

## ГЛУБОКОВОДНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА С БОРТА НЭС «АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ» В СЕЗОННЫЙ ПЕРИОД 66-й РАЭ

Основная часть программы глубоководных океанологических наблюдений в сезонный период 66-й РАЭ была реализована с борта НЭС «Академик Трёшников», которое вышло в свой 16-й рейс 10 ноября 2020 года. Как всегда, основной задачей судна было логистическое обеспечение российских антарктических станций. За прошедший с момента спуска на воду в 2012 году период его экипаж приобрел большой опыт в проведении океанологических исследований, что в сложных ледовых и погодных условиях стало важной составляющей успешного решения поставленных научных задач.

Для выполнения глубоководных океанологических наблюдений на НЭС «Академик Трёшников» используются зондирующий комплекс «Sea Bird 911+», оборудованный рамой для крепления батометров, и автономный зонд-профилограф «Sea Cat 19+». Всего за 16-й рейс судовым зондом «Sea Bird 911+» было выполнено 50 океанографических станций на запланированных разрезах и 24 эпизодические станции. Автономным зондом «Sea Cat 19+» было выполнено 6 эпизодических станций.

Работы выполнялись силами судовой научно-технической службы в соответствии с Программой, разработанной в Лаборатории Южного океана отдела океанологии ААНИИ в рамках работ по Проекту 5.2 «Комплексные океанологические, климатические, гляциологические и геофизические исследования Антарктики и Южного океан (план НИТР/ОПР Росгидромета (2020–2024 гг.))». Расположение разрезов и точек зондирования на них определялось оперативно, исходя из рекомендаций, изложенных в Программе, и с учетом погодных и ледовых условий. Районы проведения глубоководных океанологических наблюдений в значительной степени определялись запланированным маршрутом и местоположением обслуживаемых антарктических станций.

В восточном секторе Антарктики основным объектом исследований стала шельфовая область моря Дейвиса (залив Трёшникова), где располагается станция Мирный. В Западной Антарктике основной задачей стало исследование структуры вод, слабо изученной, как с океанографической, так и с гидрографической точки зрения, шельфовой области в районе расположения станции Русская. Наконец, третьим районом работ стал пролив Брансфилд, место расположения станции Беллинсгаузен, ставший в последние годы объектом регулярных наблюдений судами ААНИИ.

В район станции Мирный судно подошло с небольшим опозданием, однако успешное и досрочное выполнение всех необходимых логистических операций, а также благоприятная ледовая обстановка позволили выполнить достаточно протяженный разрез через шельф и континентальный склон моря Дейвиса.

На выполнение разреза, расположенного в восточной части моря, между островом Дригальского и шельфовым ледником Шеклтона (рис. 1), ушло около 1,5 суток в период 20–21 января. Всего на разрезе длиной 205 км была выполнена 21 станция, глубина зондирования менялась от 257 м на шельфе до 2360 м у подножия склона. Разрез такой протяженности и дискретности расположения станций (среднее расстояние между точками зондирования составило около 10 км) был выполнен в данном регионе впервые. Результаты исследования дали возможность получить достаточно подробное представление о структуре основных водных масс, определить их термохалинные характеристики.

Выполненный при движении по разрезу эхолотный промер позволил получить подробное представление о рельефе дна в этой области моря Дейвиса. Начинаясь на относительно мелком участке шельфа в районе станции Мирный, разрез пересекает глубоководную котловину в юго-восточной части залива Трёшникова, максимальные глубины в центре которой превышают 1200 м. Южный склон котловины имеет большой уклон, с северной стороны наблюдается плавный подъем дна от 800 м в котловине до 300–400 м в районе бровки шельфа, глубина на которой в данном районе моря Дейвиса составляет 330 м. Континентальный склон в районе разреза достаточно крутой, здесь на участке разреза длиной 25 км глубина дна увеличивается от 330 до 2500 м. В целом такой рельеф дна типичен для шельфа прибрежных антарктических морей. Глубокие котловины внутри шельфа могут быть естественными резервуарами для накопления холодных и плотных шельфовых вод, а мелководный порог в районе бровки

препятствует проникновению теплых циркумполярных вод на шельф. Обращает на себя внимание значительный уклон дна шельфа от его бровки в сторону берега, отличающий этот район от соседних морей Содружества и Моусона.

Как и для любого прибрежного района Восточной Антарктиды, основной интерес с точки зрения океанологического режима представляют циркумполярная глубинная и антарктическая шельфовая вода и их модификации.

Рис. 1. Море Дейвиса и расположение разреза, выполненного в 2021 году (красные значки), и разрезов, выполненных в 2017 году (синие значки)



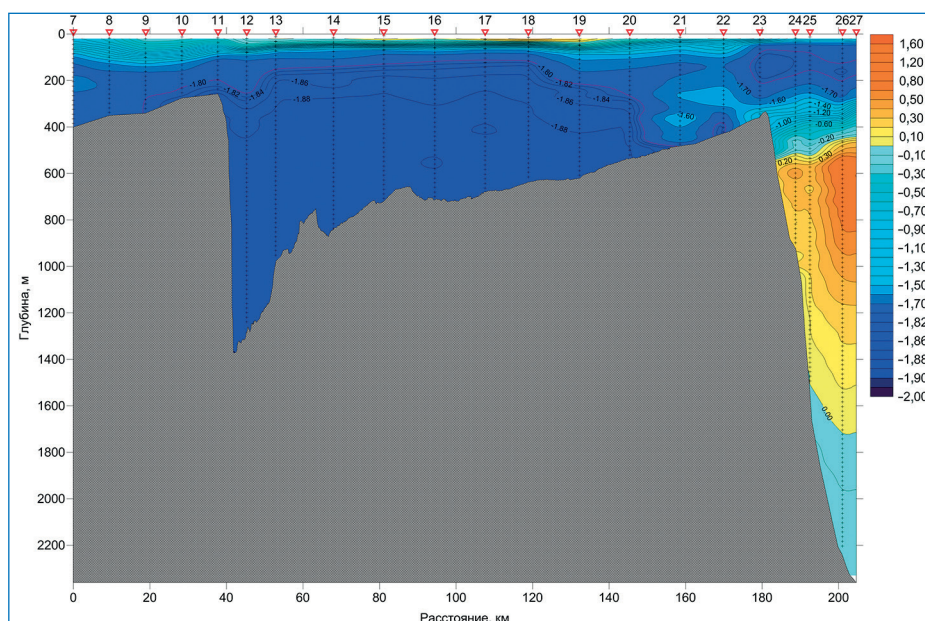


Рис. 2. Потенциальная температура на разрезе в море Дейвиса, выполненном НЭС «Академик Трёшников» в январе 2021 года

Циркумпольная глубинная вода (ЦГВ) на данном разрезе (рис. 2) вплотную примыкает к континентальному склону, что связано с отсутствием у дна материкового склона в этом районе холодных и плотных шельфовых вод, находящихся в процессе каскадинга, т. е. в процессе опускания в придонном слое под действием силы тяжести (как это имеет место на некоторых участках материкового склона в сопредельных морях Моусона и Содружества). Ядро теплых ЦГВ (потенциальная температура в области склона 0,5–1,5 °С) располагается на глубинах 600–650 м, то есть значительно глубже бровки шельфа, поэтому проникновение теплых ЦГВ на шельф в данном районе затруднено. При этом на станциях, расположенных в непосредственной близости от бровки (до 30 км в сторону берега), на глубинах 250–460 м обнаружена относительно теплая вода (температура от –1,5 °С до –1,6 °С), что, очевидно, связано с поступлением на шельф модифицированных ЦГВ (МЦГВ, воды верхнего слоя ЦГВ в глубоководной части разреза) через мелководный порог. Между МЦГВ и наблюдаемой южнее холодной антарктической шельфовой водой (АШВ) наблюдается термохалинный фронт. Видимо, процессы, связанные с неустойчивостью в области фронта, в совокупности с влиянием неровностей дна создают условия для формирования сложной мезомасштабной структуры вод, наблюдаемой на разрезе в области между фронтом и бровкой шельфа и проявляющейся в виде теплых и холодных образований. Обнаружение такой сложной структуры вод в районе внешней части шельфа (а не в области верхней части материкового склона, где обычно наблюдается Антарктический склоновый фронт) является интересным результатом этих наблюдений и нуждается в дальнейшем анализе и проведении новых наблюдений в данном районе.

Южнее фронта на шельфе практически всю толщу глубже 200 м занимает АШВ (вода с температурой около точки замерзания, т. е. ниже –1,8 °С). Соленость обнаруженной АШВ находится в диапазоне от 34,4 psu вблизи горизонта 200 м до 34,47 psu в придонном слое. Отметим, что от глубоководной впадины до описанного выше фронта температура и соленость придонного слоя АШВ характеризуются удивительной однородностью (температура от –1,882 до –1,885 °С, соленость

34,471–34,474 psu), что может говорить о едином источнике и слабой трансформации в процессе их перемещения. Заметим, что выполненные в 2017 году наблюдения в этой впадине показали соленость придонного слоя 34,51 psu. Это, видимо, отражает заметную межгодовую изменчивость в характеристиках АШВ и, соответственно, изменчивость в интенсивности их формирования. Очевидно, целесообразно продолжить исследование для изучения изменчивости процессов формирования и распространения АШВ и возможной их роли (наряду с другими факторами) в образовании антарктической донной воды (АДВ) в районе моря Дейвиса.

Тем не менее рассчитанные для этой водной массы значения нейтральной плотности показывают, что в самой глубокой части котловины, на глубинах более 700 м, она достигает 28,27 единиц условной плотности и более, что, учитывая выполненные ранее в других регионах Южного океана исследования, позволяет рассматривать ее как потенциально способную участвовать в формировании АДВ. Учитывая значительную расчлененность рельефа дна в море Дейвиса, нельзя исключать, что наиболее плотная АШВ из котловины может распространяться по глубоководным желобам до самой бровки и выходить на склон, а следовательно, участвовать в формировании АДВ. Однако на сегодняшний день данных, подтверждающих этот факт, не обнаружено. Кажется целесообразным проведение экспедиционных исследований западнее данного разреза с целью определения роли моря Дейвиса как еще одного источника антарктической донной воды.

В районе станции Русская в период с 9 по 11 февраля был выполнен разрез по меридиану 138° 30' з. д. (рис. 3а). С целью выявления возможной межгодовой изменчивости его положение было запланировано совпадающим с выполненным в 2020 году. При этом в южной части, за счет добавления четырех станций, разрез был продлен до береговой линии, а на севере, за счет добавления одной станции, достиг изобаты 3000 м (основание материкового склона). Длина разреза составила 141 км (в 2020 году она составляла 87 км), а количество точек зондирования увеличилось до 18 с расстояниями между ними на шельфе не более 5 км.



Район между морями Росса и Амундсена, где располагается станция Русская, практически не обеспечен данными натурных наблюдений, но при этом весьма интересен с океанографической точки зрения, поскольку находится в области, разграничивающей принципиально отличные по процессам на шельфе и материковом склоне части Южного океана. Как известно, для Восточной Антарктики характерно образование на шельфе холодной и плотной антарктической шельфовой воды, которая является

основной компонентой в процессах смешения водных масс при образовании АДВ. На шельфах Западной Антарктиды образования АШВ не происходит, там шельф заполняет относительно теплая и соленая ЦГВ, поступающая сюда с антарктическим циркумполярным течением, что приводит к таянию шельфовых и выводных ледников. В районе между морями Росса и Амундсена происходит смена структур вод шельфа и материкового склона с холодных для Восточной Антарктиды к более теплым, характерным для прибрежной области Западной Антарктиды. Это определяет как важность получения данных натурных наблюдений для этого района, так и сложность в определении конкретного места проведения зондирований и последующей интерпретации результатов.

Участок от восточной границы моря Росса (мыс Колбек) до мыса Беркс, где расположена станция Русская, отличается узким шельфом и имеет самый большой уклон материкового склона в западном секторе Антарктики. В районе станции Русская и районе западнее полуострова Эдуарда VII выявлены глубокие (более 1000 м) депрессии, связанные с материковым склоном заглужениями в районе бровки шельфа, переходящими в каньоны. Такая структура дна шельфа и склона создает условия для проникновения на шельф теплых ЦГВ и усложняет картину их распространения в регионе. Океанографические работы, выполненные в сезонный период 59-й и 65-й РАЭ, показали отсутствие антарктической шельфовой воды и наличие мощного (до 400 м) слоя антарктической поверхностной воды, чьи характеристики ( $T < -1,6$  °C, в ядре до  $-1,8$  °C и  $S \leq 34,2$  psu) позволяют связать существенную глубину перемешивания с сильными длительными ветрами, характерными для данного региона, а не с длительной интенсивной достигающей дна термохалинной конвекцией, возникающей в процессе осенне-зимнего ледообразования. В итоге данные наблюдений прошлых лет не показали присутствия в районе достаточно плотной холодной воды, которая могла бы быть идентифицирована как АШВ, а регион — местом формирования АДВ. Наибольший интерес в данном

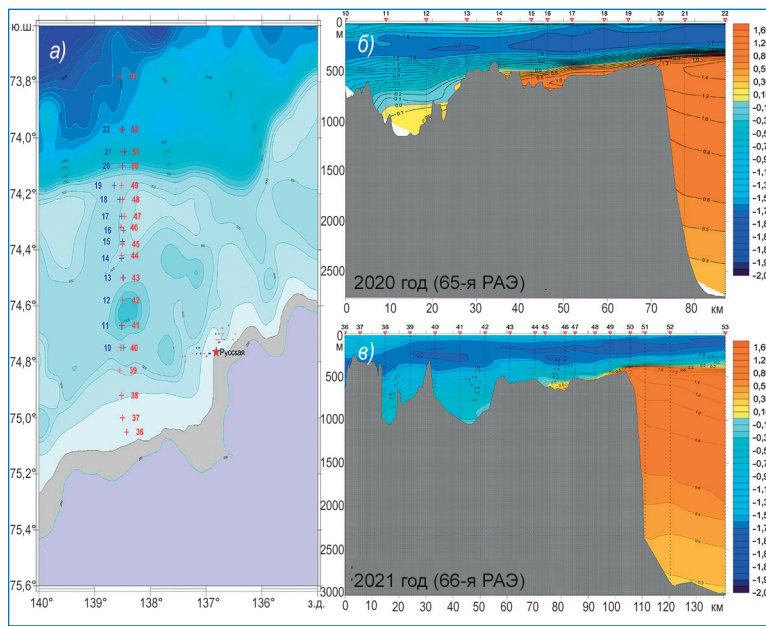


Рис. 3. Схема работ в районе станции Русская: а) расположение станций в 2020 (синие значки) и в 2021 (красные значки) годах; потенциальная температура на разрезе 138°30' з. д. в 2020 (б) и 2021 (в) годах

районе представляет модифицированная циркумполярная глубинная вода, которая проникает глубоко на шельф. Разрез по меридиану 138°30' з. д., который в 2021 году был продлен до береговой линии, показал не только масштабы распространения МЦГВ на шельфе, но и их межгодовую изменчивость (рис. 3б).

Строение водной толщи в районе бровки шельфа оказалось схожим с данными 65-й РАЭ — температурный максимум над склоном у бровки обнаруживается на глубинах около 430 м, а глубина дна на бровке около

500 м. Таким образом, подтверждается тот факт, что ЦГВ в данном районе поступает на шельф не только через депрессию восточнее разреза (максимальная на разрезе температура и соленость у дна наблюдаются на расстоянии около 25 км от бровки, на глубине 671 м и составили 0,68 °C и 34,58 psu). Она входит на шельф и непосредственно в створе разреза (температура и соленость на бровке 1,35 °C и 34,72 psu при глубине дна 540 м) и смещается далее на юго-восток. В южной части разреза, в глубокой части депрессии на глубинах более 1000 м, обнаружена вода с температурой  $-0,3...0,5$  °C и соленостью около 34,4 psu. Предположение, что ЦГВ в значительно модифицированном виде по глубоководным котловинам могут достигать практически самого берега, удалось подтвердить — дополнительные станции в южной части разреза показали, что даже в 10–15 км от береговой линии на глубине более 500 м залегают воды с температурой до  $-0,33$  °C и соленостью 34,40 psu.

В части межгодовой изменчивости видны существенные отличия от разреза, выполненного в 2020 году: отмечено осязаемое ослабление заточка ЦГВ на шельф, что отразилось на характеристиках придонного слоя. Изотерма 0 °C сместилась к северу, ближе к бровке шельфа на 30–35 км. Соответственно, понизилась температура придонного слоя в южной части разреза (для совпадающих станций — на 0,5 °C), а его соленость уменьшилась в среднем на 0,05 psu. Отметим, что на разрезе 2014 года, в депрессии, расположенной на 15 миль к востоку от разреза 138°30' з. д., вода в придонном горизонте на подобных глубинах была значительно теплее и солонее (0,6–0,8 °C, около 34,50 psu). Можно предполагать, что охлаждение теплой воды связано также и с взаимодействием с расположенным южнее ледником. Таким образом, выполненные наблюдения позволили расширить наше представление о некоторых особенностях режима вод шельфа и материкового склона этого практически неизученного района. Перспектива возобновления работы станции Русская станет поводом для дальнейших исследований океанографического режима региона, и по-

лученная в 65-й и 66-й РАЭ информация будет важной основой для планирования этих исследований.

Завершающие выполнение программы глубоководных океанологических исследований в 16-м рейсе НЭС «Академик Трёшников» работы были проведены в проливе Брансфилд, расположенном между Южными Шетландскими островами и северной оконечностью Антарктического полуострова.

Район Южного океана у северной оконечности Антарктического полуострова является весьма сложным с точки зрения формирования структуры и циркуляции вод. Здесь взаимодействуют воды, переносимые собственно АЦТ, воды из морей Беллинсгаузена и Уэдделла. Водные массы из этих регионов имеют существенно разные характеристики, и их взаимодействие формирует сложную картину распределения термохалинных параметров, а наличие большого количества островов, сложная картина топографии дна приводят к не очень понятной на сегодняшний день схеме циркуляции вод. Кроме того, изменение свойств и структуры вод в котловине пролива Брансфилд может служить индикатором процессов климатического масштаба. Поэтому задумана и реализуется программа регулярных наблюдений на разрезе поперек пролива. Наблюдения на разрезе в проливе Брансфилд отображали сложную структуру водных масс, характерных для этого района, а также их существенную межгодовую изменчивость.

К выполнению разреза в проливе Брансфилд судно приступило сразу после завершения логистических операций на станции Беллинсгаузен. За двое суток (10–11 марта) был выполнен разрез из 11 станций общей протяженностью 119 км. Положение станций на разрезе совпадало с разрезами 2016–2020 годов (рис. 4). В северной части разреза традиционно преобладают теплые и со-

ленные водные массы, поступающие с юго-запада из моря Беллинсгаузена. Следует отметить, что их объем и температура заметно превышают значения для ряда предыдущих лет, что может быть связано как с межгодовой, так и сезонной изменчивостью. В 2021 году (как и в 2020 году) разрез выполнялся в начале марта, тогда как в остальные годы (2016–2019) наблюдения проводились во второй половине апреля. Это объясняет высокие температуры в поверхностном слое, где вода с  $T > 0^\circ\text{C}$  распространялась практически до южного берега пролива. В части пролива, примы-

кающей к Антарктическому полуострову, преобладает влияние холодных вод из моря Уэдделла. Наиболее интересным результатом можно считать значительное изменение характеристик водной массы, которую принято именовать водой пролива Брансфилд (ВПБ). Данная водная масса, заполняющая глубоководную изолированную впадину пролива, в 2021 году была значительно холоднее, чем за год до этого, практически вернувшись к характеристикам, наблюдаемым в 2016 году (рис. 5).

Минимальная температура в придонном слое составила  $-1,747^\circ\text{C}$ , соленость выросла до 34,593 psu, в то время как в 2020 году были получены значения  $-1,578^\circ\text{C}$  и 34,556 psu соответственно. Таким образом, ранее намечавшаяся тенденция к потеплению вод глубинных слоев пролива в 2021 году оказалась нарушенной. Это может быть вызвано как усилением притока холодных вод из моря Уэдделла, так и ослаблением поступления теплых вод из моря Беллинсгаузена. В любом случае, обнаруженный факт требует более глубокого анализа, а также подтверждает необходимость и перспективность продолжения наблюдений в данном регионе Южного океана.

Океанографические наблюдения, проведенные с борта НЭС «Академик Трёшников» в период

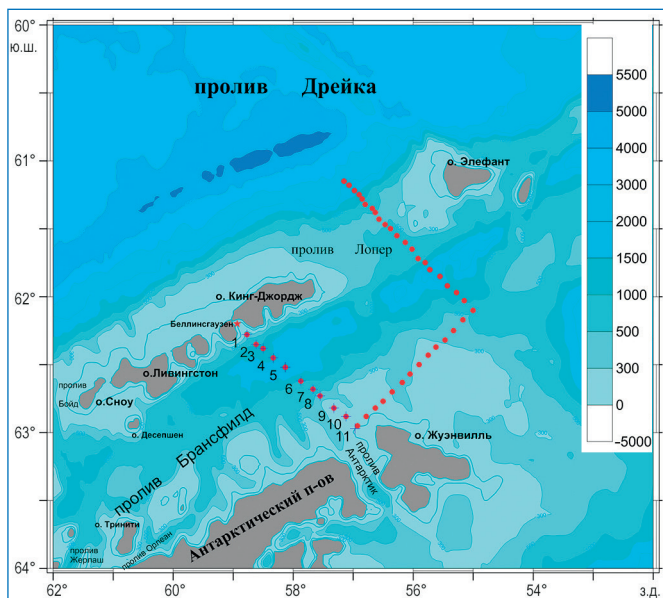


Рис. 4. Положение станций в проливе Брансфилд, выполненных в период 61–66-й РАЭ. Крестиками и номерами показаны станции, выполненные в марте 2021 года

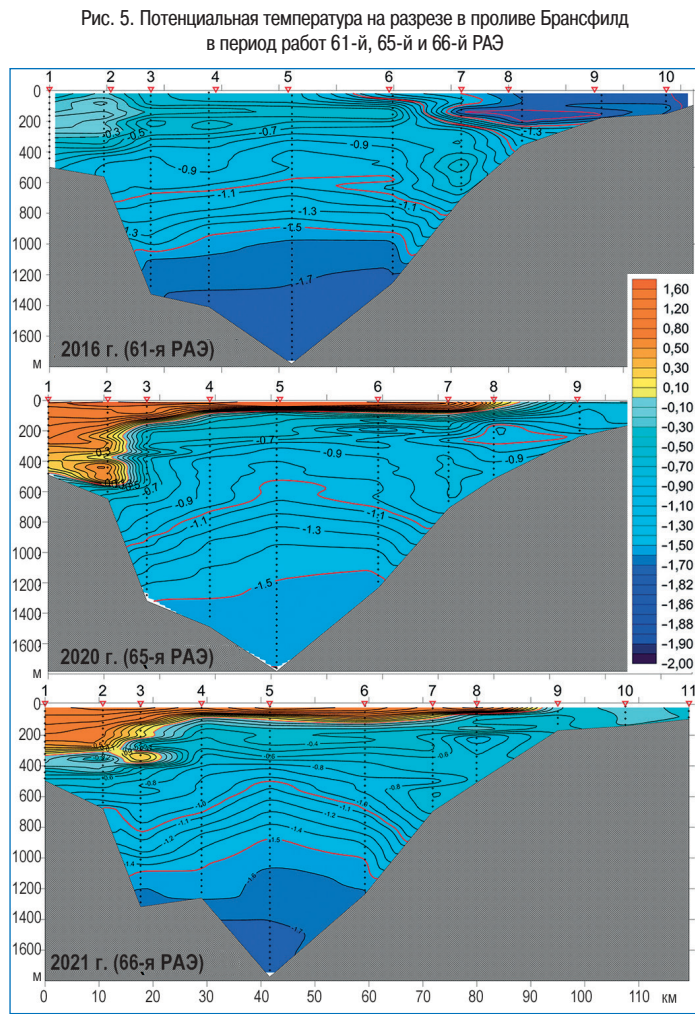


Рис. 5. Потенциальная температура на разрезе в проливе Брансфилд в период работ 61-й, 65-й и 66-й РАЭ



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

