

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ РАЭ-Ш НА ШПИЦБЕРГЕНЕ В 2020 ГОДУ

Российская научная арктическая экспедиция на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ФГБУ «АНИИ» выполняет комплексные научные исследования и наблюдения природной среды архипелага и отвечает за координацию деятельности консорциума Российский научный центр на архипелаге Шпицберген, состоящего из 13 организаций Росгидромета, Роснедр и Минобрнауки России.

В пос. Баренцбург круглогодично работают зимовочный состав РАЭ-Ш и Гидрометеорологическая обсерватория «Баренцбург» Мурманского УГМС Росгидромета.

Помимо круглогодичных регулярных наблюдений, выполняемых зимовочным составом в пос. Баренцбург и окрестностях, в частности с использованием автоматических комплексов, на 2020 год РАЭ-Ш был запланирован большой объем сезонных полевых работ.

Однако в связи с пандемией коронавирусной инфекции и введенными ограничениями на передвижения между странами РАЭ-Ш столкнулась с огромными логистическими трудностями при доставке специалистов АНИИ на Шпицберген. Только очень ранний вылет, еще до введения запретов, позволил первой экспедиционной группе добраться до архипелага и начать полевые исследования. Уже в середине марта 2020 года архипелаг был полностью закрыт для въезда иностранных граждан. Некоторое ослабление ограничений летом позволило РАЭ-Ш разработать и реализовать новый маршрут по доставке специалистов на архипелаг: Мурманск — Киркенес — Тромсё — Лонгйир — Баренцбург с обязательным прохождением 10-дневного карантина в Норвегии.

Таким образом, удалось сменить членов зимовочного состава, находящихся на Шпицбергене более года. Количество сотрудников, постоянно работавших на научной станции в 2020 году, уменьшилось до восьми человек, а общий штат сезонной экспедиции составил всего 9 специалистов, которые работали при поддержке зимовочного состава. В связи со сложившейся ситуацией часть специальных и экспериментальных сезонных исследований была отменена, однако были полностью выполнены круглогодичные наблюдения, а также часть сезонных мониторинговых работ, что позволило сохранить непрерывность рядов данных.

В области метеорологии работы на Шпицбергене ведутся по трем направлениям. Наблюдение оптических микрофизических характеристик приземного аэрозоля ведется круглогодично, полученные данные анализируются совместно сотрудниками АНИИ и Институтом оптики атмосферы СО РАН. Внутригодовое распределение аэрозоля показало в июле и августе 2020 года ярко выраженные пики содержания мелкодисперсного аэрозоля, поступившего с воздушными массами из Западной и Восточной Сибири, где аномально высокие температуры воздуха привели к распространению лесных пожаров.

Изучение особенностей энергообмена атмосферы с подстилающей поверхностью выполняется при помощи градиентного метеоконтекста, измеряющего как атмо-

ферные параметры, так и температуру в почве и снежном покрове. В 2019–2020 годах наблюдения были дополнены экспериментальными работами на оз. Стемме по изучению энергомассообмена пограничного слоя атмосферы с водной массой и влияния ледового режима на тепловой и водный баланс водоема. В течение года измерялись метеопараметры при помощи автоматической метеостанции (АМС), температура и другие характеристики льда и снежного покрова, проводилась радиолокационная съемка озера с поверхности льда. Эти данные позволили валидировать модель термодинамики снежно-ледяного покрова пресноводных акваторий архипелага.

По направлению изучения радиационного баланса снежно-ледникового покрова полевые исследования провести не удалось. Но данные актинометрических наблюдений предыдущих лет вместе с данными двух АМС, установленных на леднике, и результатами обработки космических снимков, были использованы учеными института для верификации теплобалансовой модели поверхности ледника, позволяющей с большой точностью оценить абляцию его поверхности.

Мониторинг океанографических условий на внутренних акваториях архипелага Шпицберген был проведен в полном объеме. Весной и летом выполнено термохалинное профилирование в заливах Ис-фьорда, установлено несколько кратковременных подледных и придонных океанографических станций. Была успешно поднята притопленная автономная буйковая станция (ПАБС), проработавшая в Ис-фьорде полный календарный год. Вторая ранее установленная ПАБС была разрушена норвежским рыболовным траулером в октябре 2019 года, спустя несколько недель после ее установки в центральной части Ис-фьорда. Традиционные мониторинговые работы были расширены экспериментальными наблюдениями за изменением структуры льда и перераспределением энергии волн в прикромочной зоне припая в сотрудничестве с норвежскими и австралийскими учеными. Конечной целью этого проекта является разработка метода оценки воздействия ветрового волнения на ледяной покров. Наблюдения за характеристиками волнения в прикромочной зоне являются уникальными, они критически необходимы для понимания характера взаимодействия волн и льда и имеют важное практическое значение. Анализ первых результатов уже опубликован в журнале *The Cryosphere*.

На базе ровнемерного поста ГМО «Баренцбург» Мурманского УГМС функционирует полигон для проведения сравнительных испытаний различных автоматизированных средств измерений уровня моря. Работы выполняются совместно Мурманским УГМС, ГОИН и РАЭ-Ш АНИИ. В 2020 году парк средств измерений был дополнен еще одним ровнемером.

Комплексный мониторинг гидрологического цикла состояния водных объектов архипелага Шпицберген был проведен в сокращенном объеме двумя сотрудниками сезонной экспедиции при поддержке зимовочного со-



Рис. 1. Нивелировка створа для гидрологических наблюдений на р. Конгресс, Западный Шпицберген. Фото Н.Э. Демидова

става. Весной проводилась оценка распределения снеготранспорта на водосборах рек и ледниках. Пространственное распределение снежного покрова не отличалось от распределения предыдущих лет, однако его плотность была сравнительно невысокая, в структуре отсутствовали ледяные корки, что указывает на отсутствие крупных оттепелей зимой 2020 года, суммарные запасы воды в снеге незначительно ниже среднегодовых за последние пять лет. Летом проводились наблюдения на трех, вместо обычных шести, реках бассейна залива Грэн-фьорд: измерялись уровень воды, расход воды и взвешенных наносов, ионный сток во фьорд (рис. 1). Кроме того, с весны по сентябрь велись наблюдения за уровнем и температурой на трех озерах, весной вертикальным профилированием была определена структура озер, химические свойства различных слоев воды. Особенностью этого года стали высокие температуры в летний период, в частности в июле, когда температура воздуха, регистрируемая ГМО «Баренцбург», повышалась до $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эта температурная аномалия вызвала сильные ледниковые паводки на реках с ледниковым питанием, в то время как на реках с подземным питанием это явление не было выражено (рис. 2). Тем не менее суммарное количество вынесенной во фьорд пресной воды и твердых наносов сравнимо с измеренными в предыдущие годы.

Наблюдения за балансом массы и динамикой ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд велись с июня по сентябрь и показали увеличение абляции в 2019–2020 годах в полтора-два раза по сравнению с 2018–2019 годами за счет сравнительно раннего начала лета и аномально высоких температур: средняя температура, зарегистрированная АМС, установленной на леднике Альдегонда на высоте 350 м н. у. м. с мая по август составила $2,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2020 году против $1,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2019 году. Повышение абляции также зарегистрировано сотрудниками ИГ

РАН на леднике Восточный Грэнфьорд. Помимо мониторинговых наблюдений на ледниках, проведено георадиолокационное зондирование ледников Тавле, Эрман, Фритьоф, Западный и Восточный Грэнфьорд с целью изучения их внутренней структуры, соотношения объемов теплого и холодного льда, в сравнении с данными, полученными ИГ РАН в 2010–2013 годах. Еще одно направление исследований — это реконструкция дренажной системы ледника Альдегонда (рис. 3), а также источников питания реки Альдегонды с помощью георадиолокационной съемки и химического анализа вод. В результате установлена общая схема питания водотоков, их расположение под ледником и мореной, вклад талых, грунтовых и подземных вод в питание реки.

Полевые палеогеографические исследования организовать не удалось. Но обработка и анализ палинологических образцов, собранных на Шпицбергене в 2017–2019 годах, продолжались в лаборатории РАЭ-Ш в пос. Баренцбург. Построенная по результатам анализа споропыльцевая диаграмма торфяных отложений долины реки Колес позволила по характерным изменениям в составе спорово-пыльцевых спектров и соотношению основных доминантов выделить пять палинозон, отражающих этапы развития растительности в раннем и среднем голоцене. Также были продолжены современный палинологический мониторинг и отбор атмосферных осадков для анализа изотопов кислорода и водорода с целью определения источников и трансформации атмосферной влаги над архипелагом. Анализ особенностей изотопного состава атмосферных осадков, ледников, снежного покрова, озер и водотоков 2016–2018 годов, а также характерная линия метеорных вод для окрестностей пос. Баренцбург опубликованы в журнале «Лед и снег». Полевые исследования современного состояния и динамики многолетней мерзлоты состоялись в запланированном объеме. Мерз-

Рис. 2. Комплексная диаграмма гидрографов рек Западного Шпицбергена (слоя стока с поверхности водосбора) и метеорологических условий в июне–сентябре 2020 года (подготовила К.В. Ромашова)

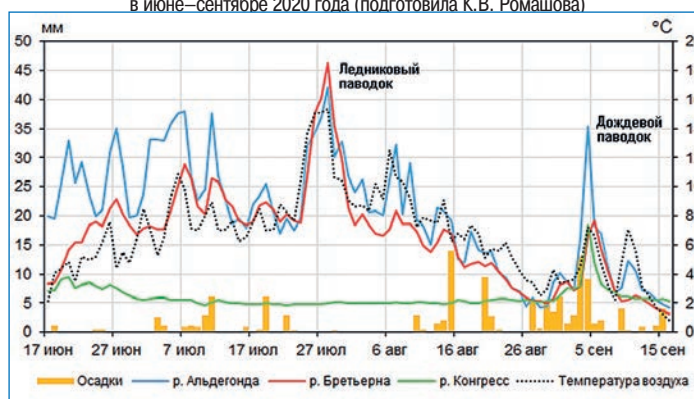




Рис. 3. Георадиолокационное зондирование с антенной 50 МГц на леднике Альдегонда, Западный Шпицберген. Фото А.Л. Борисика



Рис. 4. Бурение мерзлоты в долине Холлендардален, Западный Шпицберген. Фото В.Э. Демидова

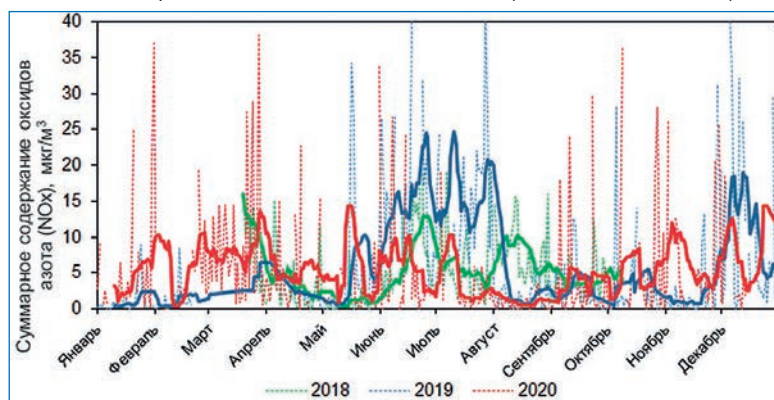
лотные формы рельефа, их происхождение и развитие, особенности строения многолетнемерзлых пород исследовались методами бурения, химического и физического анализа кернов, магнитометрической съемки (рис. 4). Новые скважины были оборудованы термометрическими косами для оценки термического состояния мерзлоты в разных ландшафтах Западного Шпицбергена. Выходы подземных вод разбуривались с целью выяснения их происхождения с помощью химического анализа в лаборатории РАЭ-Ш. На площадке CALM (Circumpolar active layer monitoring) проводился постоянный мониторинг температуры многолетнемерзлых пород и сезонного талого слоя. Его мощность составила в среднем 143 см, за все время мониторинга с 2016 года она менялась незначительно и не однонаправленно. Данные переданы в базу данных GTN-P (Global Terrestrial Network for Permafrost). Результаты исследований мерзлоты обобщены в нескольких статьях, опубликованных в реферируемых журналах.

Экологические исследования ААНИИ на Шпицбергене включают несколько направлений: совместное с ММБИ РАН изучение накопления тяжелых металлов в бентосных организмах и в целом в морской и прибрежной экосистеме, разработка методик и поиск «новых» загрязняющих веществ группы перфторированных кислот в компонентах природной среды, анализ накопления загрязняющих веществ в криоконитах на поверхности ледников, мониторинг состояния приземного воздуха, логистическая и аналитическая поддержка экологического мониторинга района пос. Баренцбург и Пирамида СЗФ «НПО «Тайфун»». Экологические работы были сокращены, в частности, был отменен анализ криоконитового материала. Сотрудники СЗФ «НПО «Тайфун» не смогли прибыть на архипелаг для проведения работ, поэтому сотрудники экспедиции и зимовочного состава РАЭ-Ш отобрали образцы природных сред по сокращенной программе, частично проанализировали в лаборатории РАЭ-Ш и законсервировали для дальнейшей отправки в Санкт-Петербург.

В лаборатории был проведен анализ донных отложений и бентосных организмов, отобранных в заливах Ис-фьорда в 2019 году, на содержание тяжелых металлов: ртути, железа, марганца, олова, свинца, цинка, меди и других. Результаты переданы специалистам ММБИ РАН, их обработка будет проводиться совместными усилиями. Сотрудники лаборатории провели частичную валидацию разработанной методики анализа перфторированных кислот в биологических объектах с помощью хромато-масс-спектрометрии, проанализировали содержание этой группы органических веществ в бытовых стоках пос. Баренцбург, бентосных организмах и рыбе. Данные свидетельствуют о наличии перфторированных кислот в стоках, что свидетельствует об их местном происхождении; заметные, но невысокие концентрации веществ найдены в морских организмах, что хорошо соотносится с данными других исследователей для Северной Атлантики и акватории Шпицбергена.

Станции мониторинга содержания газовых примесей в воздухе Баренцбурга работают в непрерывном режиме, измеряя содержание оксидов азота, серы, углерода, озона, ртути и взвешенных частиц наряду с метеорологическими параметрами непосредственно в поселке и на плато над ним. Это дает возможность оценить годовой ход концентраций газовых примесей, выделить их локальные и трансграничные источники. Сравнение данных последних трех лет показало снижение содержания оксидов азота в воздухе Баренцбурга в летний период, что связано с резким сокращением туристической активности в 2020 году, транспортной активности в поселке и редким заходом кораблей в залив (рис. 5). Это подтверждает предположение,

Рис. 5. Годовой ход суммарной среднесуточной концентрации оксидов азота в воздухе пос. Баренцбург в 2018–2020 годах. Сплошные кривые показывают 10-дневное сглаживание (подготовила Е.Н. Потехина)



что поступление оксида азота в приземный воздух происходит главным образом из местных источников и имеет сезонный характер. При этом содержание оксида серы в воздухе изменялось несущественно, так как его основным источником является круглогодично работающая ТЭЦ. Изменчивость содержания в атмосфере консерватив-

ных газов — диоксида углерода и озона — в большой степени сезонная и сравнительно одинакова по годам.

В пос. Баренцбург расположен пункт приема–передачи спутниковой информации, оснащенный тремя антеннами, что позволяет вести постоянный мониторинг гидрометеорологических условий в акватории СЛО и на побережье арктических морей. За год в ААНИИ передано более 1 ТБ данных. Эта информация используется для специализированного гидрометеорологического обеспечения судоходства в Арктике, в частности, ее использовали для обеспечения логистических операций по ротации экспедиционного состава экспедиции MOSAiC.

На базе РАЭ-Ш в пос. Баренцбург ведутся постоянные геофизические наблюдения состояния ионосферы и параметров распространения радиоволн коротковолнового диапазона на акватории Баренцева моря и вариаций солнечного излучения в различных диапазонах волн в 25-м цикле солнечной активности. Данные автоматически обрабатываются и передаются в ААНИИ для дальнейшего анализа сотрудниками отдела геофизики.

Международное сотрудничество и выполнение совместных научных и образовательных проектов является неотъемлемой частью деятельности на Шпицбергене. Однако в 2020 году большая часть международной активности была перенесена в онлайн формат, так прошли совещания Шпицбергенского научного форума, семинары «От суши к фьордам — обзор гидрологии Шпицбергена в 1973–2019 гг.» и «Морская инфраструктура Шпицбергена». На базе РАЭ-Ш проведен семинар для

студентов по арктической геологии в рамках соглашения о сотрудничестве с Университетским центром на Шпицбергене. Сотрудники ААНИИ участвовали в международном семинаре «Устойчивые побережья Шпицбергена» и внесли вклад в SESS Report 2020 — обзор изученности природной среды архипелага Шпицберген в 2020 году.

По результатам исследований в 2020 году сотрудниками ААНИИ опубликованы одна коллективная монография, 12 статей в рецензируемых журналах, две главы в научном сборнике, было представлено 20 докладов о состоянии и динамике природной среды Шпицбергена на различных российских и международных конференциях. Результаты российских исследований будут представлены на «Шпицбергенской научной конференции», которая планируется в Осло в ноябре 2021 года.

2020 год был сложным для организации исследований на архипелаге Шпицберген не только для российских, но и иностранных ученых. Однако РАЭ-Ш удалось выполнить поставленные задачи в максимально возможном объеме минимальными силами благодаря слаженности работы сезонной экспедиции и зимовочного состава, улучшению взаимодействия между профильными отделами института и взаимопомощи. По-прежнему остается актуальной проблема проезда на Шпицберген, в связи с чем в 2021 году состав сезонной экспедиции будет сокращен в три раза, ее сотрудникам придется совмещать функции и выполнять задачи по смежным дисциплинам с целью продолжить работу по всем научным направлениям.

*А.Л. Никулина, Ю.В. Угрюмов,
Е.Н. Потехина (ААНИИ)*

ИССЛЕДОВАНИЯ НА НИС «ЛЕДОВАЯ БАЗА МЫС БАРАНОВА» В 2019/20 ГОДАХ

Разрозненность, эпизодичность, фрагментарность в подходе к наблюдениям за природными явлениями несовместимы с задачей получения целостной картины взаимодействия природных сред во всем их многообразии и сложной взаимообусловленности. Максимально достижимая на данный момент целостность представлений об их состоянии и механизмах взаимодействия соответственно характеризует прогностический потенциал полученного знания. Применительно к функции Росгидромета речь идет о прогнозах погоды различной заблаговременности и о выявлении закономерностей в изменении планетарного климата. Эти задачи решаются путем гидрометеорологического мониторинга с опорой на разветвленную наблюдательную сеть Росгидромета.

Арктика — один из ключевых регионов глобальной климатической системы и область ярко выраженной манифестации ее изменений. Погодные процессы и климатические изменения в Арктике находят отклик на всей территории Российской Федерации в силу ее географического положения. Наблюдательная сеть Росгидромета в Арктике представлена рядом станций, выполняющих стандартные гидрометеорологические наблюдения, а также центрами, обеспечивающими, помимо стандартных наблюдений, выполнение дополнительных научных наблюдений и исследований. К числу подобных центров относится научно-исследовательский стационар ФГБУ «ААНИИ» Росгидромета «Ледовая база Мыс Баранова» на северном берегу о. Большевик архипелага Северная Земля. Этот берег омывается водами пр. Шокальского, соединяющего моря Карское и Лаптевых.

Стационар в определенной степени является наследником научно-исследовательской станции «Мыс Баранова» ААНИИ, основанной в 1987 году. После длительного периода консервации (с 1996 года) база была восстановлена в 2013 году в виде научно-исследовательского стационара (НИС), функционирующего в круглогодичном цикле. Гидрометеорологической станции «Ледовая база Мыс Баранова» присвоен синоптический индекс «20094».

Оперативное руководство стационаром и логистическое обеспечение его деятельности осуществляет Высокоширотная арктическая экспедиция (ВАЭ) ФГБУ «ААНИИ». Формирование программ научных наблюдений и исследований на стационаре, контроль их выполнения и методическое руководство происходит в тесном взаимодействии с научными отделами и лабораториями института.

С момента организации стационара его деятельность эволюционирует в направлении расширения комплекса наблюдений, совершенствования приборной базы, насыщения новыми средствами наблюдений и исследований. Укрепляется производственная инфраструктура стационара — лабораторная и жилая. Должное внимание уделяется транспортным средствам. Не ослабевает внимание к вопросам обеспечения безопасности персонала при проведении работ, как в полевых условиях, так и в пределах стационара. Пребывание в зоне обитания эндемического хищника — белого медведя — предъявляет специфические требования к соблюдению мер безопасности. Общий вид стационара по состоянию на летний сезон 2020 года представлен на рис. 1.