

66-й РАЭ, дополнили наши знания о море Дейвиса, позволили заметно расширить представления о структуре и характеристиках водных масс на шельфе малоисследованного района станции Русская, в том числе определить пути распространения теплых глубинных вод, оказывающих определяющее влияние на таяние шельфовых ледников. Полученные данные станут хорошей базой для планирования дальнейших исследований океанографи-

ческого режима региона, особенно в связи с предполагаемым восстановлением работы станции Русская.

*Выражаем благодарность экипажу судна «Академик Трёшников» во главе с капитаном Д.А. Карпенко и начальнику рейса А.Н. Николаеву за заинтересованное и ответственное отношение к выполнению Программы.*

*Н.Н. Антипов, С.В. Кашин, М.С. Молчанов (АНИИ)*

## **ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЙОНА СТАНЦИИ ПРОГРЕСС: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ 2017–2021 ГОДОВ**

Российская антарктическая станция Прогресс, расположенная в пределах оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида), является как крупной научной базой, обеспечивающей реализацию множества круглогодичных и сезонных исследовательских программ, так и важнейшим логистическим пунктом Российской Федерации в этом секторе Антарктики. В частности, она ключевое звено в цепи снабжения внутриконтинентальной станции Восток. Объем транспортных операций в этом районе, и без того значительный, в ближайшие годы возрастет до беспрецедентных значений благодаря мероприятиям, связанным с возведением на станции Восток нового зимовочного комплекса, в рамках которых в глубь материка необходимо будет доставить санно-гусеничными походами не только модули нового здания, но и строительную технику, топливо, сопутствующие вспомогательные грузы.

Важным аспектом своевременного выполнения сложнейших логистических задач за короткий период антарктического лета является обеспечение безопасности транспортных операций. Район станции Прогресс можно в целом считать сравнительно благоприятным с точки зрения природных источников угроз: так, здесь неизвестны зоны пугающе крупных трещин, по ширине значительно превосходящих корпус гусеничного тягача и представляющих серьезные риски для жизни участников походов, которыми, к примеру, печально известна станция Мирный. Однако, учитывая уровень сложности, ответственности и интенсивности грузовых и транспортных операций, выполняющихся в этом районе, нельзя недооценивать и менее опасные объекты: ведь любая незапланированная задержка, влекущая за собой от-

клонение от графика работ, может привести к срыву последующих мероприятий.

Среди объектов, представляющих риски для безаварийного выполнения транспортных операций, можно в первую очередь назвать ледниковые трещины — даже те из них, ширина которых у поверхности достигает не десятков метров, а всего 1–1,5 м, во-первых, способны привести к инцидентам, нарушающим график работ, а во-вторых, остаются чрезвычайно опасными для пешего перемещения по леднику. Помимо трещин, в целом типичных для большей части ледников, оазис Холмы Ларсеманн характеризуется и другим, достаточно специфическим, источником природных угроз — это широкий спектр опасных гидрологических объектов и явлений. К ним относятся скрытые внутрiledниковые водоемы, временные сезонные водотоки, а также озера, для которых характерны периодические прорывные паводки. Они сопровождаются выработкой в теле плотины, подпруживающей водоем, канала стока и стремительной разгрузкой водных масс. Опасность в этом случае представляет как разрушительная сила потока, так и формирование в ледниках и снежниках скрытых каналов стока, зачастую незаметных с поверхности. Кроме того, при прорывах внутрiledниковых водоемов не исключена последующая просадка целых участков ледника — яркий пример такого явления наблюдался в январе 2017 года, когда за считанные часы в леднике Долк образовался обширный провал, разрушивший участок интенсивно эксплуатируемой трассы.

Дополнительная сложность, возникающая при взаимодействии с опасными природными объектами, за-

Рис. 1. Панорама окрестностей станции Прогресс. Фото А.В. Миракина



ключается в том, что в ряде случаев невозможно полностью исключить работы вблизи них: так, маршруты по леднику, проложенные полностью в обход зон трещин, могут стать избыточно протяженными, а варианты организации трасс в пределах оазиса зачастую ограничены прихотливым рельефом местности. Следовательно, недостаточно только уметь выявлять и картировать источники угроз — важно находить пути безопасного взаимодействия с ними в случае, если нет способа их избежать.

В 2017/18 году (сезон 63-й Российской антарктической экспедиции) в районе станции Прогресс были начаты работы по программе комплексного обследования опасных природных объектов, успешно продолжавшиеся на протяжении последующих полевых сезонов и направленные на минимизацию рисков, связанных с выполнением транспортных операций на ледниках. Концепция программы предполагает всестороннее изучение природных угроз и может быть представлена двумя условными уровнями — оперативное обследование и долгосрочный мониторинг.

Основные задачи оперативного обследования — выявление и картирование опасных объектов, определение их ключевых характеристик (для зон трещин такими характеристиками являются ширина, направление удлинения, мощность снежных мостов, форма трещины в разрезе; для ледниковых водоемов — их границы, глубина, а также мощность и вещественный состав толщи, перекрывающей озеро). На этом этапе основными являются полевые методы работ, в число которых входят георадиолокация, гидрологические наблюдения, аэрофотосъемка и вспомогательные работы (бурение, геодезические съемки, визуальное обследование).

Долгосрочный мониторинг необходим для установления основных тенденций жизненного цикла и объясне-

ния закономерностей и механизмов развития опасных явлений. Так, в рамках программы с 2017 года выполняется ежегодный гидрологический мониторинг прорывоопасных озер полуострова Брокнес. Часть из них расположена вблизи объектов инфраструктуры Российской антарктической экспедиции, представляя в общем случае угрозу для выполнения логистических операций, и постоянные наблюдения на таких озерах необходимы для исключения аварийных ситуаций. Некоторые озера расположены на удалении от участков, где интенсивно ведутся транспортные работы, тем не менее наблюдения на них позволяют комплексно подойти к изучению процессов прорывных паводков в целом, получать ряды данных, необходимых для разработки и верификации математических моделей, необходимых для того, чтобы в будущем перейти к задачам прогнозирования.

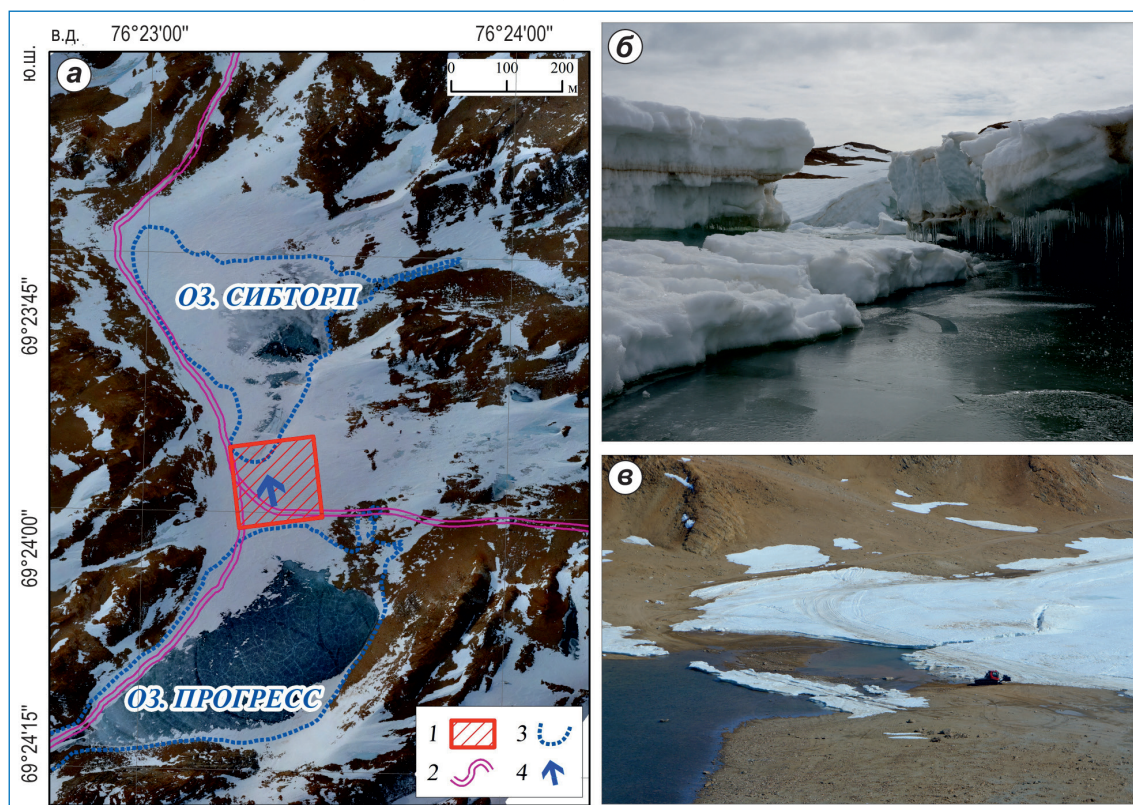
Ярким примером объекта, на котором успешно внедрен комплекс мониторинговых мероприятий, является озеро Прогресс. Для него характерны ежегодные прорывы, сопровождающиеся разрушением снежно-ледяной перемычки и перетоком водных масс в расположенное севернее озеро Сибторп и далее в океан (рис. 2).

Поскольку прорывные паводки происходят на этом каскаде водоемов ежегодно, объект удобно рассматривать в качестве эталонного для изучения процесса в целом. Кроме того, по снежно-ледяной перемычке, подпруживающей озеро Прогресс, проходит трасса движения транспортной техники, и актуальным вопросом является оценка безопасности этого участка в течение летнего периода. При обследовании этого объекта были поставлены следующие основные задачи:

– мониторинг уровня водной поверхности озера Прогресс и сопоставление его с уровнями, при которых наблюдались паводки ранее;

Рис. 2. Участок работ в районе озера Прогресс.

а – обзорная схема расположения участка (ортофотоплан от 14.11.2019): 1 – положение участка, 2 – сезонная трасса движения тяжелой техники, 3 – границы озер при максимально высоком уровне вод, 4 – направление прорыва; б, в – обзорные фотографии канала прорыва (б – вид со стороны озера Прогресс, фото М.Р. Кузнецовой, в – вид сверху, фото А.В. Миракина)



- изучение внутреннего строения плотины, подпругивающей озеро;
- выявление изменений, происходящих в теле снежно-ледяной плотины по мере развития паводка;
- фотофиксация изменений, наблюдаемых в пределах участка.

По результатам работ было установлено, что канал, формирующийся при прорыве озера, ежегодно образуется на одном и том же месте, а его положение обусловлено внутренним строением перемычки: в рельефе скальных пород и ледяной толщи в пределах дамбы наблюдается линейный прогиб, по которому и происходит преимущественный переток озерных вод. Как показали мониторинговые геофизические съемки, активная фаза паводка предваряется длительной фильтрацией через толщу снега, заполняющую прогиб и являющуюся наиболее проницаемой средой, при этом фильтрация начинается как минимум за две недели до прорыва, а метод георадиолокации позволяет не только достоверно устанавливать сам факт обводненности плотины, но и качественно оценивать постепенное повышение этого параметра. Совместный анализ геофизических материалов и данных об изменении уровня водной поверхности озера, интерпретируемых в контексте многолетних наблюдений, позволяет оценивать вероятность развития паводка. Таким образом, мы получаем возможность своевременно приостановить транспортные операции на данном участке непосредственно перед прорывом. Полученные результаты, кроме того, имеют и методическое значение — так, установив основные геолого-гляциологические особенности плотин, способствующие развитию паводков, и геофизические признаки форми-

рующегося водного потока, мы можем учитывать их при оценке безопасности новых логистических объектов.

Пример, показанный выше, наглядно иллюстрирует комплексный подход, применяемый при обследовании опасных гидрологических объектов — основных источников рисков при работах в пределах оазиса и вблизи него. При удалении на ледниковый купол большую угрозу представляют зоны трещин — и работы, связанные с их картированием и оценкой соответствующих рисков, также неизменно входят в состав мероприятий, выполняющихся согласно программе. Основным методом полевых изысканий в этом случае является метод георадиолокации, позволяющий установить координаты трещин в пределах изучаемого участка; для повышения качества и достоверности интерпретации георадарных данных также используются гляциологические методы, аэрофотосъемка, а при возможности — визуальные наблюдения. Результатом полного комплекса исследований в этом случае является схема расположения трещин в пределах изученного участка, оценка степени их опасности для выполнения транспортных операций и рекомендации к мониторинговым мероприятиям. К настоящему моменту все логистические объекты, расположенные на ледниковом куполе в районе станции Прогресс, прошли как минимум рекогносцировочное обследование, позволяющее дать принципиальное заключение о возможности безопасного выполнения работ, и в ближайший полевой сезон на всех объектах планируется завершить полный цикл изысканий.

*С.Д. Григорьева (АНИИ, СПбГУ),  
Э.Р. Киньябаева (АНИИ, СПбГУ), М.Р. Кузнецова (СПбГУ)*

## НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИИ В ХОДЕ РЕЙСА «АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2021» НА НЭС «МИХАИЛ СОМОВ» В ИЮНЕ–ИЮЛЕ 2021 ГОДА

С 2012 года в Баренцевом море и на прилегающих архипелагах (Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля) успешно реализуется проект «Арктический плавучий университет» (АПУ). Этот проект динамично развивается в результате сотрудничества Северного (Арктического) федерального университета (г. Архангельск) и научных организаций Российской академии наук, ведущих университетов России и Росгидромета. Проект «Арктический плавучий университет» включает в себя организацию и проведение комплексных научно-исследовательских работ в области океанологии, метеорологии, гидрохимии, гляциологии, морской биологии, геологии, почвоведения и орнитологии, а также обучение и подготовку молодых специалистов для исследования арктического региона и обеспечения его устойчивого развития.

В отличие от прошлых лет, когда в качестве транспорта экспедиции использовалось НИС «Профессор Молчанов», принадлежащее Северному УГМС (г. Архангельск), в 2021 году базой для экспедиции было выбрано легендарное судно — НЭС «Михаил Сомов», принадлежащее этому же управлению. Несмотря на свой почтенный возраст (приближается полувековой юбилей), судно находится в рабочем состоянии и неустанно трудится на протяжении последних двадцати лет, выполняя важ-

ную работу по обеспечению труднодоступных полярных станций на трассе Северного морского пути. В течение летней навигации «Михаил Сомов» обходит полярные станции, доставляя продукты и топливо, людей и оборудование.

В экспедиции 2021 года приняли участие студенты, аспиранты и научные сотрудники Северного (Арктического) федерального университета, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургского государственного университета, Российского государственного гидрометеорологического университета, Норильского государственного индустриального института, Саратовского национального исследовательского государственного университета, Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси, Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Одновременно с экспедицией АПУ на судне работали еще несколько научных групп. Группа «Нарвал» занималась поиском и изучением состояния популяции нарвала, в задачи группы ученых, работавших по программе «Хозяин Арктики», входили поиск и обследование белых медведей.