

осуществляемого ААНИИ с 2005 года в рамках комплексных экспедиционных исследований на Шпицбергене. Анализ результатов термохалинного профилирования позволит составить картину распределения водных масс в заливах архипелага в весенний период. В совокупности с результатами проведенных ранее исследований собранные в весенней экспедиции 2016 года данные дополняют имеющиеся данные и позволят сделать выводы о характере межсезонной и межгодовой изменчивости океанологических процессов в исследуемых районах.

В ходе описываемых исследований 2016 года отрядом ААНИИ был приобретен положительный опыт взаимодействия с норвежским Университетским центром на Шпицбергене (ЮНИС). В последние годы льда в заливах острова Западный Шпицберген становится все меньше: весной 2016 года Грэн-фьорд был полностью свободен ото льда, и в районе посел-

ка Пирамида, судя по спутниковым картам, в период работы экспедиции ледяной покров был незначительной толщины. Таким образом, осуществить запланированный эксперимент по исследованию процессов энерго- и массообмена в припайном льду в районах намеченных работ 2016 года, базируясь в Баренцбурге или Пирамиде, не было возможности. В то же время в кутовой части Ван-Майен-фьорда лед был достаточной толщины, и проведение работ там с расположенной в поселке Свейя базы ЮНИС позволило выполнить план исследований в полном объеме. Есть основания надеяться, что ААНИИ и ЮНИС и в дальнейшем будут прилагать совместные усилия, направленные на развитие плодотворного научного сотрудничества на Шпицбергене.

*П.В. Богородский, И.В. Рыжов, К.В. Фильчук
(ААНИИ)*

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА В ЯНВАРЕ – АПРЕЛЕ 2016 ГОДА С БОРТА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ»

Продолжительность 40-го рейса НЭС «Академик Федоров», проходившего в рамках 61-й РАЭ, составила 216 суток. Выход из порта Санкт-Петербург состоялся 29 октября 2015 года, а возвращение — 31 мая 2016 года. Рекордная для последнего периода продолжительность пребывания судна в антарктических водах отразилась как на повышении объема выполненных работ по обеспечению российских станций, так и в заметном увеличении объема научных работ с борта судна. Основным видом научных исследований являлись, как всегда в последние годы, глубоководные океанологические наблюдения. Океанографические работы 2016 года заметно выделяются на фоне исследований последнего периода не только в количественном, но и в качественном отношении и в принципе начинают новый этап в экспериментальных исследованиях процессов формирования донных вод в регионе моря Содружества.

Как и все последние годы, океанографические наблюдения выполнялись в соответствии с программой, разработанной в лаборатории океанологических и климатических исследований Антарктики ААНИИ в соответствии с задачами ЦНТП Росгидромета на 2016 год. Программа разработана исходя из задач темы 1.5.6.1 Плана НИОКР Росгидромета «Исследование режимно-климатических характеристик Антарктики и Южного океана». Основной задачей глубоководных океанографических наблюдений являлось исследование структуры вод на шельфе и материковом склоне в районе залива Прюдс с целью получения новых данных о процессах формирования антарктических донных вод (АДВ). Второй задачей стало получение информации о режиме вод пролива Брансфилд и южной части пролива Дрейка, что является продолжением исследований, проведенных в этом районе в период 60-й РАЭ.

Напомним, что планомерное исследование океанографического режима залива Прюдс и примыкающих регионов моря Содружества в рамках сезонных работ РАЭ было начато в 1997 году. Одной

из основных целей программы стало изучение динамических процессов на шельфе и склоне, связанных с формированием АДВ и трансформацией глубинных вод Южного океана.

В период с 1997 по 2001 год экспедиционные работы были направлены на исследование структуры вод шельфовой области на юго-западе залива, вблизи фронта шельфового ледника Эймери, а также структуры вод шельфа и материкового склона более мелководной восточной части залива Прюдс (восточнее котловины Эймери). Были установлены характеристики и особенности распространения в заливе антарктической шельфовой воды (АШВ) и ее модификации — воды шельфовых ледников (ВШЛ), являющихся важнейшими составляющими процессов перемешивания, ведущих к формированию плотных вод, опускающихся в океанские глубины в районе материкового склона.

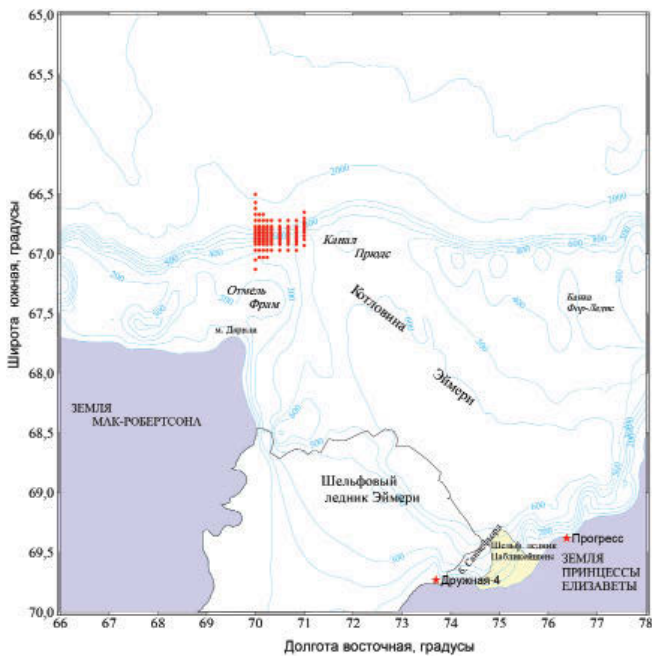
Океанологические работы в 49–52-й РАЭ (с 2004 по 2007 год) были направлены на исследование структуры вод на шельфе и материковом склоне в канале Прюдс и к западу от него, поскольку именно здесь можно было ожидать обнаружения признаков опускания приповерхностных вод в придонном слое над материковым склоном.

В соответствии с целью натурального эксперимента и исходя из опыта предыдущих исследований, станции располагались в виде меридиональных разрезов, пересекающих шельф и материковый склон. Расстояние между разрезами

НЭС «Академик Федоров» у станции Прогресс (декабрь 2015 года).



составляло 1–2 градуса долготы, а расстояние между станциями на разрезах в верхней части склона составляло 4–7 км. В этот период были выполнены разрезы по меридианам 72, 71, 70, 68, 66, 64 и 62° в.д. Разрезы имели различную протяженность (от 24 до 237 км), при этом разрез по 70° в.д. выполнялся в каждой экспедиции, разрез по 64° в.д. — в трех, по 72° в.д. — в двух из четырех сезонов. Наиболее информативным и интересным, а также, в большинстве случаев, доступным по ледовым условиям оказался разрез по

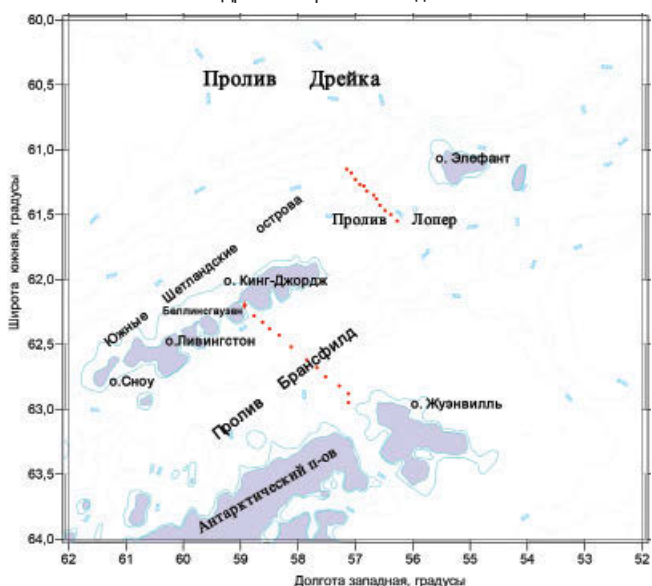


Положение океанографических разрезов, выполненных в заливе Прюдс и проливах Брансфилд и Дрейка в январе и апреле 2016 года.

70° в.д. Расстояние между станциями в районе наиболее крутой верхней части материкового склона было уменьшено до 5–6 км.

После трехлетнего перерыва в 2011–2015 годы было выполнено еще четыре разреза по 70° в.д. Анализ данных предыдущих наблюдений показал, что основное пространственное разрешение на разрезах, составлявшее в районе бровки шельфа около пяти км, не достаточно для адекватной фиксации относительно узких потоков, «плюмов» и других образований, переносящих плотные воды в окрестностях бровки шельфа. Поэтому расстояния между станциями в этой области (от точки приблизительно 7 км южнее до точки 10 км мористее бровки шельфа, диапазон глубин от 450 м до 1400 м) были уменьшены до 1 минуты широты (около 1,8 км). Вертикальная дискретность измерений в результате осреднения составила 1 м; зондирования в основном завершались на расстоянии около 30 м от дна. Заметим, что в 2012 году кроме разреза по 70° в.д. были выполнены разрезы по 71° и 69° в.д., также пересекавшие шельф и материковый склон с аналогичным плотным расположением глубоководных станций.

Положение океанографических разрезов, выполненных в проливах Брансфилд и Дрейка в апреле 2016 года.



Таким образом, в период 60-й РАЭ в 2015 году был выполнен уже восьмой по счету разрез по 70° в.д., состоявший из 18 океанографических станций (полностью совпадавших по положению со станциями разрезов 2011–2013 годов), а также разрезы через шельфовую область залива и вдоль фронта шельфового ледника Эймери.

Основным итогом анализа данных, полученных экспедициями ААНИИ в этом регионе в период с 2004 по 2015 год, стало экспериментальное подтверждение важной роли региона залива Прюдс как еще одного района, где формируется антарктическая донная вода. Обнаруженная на материковом склоне плотная, холодная, обогащенная кислородом водная масса названа нами (по аналогии с использованными ранее другими исследователями обозначениями донных вод в регионах их формирования) донной водой залива Прюдс (ДВЗП). Ее формирование происходит вблизи бровки шельфа с дальнейшим перемещением вниз и вдоль по склону. Было установлено, что наблюдаемые ДВЗП являются результатом смешивания модифицированной циркумполярной глубинной воды с холодными АШВ и ВШЛ, формирующимися в основном на юге залива Прюдс, вблизи шельфового ледника Эймери.

Непосредственно процесс опускания (сползания) по материковому склону ДВЗП был обнаружен только в створе разрезов по 71 и 70° в.д. Данные наблюдений показали, что по мере опускания происходит дальнейшее перемешивание этой воды с циркумполярной глубинной водой (ЦГВ), результирующая смесь не только пополняет АДВ, но и трансформирует ЦГВ на уровнях, соответствующих ее плотности.

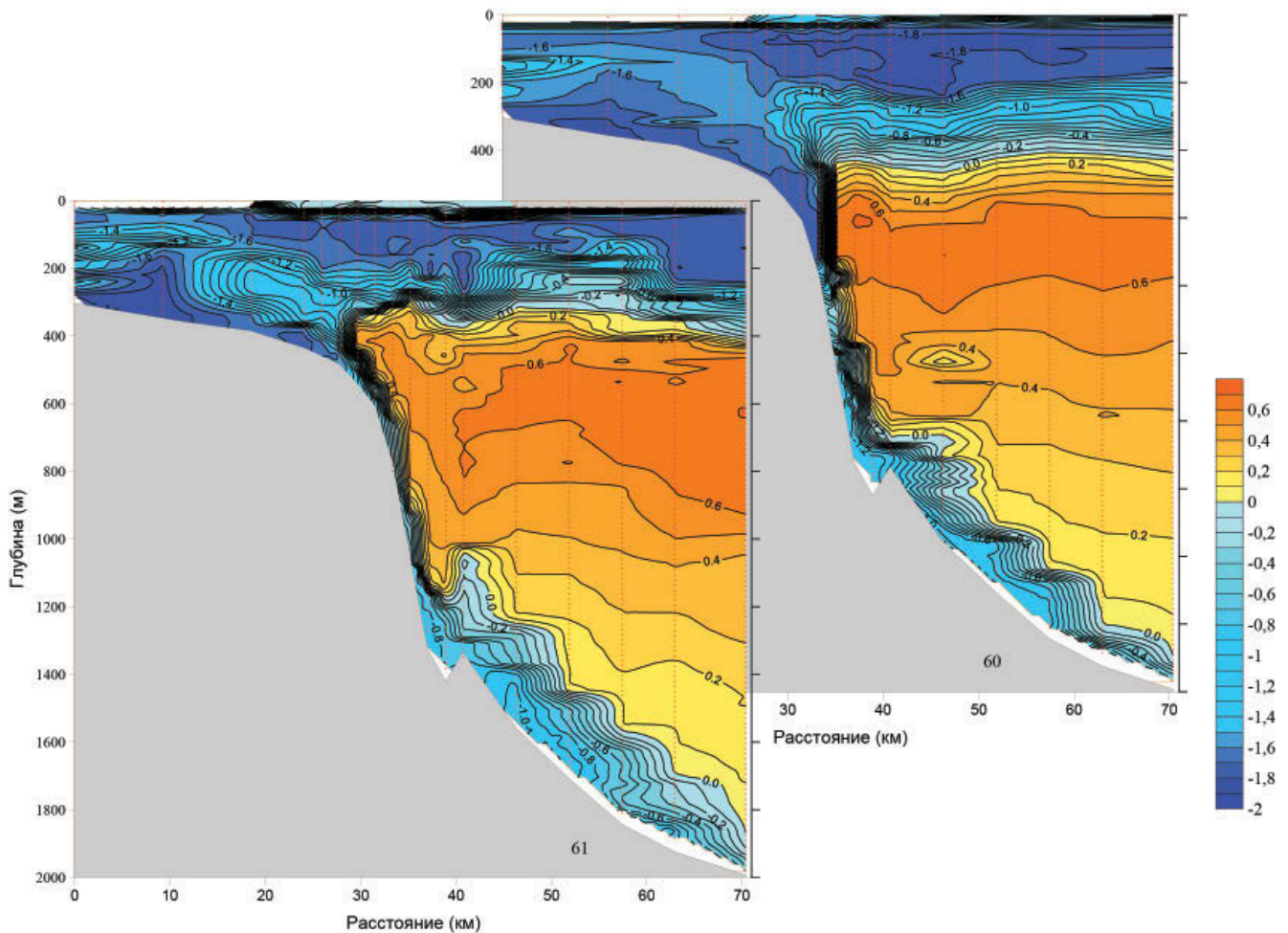
Выполненные 8 разрезов по 70° в.д показали существенную изменчивость характеристик и структуры ДВЗП, наблюдаемых в створе разреза, отражающую как изменчивость в объемах, так и различия в механизмах перемещения этой водной массы.

Вместе с тем проведенные исследования показали, что в силу своей сложности процессы формирования ДВЗП в этом регионе должны иметь выраженные пространственные особенности, определяемые, в частности, малоизученным переосеченным рельефом дна. Структура вод на одном разрезе по 70° в.д. является отражением процессов как в плоскости самого разреза, так и происходящих за его пределами. Поэтому перспективным является проведение пространственной съемки с выбором расстояний между разрезами, которые могут адекватно отразить картину перемещения ДВЗП в области материкового склона, а также особенности приближения АШВ к бровке шельфа. По этому пути и решено было пойти при планировании океанографических работ в период 61-й РАЭ.

В итоге была запланирована и выполнена в долготном диапазоне от 70° в.д. до 71° в.д. площадная съемка, состоящая из 9 меридионально ориентированных разрезов, включавших зондирования в 106 точках. При этом расстояния между разрезами в западной части полигона (от 70° 00' до 70° 20' в.д.) составляли 5 минут долготы (около 3,8 км), от 70° 20' до 71° 00' в.д. — 10 минут (7,6 км). Увеличение расстояний между разрезами в восточной части полигона было обусловлено ограниченным периодом времени, выделенным на производство съемки. На всех разрезах расстояния между станциями в примыкающих с обеих сторон к бровке шельфа районах составляли 1,8 км. Отметим, что успешному выполнению работ способствовало практическое отсутствие дрейфующего льда. В предыдущие годы такая ситуация во время проведения работ в этом районе не наблюдалась.

Длина разрезов определялась как на основе анализа данных предыдущих исследований, так и исходя из сведений о крутизне материкового склона на каждом запланированном разрезе.

Работы на полигоне проводились в период с 17 по 23 января. Зондирования выполнялись зондом "Sea Bird 911+", при



Термическая структура вод над шельфом и материковым склоном, отражающая распространение АШВ и ДВЗП в створе разреза по 70° в.д. в январе 2015 года (справа) и 2016 года (слева).

этом производился отбор проб для определения содержания растворенного кислорода и биогенных элементов на горизонтах 0, 50, 100, 200, 500, 750, 1000, 2000 м и в придонном слое. Кроме того, дополнительно отбирались пробы в слоях наблюдавшихся экстремумов температуры и солёности, положение которых определялось оперативно, путем анализа профилей при зондировании «вниз» на каждой станции. Стандартный комплекс гидрохимических определений, включавший в себя определение содержания растворенного кислорода, минерального фосфора, кремния, нитратного и нитритного азота, выполнялся специалистами ВНИРО (Москва).

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

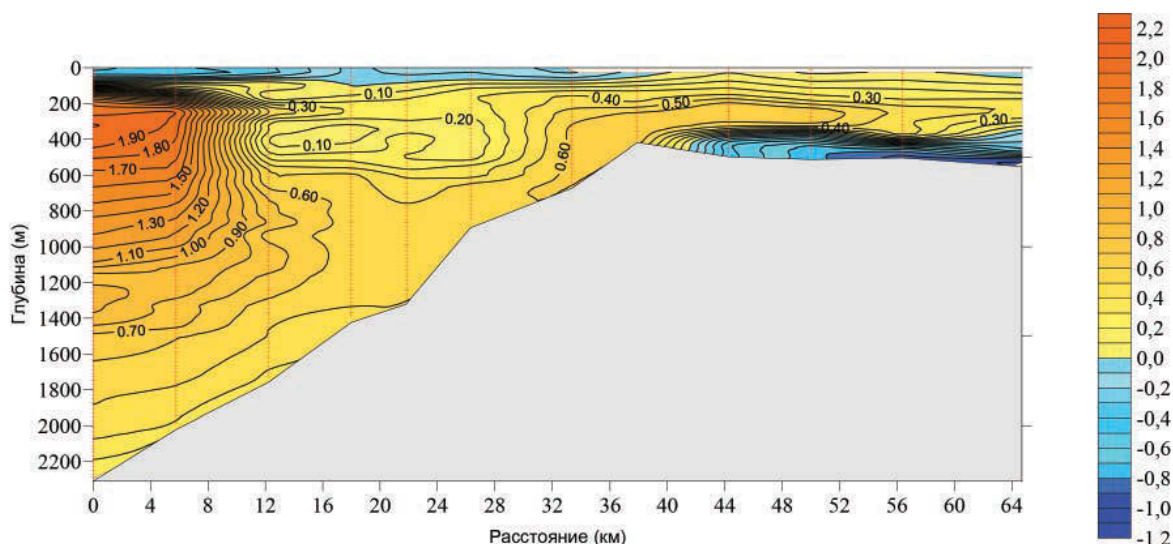
Приближение зонда ко дну на станциях контролировалось с помощью альтиметра PSA-916 D, установленного на несущей раме зонда; отбор проб на придонном горизонте производился на расстоянии 15–20 м до дна.

На каждой станции отбирались пробы воды на солёность с двух наиболее стабильных по показаниям этой характеристики горизонтов с целью контроля работы датчика электропроводности зонда “Sea Bird 911+”. Величина солёности в этом случае определялась судовым солемером AUTOSAL 8400B.

Наблюдения 2016 года позволили получить подробную картину мезомасштабной структуры вод над материковым склоном и прилегающей шельфовой областью в диапазоне долгот от 70 до 71° в.д. Установлено, что сложный рельеф дна, некоторые особенности которого удалось выявить бла-

годаря подробной попутной эхолотной съемке, в значительной степени определяет пространственные особенности процессов, связанных с формированием и распространением плотных и холодных ДВЗП. Западная часть полигона характеризуется более пологим переходом от шельфа к материковому склону на глубинах примерно от 400 до 600 м и более сильным уклоном дна шельфа в сторону бровки. Восточная, примыкающая к котловине Эймери часть полигона отличается резким переходом шельфа в материковый склон с положением бровки шельфа вблизи изобаты 500 м и почти горизонтальным дном шельфа. Именно здесь наиболее холодная и солёная АШВ практически достигает бровки шельфа и становится компонентой перемешивания при формировании ДВЗП, наблюдаемой на материковом склоне на более западных разрезах. На склоне восточных разрезов относительно холодная вода наблюдается на склоне до глубин около 1000–1200 м, на западе полигона — на глубинах до 1900 м. Характер распределения придонных температур отражает влияние неровностей дна, каньонов и уступов на формирование сложной картины перемещения опускающихся по склону вод. Обнаруженная на 71° в.д. в области материкового склона достаточно холодная вода позволяет предположить возможность опускания вод восточнее, в области канала Приудс (на меридианах 71–72° в.д), что является основанием для расширения дальнейших полигонных исследований в восточном направлении.

Важным итогом экспедиции явилось продолжение временного ряда наблюдений на разрезе по меридиану 70° в.д. Работы в 2016 году позволили, в сочетании с предыдущими



Температура на разрезе пролив Лопер – пролив Дрейка (по данным наблюдений в апреле 2016 года).

наблюдениями, показать, что выявленная существенная межгодовая изменчивость структуры вод на этом разрезе отражает изменчивость вкладов процессов разных масштабов в формирование и распространение ДВЗП вниз и вдоль по склону. Эти процессы в значительной степени зависят от изменчивости крупномасштабных процессов, которые в конечном счете и определяют формирование и распространение основных водных масс. Установленная межгодовая изменчивость свойств поступающей со стороны глубокого океана теплой ЦГВ, вероятно, связана с крупномасштабными колебаниями интенсивности АЦТ, при этом в годы наибольшего приближения к бровке шельфа ЦГВ имела более высокие значения температуры и солёности. Также данные позволяют предположить, что характеристики и объем смеси АШВ и ВШЛ на разрезе по меридиану 70° в.д. зависят от интенсивности процессов, происходящих в южной части залива Прюдс: формирования АШВ, ее трансформации в ВШЛ и особенностей распространения от района формирования до области бровки шельфа.

Подтверждена тенденция увеличения объема ДВЗП, обнаруженных на разрезе, в многолетнем плане. В частности, в 2015 и 2016 годах объем ДВЗП более чем в два раза превысил объемы, обнаруженные в 2012 и 2013 годах. Перенос этой водной массы через разрез на момент его выполнения в последние два года оценивается в 3 Св (1 Свердруп = 106 м³/с). Причиной указанного увеличения объемов может быть, в частности, установленное значительное увеличение объемов формирования ВШЛ в южной части залива Прюдс. Это может свидетельствовать об усилении процессов таяния нижней поверхности шельфового ледника Эймери.

Второй этап глубоководных океанологических наблюдений проводился в районе расположения российской антарктической станции Беллинсгаузен. Как и в период 60-й РАЭ, наблюдения были направлены на исследование затока вод из моря Уэдделла в пролив Брансфилд, а также на уточнение структуры вод в южной части пролива Дрейка.

В связи со сложной ледовой обстановкой в запланированное положение точек зондирования были внесены коррективы. В итоге 25–26 апреля были выполнены два разреза, включавшие 23 гидрологические станции. Первый, приблизительно перпендикулярно к изобатам, пересекал пролив Брансфилд и от залива Максвелл, где находится станция Беллинсгаузен, выходил на материковый склон Антарктического полуострова. Вторым начинался на шельфе в проливе Лопер и выходил на материковый склон в проливе Дрейка. Северная

часть этого разреза повторяла разрез, выполненный в период 60-й РАЭ с борта НЭС «Академик Федоров».

Полученная информация оказалась более неожиданной и интересной, чем предполагалось. Сравнение с данными предыдущих исследований (и особенно с результатами прошлого года, полученными также в апреле) показало принципиальные отличия в характеристиках и структуре водных масс.

Отметим обнаружения более холодного и солёного, чем в прошлом году, слоя придонных вод в котловине пролива Брансфилд, а также очень холодных вод в области шельфа Антарктического полуострова. В архивных данных сведений о столь низких температурах придонного слоя не было найдено. Оба отмеченных факта могут быть следствием изменений климатического масштаба.

Результаты измерений на разрезе на материковом склоне в проливе Дрейка также показали интересные отличия структуры и характеристик вод от наблюдаемых с борта НЭС «Академик Федоров» в 2015 году. Например, на шельфе в проливе Лопер в придонном слое обнаружены достаточно холодные воды (в 2015 году здесь вообще отсутствовали воды с отрицательной температурой). Другое заметное отличие — ядро теплой глубинной воды над материковым склоном в проливе Дрейка по сравнению с ситуацией, наблюдаемой годом ранее, смещено к северу, в направлении основания материкового склона. В 2016 году в области верхней части материкового склона оно замещено достаточно холодной водой, сформировавшей промежуточный минимум температуры на глубинах около 400 м. Эти факты свидетельствуют о существующей значительной временной изменчивости режима вод этого региона, требующей для своего объяснения дальнейших экспедиционных исследований.

Подводя первые итоги глубоководных океанографических исследований в сезонный период 61-й РАЭ, следует отметить рекордный объем полученной информации. Результаты наблюдений *in situ* позволили уже на начальном этапе их анализа прийти к новым интересным выводам, дающим, в частности, хорошую базу для планирования дальнейших экспедиционных исследований этих регионов Южного океана.

Хочется с благодарностью отметить важную роль и заинтересованность в выполнении программы работ экипажа судна во главе с капитаном И.Ю. Стецуном.

*Н.Н. Антипов, В.П. Бунякин, С.В. Кашин,
В.Л. Кузнецов, И.А. Чистяков (ААНИИ)*