

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА В 14-м РЕЙСЕ НЭС «АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ»

Выполнение программы глубоководных океанографических наблюдений в сезонный период 65-й РАЭ возлагалось на НЭС «Академик Трёшников», которое после некоторого перерыва было вновь направлено в Антарктику. Это был 14-й рейс спущенного на воду в 2012 году судна, проходивший в период с 24 октября 2019 года по 20 апреля 2020 года, и его основной задачей было логистическое обеспечение российских антарктических станций. За прошедший с момента спуска на воду период судно активно работало как в южных, так и в северных полярных широтах. При этом экипаж приобрел серьезный опыт в проведении океанографических исследований, что в сложных ледовых и погодных условиях Арктики и Антарктики часто является непростой задачей.

Для выполнения глубоководных океанографических наблюдений на НЭС «Академик Трёшников» используются зондирующий комплекс “Sea Bird 911+”, оборудованный рамой для крепления батометров, и автономный зонд-профилограф “Sea Cat 19+”. В данной экспедиции первый использовался для выполнения зондирований на разрезах, второй — при выполнении эпизодических станций. Всего за рейс судовым зондом “Sea Bird 911+” на запланированных разрезах были выполнены 33 океанографические станции, автономным зондом “Sea Cat 19+” выполнена 41 эпизодическая станция.

Как и все последние годы, в условиях дефицита времени районы проведения глубоководных океанографических наблюдений сопрягались с запланированным маршрутом и местоположением обслуживаемых антарктических станций. Научная программа исследований была составлена в лаборатории Южного океана отдела океанологии АНИИ с учетом задач, поставленных в теме «Исследование режимно-климатических характеристик Антарктики и Южного океана» плана НИОКР Росгидромета. В соответствии с ними основной целью исследований было изучение процессов в океане в области шельфа и материкового склона Антарктиды. При этом если в предыдущий период основными районами работ были шельфовые области Восточной Антарктиды (моря Содружества, Дейвиса, Моусона, известные своей важной ролью в формировании плотных шельфовых и донных вод), то в период 65-й РАЭ, исходя из запланированного маршрута судна, появилась возможность провести исследования редко посещаемых и слабо изученных (как с океанографической, так и с гидрографической точек зрения) районов Западной Антарктики. Причиной этого стали задачи, которые Российская антарктическая экспедиция поставила в связи с целью возобновить деятельность антарктической станции Русская. Вторым районом исследова-

ний стал пролив Брансфилд — район расположения станции Беллинсгаузен.

Станция Русская была открыта в марте 1980 года в одном из наименее изученных районов антарктического побережья в точке с координатами 74°46' ю.ш, 136°52' з.д., на мысе Беркс. На момент открытия станции участок антарктического побережья от моря Росса до западного побережья Антарктического полуострова протяженностью более 3000 км оставался «белым пятном». С огромной территории между 90° и 160° з.д. не поступало данных метеорологических наблюдений, в этом районе Тихоокеанского сектора практически не проводились океанографические исследования. Открытие станции Русская должно было в известной мере восполнить этот пробел.

Район станции характеризуется чрезвычайно суровыми погодными условиями, формирующимися под влиянием интенсивной циклонической деятельности. Основным фактором, определяющим суровость климата, являются сильные ветры (в районе станции в течение большей части года их скорость превышает 10 м/с, наблюдались порывы более 70 м/с).

Особенности крупномасштабной океанической циркуляции в Тихоокеанском секторе Южного океана в сочетании с атмосферной циркуляцией играют важную роль в формировании ледового режима региона. Основным элементом циркуляции вод сектора является крупномасштабный круговорот Росса, формирующийся во взаимодействии потока Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) с донной топографией в районе между 180° и 140° з.д. После значительного смещения к югу при пересечении подводного хребта Маккуори в районе меридиана 160° в.д. АЦТ, следуя направлению южно-тихоокеанского хребта, в районе 180° разворачивается к северо-востоку. В области разломов Удинцева и Элтанин АЦТ разворачивается на восток — юго-восток. Его южная струя в районе разлома Удинцева поворачивает к югу, формируя восточную ветвь круговорота Росса, смещение вод с которой в южном направлении составляет примерно 10° широты. Основная часть вод этой струи поворачивает к востоку и в виде достаточно широкого и слабо-

интенсивного потока перемещается в сторону Антарктического полуострова и пролива Дрейка. Воды западной периферии этого южно-направленного потока, разворачиваясь далее к юго-западу, достигают области материкового склона в районе 150° з.д. и пополняют антарктическое склоновое течение, следующее на запад, в море Росса. Такая картина циркуляции, а также наличие большого количества выводных ледников,

НЭС «Академик Трёшников» во льдах моря Моусона (65-я РАЭ).
Фото С.В. Кашина



продуцирующих множество айсбергов, приводит к формированию в районе станции Русская мощного и сплоченного ледяного массива, который большую часть года блокирует подступы к станции. Все это вместе определяет как труднодоступность станции даже для современных судов, так и очень слабую изученность района в океанографическом и гидрографическом плане. Важной особенностью ледового режима района от мыса Колбек до мыса Дарт, где и располагается станция, является ежегодно формирующаяся широкая сплошная полоса припая и цепочка стационарных полыней, развитых в навигационный период почти на всем протяжении припайно-ледниковой береговой линии.



Океанографические работы в районе станции Русская (65-я РАЭ).
Фото С.В. Кашина

В последние годы в прибрежных водах Западной Антарктиды судами разных стран проводились экспедиционные океанографические исследования. Наиболее изученным на сегодня является регион моря Амундсена, океанографические исследования которого в 2008 году проводили и ученые ААНИИ на НЭС «Академик Федоров». Вместе с тем район между морями Росса и Амундсена, где располагается станция Русская, практически не обеспечен данными натурных наблюдений. А этот район Южного океана весьма интересен с океанографической точки зрения, поскольку он находится в области, разграничивающей принципиально отличные по процессам на шельфе и материковом склоне части Антарктики. Как известно, для Восточной Антарктиды характерно образование на шельфе холодной и плотной антарктической шельфовой воды (АШВ), которая является основной компонентой в процессах смешения водных масс при образовании антарктической донной воды (АДВ). Эти процессы имеют место и в море Росса, по существующим представлениям являющемся вторым по значимости (после моря Уэдделла) регионом формирования этой важнейшей с климатической точки зрения водной массы. На шельфах Западной Антарктиды образования АШВ не происходит, там шельф заполняет относительно теплая и соленая циркумполярная глубинная вода (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 заглуплениями 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. Последний раз океанографические работы у Русской выполнялись в сезонный период 59-й РАЭ (в 2014 году), когда с борта НЭС «Академик Федоров» был выполнен разрез, расположенный вдоль оси подводной долины, ведущей от ледника Геца к бровке шельфа. Распределения температуры и солености на разрезе показали отсутствие антарктической шельфовой воды и наличие мощного слоя антарктической поверхностной воды, находящейся в стадии осеннего охлаждения. Сделан вывод, что на этом участке шельфа нет условий для формирования холодных плотных вод, способных опускаться по склону и вентилировать глубинные воды или формировать АДВ. Относительно теплая и соленая вода в депрессии шельфа (температура 0,6–0,8 °С, соленость около 34,6 psu) подтверждает этот вывод и позволяет предполагать ее важную роль в таянии шельфового ледника Геца. Программа океанографических работ 65-й РАЭ в районе станции Русская предусматривала выполнение разрезов, положение и протяженность которых определялись оперативно, исходя из представлений о режиме вод района, ледовой обстановки и наличия времени. В результате удалось выполнить 2 разреза. Разрез 1 расположен в районе восточной границы моря Росса, западнее депрессии дна шельфа у мыса Колбек

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 заглуплениями 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. Последний раз океанографические работы у Русской выполнялись в сезонный период 59-й РАЭ (в 2014 году), когда с борта НЭС «Академик Федоров» был выполнен разрез, расположенный вдоль оси подводной долины, ведущей от ледника Геца к бровке шельфа. Распределения температуры и солености на разрезе показали отсутствие антарктической шельфовой воды и наличие мощного слоя антарктической поверхностной воды, находящейся в стадии осеннего охлаждения. Сделан вывод, что на этом участке шельфа нет условий для формирования холодных плотных вод, способных опускаться по склону и вентилировать глубинные воды или формировать АДВ. Относительно теплая и соленая вода в депрессии шельфа (температура 0,6–0,8 °С, соленость около 34,6 psu) подтверждает этот вывод и позволяет

предполагать ее важную роль в таянии шельфового ледника Геца.

Программа океанографических работ 65-й РАЭ в районе станции Русская предусматривала выполнение разрезов, положение и протяженность которых определялись оперативно, исходя из представлений о режиме вод района, ледовой обстановки и наличия времени.

В результате удалось выполнить 2 разреза. Разрез 1 расположен в районе восточной границы моря Росса, западнее депрессии дна шельфа у мыса Колбек

Район российской антарктической станции Русская.
Показано положение разрезов 1 и 2, выполненных в феврале 2020 года
НЭС «Академик Трёшников».
Синими значками показан разрез, выполненный в феврале 2014 года
НЭС «Академик Федоров»



полуострова Эдуарда VII. Он был выполнен 7 февраля 2020 года по меридиану 156° з.д., состоял из 6 станций и имел протяженность 35 км.

В период с 24 по 25 февраля в 250 милях восточнее, вблизи станции Русская, был выполнен разрез 2, длина которого составила 87 км. Состоявший из 13 станций, он пересек практически весь шельф, относительно узкий в этом регионе. В отличие от разреза 1, который пересек лишь внешнюю 20-километровую часть шельфа, шельфовый участок разреза 2 имеет протяженность 70 км, в его створе наблюдается и локальная депрессия с глубинами более 1000 м в южной части, и относительно мелководный участок (глубины до 300 м) в центральной части. Внешний участок шельфа, протяженностью около 40 км, отличается более сложным рельефом дна, чем на разрезе 1. Южная станция разреза находится всего в 20 милях от фронта шельфового ледника Корделла-Халла.

Основной вопрос, ответ на который планировалось получить по результатам наблюдений, — присутствуют ли в районе плотные шельфовые воды, формирование которых связано с конвективными процессами в прибрежных (прибарьерных, запираемых) полынях в ходе осенне-зимнего ледообразования. Такие процессы имеют место в соседнем регионе — море Росса и ведут к формированию АДВ. Другая важная задача — определение факта присутствия, характеристики степени трансформации теплых и соленых ЦГВ, проникающих на шельф из глубокого океана.

Предварительный анализ данных наблюдений позволяет сделать выводы, частично отвечающие на поставленные выше вопросы. Антарктическая шельфовая вода (температура около температуры замерзания) в регионе не обнаружена. Косвенным отражением возможности глубокой конвекции в этом регионе является обнаружение мощного (до 400 м) поверхностного слоя с температурой ниже $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, в ядре до $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако низкая соленость слоя (не выше 34,2 psu) позволяет 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 не показали присутствия в районе достаточно плотной холодной воды, которая могла бы быть идентифицирована в качестве АШВ, а регион — местом формирования АДВ.

Если отсутствие плотных шельфовых вод на выполненных разрезах было в значительной степени ожидаемо (исходя из архивных данных, в том числе разреза 2014 года), то обнаружение на шельфе, особенно в районе, близком к шельфовому леднику Росса, слабо трансформированной ЦГВ стало достаточно неожиданным. Поскольку оба разреза расположены вблизи шельфовых депрессий, то, кажется, поступление теплых вод на шельф происходит в нескольких местах. Отметим близкие характеристики теплового слоя в створе обоих разрезов, при этом их распределение укладывается в предположение, что заток вод на шельф индивидуален для каждого разреза. На разрезе 1 самая высокая температура придонного слоя (около $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, соленость 34,64 psu) обнаружена на расстоянии 10–20 км от бровки шельфа. На бровке характеристики придонного слоя составляют у дна $-0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 34,34 psu. Это подтверждает факт поступления теплой воды на разрез

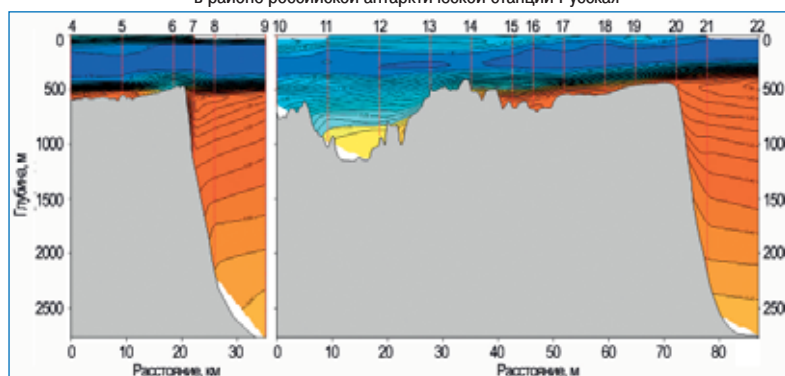
с востока, через заглупление в бровке шельфа на входе в депрессию дна в этом районе. В створе разреза ядро теплой ЦГВ в области верхней части материкового склона расположено несколько глубже бровки шельфа (на глубине около 600 м при глубине дна на бровке менее 500 м).

На разрезе 2 ситуация несколько иная. Здесь температурный максимум над склоном у бровки обнаруживается на глубинах около 450 м, а глубина дна на бровке около 500 м. Таким образом, ЦГВ на шельф поступает не только через депрессию восточнее разреза 2 (максимальная на разрезе температура и соленость у дна наблюдаются на расстоянии около 25 км от бровки, на глубине 650 м и составили $1,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 34,64 psu). Она входит на шельф и непосредственно в створе разреза (температура и соленость на бровке $1,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 34,70 psu при глубине дна 470 м) и смещается далее на юго-восток. В южной части разреза, в глубокой части депрессии на глубинах более 1000 м, обнаружена вода с температурой $0,1\text{--}0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и соленостью около 34,50 psu. Отметим, что на разрезе 2014 года, в депрессии, расположенной на 15 миль к востоку от разреза 2, вода на подобных глубинах была значительно теплее и солонее ($0,6\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, около 34,50 psu). Можно предположить, что охлаждение теплой воды связано с взаимодействием с расположенным южнее ледником.

Наконец, отметим важный фактор, от которого зависят свойства и интенсивность поступления теплых ЦГВ на шельф. Это структура и свойства ЦГВ в потоке Антарктического склонового течения. Узкий и крутой материковый склон и сочетание потока с севера (восточная ветвь круговорота Росса) и потока склонового течения из моря Амундсена приводят к тому, что теплая и соленая (для таких широт) ЦГВ поднимается здесь до уровня бровки шельфа, одновременно приближаясь к ней на близкое расстояние и создавая предпосылки для проникновения на шельф. Отметим, что в районе всех трех разрезов ее наблюдаемые характеристики очень близки (температура около $1,50\text{ }^{\circ}\text{C}$, соленость 34,70–34,72 psu), что указывает на отсутствие влияния вод шельфа на ее трансформацию в данном регионе. Таким образом, выполненные наблюдения позволили получить представление о некоторых особенностях режима вод шельфа и материкового склона этого практически неисследованного района. Перспектива возрождения станции Русская и перевод ее в разряд круглогодичных станет поводом для дальнейших исследований океанографического режима региона, и полученная в 65-й РАЭ информация будет важной основой для планирования этих исследований.

Работы НЭС «Академик Трёшников» в проливе Брансфилд были выполнены 9 и 10 марта 2020 года. За это время был выполнен разрез 3, состоящий из

Потенциальная температура на разрезах 1 (слева) и 2 (справа), выполненных в феврале 2020 года НЭС «Академик Трёшников» в районе российской антарктической станции Русская

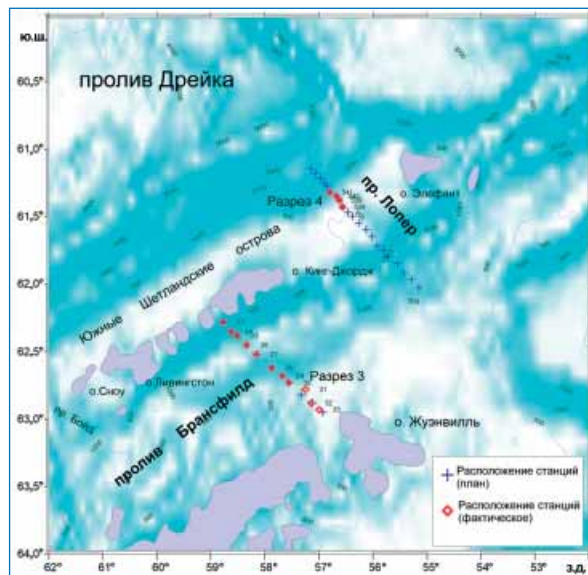


11 станций, который повторял разрезы, выполненные в 61–63-й РАЭ. В связи с дефицитом времени работы на разрезе, запланированные в проливе Лопер, были сокращены. Удалось выполнить 4 станции.

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 (хотя положение и объем наблюдений в значительной степени определяются выделенным временем и погодными и ледовыми условиями).

Наблюдения на разрезе в проливе Брансфилд отображали сложную структуру водных масс, характерных для этого района. В северной части разреза традиционно преобладают теплые и соленые водные массы, поступающие с юго-запада из моря Беллинсгаузена. Следует отметить, что их объем и температура заметно превышают значения для предыдущих лет, однако это может быть связано как с межгодовой, так и сезонной изменчивостью. В 2020 году разрез выполнялся в начале марта, тогда как в предыдущие годы наблюдения проводились во второй половине апреля. Это объясняет и высокие температуры в поверхностном слое, где вода с $T > 0$ °C распространялась практически до южного берега пролива. В части пролива, примыкающей к Ан-



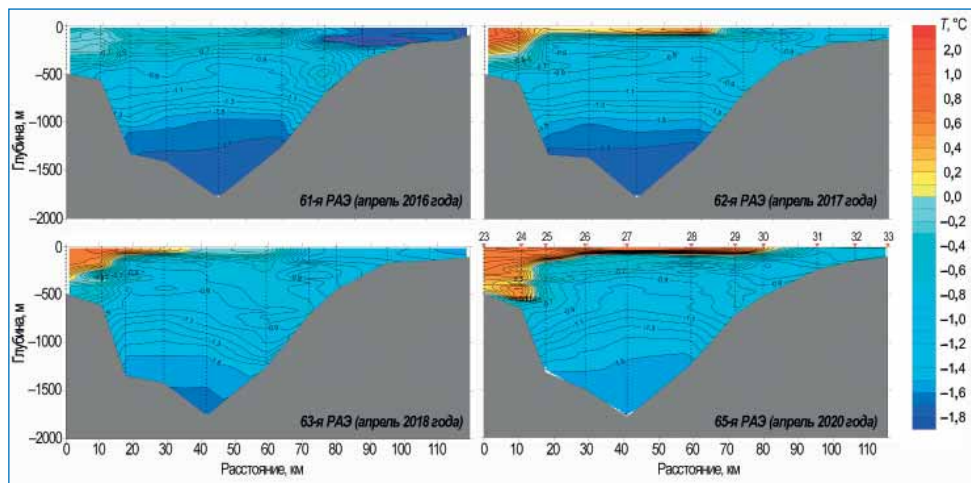
Запланированное и реальное положение разрезов в проливах Брансфилд и Лопер в период 65-й РАЭ

тарктическому полуострову, преобладает влияние холодных уэдделломорских вод. Интересным сопутствующим явлением стало значительное количество айсбергов в этом районе, источником которых служил гигантский айсберг А68, дрейфовавший в 100 милях к северо-востоку. Дрейф этих айсбергов отобразил направление преобладающего течения, направленного из моря Уэдделла вокруг северной оконечности Антарктического полуострова и далее на юго-запад вдоль южного берега пролива Брансфилд.

Водная масса, которую принято именовать водой пролива Брансфилд, заполняющая глубоководную изолированную впадину пролива, в 2020 году оказалась несколько теплее, чем в предыдущие годы (минимальная температура составила $-1,57$ °C, тогда как в предыдущие годы она была ниже $-1,7$ °C). В целом прошедший 5-летний период наблюдений на этом разрезе показал очевидную тенденцию к потеплению вод глубинных слоев пролива. Это может быть вызвано как усилением притока теплых вод из моря Беллинсгаузена, так и ослаблением поступления холодных вод из моря Уэдделла. Возможно и изменение характеристик поступающих вод, что может отражать эффект, связанный с глобальным потеплением. В целом результаты работ в проливе Брансфилд в 2020 году продолжают и дополняют данные о межгодовой изменчивости водообмена в этом районе.

Океанографические наблюдения, проведенные с борта НЭС «Академик Трёшников» в период 65-й РАЭ в тихоокеанском секторе Южного океана, 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 океанографического режима региона, особенно в связи с предполагаемым восстановлением работы станции Русская.

Потенциальная температура на разрезе в проливе Брансфилд, выполненном судами ААНИИ в 2016–2020 годах



Выражаем благодарность экипажу судна «Академик Трёшников» во главе с капитаном Д.А. Карпенко и особенно научно-технической службе судна во главе с помощником капитана по научной части М.Ю. Романовым за заинтересованное и ответственное отношение к выполнению океанографических работ.

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