

Выполненные в сезонный период 56-й РАЭ океанографические работы продолжили ведущиеся уже в течение длительного периода исследования моря Содружества, расположенного в индийском секторе Южного океана, между морями Космонавтов и Дейвиса. Значительную часть моря занимает залив Прюдс, который является третьим по величине заливом антарктического побережья (после морей Уэдделла и Росса). В районе залива Прюдс ширина шельфа доходит до 130 миль, западнее залива бровка шельфа находится на расстоянии 30–50 миль от антарктического побережья.

Рельеф дна залива Прюдс типичен для глубоко вдающихся в материк шельфовых областей Антарктики. Внешняя область шельфа представляет собой мелководный порог с глубинами менее 400 м и наименьшими глубинами (менее 200 м) в районе банки Фор-Ледис и отмели Фрам. Единственное углубление в пороге распложено на 71–73° в.д. Этот проход с глубинами 500–600 м (канал Прюдс) соединяет занимающую значительную часть шельфа глубоководную впадину (депрессию Эймери, глубины 600–700 м) с глубоким океаном. В пределах депрессии глубины возрастают в южном направлении в среднем до 800 м, а на юго-западе залива, в районе западного края шельфового ледника Эймери, превышают 1000 м. Область залива восточнее депрессии Эймери относительно мелководна, хотя на северо-востоке также имеет глубоководную впадину (до 1300 м), которая уходит под Западный шельфовый ледник и, вероятно, связывает исследуемую область с морем Дейвиса.

Шельф и склон Антарктиды играют важную роль в формировании режима вод и льдов не только Южного, но и Мирового океана. Здесь формируются и достигают абиссальных глубин наиболее холодные и плотные антарктические донные воды (АДВ), оказывающие существенное влияние на глобальную структуру и циркуляцию вод Мирового океана. Эти воды растекаются по дну на север вплоть до умеренных широт Северного полушария. Изменчивость скорости формирования антарктических донных вод влияет на изменение интенсивности меридиональной циркуляции и в итоге – на изменения климата.

Основными водными массами, распространение и взаимодействие которых определяет режим вод региона и процессы формирования донных вод, являются антарктическая шельфовая вода (АШВ) и циркумполярная глубинная вода (ЦГВ). Антарктическая шельфовая вода в основном формируется на юге залива Прюдс, вблизи шельфового ледника Эймери. При охлаждении АШВ в процессе взаимодействия с нижней поверхностью шельфового ледника Эймери на глубинах более 200 м происходит ее трансформация в воду шельфовых ледников (ВШЛ), имеющую температуру ниже точки замерзания при атмосферном давлении.

Распространение АШВ и ВШЛ 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 – узкая область повышенных горизонтальных градиентов температуры, солёности и других характеристик. Этот фронт разделяет холодные и относительно пресные воды верхней части материкового склона и наблюдаемые мористее более теплые и солёные 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.

Донная вода залива Прюдс – плотная, холодная, обогащенная кислородом водная масса, пополняющая слои глубинной и антарктической донной водных масс, обнаружена на большинстве станций, выполненных ранее в долготном секторе 71°–62° в.д. в области материкового склона Антарктиды – формирование происходит вблизи бровки шельфа в пределах того же долготного региона с дальнейшим перемещением вниз и вдоль по склону. Собственно процесс опускания (или «каскадинг») был обнаружен только на разрезах по 71 и 70° в.д. По мере опускания происходит ее перемешивание с циркумполярной глубинной водой, результирующая смесь пополняет АДВ или ЦГВ на уровнях, соответствующих ее плотности.

Целью океанографических работ в сезонный период 56-й РАЭ было исследование структуры вод в областях шельфа и склона в западной части моря Содружества, западнее канала Прюдс, а также в южной части залива Прюдс, вблизи фронта шельфового ледника Эймери. Океанографические наблюдения, выполненные с борта НЭС «Академик Федоров», являлись логическим продолжением натуральных исследований, проводящихся в этом районе в рамках национальной и международных программ с 1997 г., а также соответствуют задачам проектов недавно завершившегося МПГ 2007/08.

За период с 15 января по 2 февраля 2011 г. с борта НЭС «Академик Федоров» были выполнены 70 океанографических станций (рис. 1).

С использованием зондирующего комплекса «SeaBird 911» были выполнены 18 станций на разрезе по 70° в.д., а также 9 станций на разрезе вдоль фронта шельфового ледника Эймери в заливе Прюдс.

С помощью зондирующего комплекса «SeaCat 19» были выполнены две многосуточные станции в припайном льду на входе в бухту Саннефьод. Первая состояла из 30 зондирований, выполненных в течение 9 суток с основной дискретностью 6 часов. Вторая выполнена через 7 суток после завершения первой станции и состояла из 8 зондирований в течение 4 суток с дискретностью 12 часов.

Программа океанографических работ экспедиции была направлена на исследование процессов опускания вод в области шельфа склона, исследование

вод шельфа под припаем в заливе Саннефьорд, вблизи фронта шельфового ледника Эймери.

В рамках первой задачи исследована межгодовая изменчивость, поскольку выполненный разрез по 70° в.д. до настоящей экспедиции выполнялся 4 раза – в 49–52-й РАЭ, при этом координаты основных точек зондирования на разрезе оставались неизменными (рис. 2). Кроме того, в настоящей экспедиции было запланировано получить более подробную картину распределения свойств вод в области верхней части материкового склона – зоне антарктического склонового

фронта. С этой целью расстояния между точками зондирования на этом участке разреза были уменьшены до 1 мили, т.е. было получено пространственное разрешение, редко встречающееся в океанографических работах. Отметим непростые ледовые условия на разрезе – сплоченность дрейфующего льда на некоторых участках составляла 9–10 баллов.

Наиболее важным результатом работ на разрезе по 70° в.д. является подробная картина структуры вод в области антарктического склонового фронта (рис. 2 г).

Высокое пространственное разрешение разреза на границе шельфа и над верхней, крутой частью склона позволило детализировать мезомасштабные особенности присклонового конвективного плюма, то есть тонкого слоя (в данном случае толщиной ~ 200 м), в котором происходит опускание смеси шельфовых и циркумполярных глубинных вод на дно океана. В верхней части плюма (глубины 450–750 м) наблюдается очень резкая фронтальная зона между опускающимися водами плюма с температурой –1,5 °С и соленостью 34,5 ‰ и ЦГВ с температурой 0,5 °С и соленостью 34,8 ‰. Это создает горизонтальный градиент на фронте 1,1 °С на км. Подобные столь высокие значения градиентов ранее не наблюдались (рис. 2 а, б, в). Над этой областью, в диапазоне глубин 300–450 м находится пара ячеек (теплая и холодная), которые можно интерпретировать как теплый и холодный вихри. Посредством таких вихрей происходит горизонтальный обмен на антарктическом склоновом фронте. Ниже этой области в слое 900–1000 м хорошо выражена холодная линза с горизонтальными размерами ~ 3 км, отделившаяся от верхней части плюма, очерченной областью высоких градиентов. Линза содержит воду, близкую по характеристикам к донной воде залива Прюдс (Т и S в ядре –1,2 °С, 34,55 ‰ соответственно). По-видимому, опускание воды по склону происходит порциями в виде таких линз.

Регулярное повторение разреза по 70° в.д. позволило получить представление о межгодовой изменчи-

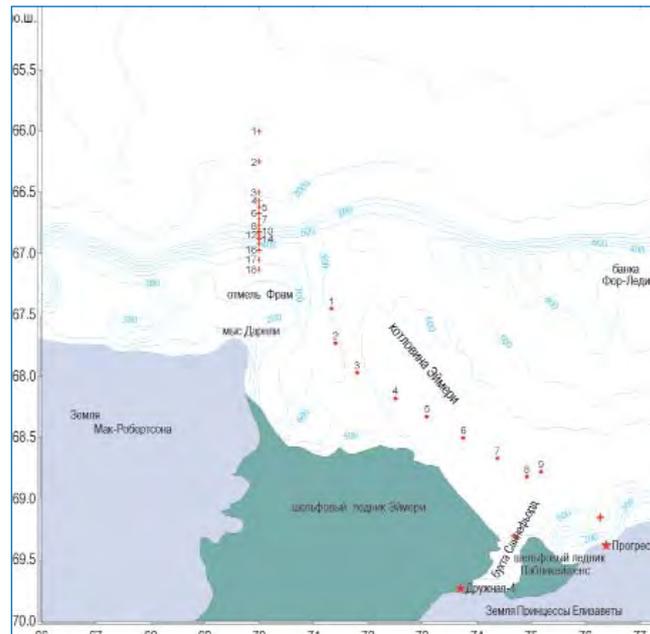


Рис. 1. Положение точек зондирования океана с борта НЭС «Академик Федоров» в сезонный период 56-й РАЭ

вости структуры фронта и параметров водных масс в этом регионе (рис. 2). Межгодовая изменчивость выражена ярко и должна быть учтена как при планировании последующих исследований, так и при получении оценок объемов образования донных вод в этом регионе.

Исследования структуры и изменчивости вод вблизи шельфового ледника Эймери проводились путем выполнения многосуточной станции с судна, неподвижно стоящего в припайном льду. Судно незначительно углубилось в толстый (до 2 м) однолетний припай, где встало на ледовый якорь в точке с координатами

69° 18' ю.ш., 74° 41' в.д. при глубине места 775 м. Точка находилась вблизи горловины бухты Саннефьорд, в 4 милях от ледника Пабликейшенс и в 7 милях от ледника Эймери (рис. 1). Параллельно работам с борта судна зондирование верхнего слоя океана эпизодически выполнялось и с припайного льда, для чего были подготовлены две лунки, которые располагались на расстояниях 100 и 1000 м от борта судна (рис. 3).

Подобные исследования изменчивости структуры и параметров воды под припайным льдом в данном районе никогда не производились. Эти наблюдения также дали интересные и неожиданные результаты.

За период наблюдений с 15 по 23 января температура воды на глубинах 15–20 м под припайным льдом выросла от –1,67 °С до +1,54 °С. При этом за указанный период возник и развился до мощности 30 м подповерхностный слой, имевший положительные температуры. Очевидно, что причиной таких изменений является адвекция из свободной ото льда области залива Прюдс, где вода прогрелась до подобных температур на соответствующих глубинах. Возможно, мы зафиксировали механизм, ведущий к более интенсивному разрушению припая. После недельного отсутствия судно вернулось в точку с практически теми же координатами. Здесь в период с 30 января по 2 февраля была выполнена 4-суточная станция с зондированием 2 раза в сутки. Значения температуры в слое Т максимум оказались заметно ниже, чем неделей раньше, когда завершалась первая многосуточная станция (температура в максимуме на глубине 18 м при последнем зондировании тогда составляла 1,45 °С). При возобновлении наблюдений 30 января максимум располагался на глубине 40 м, а температура в нем составляла 0,34 °С. За сутки она выросла до 0,64 °С, на третьи и четвертые сутки она снова опустилась до 0,28 °С. При этом заметно выросла мощность слоя положительных температур, в течение второй станции она выросла с 44 до 60 м.

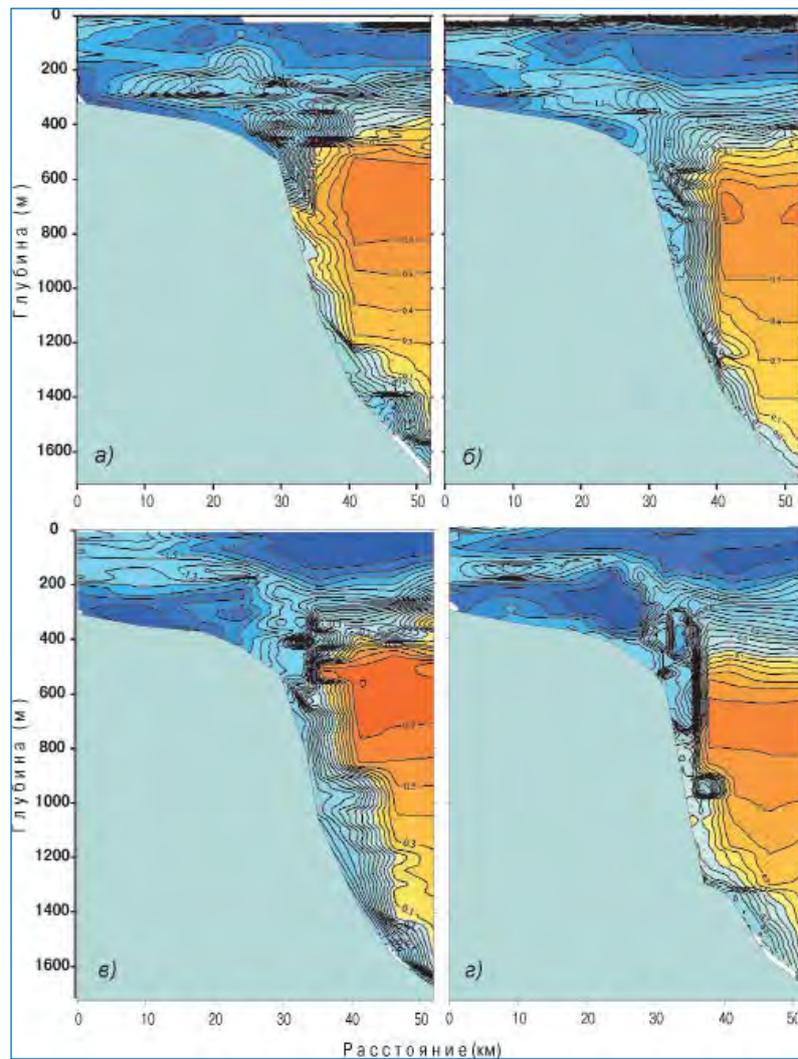


Рис. 2. Потенциальная температура на совпадающих участках разрезов по 70° в.д., выполненных в 2004 г. (а), 2005 г. (б), 2006 г. (в) и 2011 г. (г)

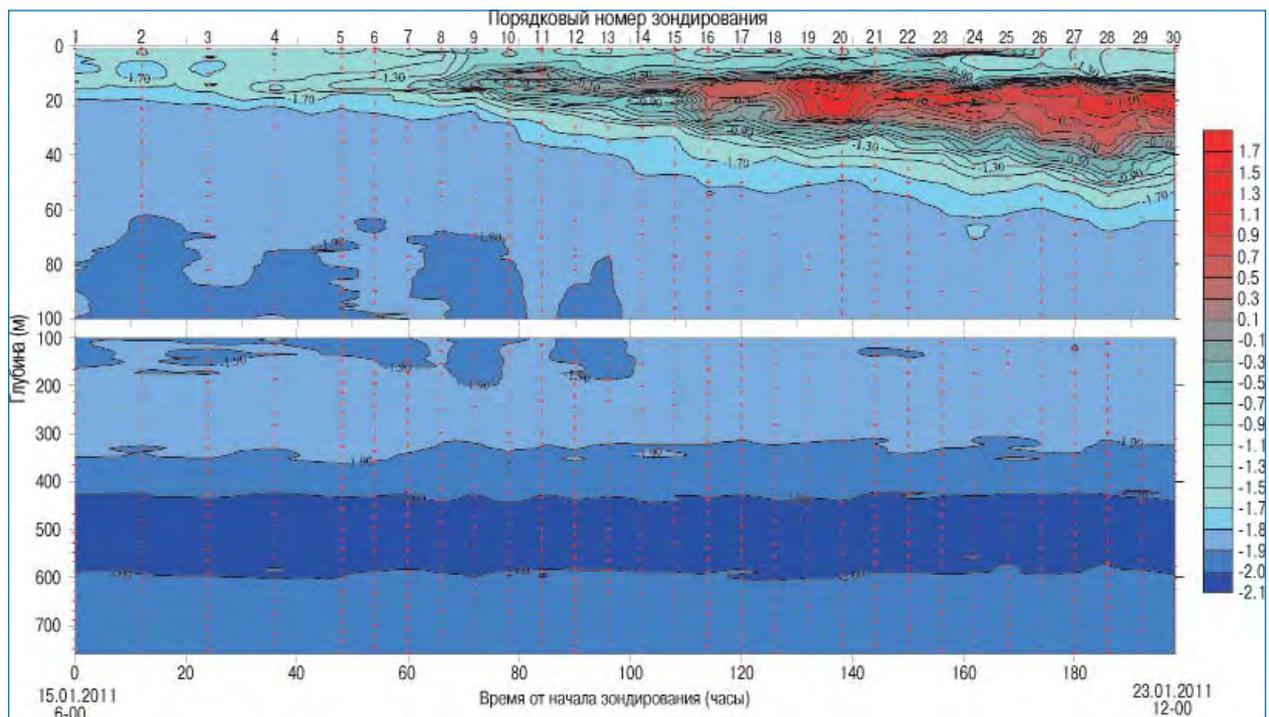


Рис. 3. Изменение температуры воды на многосуточной станции в бухте Саннефорд

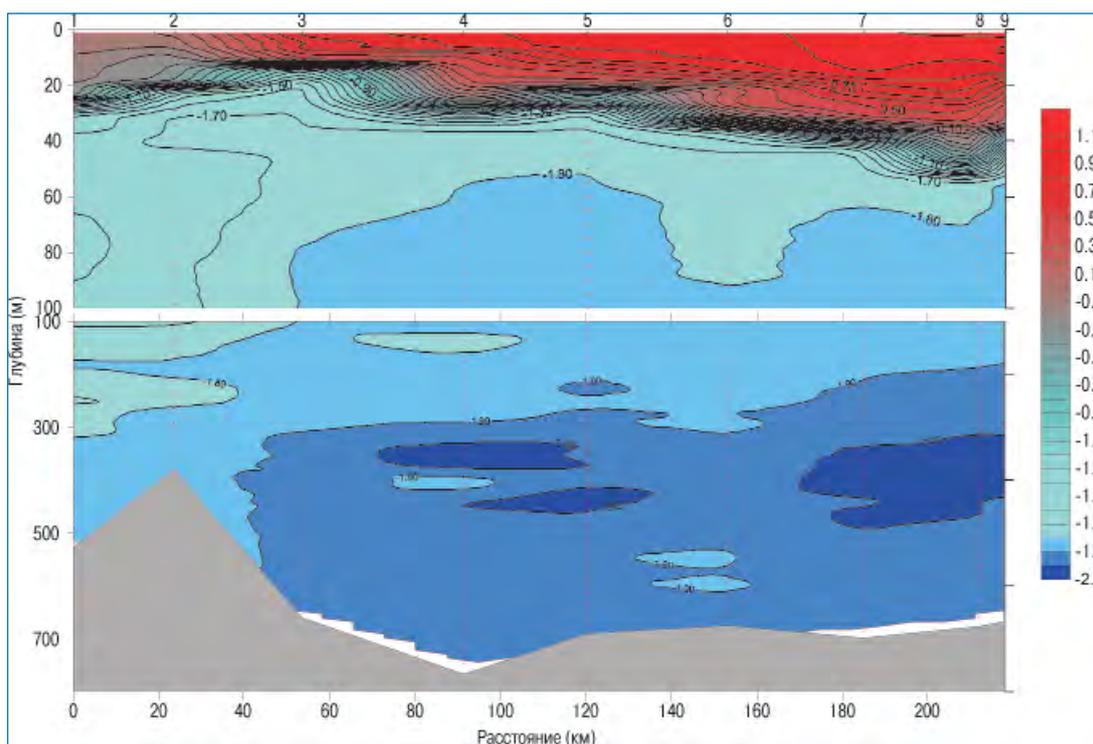


Рис. 4. Потенциальная температура на разрезе, расположенном вдоль фронта шельфового ледника Эймери

Выполненный разрез в заливе Прюдс вдоль фронта шельфового ледника Эймери позволил исследовать структуру и определить характеристики водных масс для этого района (рис. 4). Ниже горизонта 300 м температура воды не превышает  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что говорит о присутствии переохлажденной воды шельфовых ледников (температура в ядре этой водной массы, расположенном на глубинах 350–450 м, на большинстве станций разреза была ниже  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , минимальная  $-2,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Сравнение с результатами экспедиции 1998 г. (43-я РАЭ, НЭС «Академик Федоров»), выполнившей подобные наблюдения в этом регионе, показывает, что объемы ВШЛ значительно увеличились, достаточно мощный слой ее наблюдается на более значительном расстоянии от фронта, чем в предыдущем случае. Возможно, ВШЛ на этом разрезе переносится с востока и северо-востока, а не только формируется при контакте с шельфовым ледником Эймери. По крайней мере, в районе станции Прогресс была наблюдаема ВШЛ с температурами ниже  $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Как видно из рис. 4, толщина поверхностного слоя, имеющего положительные температуры, возрастает от 10 до 45 м с соответствующим ростом температуры от  $0,72$  до  $1,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Увеличение глубины теплового поверхностного слоя связано с большей глубиной ветрового перемешивания, однако, скорее всего, оно имеет место не в районе разреза, а северо-восточнее и в районе разреза имеет адвективное происхождение. Подтверждением связи структуры и характеристик вод с адвекцией с северо-востока служит тот факт, что на восточных станциях разреза наблюдается наиболее мощный слой ВШЛ с температурами ниже  $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Косвенно это подтверждает связь описанного выше резкого потепления подповерхностного слоя на многосуточной станции с адвекцией с северо-востока залива Прюдс.

С помощью навигационного оборудования были определены координаты восточного края ледника Эймери и ледника Пабликешенс, показавшие их значительное продвижение в сторону залива Прюдс по сравнению с определенным ранее. Уточненное положение показано на рис. 1.

Программа глубоководных океанографических исследований 32 рейса НЭС «Академик Федоров» выполнена полностью. В превышение программы выполнен разрез из 9 станций вдоль фронта шельфового ледника Эймери в заливе Прюдс. Получены уникальные данные о свойствах, структуре вод в море Содружества и заливе Прюдс. Впервые выявлены и описаны вихревые образования, обеспечивающие один из механизмов поступления плотных, холодных, богатых кислородом вод шельфа на абиссальные глубины, как этап формирования антарктических донных вод. Установлен факт быстрого формирования под припайным льдом бухты Саннефьорд подповерхностного слоя теплой воды, и исследована динамика изменения его параметров за полмесяца. Получена важная информация о структуре вод в депрессии Эймери залива Прюдс, установлено увеличение в этом районе объемов переохлажденной воды шельфовых ледников.

Полученные результаты важны для уточнения наших представлений о роли океана в процессах изменения климата. Хочется выразить благодарность экипажу судна, особенно штурманскому составу во главе с капитаном судна В.А.Викторовым и научно-технической службе судна во главе с В.П.Бунякиным, за ответственное отношение к выполнению программы океанографических наблюдений.

*Н.Н.Антипов, А.В.Клепиков (ААНИИ)*