

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Проведенная недавно реконструкция судна позволила значительно улучшить научно-технический потенциал НИС «Академик Александр Карпинский» и превратить его в современное многоцелевое геолого-геофизическое судно, способное обеспечить высокий уровень проведения сейсмических, гравимагнитных и геологических исследований континентальных окраин в Арктике и Антарктике, а также увеличить срок его эффективной эксплуатации.

Отчеты ответственных исполнителей всех сезонных программ и технических заданий приняты межведом-

ственной комиссией и переданы на хранение в фонды ААНИИ и организаций-участников экспедиции.

В заключение можно отметить, что в целом программа сезонной 60-й РАЭ была выполнена успешно и в полной объеме, а дальнейшая камеральная и лабораторная обработка полученных полевых материалов принесет немало новой информации о состоянии природной среды Антарктики.

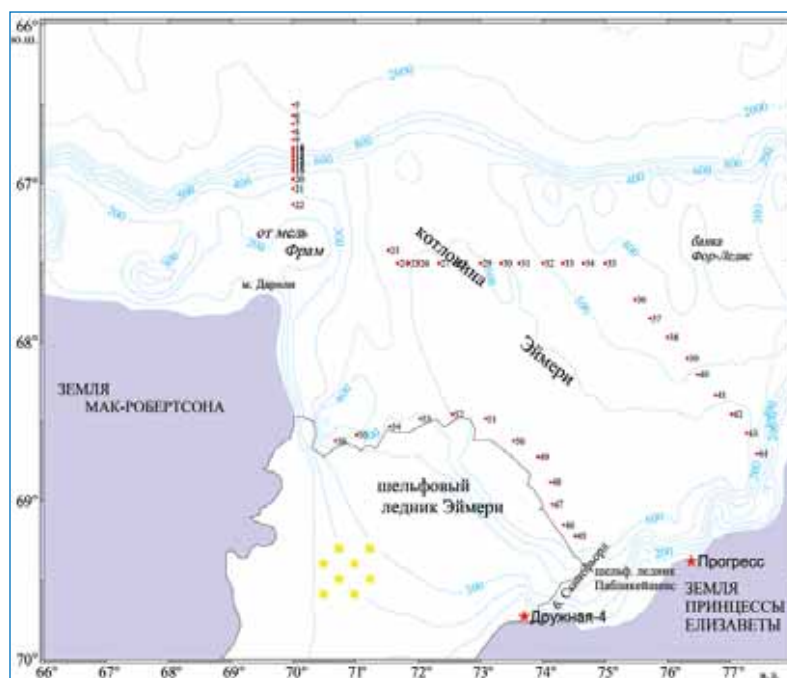
В.А. Кучин (РАЭ, ААНИИ)

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА В 39-м РЕЙСЕ НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ»

Как и все последние годы, основными задачами НЭС «Академик Федоров» в период работы 60-й сезонной РАЭ были транспортно-логистические операции по обеспечению деятельности российских станций в Антарктиде. Вместе с тем, несмотря на объективные трудности, в этом, 39-м по счету рейсе флагмана антарктического флота ААНИИ, проходившем в период с 8 ноября 2014 по 18 мая 2015 г., была выполнена достаточно обширная программа глубоководных океанографических исследований Южного океана. И не только выполнена, но и перевыполнена, т.к. в связи с появившимися возможностями при реализации графика движения судна была сделана 21 глубоководная станция дополнительно к программе исследований.

Как уже в течение последних двух десятков лет, основным объектом исследований было море Содружества и занимающий основную часть его шельфа залив Прюдс. Этот район стал объектом долговременного исследования ученых-океанологов ААНИИ не только потому, что здесь располагается нынешняя столица рос-

сийских исследований Антарктики — станция Прогресс и знание режима вод и льдов позволяет прогнозировать гидрометеорологическую обстановку и более обоснованно планировать операции по обеспечению станции. Море Содружества является также очень интересным и важным регионом для научных исследований. Выполненные впервые в 2004 г. на материковом склоне в районе 70-го меридиана наблюдения показали, что здесь образуется локальная модификация антарктической донной воды — донная вода залива Прюдс (ДВЗП) — плотная, холодная, обогащенная кислородом водная масса. Опускаясь по материковому склону, она пополняет слои глубинной и антарктической донной водных масс. Напомним, что образующаяся в некоторых областях шельфа и материкового склона Антарктиды (в первую очередь в морях Уэдделла и Росса) антарктическая донная водная масса оказывает существенное влияние на глобальную структуру и меридиональную циркуляцию вод Мирового океана. Эта вода, занимающая самый нижний слой океана, растекается по дну на север



Положение океанографических разрезов, выполненных в заливе Прюдс (НЭС «Академик Федоров» в период 60-й РАЭ).

вплоть до умеренных широт Северного полушария. Изменчивость скорости формирования антарктической донной воды влияет на изменение интенсивности меридиональной циркуляции и, в конечном счете, на изменения климата. Обнаружение районов производства донной воды, исследование механизмов ее формирования и распространения является важной океанологической и климатической задачей.

В дальнейшем, в период с 2005 по 2013 г., донная вода залива Прюдс была обнаружена на большинстве гидрологических станций, выполненных с борта НЭС «Академик Федоров» в долготном секторе 71–62° в.д. в области материкового склона Антарктиды. Как показали натурные и аналитические исследования, формирование этой воды происходит вблизи бровки шельфа, в области Антарктического склонового фронта, при взаимодействии холодной и плотной антарктической шельфовой воды с относительно теплой и соленой циркулярной глубинной водой, с дальнейшим перемещением результирующей смеси вниз и вдоль по склону за счет разных процессов. Собственно процесс опускания (или «каскадинг») полученной в результате смешения указанных водных масс донной воды залива Прюдс был обнаружен только на разрезах по 71 и 70° в.д. По мере опускания и дальнейшего перемешивания с окружаю-



НЭС «Академик Федоров» во льдах Южного океана, 2015 г.
Фото А.И. Нагаева.

Этот фронт разделяет холодные и относительно пресные воды верхней части материкового склона и наблюдаемые мористее более теплые и соленые глубинные воды, которые переносятся сюда с южной периферии антарктического циркумполярного течения. Процессы в области фронта играют важную роль в формировании и трансформации антарктических водных масс, в частности донной воды.

Исследования режима вод залива Прюдс в данной экспедиции было направлено как на продолжение изучения процессов в области материкового склона, так и на исследование и уточнение распространения и трансформации шельфовой воды и воды шельфовых ледников как важнейших участников процесса формирования донной воды. Эти исследования выполнялись в соответствии с программой, составленной в Лаборатории океанологических и климатических исследований Антарктики ААНИИ. Программа разработана исходя из задач темы 1.5.6.1 Плана НИОКР Росгидромета «Исследование режимно-климатических характеристик Антарктики и Южного океана». Океанографические наблюдения, выполненные в сезонный период 60-й РАЭ с борта НЭС «Академик Федоров», явились логическим продолжением натурных исследований, проводящихся в этом районе в рамках национальной и международных



Работа зондирующим комплексом «Sea Bird 911+» в заливе Прюдс.
Фото А.И. Нагаева.

щими водами, смесь пополняет антарктическую донную или циркумполярную глубинную водные массы на уровнях, соответствующих ее плотности.

Кроме того, данные предыдущих исследований этого района показали, что антарктическая шельфовая вода в основном формируется на юге залива Прюдс, вблизи шельфового ледника Эймери. При охлаждении в период ее нахождения под ледником Эймери, в процессе взаимодействия с нижней поверхностью шельфового ледника на глубинах более 200 м происходит ее трансформация в водную массу шельфовых ледников, имеющую температуру ниже точки замерзания при атмосферном давлении. Распространение обоих типов шельфовых вод на север происходит в основном вдоль западного края котловины Эймери, с дальнейшим выходом в район внешней бровки шельфа и смещением к западу, где они участвуют в процессах перемешивания, ведущих к формированию плотной воды, опускающейся вдоль дна материкового склона. Одним из главных элементов структуры вод этого района является антарктический склоновый фронт — достаточно узкая область повышенных горизонтальных градиентов температуры, солености и других океанологических характеристик.

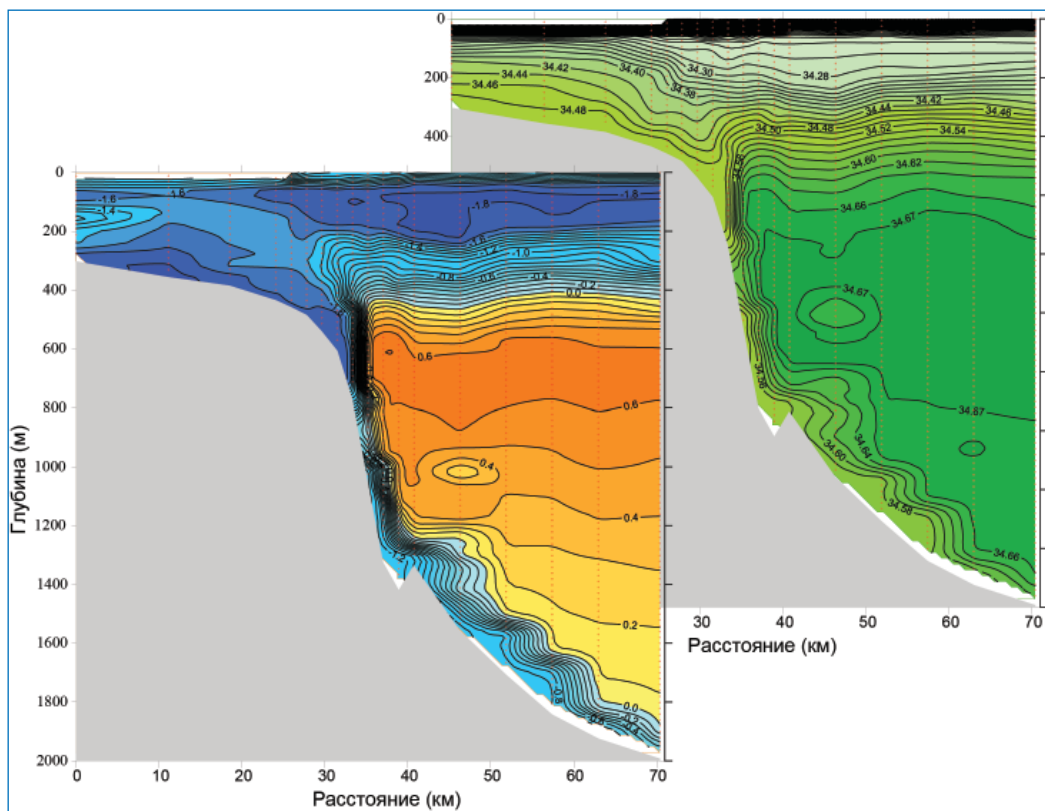
программ с 1997 г., в том числе в период недавно завершившегося МПГ 2007/08.

Основные цели океанологических работ были сформулированы в программе следующим образом:

- исследовать структуру вод и межгодовую изменчивость процессов, связанных с опусканием плотных вод в области «шельф — материковый склон» в западной части моря Содружества;
- исследовать распространение шельфовых вод и вод шельфовых ледников в заливе Прюдс.

Первая цель реализовывалась путем выполнения в западной части моря Содружества регулярно повторяемого STD-разреза по 70° в.д. В программе были указаны конкретные координаты каждой точки зондирования на разрезе, полностью совпадающие с таковыми для экспедиционных исследований 2011–2013 гг. и частично — с точками зондирования на разрезах по 70° в.д., выполненных в 2004–2007 гг.

Вторая цель была достигнута путем выполнения двух разрезов во внутренней области залива Прюдс. Первый разрез состоял из двух звеньев. Первое имело строго широтную ориентацию и пересекало внутришельфовую котловину Эймери с выходом на более мелководную



Потенциальная температура (слева внизу) и соленость (справа сверху) на разрезе по 70° в.д. в январе 2015 г.

восточную область залива Прюдс. Второе звено от восточной точки первого было ориентировано в район расположения станции Прогресс. Данные разреза должны показать распространение шельфовых вод и вод шельфовых ледников на значительном расстоянии от предполагаемого основного источника их формирования — шельфового ледника Эймери. Координаты станций этого разреза были указаны в программе экспедиции и выбраны на основе анализа архивных данных для данного района. Запланированное расстояние между станциями составляло 12–15 км.

Для изучения структуры и характеристик этих водных масс вблизи от их источника был запланирован разрез вдоль фронта шельфового ледника Эймери. Положение точек зондирования на данном разрезе определялось оперативно на борту судна с учетом реальной ледовой обстановки и предусмотренных в программе условий — максимально возможное приближение станций к барьеру ледника и расстояния между станциями — 15–20 км.

Все запланированные работы были успешно проведены, что отражено на представленной схеме. В итоге разрез по 70° в.д., выполненный в период с 26 по 27 января 2015 г., состоял из 18 станций и имел протяженность 70 км. Разрез в центральной части залива выполнен 27–29 января, имел длину 320 км и состоял из 22 станций. Наконец, разрез вдоль барьера шельфового ледника Эймери длиной 200 км состоял из 12 станций и был выполнен 2–3 февраля.

Зондирования на океанографических станциях выполнялись зондом “Sea Bird 911+”, при этом с помощью его батометрической секции производился отбор проб воды для определения содержания растворенного кислорода и биогенных элементов на горизонтах 0, 50, 100, 200, 500, 750, 1000, 2000, 3000 и в придонном слое.

Кроме того, дополнительно отбирались пробы в слоях минимумов и максимумов температуры и солености,

наличие и положение которых определялось оперативно в процессе зондирования «вниз» на каждой станции. Отбор проб производился при движении зондирующего комплекса вверх. Данные, полученные зондом “Sea Bird 911+”, сразу же обрабатывались на судовом компьютере с получением файлов зондирования и графиков распределения температуры и солености по глубине. Перед началом каждой станции в журнал заносились краткие данные о ледовой обстановке и основные метеорологические параметры.

С целью достижения необходимой дискретности по вертикали, скорость зондирования на всех станциях не превышала 1 м/с, а при подходе зонда ко дну и на верхних 100 м (при подъеме зонда к поверхности) уменьшалась до 0,5 м/с.

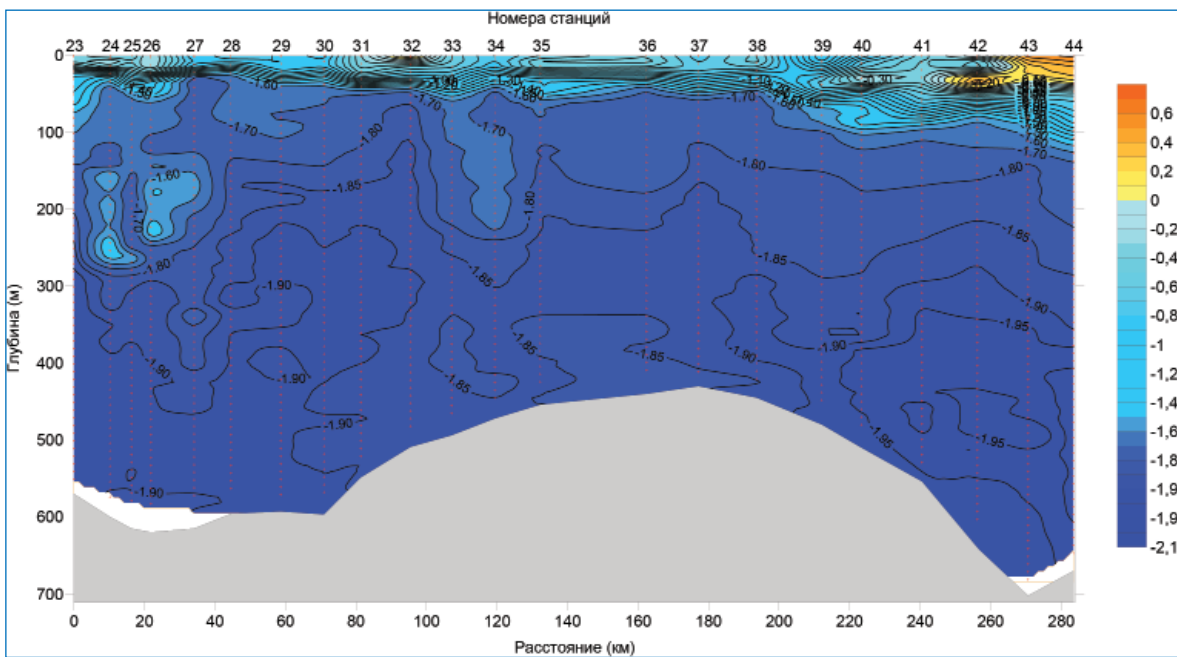
Приближение зонда ко дну контролировалось с помощью альтиметра PSA-916 D, установленного на несущей раме зонда. С целью обеспечения сохранности прибора зондирование прекращалось на расстоянии 15–20 м от дна, где и производился отбор проб на придонном горизонте.

Также на каждой станции производился отбор проб воды для определения солености с целью контроля работы датчика электропроводности зонда. Величина солености в этом случае определялась на судовом солемере AUTOSAL 8400B.

Полученные данные наблюдений существенно пополнили наши представления о режиме вод залива Прюдс.

Структура вод в области склонового фронта и прилегающих районах шельфа и материкового склона на разрезе по 70° в.д. в январе 2015 г. имеет свои особенности и принципиально отличается от наблюдавшейся в предыдущих экспедициях.

Нужно отметить, что в настоящей экспедиции была продолжена практика детального изучения распределения свойств вод в области верхней части материково-



Потенциальная температура на разрезе через внутреннюю область залива Прюдс.

вого склона — районе расположения антарктического склонового фронта — для более детального исследования процессов, приводящих к формированию и опусканию на абиссальные глубины плотных вод с шельфа. С этой целью расстояния между точками зондирования на этом участке разреза были уменьшены до 1 мили. Такое разрешение редко встречается в практике океанографических работ, тем более в области, обычно отличающейся сложными ледовыми условиями. Вертикальное разрешение составило 1 м.

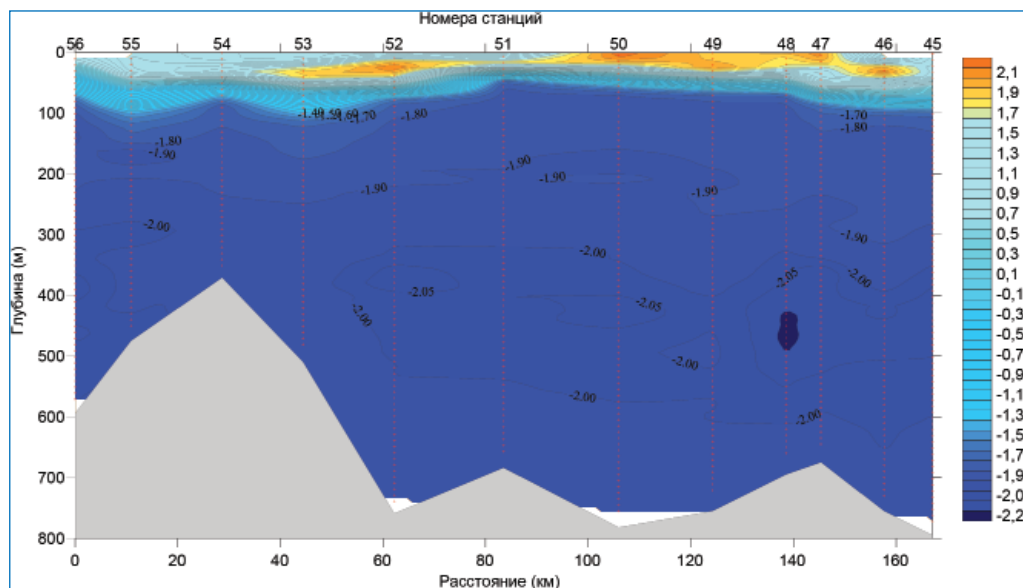
В данной экспедиции в очередной (восьмой) раз получена подробная картина мезомасштабной структуры вод на разрезе, выделены водные массы и определены их характеристики. Установлено, что в январе 2015 г. на склоне процесс опускания ДВЗП реализовался в виде придонного потока, а ранее наблюдавшиеся мезомасштабные вихри обнаружены не были. Другой интересной особенностью является обнаружение непосредственно на материковом склоне (глубина места около 800 м) слаботрансформированной антарктической шельфовой воды. В предыдущих

экспедициях эта водная масса не обнаруживалась мористее бровки шельфа (глубина бровки около 500 м). Причины этого явления могут быть связаны с более интенсивным формированием собственно шельфовой воды в предшествующий период и, как следствие, более длительной подпиткой ее потока, выходящего с юга залива в район бровки шельфа. Возможно, некоторое влияние оказало и имевшее место увеличение объемов воды шельфовых ледников, вносящих вклад в поток шельфовой воды и замедляющих ее трансформацию, выраженную, в частности, в увеличении температуры этой водной массы при ее взаимодействии с окружающими более теплыми водами.

Известным подтверждением последней гипотезы являются результаты наблюдений на двух других разрезах, выполненных во внутренней области залива Прюдс.

По крайней мере данные разреза через котловину Эймери показывают наличие достаточно мощного слоя переохлажденной воды (потенциальная температура ниже $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) как в западной части разреза (вблизи западного склона котловины), так и на юго-востоке, вблизи станции

Потенциальная температура на разрезе вдоль барьера шельфового ледника Эймери.



Прогресс. При этом на юго-востоке вода оказалась более холодной, а ее слой более мощным. Обнаруженное на данном разрезе распределение переохлажденной воды позволяет предположить или наличие второго (после ледника Эймери) источника воды шельфовых ледников (например, Западный шельфовый ледник на северо-востоке залива Прюдс), или предполагавшееся по некоторым предыдущим исследованиям существование выноса в северо-восточном направлении холодных вод из-под ледника Эймери в его восточной части.

Разрез вдоль барьера шельфового ледника Эймери в известной степени демонстрирует аналогичные закономерности. Очевидно, что в непосредственной близости от шельфового ледника температуры воды шельфовых ледников заметно ниже наблюдаемых на предыдущем разрезе. При этом более глубокая и протяженная восточная часть разреза демонстрирует очень низкие температуры (ниже $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже в одном ядре ниже $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) в достаточно мощном (200–250 м) промежуточном слое воды. Подобное распределение может подтверждать отмеченный выше вынос переохлажденных вод не только в западной, но и в восточной части ледника Эймери. По некоторым данным, вынос вод из-под восточной части ледника может иметь сезонный характер. Климатическая же схема циркуляции предполагает скорее заток шельфовых вод под ледник в восточной части его барьера.

Дальнейший анализ данных и сопоставление с архивными данными для этого района позволят уточнить схему происходящих здесь процессов и более обоснованно спланировать здесь дальнейшие экспедиционные исследования.

Необходимо отметить, что на большинстве выполненных станций на всех разрезах проводился отбор проб для гидрохимического анализа. Эту работу выполняли сотрудники Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО, Москва). Несомненно, эти наблюдения значительно повышают ценность проведенных натурных исследований, поскольку позволяют более обоснованно определять типы водных масс и оценивать особенности региона с точки зрения биопродуктивности. Все пробы воды анализировались в судовой лаборатории. Был выполнен стандартный комплекс гидрохимических определений, включавший в себя определения содержания растворенного кислорода, минерального фосфора, кремния, нитратного и нитритного азота. В большей части проб определялось содержание аммонийного азота, органических форм азота и фосфора.

Как сказано выше, в настоящей экспедиции удалось выполнить дополнительные океанологические наблюдения благодаря рациональному использованию некоторого запаса времени, образовавшегося в графике движения судна. Были спланированы и выполнены два дополнительных разреза в достаточно интересных с океанологической точки зрения районах — в северной части пролива Брансфилд и на материковом склоне Южно-Шетландских островов в южной части пролива Дрейка.

Наблюдения на первом разрезе были направлены на исследование затoka вод из моря Уэдделла в пролив Брансфилд. Положение второго разреза определялось желанием уточнить особенности структуры вод в южной части потока антарктического циркумполярного течения, проходящего через пролив Дрейка. В частности, установить наличие потока вод из атлантического в тихоокеанский сектор Южного океана в районе основания материкового склона, предполагавшегося ранее некоторыми исследователями.

Первый разрез начинался в области относительно глубоководной впадины в проливе Брансфилд и далее выходил на шельф северо-восточнее острова Кинг-Джордж в пролив Лопер.

Наблюдения показали, что глубоководная впадина залива Брансфилд заполнена достаточно холодными и плотными водами. Придонный слой мощностью около 500 м занимает вода с температурой ниже $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при солености около 34,6 psu). Такая низкая температура предполагает относительно недавнее приповерхностное формирование этой водной массы, что подтверждается высокими значениями содержания растворенного кислорода в пробах воды, которые для придонных слоев превышали 6,7 мл/л. Поэтому можно полагать, что холодные воды впадины пролива являются трансформированной шельфовой водой, сформировавшейся на шельфе в районе северной оконечности Антарктического полуострова. При этом не ясно, где именно — на его восточной (море Уэдделла) или западной стороне. Сравнение с архивными данными показывает, что в данном случае придонные слои в проливе заполняет более холодная вода, чем наблюдалась за предшествующий период.

Достаточно сложной и интересной оказалась структура вод на шельфе Южных Шетландских островов в проливе Лопер. Она отражает наличие достаточно холодных (температура ниже $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) вод в придонном слое в районе, расположенном непосредственно северо-восточнее острова Кинг-Джордж. Эта холодные водные массы могут быть образованы путем адвекции вод из пролива Брансфилд или же могут быть сформированы за счет конвективных процессов непосредственно на данном шельфе.

Второй разрез был выполнен на южной стороне пролива Дрейка. Этот разрез начинался на шельфе (глубины около 500 м), разделяющем глубокие области проливов Брансфилд и Дрейка, с выходом на более значительные глубины на материковом склоне (до 4000 м). При этом расстояния между станциями составляли от 5 до 9 км, что позволило получить достаточно подробную картину структуры вод в этом районе.

В пределах шельфа на этом разрезе не было обнаружено вод с отрицательными температурами, хотя он и был расположен в непосредственной близости от района шельфа с холодной водой придонного слоя, описанной выше. Наличие в шельфовой части этого разреза мезомасштабных образований отражает, скорее всего, взаимодействие вод пролива Брансфилд с водами пролива Дрейка, т.е. водами антарктического циркумполярного течения. В результате в районе верхней части материкового склона формируется фронт, разделяющий теплую и соленую циркумполярную глубинную воду и более холодную и менее соленую воду шельфовой области.

Кроме того, можно сделать вывод об отсутствии признаков поступления холодных донных вод в Тихий океан, по крайней мере в створе выполненного разреза.

Подводя итоги 39-го рейса НЭС «Академик Федоров», выполненного в рамках 60-й РАЭ, можно с удовлетворением отметить, что ученые ААНИИ не снижают интенсивности экспедиционных океанографических исследований Южного океана, несмотря на известные трудности, характерные для деятельности антарктической экспедиции в целом в последнее время. И хочется поблагодарить обновленный командный состав судна и весь экипаж за ответственное и заинтересованное отношение к этим работам.

*Н.Н. Антипов, В.П. Буныкин,
С.В. Кашин, В.А. Кучин (ААНИИ)*