

ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАБЛЮДЕНИЙ НА НИС «ЛЕДОВАЯ БАЗА МЫС БАРАНОВА» В 2021–2022 ГОДАХ

Для понимания причин возникновения, последующего существования и трансформации какого-либо явления необходимы сбор, накопление, обработка и анализ большого числа разрозненных данных, характеризующих существование этого явления во времени и в пространстве. Совокупность этих мероприятий принято кратко именовать мониторингом. Сегодня наука и ее прикладные отрасли по большей части являются уделом больших коллективов, больших объемов информации — *big data* — и больших вычислительных мощностей. Это обстоятельство, по очевидным причинам, отнюдь не умаляет значения каждого отдельного элемента общей системы — наблюдательной сети, но, напротив, заключая в рамки унифицированных требований, утверждает его.

Мониторинг погоды- и климатообразующих параметров природной среды на территории России обеспечивает наблюдательная сеть Росгидромета, являющаяся одновременно составной частью глобальной сети. Научно-исследовательский стационар (НИС) «Ледовая база Мыс Баранова» ФГБУ «АНИИ» является одним из самых северных расположенных на суше элементов наблюдательной сети Росгидромета. Принимая во внима-

ние обширный состав и объем выполняемых наблюдений, можно говорить о том, что стационар практически функционирует в статусе гидрометеорологической обсерватории. Наблюдения на стационаре ведутся с 2013 года на основании акта открытия гидрометеорологической станции «Ледовая база Мыс Баранова» с присвоением синоптического индекса «20094».

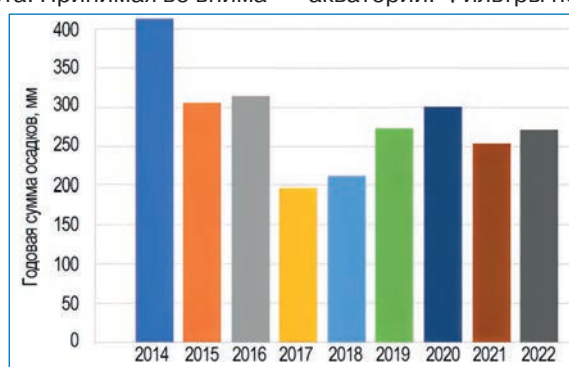
В сентябре 2022 года НЭС «Академик Трёшников» произвело очередную смену зимовочного состава на стационаре. Отчеты отрядов и в целом экспедиции, накопленные массивы информации переданы в Государственные фонды данных. Предварительные итоги экспедиции обсуждены и одобрены на заседании Ученого совета АНИИ в декабре 2022 года. Ниже представлен краткий обзор погодноклиматической ситуации в районе расположения НИС (мыс Баранова, о. Большевик, архипелаг Северная Земля) в период с сентября 2021 года по сентябрь 2022 года и основных результатов экспедиции.

В соответствии с программой работ на стационаре зимовочным составом выполнен годовой цикл наблюдений и исследований в области метеорологии, аэрологии, геофизики, ледоведения и океанографии. В полном объеме выполнены программы стандартных метеорологических и актинометрических наблюдений, включая наблюдения радиационного баланса в рамках программы БСРН (Базовая сеть радиационных наблюдений) ВМО.

В течение года выполнялись специальные метеорологические наблюдения по 13 проектам, разработанным и реализуемым в сотрудничестве с научно-исследовательскими учреждениями Росгидромета и Российской академии наук (РАН). Большая часть проектов отвечает

целям и задачам важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ (распоряжение Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2022 г. № 2515р). Только с Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова, являющейся Климатическим центром Росгидромета, ведутся наблюдения в рамках пяти совместных исследовательских проектов, ориентированных на мониторинг газового состава приземного слоя атмосферы (CH_4 , CO_2 , O_3 , SO_2 , CO , водяной пар), на аэрозольное загрязнение атмосферы, на исследования процессов массо-, газо- и энергообмена между атмосферой и верхним слоем грунта. Ведутся дистанционные наблюдения температуры атмосферы до высоты 1000 м, измерения характеристик атмосферного электричества, наблюдения за морфометрическими характеристиками снега, отбор проб воды и снега для гео- и гидрохимических анализов.

В рамках сотрудничества с Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева (ТОИ) Дальневосточного отделения (ДВО) РАН осуществляется отбор аэрозолей на стационарном полигоне вблизи морской акватории. Фильтры пересылаются в ТОИ ДВО РАН для



Годовые суммы осадков (мм) на НИС за период 2014–2022 годов

лабораторной аналитической обработки. Расчеты потоков осадочного материала выполняются с использованием данных метеорологических наблюдений. В сотрудничестве с Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения РАН выполняются исследования аэрозольно-оптических характеристик атмосферы и микрофизических параметров аэрозоля в приземном слое воздуха.

Выполненные метеорологические наблюдения позволяют констатировать, что характер погоды в течение 2021–2022 годов вполне соответствовал климатическим характеристикам для данного района. Устойчивый снежный покров наблюдался с 01.09.2021 по 30.06.2022. Устойчивый переход температуры воздуха через 0°C в сторону положительных температур был отмечен 12.07.2022. Как неординарное погодное явление следует упомянуть грозу, отмеченную на удалении от станции 28.07.2022. В этот же день была зарегистрирована и максимальная в летний сезон 2022 года температура воздуха $+11,2^\circ\text{C}$. За описываемый период отмечены редкие в высоких широтах формы облачности: кучевая (Cu) наблюдалась в январе (дважды); кучево-дождевая (Cb) отмечена в сентябре 2021 года, в апреле и мае 2022 года. Минимальная температура воздуха составила $-35,6^\circ\text{C}$ (06.01.2022). Из представленного на рисунке графика годовых сумм осадков за предшествующий восьмилетний период видно, что намечившаяся в период 2017–2020 годов тенденция к росту количества осадков не находит подтверждения в последние два года.

Максимальной силы ветры наблюдались в середине февраля, когда отмечалась средняя скорость ветра с юго-запада в 26 м/с и 32 м/с в порывах. За

девятiletний период наблюдений ветры максимальной силы наблюдались в зимне-весенний период — с января по апрель, но отмечались также в июне (2019 год) и в июле (2016 год). Средняя за год скорость ветра в период 2021–2022 годов составила 6,5 м/с.

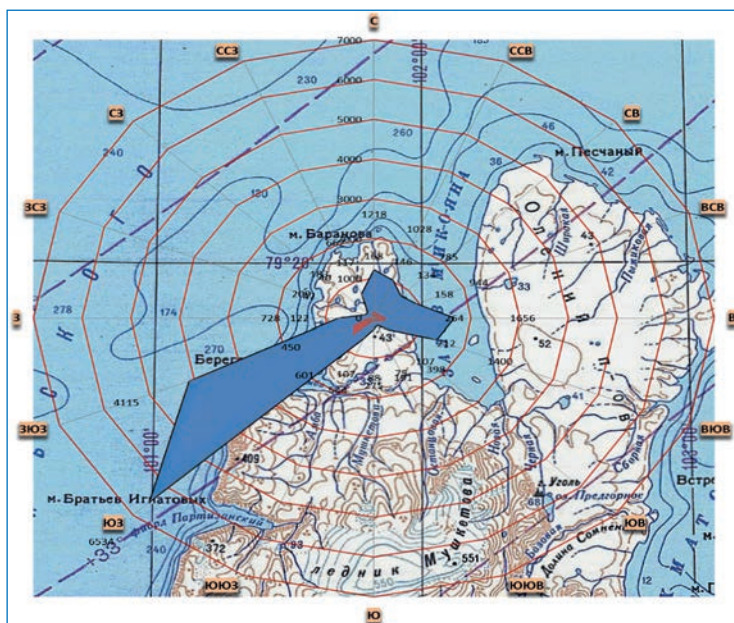
В соответствии с климатической нормой в период наблюдений доминировали юго-западные ветры. При этом участились ветры с северо-востока (см. рисунок). Указанное распределение направления скорости ветра и его

причины были подробно изучены в рамках совместных исследований ученых ААНИИ и Трирского университета (Германия) в рамках совместного эксперимента, выполненного на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» в период 2017–2020 годов.

Выполнение программы температурно-ветрового зондирования атмосферы успешно обеспечено при использовании базовой станции системы радиозондирования отечественного производства БС СР «ПОЛЮС»-С с радиозондом МРЗ-Н1. Средняя высота зондирования составляла около 30 км, а максимальные высоты превышали 34 км. Отслежена динамика высотного расположения тропопаузы, которое изменялось в широком диапазоне от 5 до 13 км.

По данным стандартных ледовых наблюдений выявлены особенности ледового режима в отчетный период. Ледовая обстановка в целом характеризовалась стабильностью. Наибольшие изменения обстановки связаны с состоянием полыни в море Лаптевых, край которой находился в 15–20 км к северо-востоку от стационара. Максимальная средняя толщина льда на ледовом промерном полигоне была достигнута в конце июня 2022 года и составляла 150 см. Максимальная абсолютная толщина — 169 см. Проведены углубленные исследования морского льда в проливе Шокальского, включающие цикл морфометрических наблюдений на ледовом полигоне, а также наблюдения за вертикальным распределением характеристик прочности льда с применением скважинного зонд-индентора, испытания прочности образцов льда с помощью гидравлического пресса, работы по изучению прочности льда на изгиб.

Совместно с Федеральным исследовательским центром комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова (ФИЦКИА) Уральского отделения (УрО) РАН на стационаре с 2016 года функционирует пункт сейсмических наблюдений с целью получения наиболее полной информации о сейсмичности Баренцево-Карского региона. Наблюдения ведутся за сейсмическими событиями, обусловленными землетрясениями и локальными микросейсмами от динамики льдов, посредством сейсмометра СМЕ 4111-LT. Наблюдения за колебаниями грунта побережья ведутся с применением сейсмометра



Роза ветров по району НИС за период наблюдений сентябрь 2021 года — август 2022 года

комплекс океанологических наблюдений — два океанографических разреза поперек пролива (в апреле и мае 2022 года), ежесуточные и еженедельные STD-зондирования в двух определенных точках, серии измерений на фиксированных горизонтах температуры и солёности, длительные серии измерений течений (порядка пяти месяцев) и уровня моря (годовая серия). По совокупности полученной информации выявлены новые важные особенности режима течений в проливе, имеющих, как установлено ранее, реверсивный характер.

Однако новые данные позволяют оценить диапазон характерных временных масштабов, в которых происходит перестройка поля течений. Получено также экспериментальное подтверждение возникновения в ряде случаев существенных возмущений в термохалинной структуре вод в проливе под воздействием перестройки поля течений. Выявлены признаки неоднозначного воздействия донной топографии на характеристики течений и термохалинную структуру в зависимости от направления течения. Зарегистрированные термохалинные характеристики вод в проливе в первом полугодии 2022 года свидетельствуют, по-видимому, об относительном ослаблении залива трансформированных атлантических глубинных вод в этот район либо об их пониженном тепловом состоянии.

В области геофизических исследований велись наблюдения по геомагнетизму: измерения трех компонент магнитного поля Земли (МПЗ), модуля индукции полного вектора МПЗ, абсолютные измерения. Выполнялись спектральные наблюдения солнечной ультрафиолетовой (УФ) радиации, риометрические наблюдения. В автоматическом режиме выполнялось трансферное зондирование ионосферы, а также исследование условий распространения радиоволн дециметрового диапазона и параметров ионосферы методом наклонного радиозондирования. Данные наблюдений в оперативном режиме поступали в Полярный геофизический центр ААНИИ.

Объемы наблюдений и исследований в районе стационара традиционно возрастают в весенне-летне-осенний период с прибытием на НИС сезонных научных отрядов. В ходе сезонной экспедиции (06.04–01.12.2022) выполнены наблюдения и исследования в области

СМГ-6ТД. Данные наблюдений передаются непосредственно в ФИЦКИА УрО РАН. Отчетность о выделенных землетрясениях представляется в виде ежедекадного бюллетеня сейсмической станции «Северная Земля» (SVZ), ежемесячного сейсмического каталога Архангельской сети и карт, построенных на его основе.

С момента установления достаточно прочного и безопасного для проведения полевых работ припая в период с декабря по июнь в проливе Шокальского выполнен

гидрологии водных объектов суши, гляциологии, палеогеографии, а также гео-, гидрохимические наблюдения и топографо-геодезические работы.

В ходе работ выполнялись наблюдения за распределением снегозалегаания и водозапасом в снеге прилегающей территории. Проведены наблюдения за стоком воды с водосборов трех рек на четырех гидрологических постах. Выполнены гидролого-почвенные наблюдения в стационарных пунктах по семи мерзлотомерам. Получение метеоинформации с водосборов восточной экспозиции гидролого-криосферного полигона обеспечивалось установкой автоматической метеостанции «НОВО».

По результатам наблюдений, водозапас в снеге на начало теплого периода на водосборе реки Мушкетова составил 226 мм, что является наибольшим значением за период наблюдений 2017–2022 годов. Продолжительность теплого периода составила 77 дней, что на 9 дней меньше среднего значения, рассчитанного за 9 лет наблюдений (2014–2022 годы), и короче на 10 дней в сравнении с теплым периодом 2021 года. Внутри теплого периода отмечено уменьшение на 10 % числа дней с положительной среднесуточной температурой (63 дня при среднем за 9 лет — 70 дней). Число дней с отрицательной среднесуточной температурой соответствует среднему значению — 14 дней. Сезонный сток характеризовался более короткой продолжительностью периода стока и характеристиками гидрологического режима ниже среднего.

Оттаивание грунтов происходило достаточно синхронно по данным всех мерзлотомеров, тогда как существенные расхождения по глубине оттаивания наблюдались на участках различных экспозиций склонов и вследствие различного состава грунтов и наличия растительности. Единые с 2017 года методики измерений, наблюдений и обработки данных обеспечивают корректность сравнительного анализа результатов наблюдений разных лет. Также представляется возможным проведение качественной оценки полученных данных, рассматривая их в совокупности, для отработки методик организации и проведения водно-балансовых наблюдений.

В ходе гляциологических исследований в 2021 году впервые удалось получить данные о режиме температуры льда до глубины 10 м в течение годового цикла на леднике Мушкетова (высота 550 м), а в 2022 году их дополнить (см. рисунок). На этой глубине (10–12 м) происходит затухание сезонных колебаний температуры льда. При сравнении полученных данных с температурами льда на этой же глубине ледника Вавилова (о. Октябрьской Революции), расположенного севернее и выше ледника Мушкетова (700–720 м), оказалось, что и в 70–80-х годах XX века температуры льда в поверхностном слое льда на глубине затухания сезонных колебаний температур также изменялись в пределах минус 9–11 °С. Этот факт является подтверждением стабильности температурного режима ледников Северной Земли в последние десятилетия.

Данные снего-съемки на ледниках в период 2015–2022 годов показывают, что снегонакопление на ледниках колеблется от 210 до 300 мм в. э.

(водного эквивалента) на леднике Мушкетова и в многолетнем плане стабильно. В 2022 году влагозапас составил 259 мм в. э. Отметим, что южные и западные склоны ледников получают больше снега по сравнению с северными и восточными, отчего и выводные ледники, стекающие с ледниковых куполов в северном и восточном направлениях, отстают заметнее по сравнению с выводными ледниками южных и западных склонов.

В 2021 году в рамках программы CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring — Циркумполярный мониторинг активного слоя) в районе озера Твердое разбит новый мерзлотный полигон в дополнение к полигону, расположенному вблизи стационара. Размеры нового полигона: 50 × 50 м. По данным наблюдений в сезон 2022 года на момент достижения максимальной глубины протаивания в середине августа средняя глубина протаивания на мерзлотном полигоне в районе НИС составила 22 см и на полигоне CALM — 39 см. Максимальные значения глубины протаивания могут существенно отличаться от средних значений, что связано с различным характером грунтов, наличием растительности, а также с микро-рельефом поверхности. Так, на полигоне вблизи НИС максимальное значение глубины протаивания составило 49 см и 95 см — на полигоне CALM.

В 2022 году продолжились наблюдения за уровнем озера Спартаковское, которое было полностью осушено летом 2021 года в результате сброса воды в прилегающий фьорд Спартак.

Были продолжены начатые в 2021 году работы по накоплению информации для построения цифровой модели рельефа озерной котловины — выполнена топографическая съемка не залитой водой восточной части дна озера. В период 25–30.07.2022 были выполнены три замера уровня озера, позволившие оценить скорость его заполнения талыми водами. Ежесуточный подъем уровня изменялся от 1,19 м/сутки в начале периода до 0,91 м/сутки к его окончанию, уменьшаясь по мере увеличения площади зеркала озера.

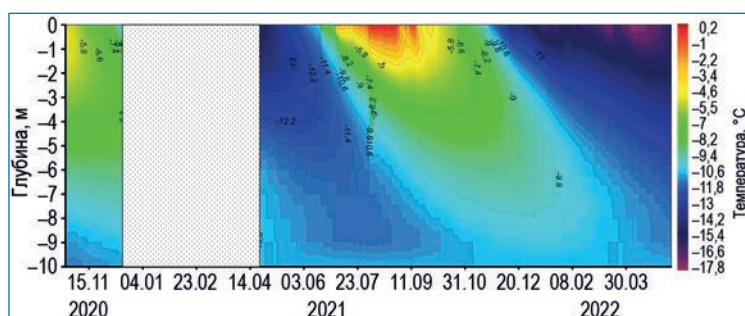
В ходе экспедиции выполнены обширные геохимические наблюдения в рамках мониторинга изотопного состава воды рек и водоемов, ледникового и морского льда и атмосферных осадков. Измерение полученных проб выполнялось на изотопном анализаторе Picarro I2140-i. В ААНИИ отправлено 547 проб для выполнения последующего анализа изотопного состава.

Выполнялось определение гидрохимических характеристик на гидрометрических створах водоемов в районе НИС на основе отбора проб воды из озер и рек с последующим анализом в лаборатории стационара. Произведена оценка санитарно-химического состояния используемых источников питьевой воды и сформировавшихся условий питьевого водоснабжения стационара. Проведено определение 1325 показателей, выполнено 2706 измерений.

Для последующих исследований в Санкт-Петербург отправлено 264 пробы.

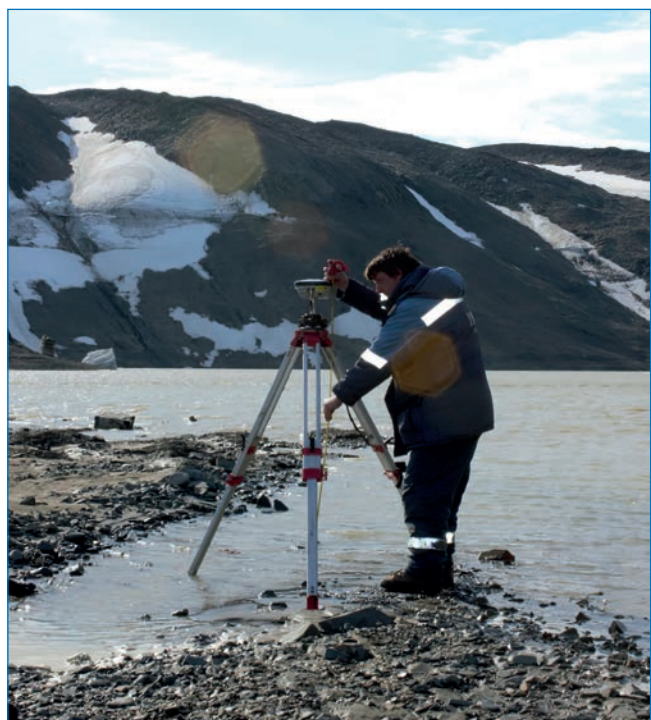
В ходе экспедиции в круглогодичном цикле широко использовался БПЛА мультироторного типа для наблюдения за ледовой обстановкой и состоянием подстилающей поверхности.

График распределения температуры в термометрической скважине на леднике Мушкетова





Чаша озера Спартаковское, заполняемая тальми водами. 25 июля 2022 года



Измерение уровня воды на оз. Спартаковское. 25 июля 2022 года

Результаты работы использованы океанологами, ледоисследователями, гидрологами суши, гляциологами, палеогеографами, метеорологами.

На территории НИС создан и в октябре 2022 года запущен в эксплуатацию пункт федеральной сети геодезических станций — ФСГС, необходимый для повышения точности определения координат на территории России и применения спутниковой системы ГЛОНАСС в системе геодезического и навигационного обеспечения. Работы выполнены АО «Аэрогеодезия» по поручению АО «Роскартография» в тесном сотрудничестве со специалистами ААНИИ.

Высокоширотной арктической экспедицией ведется последовательная работа по организации снежно-ледовой взлетно-посадочной полосы (ВПП) «Мыс Баранова». В период с апреля по сентябрь 2022 года проведен ряд подготовительных мероприятий: инспекция ВПП руководителем Красноярского управления Росавиации, выполнение комплекса геодезических и строительно-восстановительных работ, доставка на НИС оборудования и техники аэродромного обеспечения полетов. С ноября 2021 года ведется обустройство снежного покрытия на снежно-ледовой ВПП.

Снабжение НИС на предстоящий годичный период работы обеспечено НЭС «Академик Трёшников» 18–22 сентября 2022 года. На стационар доставлено 480 тонн груза, в частности дизельное топливо, оборудование для оснащения и обслуживания снежно-ледовой посадочной площадки «Мыс Баранова» и заправки воздушных судов, научное оборудование и материалы, продукты питания. Численность состава НИС в 2022/23 году составляет 20 человек.

В настоящее время стационар представляет собой опорную базу наблюдений в рамках мониторинга и научных исследований в области наук о Земле в высокоширотной части Арктической зоны РФ с развитой инфраструктурой и с реальной перспективой обеспечения транспортной доступности с применением авиационных средств в течение большей части года. С введением в строй НЭС «Северный полюс» возрастает роль стационара в вопросах авиационного обеспечения Ледостойкой самодвижущейся платформы.

*С.А. Семенов, В.Т. Соколов, В.Е. Соколова (ААНИИ).
Фото Г.Б. Лебедева*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ СНИМКОВ ИЗ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ С РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Рост грузоперевозок по Северному морскому пути (СМП), освоение месторождений углеводородного сырья на шельфе арктических морей сопровождаются увеличением спроса потребителей на достоверную оперативную информацию о состоянии ледяного покрова, наличии благоприятных для ледового плавания районов нарушений сплошности, а также степени торосистости. При этом дополнительная информация о местонахождении айсбергов на трассах СМП будет способствовать

увеличению безопасности навигации. В повседневной практике ледового информационного обеспечения потребителей удовлетворить такие запросы можно только при широком использовании автоматизированных методов оценки состояния морского ледяного покрова по спутниковым данным. В ААНИИ разрабатывается ряд таких методов, в том числе метод оценки нарушений сплошности ледяного покрова (НСЛ) и обнаружения торосов.