация с норвежскими институтами открывает возможность получения дополнительного финансирования в рамках полевых и стратегических исследовательских грантов, предоставляемых Норвежским исследовательским советом.

Имеющиеся логистические возможности Российского научного центра на арх. Шпицберген не позволяют расширить район научных исследований и наблюдений, что затрудняет понимание масштабов процессов, идущих на архипелаге в результате изменения климата. Расширение района исследований на север, восток и северо-восток архипелага, в большей степени подверженные влиянию Арктики, и на внешние акватории позволит изучить и оценить происходящие изменения и ответную реакцию природной среды Шпицбергена.

Сокращение, несвоевременное выделение финансирования в течении года, а также отсутствие долговременного плана финансирования для организаций, подведомственных Минобрнауки России, препятствуют долговременному планированию и выполнению наблюдений, получению значимых научных результатов и развитию международной кооперации в исследованиях на архипелаге.

Целевые индикаторы и показатели программы научных наблюдений и исследований на архипелаге Шпицберген в 2019 г.

№	Целевые индикаторы и показатели	Запланировано	Фактически
1	Количество публикаций в реферируемых изданиях, содержащих результаты научной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (единиц)	34	42
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	30	23
4	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности, в том числе направленных на государственную регистрацию	0	0