

ОСОБЕННОСТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАЛИВА ПРЮДС ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИЙ ААНИИ 1997–2007 ГГ.

Н.Н.АНТИПОВ, А.В.КЛЕПИКОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

Рассмотрены научные результаты экспедиционных исследований региона море Содружества — залив Прюдс в период с 1997 по 2007 г., выполненных с борта научно-экспедиционного судна ААНИИ «Академик Федоров». С привлечением архивных данных исследована структура вод в области шельфа и материкового склона, выделены основные типы водных масс, определены их характеристики. Определены районы формирования и пути распространения антарктических шельфовых и модифицированных циркумполярных глубинных вод, определены закономерности трансформации их свойств. Выделена новая водная масса — донная вода залива Прюдс, определены ее термохалинные и гидрохимические параметры, показана ее роль в вентиляции циркумполярной глубинной и формировании антарктической донной воды. На основе уникальных данных наблюдений показана существенная временная и пространственная изменчивость интенсивности процессов формирования донной воды залива Прюдс и ее распространения вниз по материковому склону антарктического континента.

Залив Прюдс занимает значительную часть площади шельфа моря Содружества, расположенного в Индийском секторе Южного океана, между морями Космонавтов и Дейвиса. Залив является третьим по величине для всего антарктического побережья (после морей Уэдделла и Росса).

Рельеф дна залива в известной степени типичен для глубоко вдающихся в материк шельфовых областей Антарктики. Внешняя область шельфа представляет собой относительно 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 с глубинами 500–600 м расположено на 71–73° в.д. (в некоторых источниках оно именуется «канал Прюдс») и соединяет занимающую значительную часть залива глубоководную впадину (котловину Эймери, глубины 600–700 м) с глубоким океаном. В пределах котловины глубины возрастают в южном направлении и на юго-западе залива, в районе западного края шельфового ледника Эймери, превышают 1000 м. Длина фронта ледника Эймери составляет примерно 200 км, толщина подводной части ледника оценивается в 200 м. Глубины дна залива в районе фронта ледника составляют 700–800 м.

Область залива восточнее котловины Эймери относительно мелководна, характерные глубины 200–300 м. На северо-востоке расположена глубоководная впадина (трог Дубинина) с максимальными зафиксированными глубинами более 1100 м.

Район моря Содружества с начала регулярных исследований Южного океана считался перспективным с точки зрения его возможной роли в формировании антарктической донной воды (АДВ) и вентиляции (охлаждении и обогащении кислородом) циркумполярной глубинной воды (ЦГВ). В 60-х годах прошлого века в заливе был выполнен ряд крупномасштабных океанографических съемок, собранная информация позволила составить представление о режиме вод и льдов этого района [3–8]. В 80–90 годы экспедиционные исследования региона проводили как российские, так и зарубежные ученые [9–12]. Обобщение собранных данных позволило получить достаточно полную и реалистичную картину крупномасштабной циркуля-

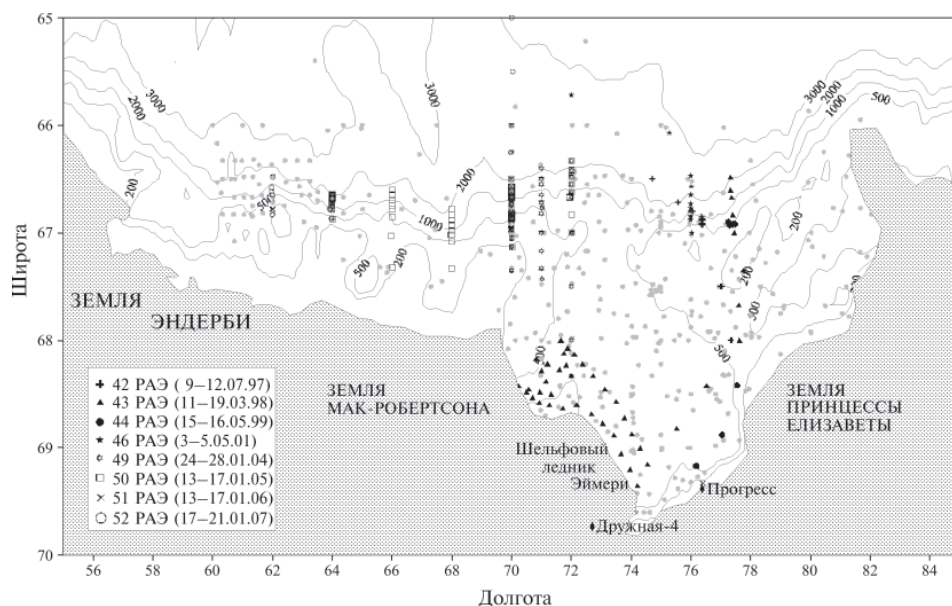


Рис. 1. Океанографические станции, выполненные с борта НЭС «Академик Федоров» в сезонные периоды 42–52-й РАЭ. Показано также положение станций архива для данного района

ции вод, некоторые представления о сезонной изменчивости структуры и характеристик основных водных масс залива. Вместе с тем данные прямых натурных наблюдений, подтверждающие факт опускания приповерхностных вод и их модификаций вниз по склону с возможной трансформацией в донные и глубинные воды, до недавнего времени практически отсутствовали. Имелись лишь косвенные указания на возможность формирования в этом регионе донных вод. В частности, на континентальном склоне Земли Эндерби была зафиксирована водная масса, которая, возможно, является смесью относительно соленой антарктической шельфовой воды (АШВ) из залива Прюдс и циркумполярной глубинной воды [13].

Регулярные экспедиционные исследования этого региона в рамках сезонных работ российской антарктической экспедиции (РАЭ) были возобновлены в 1997 г. Долгосрочной целью исследований стало изучение процессов на шельфе и склоне, связанных с формированием АДВ и трансформацией глубинных вод Южного океана. Расположение станций и разрезов, выполненных в период с 1997 по 2007 г., представлено на рис. 1.

В первой половине указанного периода, с 1997 по 2001 г., 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 мелководной восточной части залива Прюдс (восточнее котловины Эймери). Полученная в этот период информация, в совокупности с архивными данными, позволила сделать выводы: о характеристиках и распространении в заливе АШВ и ее модификации – воды шельфовых ледников (ВШЛ); о характеристиках, районах поступления на шельф и распространении в заливе МЦГВ (модифицированной ЦГВ); о структуре вод в области материкового склона восточной части залива как в летний, так и в зимний периоды, в частности, о параметрах антарктического склонового фронта (АСФ), важнейшей циркумполярной особенности структуры антарктических вод [14, 15].

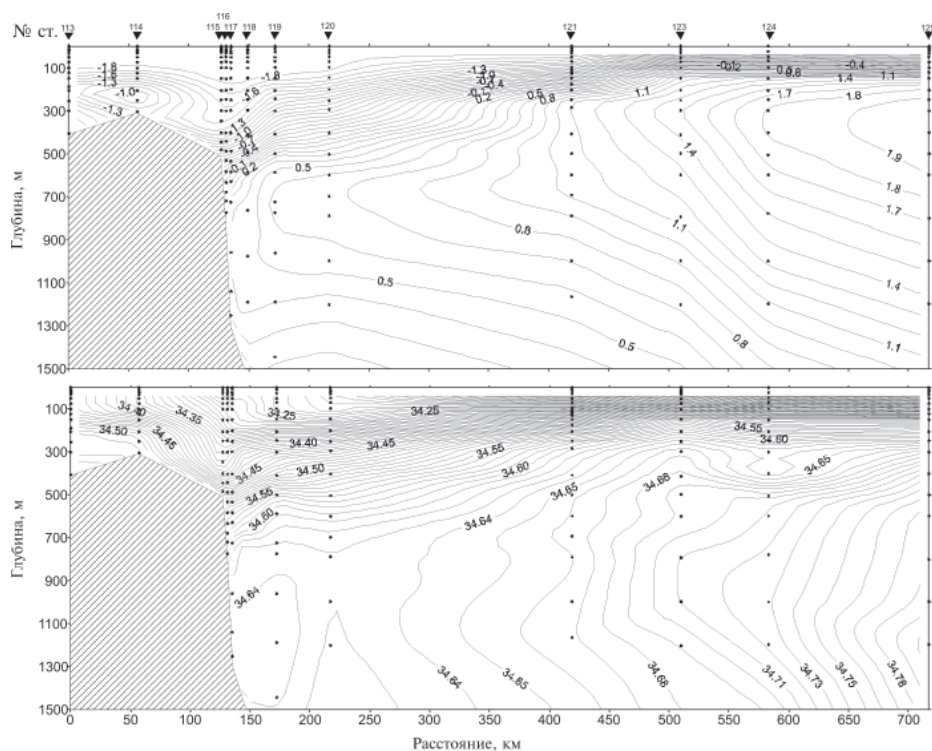


Рис. 2. Потенциальная температура и соленость на разрезе через шельф и материковый склон в июле 1997 г. Положение разреза показано на рис. 1

В июле 1997 г был выполнен разрез, пересекающий шельф и материковый склон восточнее канала Прюдс, приблизительно в районе $76\text{--}78^\circ$ в.д. Разрез выполнялся во льдах сплоченностью 10 баллов. Разрез уникален, в зимний (для Южного полушария) период такие наблюдения в области «шельф – верхняя часть материкового склона» в Антарктике выполнялись только с помощью вертолетов в море Уэдделла с дрейфующей льдины станции «Уэдделл-1». Распределения температуры и солености для верхнего 1500-метрового слоя этого разреза показаны на рис. 2.

По данным этой экспедиции удалось получить уникальную информацию о структуре и характеристиках вод этого района в период сильного развития зимних процессов. В частности, установлено, что наибольшего развития процессы зимней конвекции получили на шельфе и в районе верхней части материкового склона, где толщина поверхностного однородного слоя антарктической зимней воды (АЗВ) составила 100–150 м (для глубоководной части разреза – 25–70 м). Для области шельфа характерна и наибольшая соленость этого слоя – около 34,40 ‰ (в области материкового склона 34,20 ‰, на севере разреза 34,00 ‰).

Антарктическая шельфовая вода (АШВ) была обнаружена только на самой южной станции разреза (рис. 2, станция 113), где она занимала придонный 100-метровый слой и имела потенциальную температуру $-1,87^\circ\text{C}$ при относительно высокой солености – 34,56 ‰. Анализ архивных данных, относящихся в основном к летнему периоду, позволяет считать, что район ее формирования расположен южнее, вблизи шельфового ледника Эймери.

Одним из важных результатов явилось обнаружение на шельфе, ниже слоя АЗВ, максимума температуры, связанного с распространением в этом районе МЦГВ (станции 113 и 114, рис. 2). Эта водная масса сформировалась мористее бровки шельфа (она является продуктом смешения антарктической зимней воды (АЗВ) и ЦГВ) и, по мере перемещения к югу, в глубь залива, заметно охладилась и обогатилась кислородом. На южной станции разреза (станция 113, рис. 2) температура в ее ядре составила $-1,1^{\circ}\text{C}$, что значительно выше температуры замерзания и несколько выше, чем определенная по архивным данным температура этого слоя летом. В целом с МЦГВ на шельф поступают тепло и соль, она играет важную роль в формировании режима шельфовой области. Возможно, она вносит вклад в более раннее освобождение ото льда южных районов залива Прюдс и формирование полыней.

Важным результатом явилось и получение информации о структуре антарктического склонового фронта (АСФ) в зимний период. Хорошо выраженное увеличение толщины однородного слоя поверхностной зимней воды (на 50–100 метров относительно южнее и севернее расположенных станций) в районе АСФ отражает повышенную интенсивность процессов вертикального обмена. В то же время глубина проникновения зимней конвекции на момент проведения наблюдений относительно невелика. В непосредственной близости от бровки шельфа (4–8 км) у дна наблюдается относительно теплая циркумполярная глубинная вода (температура около $0,5^{\circ}\text{C}$). При этом очевидно отсутствие на данном разрезе признаков активной вентиляции глубинных и формирования донных вод. Это важный результат натурных наблюдений, поскольку выполнены они зимой, когда формирование плотных вод и их опускание по материковому склону предполагаются более интенсивными, чем в летний период.

Получить новые данные о структуре вод на шельфе и материковом склоне в восточной части залива, но уже в летний период удалось в сезонные периоды 43 и 46-й РАЭ (рис. 1). Установлено, что и летом, и осенью признаков опускания поверхностных вод вниз по склону и, соответственно, формирования АДВ или вентиляции ЦГВ восточнее канала Прюдс не обнаруживается. Однако удалось выявить значительную сезонную (и/или межгодовую) изменчивость характеристик МЦГВ в заливе Прюдс, причинами которой может быть соответствующая изменчивость в интенсивности поступления МЦГВ на шельф, собственно циркуляции в заливе или интенсивности процессов вертикального обмена. Сравнение с описанными выше данными июля 1997 г. показало, что в данном районе слой МЦГВ зимой был выражен значительно сильнее. Зимой температура ядра МЦГВ была на $0,5^{\circ}\text{C}$ выше, несколько выше была и соленость. Хорошо выражен был слой МЦГВ зимой и в наличии экстремумов в вертикальных распределениях растворенного кислорода и кремния. При этом абсолютное содержание кислорода зимой было ниже на 1 мл/л, относительное на 10 %, чем в осенний период, когда в распределениях кислорода и кремния экстремумы на уровне ядра МЦГВ отсутствовали. Можно предположить, что столь слабо трансформированная МЦГВ, как была наблюдаема в зимний период, может достигать области шельфового ледника Эймери и оказывать заметное влияние на процессы как под ледником, так и в его окрестностях. Уникальная информация о структуре вод области вблизи фронта шельфового ледника Эймери была также получена в период 43-й РАЭ. Выполненная в марте 1998 г. подробная океанографическая съемка района прибарьерной полыни позволила получить достаточно полное представление о роли этого района в формировании различных модификаций шельфовых вод. Разрез вдоль фронта ледника показан на рис. 3. Как видно, вблизи шельфового ледника Эймери придонный слой мощностью 100–700 м занимает вода шельфовых ледников (ВШЛ),

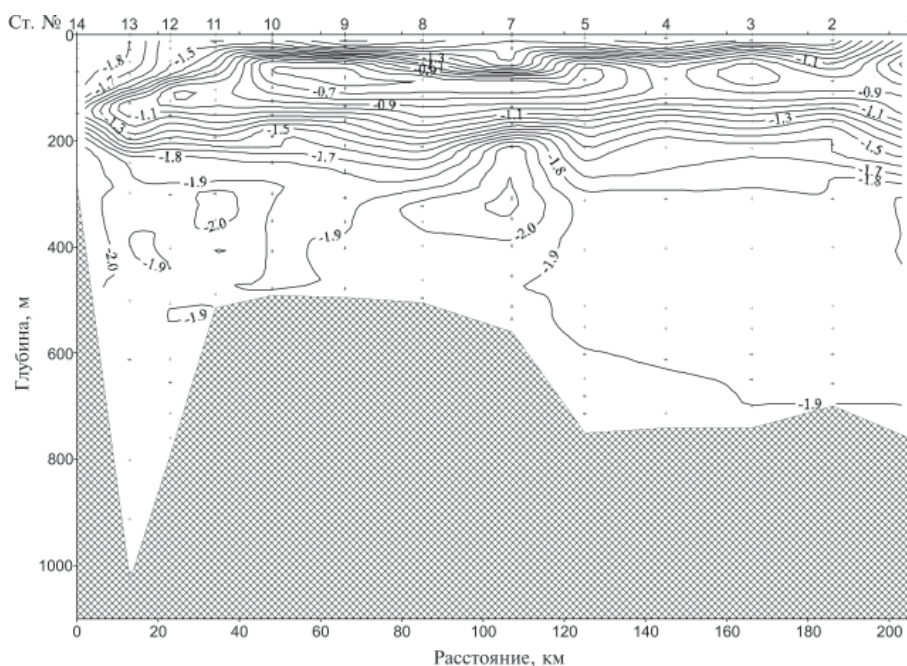


Рис. 3. Потенциальная температура на разрезе вдоль фронта шельфового ледника Эймери (март 1998 г.)

которая формируется путем охлаждения АШВ при ее взаимодействии с нижней поверхностью шельфового ледника и имеет температуру ниже точки заморзания при атмосферном давлении (ниже $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Распространение этой воды на север (с одновременной ее трансформацией в сторону повышения температуры) происходит в области котловины Эймери, с дальнейшим выходом в район бровки шельфа. На рис. 4 показано распределение

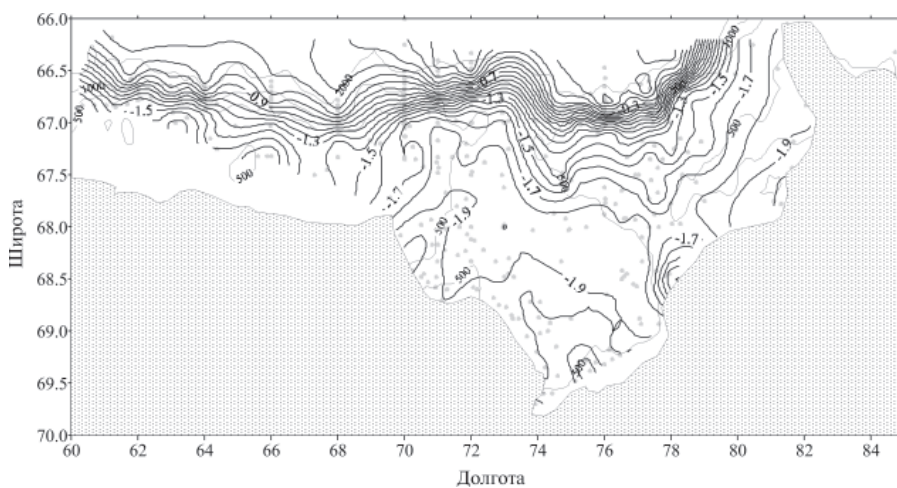


Рис. 4. Потенциальная температура придонного слоя (архивные данные)

потенциальной температуры придонного слоя, рассчитанное с использованием архивных и современных данных.

Характер распределения придонной температуры показывает, что распространение холодных АШВ и ВШЛ в район бровки шельфа происходит в котловине Эймери, с осью, тяготеющей к ее западному краю. Повышенные значения придонной температуры на шельфе восточнее канала Прюдс отражают поступление и распространение МЦГВ.

Изложенные выше выводы о структуре и циркуляции вод залива Прюдс определили планирование дальнейших экспедиционных исследований ААНИИ в этом регионе. Экспедиционные исследования 49–52-й РАЭ в 2004–2007 гг. (в 2002 и 2003 гг. океанографические работы в рамках РАЭ не проводились) 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 по материковому склону на абиссальные глубины. Высокое качество данных наблюдений на этом этапе обеспечивалось использованием поступившего на вооружение НЭС «Академик Федоров» зондирующего комплекса «SeaBird 911».

В соответствии с целью натурного эксперимента, расположение станций планировалось в виде меридиональных разрезов, пересекающих шельф и материковый склон. Расстояние между разрезами было определено в 1–2 градуса долготы, а расстояние между станциями на разрезах в верхней части склона планировалось в 5–7 км. При оперативном планировании в зависимости от крутизны дна материкового склона расстояние между точками зондирования уменьшалось до 2 км. Станции выполнялись с максимальным приближением ко дну (4–10 м). Заметим, что погодные и ледовые условия, а также загруженность судна логистическими операциями на российских антарктических станциях приводили практически в каждой экспедиции к корректировке (от уменьшения объемов наблюдений до изменения положения станций и разрезов) предварительно составленного плана работ. Однако все выполненные на этом этапе разрезы удовлетворяли изложенным требованиям.

В период 49-й РАЭ (2004 г.) были выполнены разрезы по 70, 71 и 72° в.д. (рис. 1). Зондирование сопровождалось отбором проб для определения содержания биогенных элементов и растворенного кислорода. Изложенные выше требования к расположению станций на разрезах были выполнены, вследствие чего было получено адекватное описание структуры вод области «шельф–материковый склон».

В период 50-й РАЭ по подобной схеме выполнено 5 разрезов. Разрезы по 72 и 70° в.д. повторили разрезы 49-й РАЭ (на разрезе по 70° в.д. расположение станций было запланировано с учетом результатов предыдущей экспедиции), и, кроме того, были выполнены разрезы по 68, 66 и 64° в.д. Разрезы выполнялись без отбора проб. Длина разрезов в восточном направлении уменьшается в связи с возрастанием уклона материкового склона (с уменьшением расстояния между станциями в верхней части склона).

Выполнение программы океанографических исследований в 51-й РАЭ было практически сорвано из-за сложных ледовых и погодных условий. Удалось выполнить разрез по 70° в.д. (решено по возможности выполнять этот разрез ежегодно) и разрез по 64° в.д., запланированный как восточный разрез съемки материкового склона на акватории между 64 и 56° в.д.

Наконец, в период 52-й РАЭ в январе 2007 г. были выполнены разрезы по 70, 64 и 62° в.д. Полностью программа не была выполнена из-за технических и погодных проблем.

Таблица 1

Характеристики разрезов через шельф и материковый склон в море Содружества

№ РАЭ	Долгота восточная, град.	Длина разреза, км	Широта южной станции, град.	Широта северной станции, град.	Глубина южной станции, м	Глубина северной станции, м	Угол дна шельфа, град.	Угол дна материк. склона (верхн. часть), град.	Угол дна материк. склона (нижн. часть), град.
49	72	222	68,33	66,33	550	1925	0,2	3	2
50	72	74	67,00	66,33	516	1890	0,2	3	2
49	71	114	67,43	66,40	388	2066	0,2	3,4	1,5
49	70	76	67,35	66,67	180	1717	0,3	5	1,7
50	70	70	67,13	66,50	315	2012	0,3	6	1
51	70	126	67,13	66,00	309	2443	0,5	5	1
52	70	237	67,13	65,00	311	2942	0,6	7	1
50	68	61	67,33	66,78	142	2366	1	5	2
50	66	80	67,32	66,00	124	2117	—	3	1,5
50	64	24	66,87	66,65	311	2032	1	9	8
51	64	26	66,87	66,63	271	2015	1,5	13	3
52	64	24	66,87	66,65	297	2064	1	16	5
52	62	39	66,83	66,48	385	1485	0,5	5	—

В случаях повторения разрезов в течение ряда лет (в первую очередь, разрез по 70° в.д.) станции выполнялись по возможности в тех же координатах, что и в предыдущих экспедициях.

Основные характеристики разрезов, сделанных в этот период (координаты, протяженность, углы наклона дна шельфа, верхней и нижней частей материкового склона в створе разрезов), приведены в табл. 1.

В результате выполненных наблюдений удалось получить уникальные данные о структуре и характеристиках вод в области бровки шельфа и материкового склона для этого малоисследованного региона. На рис. 5 приведена *TS*-диаграмма, построенная по данным съемок 2004–2007 гг.

На диаграмме показано положение ядер выделенных водных масс на всех выполненных станциях. Приведены изолинии потенциальной плотности, рассчитанной относительно давлений 0, 2000 и 4000 Дцб, что позволяет сравнить плотности, которые водные массы будут иметь по мере опускания на большие глубины. Очевидно, что с увеличением давления соотношение плотностей может меняться (за счет большей сжимаемости более холодных вод).

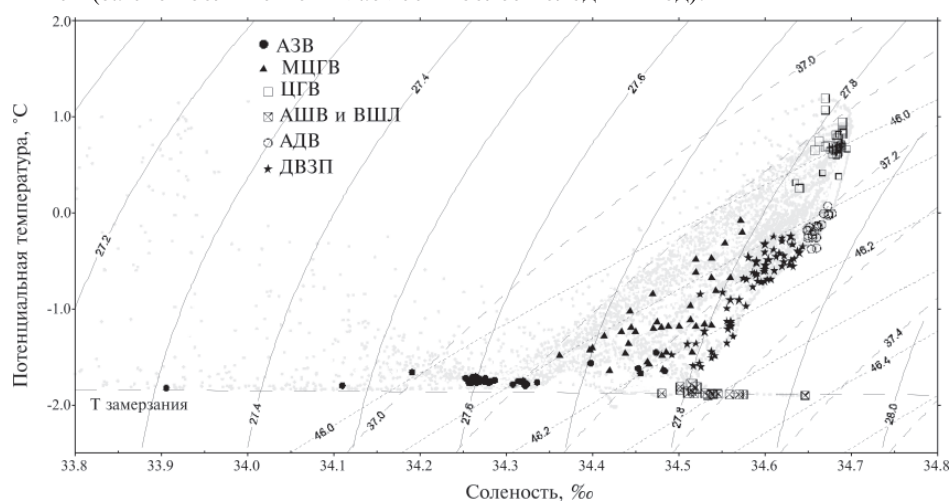
Рис. 5. *TS*-диаграмма по данным съемок 2004–2007 гг. Пояснения приведены в тексте статьи

Таблица 2

Характеристики водных масс залива Прюдс по данным экспедиций 2004–2007 гг.

Характеристика		АПВ	АЗВ	АШВ	ВШЛ	МЦГВ	ЦГВ	АДВ	ДВЗП
H, м	Средн.		98			300	612	2263	1350
	Макс.		365			480	820	2942	2350
	Мин.		25			115	212	1350	532
T, °C	Средн.	–0,280	1,756	–1,833	–1,939	–1,048	0,679	–0,188	–0,700
	Макс.	1,220	–1,320	–1,700		–0,085	1,190	0,07	–0,250
	Мин.	–1,840	–1,840	–1,900		–1,638	0,250	–0,378	–1,604
S, ‰	Средн.	33,556	34,276	34,529	34,490	34,487	34,680	34,659	34,590
	Макс.	34,310	34,484	34,647		34,574	34,696	34,674	34,644
	Мин.	32,720	33,850	34,481		34,362	34,636	34,631	34,492
O ₂ , мл/л	Средн.	8,06	7,38	7,16	7,30	7,02	5,24	5,40	5,9
	Макс.	8,78	7,97	7,35		7,30	5,90	5,62	7,2
	Мин.	7,62	6,17	6,60		6,46	4,90	5,30	5,1
Si, мкг-ат/л	Средн.	48,2	66,4	73,1	65,0	77,7	107,0	126,2	100,1
	Макс.	69,4	88,5	82,2		88,8	119,7	137,4	114,0
	Мин.	12,3	65,0	63,0		77,0	79,0	116,5	74,0
PO ₄ , мкг-ат/л	Средн.	1,75	2,12	2,17		2,19	2,32	2,36	2,26
	Макс.	2,04	2,23	2,21		2,23	2,37	2,39	2,30
	Мин.	1,16	1,98	2,12		2,14	2,23	2,34	2,23

Определенные по данным наблюдений средние и экстремальные значения характеристик выделенных водных масс приведены в табл. 2. Характеристики большинства водных масс имеют значения в ядрах, типичные для антарктической зоны Южного океана.

На представленной диаграмме показана (а в табл. 2 приведены ее характеристики) водная масса, выделенная на большинстве станций, расположенных в районе материкового склона, и названная донной водой залива Прюдс (ДВЗП). Ее ядро располагается у дна или на некотором расстоянии от него. Приведенные в табл. 2 значения характеристик ДВЗП отражают ее относительно недавнее приповерхностное происхождение (более низкие, чем у наблюдаемой мористее на этих глубинах ЦГВ, температура и соленость и более высокое содержание растворенного кислорода).

На самом восточном из рассматриваемых разрезах, по 72° в.д., ДВЗП обнаружены лишь в верхней части материкового склона. Этот разрез расположен в пределах котловины Эймери и проходит по каналу Прюдс, который ранее считался одним из наиболее вероятных мест выхода на склон АШВ или ее смесей с МЦГВ. Однако в 2004 г. ДВЗП были обнаружены лишь в верхней части склона. Обнаруженная у дна на глубинах около 800 м вода имела потенциальную температуру –0,700 °C, соленость 34,560 ‰, содержание растворенного кислорода 6,1 мл/л. Характер распределения параметров на разрезе показывает, что эта вода скорее является результатом достаточно глубокой конвекции в районе АСФ, нежели результатом опускания вдоль дна от бровки шельфа сформированной здесь плотной смеси АШВ и МЦГВ. Это не исключает возможности ее дальнейшего перемещения вниз по склону со значительной западной составляющей. Повторение этого

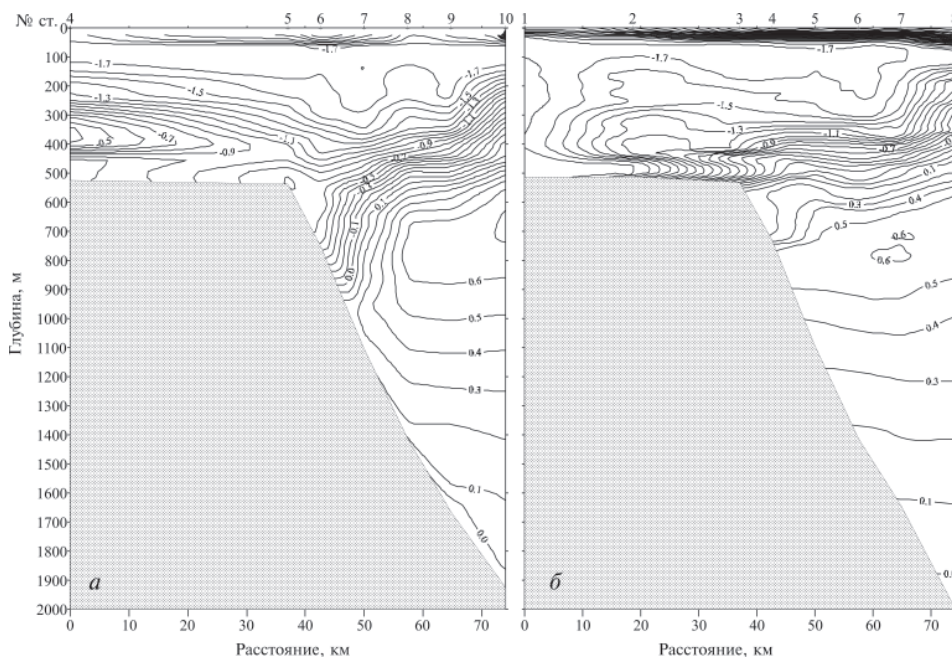


Рис. 6. Потенциальная температура на разрезе по 72° в.д. в январе 2004 г. (а) и в январе 2005 г. (б)

разреза в январе 2005 г. показало отсутствие ДВЗП даже в верхней части склона. Вместе с тем в 20 км к югу от бровки шельфа (станция 2, рис. 6) на этом разрезе придонный слой мощностью около 100 м занимает холодная (около $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) и относительно соленая (34,55 ‰) шельфовая вода, смешивание которой с более теплыми и солеными водами в районе бровки, видимо, станет причиной формирования потока ДВЗП.

В любом случае, структура вод над склоном на разрезе по 72° в.д. (рис. 6) позволяет достаточно уверенно полагать, что восточнее канала Прюдс опускания вод по материковому склону не происходит, а непосредственно в створе канала такие процессы могут иметь спорадический характер.

Иначе выглядит структура вод мористее бровки шельфа к западу от канала Прюдс. Уже на 71° в.д. выражены признаки опускания по склону холодной и плотной воды (распределение основных характеристик на этом разрезе показано на рис. 7). Здесь ДВЗП занимает придонный слой на глубинах 800–1700 м. При этом если на глубинах около 800 м эта вода имеет достаточно низкие значения температуры ($-1,22\text{ }^{\circ}\text{C}$) и солёности (34,56 ‰), то на 1200 м вода придонного слоя уже значительно трансформирована за счет перемешивания с ЦГВ и имеет температуру $-0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёность 34,633 ‰. На глубинах 1400–1700 м в районе станции 13 (рис. 7) ярко выражен так называемый «плюм» — изолированный от расположенных выше по склону донных вод объем ДВЗП с несколько иными характеристиками ядра (температура $-0,423\text{ }^{\circ}\text{C}$, солёность 34,617 ‰), кстати, расположенного не у дна, а в 100 метрах выше. Таким образом, на этом разрезе мы наблюдаем два разных механизма опускания ДВЗП. Первый — связанный с источником у бровки шельфа поток вниз и вдоль по склону; второй — опускание в виде «плюма», изолированного объема плотной воды. Анализ показывает, что вода этого

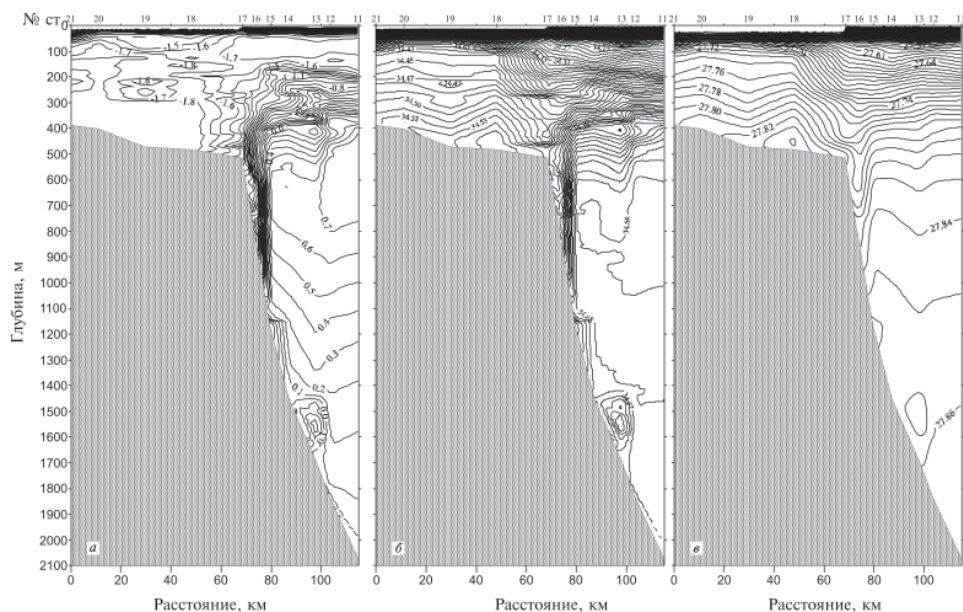


Рис. 7. Потенциальная температура (а), соленость (б) и потенциальная плотность (е) на разрезе по 71° в.д.

«плюма» в процессе перемешивания с близлежащими более теплыми и солеными водами может сформировать наблюдаемую на разрезе по 70° в.д. ДВЗП, обнаруженную там на глубинах более 1600 метров.

Далее в западном направлении, от 70 к 62° в.д., объем холодных вод над материковым склоном возрастает. Одной из причин активизации процессов опускания вод является сужение шельфа и увеличение уклона его дна в направлении от берега по мере смещения в западном направлении (табл. 1). На разрезах по 62 и 64° в.д. вся колонка воды над глубинами склона до 1200 м имеет отрицательную температуру от поверхности океана до дна, а в январе 2005 г. вся колонка имела температуру ниже $-0,7$ °С, а соленость ниже 34,56 ‰.

Другой причиной заполнения области склона холодными плотными водами является крупномасштабная динамика, согласно которой северная составляющая направленного на запад антарктического склонового течения, переносящая теплые ЦГВ, в этом долготном секторе разворачивается к северу, формируя западное звено крупномасштабного циклонического круговорота [2].

В целом пространственное распределение характеристик ДВЗП на выполненных разрезах имеет сложный характер. Это связано с отсутствием устойчивого поступления необходимых для формирования ДВЗП водных масс в район бровки шельфа, как это имеет место, например, на западе моря Уэдделла [1]. Другой отличительной чертой региона залива Прюдс, приводящей к заметному разнообразию в характеристиках ДВЗП, является более сложный характер рельефа дна материкового склона, наличие гребней и каньонов, достаточно резких изменений уклона дна. В силу этих причин распространение ДВЗП вниз и вдоль по склону происходит за счет разных механизмов, что, в частности, отражается в отсутствии монотонности в пространственном распределении температуры и солености придонного слоя.

Разнообразие механизмов формирования и распространения ДВЗП проявляется и в значительной временной изменчивости характеристик и объемов ДВЗП,

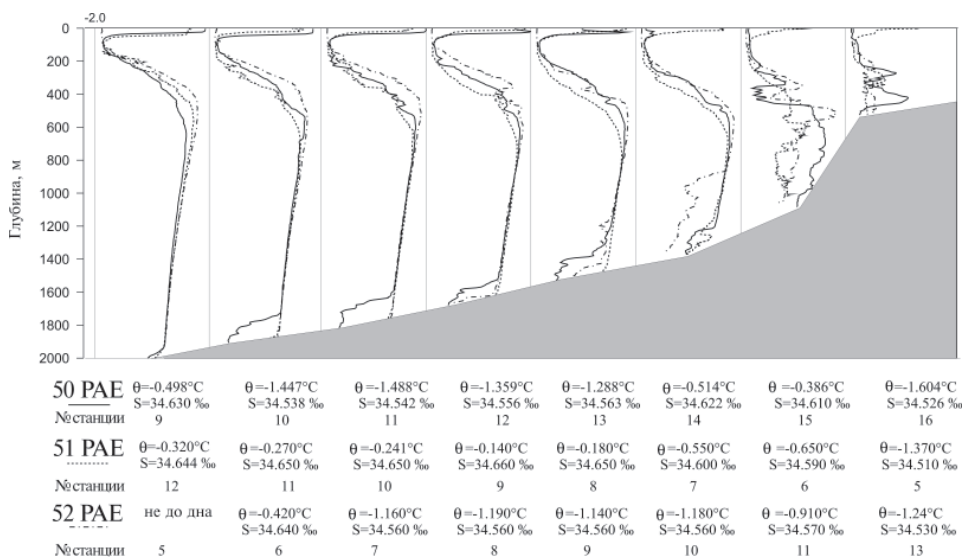


Рис. 8. Профили потенциальной температуры для станций разреза по 70° в.д., выполненного в 2005, 2006 и 2007 гг. Ниже приведены значения потенциальной температуры и солёности придонного слоя

наблюдаемых в разные годы. Яркой иллюстрацией такой изменчивости является изменение термической структуры на разрезе по 70° в.д., представленное на рис. 8. Хорошо выражены временные изменения как характеристик ДВЗП (приведены на рис. 8), так и различия в объемах опускающихся вдоль склона (или перемещающихся в западном направлении) холодных и плотных вод.

Донная вода залива Прюдс смешивается с граничащими с ней водными массами и вносит вклад как в классические АДВ, так и в глубинные воды на уровнях соответствующей плотности. Структура полей и особенности тонкой термической структуры отражают наличие таких процессов (рис. 7 и 8). Наличие интрузий и переслоенности на промежуточных глубинах связано с вентиляцией глубинных вод. Подобные особенности структуры выражены в некоторых случаях и в придонных слоях.

Таким образом, в результате экспедиционных океанографических исследований области залива Прюдс, а также шельфа и материкового склона западной части моря Содружества с борта НЭС «Академик Федоров» в период с 1997 по 2007 г. была получена информация, позволившая заметно расширить и уточнить представления о водных массах этого региона. Приведем основные результаты анализа данных наблюдений.

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, 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.

Высокосолёная модификация АШВ в заливе Прюдс не обнаружена. Такая вода (с температурой $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёностью $34,65\text{ ‰}$) была обнаружена только на одной станции западнее залива Прюдс, в депрессии шельфа на 66° в.д. Район формирования этой важной в климатическом плане водной массы АШВ пока установить не удалось, однако очевидно, что она не вносит заметного вклада в производство ДВЗП.

Обнаруженный на шельфе промежуточный максимум температуры связан с распространением модифицированной циркумполярной воды, играющей важную роль в процессах перемешивания на шельфе и вблизи АСФ. Основным районом проникновения МЦГВ на шельф являются центральная и восточная области залива (восточнее $72\text{--}73^{\circ}$ в.д.). Западнее 72° в.д. на всех станциях, расположенных на шельфе на расстоянии до 40 км от бровки, обнаружены относительные максимумы температуры, связанные с распространением МЦГВ. Тонкая структура на вертикальных профилях температуры и солёности отражает активное перемешивание МЦГВ с примыкающими водными массами. Температура в ядре МЦГВ, зафиксированная зимней экспедицией 1997 г. в восточной части залива на значительном удалении от бровки шельфа, значительно превышала точку замерзания ($-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), что позволяет предполагать известную роль МЦГВ в более раннем освобождении ото льда южных районов залива Прюдс.

Донная вода залива Прюдс – плотная, холодная, обогащённая кислородом водная масса, пополняющая слои глубинной и антарктической донной водных масс, обнаружена на большинстве станций, выполненных в долготном секторе $71\text{--}62^{\circ}$ в.д. в области материкового склона Антарктиды.

Формирование ДВЗП происходит вблизи бровки шельфа в пределах того же долготного региона с дальнейшим перемещением вниз и вдоль по склону за счёт разных процессов. По мере опускания происходит её перемешивание с ЦГВ, результирующая смесь пополняет АДВ или ЦГВ на уровнях, соответствующих плотности ДВЗП. Основными исходными водными массами для ДВЗП являются АШВ и МЦГВ, обнаруженные в районе залива Прюдс. Пространственное разнообразие свойств ДВЗП объясняется спорадическим характером интенсификации процессов её формирования, различиями свойств исходных водных масс, разнообразием механизмов перемещения ДВЗП по склону (геострофически сбалансированный поток, вихри, «плюмы», перемещение по каньонам).

Потенциальная температура обнаруженных на склоне ДВЗП находилась в диапазоне от $-0,3$ до $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, солёность составляла $34,54\text{--}34,62\text{ ‰}$, содержание растворённого кислорода $5,3\text{--}7,2\text{ мл/л}$. В целом наиболее холодная вода была и менее солёной, трансформация по мере перемещения по склону вела к потеплению и осолонению.

Информацию о временной изменчивости структуры вод над материковым склоном удалось получить благодаря повторению разрезов по 64 , 70 и 72° в.д. В частности, разрез по 70° в.д. выполнялся в течение 4-х лет, причём координаты станций в 2005, 2006 и 2007 гг. практически совпадали. В результате установлено, что свойства и структура ДВЗП претерпевают заметные изменения от года к году. Наиболее холодная и менее солёная ДВЗП на этом разрезе была наблюдаема в экспедиции 2005 г. (температура около $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, солёность $34,54\text{--}34,56\text{ ‰}$), а в 2006 г. температура и солёность этой воды оказались значительно выше ($-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $34,60\text{--}34,63\text{ ‰}$), а толщина слоя заметно меньше. В 2007 г. как мощность слоя ДВЗП, так и его термохалинные характеристики ($-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $34,56\text{ ‰}$) вновь продемонстрировали достаточно активное опускание вод приповерхностного происхождения вблизи дна материкового склона. Исследование причин столь заметных межгодовых изменений в процессах формирования донной воды в этом районе является важной задачей дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов Н.Н., Данилов А.И., Клепиков А.В. Циркуляция и структура вод западной части моря Уэдделла по данным натурного эксперимента «Дрейфующая станция “Уэдделл-1”» // Антарктика. М.: Наука, 1998. Вып. 34 С. 5–30.
2. Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Циклонические круговороты окраинных морей восточной Антарктиды // Арктика и Антарктика. М.: Наука, 2003. Вып. 2 (36). С. 126–148.
3. Григорьев Ю.А. Циркуляция поверхностных вод в заливе Прюдс // Информ. бюл. САЭ. 1968. № 68. С. 44–48.
4. Григорьев Ю.А. Гидрологические исследования в заливе Прюдс // Труды САЭ. 1971. № 54. С.180–199.
5. Денисов А.С., Мызникова М.Н. Особенности гидрологического режима в заливе Прюдс (февраль 1973 г.) // Труды САЭ. 1978. № 68. С. 100–105.
6. Зверев А.А. Аномалии температуры морской воды в заливе Прюдс // Информ. бюл. САЭ. 1959. № 6. С. 30–31.
7. Купецкий В.Н. О причинах аномалий гидрологических условий залива Олаф Прюдс // Известия ВГО. 1959. № 91. С. 356–358.
8. Саватюгин Л.М., Комова В.В. Гидрологическая характеристика залива Прюдс в феврале 1969 г. // Труды САЭ. 1971. № 57. С. 99–104.
9. Smiht N.R., Zhaoqian D., Kerry K.R., Wright S. Water masses and circulation in the region of Prydz Bay, Antarctica // Deep-Sea Res. 1984. Vol. 31. P. 1121–1147.
10. Vaz R.A., Lennon G.W. Physical oceanography of the Prydz Bay region of Antarctic waters // Deep-Sea Res. 1996. Vol. 43. P. 603–641.
11. Middleton J.H., Humphries S.E. Thermohaline structure and mixing in the region of Prydz Bay, Antarctica // Deep-Sea Res. 1989. Vol. 36. № 8. P. 1255–1266.
12. Wong A.P.S., Bindoff N.L., Forbes A. Ocean-Ice shelf interaction and possible bottom water formation in Prydz Bay, Antarctica // Ocean, Ice and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin. Antarctic Res. Ser. 1998. Vol. 75. P. 173–187.
13. Jacobs S.S., Georgi D.T. Observations on the southwest Indian Antarctic Ocean / A voyage of Discovery, M.V.Angel, editor // Deep-sea Res. 1977. Vol. 24. P. 43–84.
14. Whitworth III T., Orsi A.H., Kim S.-J., Nowlin W.D., Locarnini R.A. Water masses and mixing near Antarctic Slope Front // Ocean, Ice and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin. Antarctic Res. Ser. 1998. Vol. 75. P. 1–27.
15. Jacobs S.S. On the nature and significance of the Antarctic Slope Front // Marine Chemistry. 1991. Vol. 35. P. 9–24.

N.N.ANTIPOV, A.V.KLEPIKOV

OCEANOGRAPHIC CONDITIONS IN THE PRYDZ BAY AREA FROM THE AARI CRUISES IN 1997–2007

Main objective of the oceanographic studies during last Russian Antarctic Expeditions was to investigate the structure of the Antarctic Slope Front and water masses in the Prydz Bay. During the last four years the processes at the continental slope were investigated in the region to the west of Prydz Bay. Data obtained show Ice Shelf Water (ISW) with temperature below sea surface freezing temperature ($\sim -1,9^\circ\text{C}$) occupied 100–700 m thick bottom layer near the Amery Ice Shelf front. This water goes to the north along western border of Amery Depression and then flows down the continental slope in the region to the west of Prydz Channel ($\sim 72^\circ\text{E}$). Data demonstrate that Low Salinity Shelf Water (LSSW) is typical for the Prydz Bay. However, High Salinity Shelf Water (HSSW) which is important for bottom water formation was found at section 66°E in January 2005. The origin of this HSSW is not determined. Descending water in the region to the west of Prydz Channel results in deep water ventilation and bottom water formation. Prydz Bay Bottom Water with temperatures from $-0,3$ to $-1,9^\circ\text{C}$ and salinities $34,54$ – $34,62$ ‰ is found in the region between 64° and 72°E .