

УДК 551.465

ПОТОК АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ВОСТОЧНУЮ ЧАСТЬ ПРОХОДА ФИЛИП В МОРЕ УЭДДЕЛЛА

© 2020 г. Е. Г. Морозов¹, *, Д. И. Фрей¹, Р. Ю. Тараканов¹¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: egmorozov@mail.ru

Поступила в редакцию 28.03.2020 г.

После доработки 24.04.2020 г.

Принята к публикации 22.06.2020 г.

Описаны измерения течений и свойств Антарктической донной воды, которая перетекает из моря Уэдделла в море Скотия через один из проходов (восточная часть прохода Филип на меридиане около 48° з.д.) в подводном хребте Саут Скотия. Обнаружен слабый поток Глубинной воды моря Уэдделла на север. Поток на север зарегистрирован только в западной части прохода шириной 14 км. Скорости потока – 4 см/с, перенос – 0.1–0.2 Св.

Ключевые слова: Антарктическая донная вода, море Уэдделла, проход Филип, море Скотия, течения.

DOI: 10.31857/S0030157420050160

ВВЕДЕНИЕ

Антарктическая донная вода (ААДВ) формируется на континентальном склоне Антарктиды в процессе смешения Антарктической шельфовой воды, Антарктической поверхностной воды и Циркумполярной глубинной воды [14]. Взаимодействие этих водных масс порождает конвективные плюмы, которые опускаются вниз по континентальному склону Антарктиды [13]. Антарктическая шельфовая вода является самой плотной водой в Южном полушарии. Поток этой воды движется вдоль и одновременно вниз по континентальному склону и в ходе этого движения смешивается с Циркумполярной глубинной водой. Водная масса, получающаяся в результате смешения этих вод, достигает ложа океана и формирует, таким образом, Антарктическую донную воду.

Исследователи водных масс антарктического района сходятся во мнениях [2, 14, 18], что подавляющая часть массы ААДВ образуется в пяти районах Антарктики: в южной и западной частях моря Уэдделла, в море Содружества в индоокеанском секторе Антарктики, у берега Георга V на стыке индоокеанского и тихоокеанского секторов, в западной части моря Росса, в восточной части моря Росса. При этом 60–65% ААДВ образуется в первых двух из этих районов [3, 14, 15]. В работах [3, 12] показано, что Глубинная вода моря Уэдделла (Weddell Sea Deep Water, WSDW) может переливаться через хребет Саут Скотия (South Scotia Ridge), а более плотная Донная вода моря Уэдделла (Weddell Sea Bottom Water, WSBW) не может.

В 1990-х годах был проведен крупномасштабный океанский международный эксперимент по изучению циркуляции в океане (WOCE). Эксперимент в Глубоком Океанском Бассейне (Deep Basin Experiment) был направлен на изучение распространения Антарктической донной воды. Интенсивность образования Антарктической донной воды оценена Гордоном и др. [9] в 30–40 Св, причем к северу от Антарктического циркумполярного течения в Атлантический океан, согласно [4], попадает не более 5.0–6.8 Св ААДВ.

Пути распространения антарктических вод между бассейнами Атлантики привязаны к понижениям рельефа дна. Из моря Уэдделла ААДВ распространяется на север в море Скотия через четыре прохода в хребте Саут Скотия, а также через Южно-Сандвичев желоб (рис. 1, 2). Дальнейшее проникновение ААДВ на север в Аргентинскую котловину осуществляется через Фолклендский проход в Фолклендском хребте [17]. Часть этого потока следует вдоль южной и западной окраин Аргентинской котловины. Другая часть захватывается Субантарктическим фронтом и следует на восток вместе с Антарктическим циркумполярным течением [17].

По данным работы [13], общее формирование Антарктической донной воды в море Уэдделла оценивается как 9.7 ± 3.7 Св. В проходах хребта Саут Скотия имеется пять проходов разной ширины и глубины. Перенос глубинной воды моря Уэдделла через хребет Саут Скотия оценен как 6.7 ± 1.7 Св. Основная часть ААДВ вытекает на север из моря Уэдделла через самый глубокий

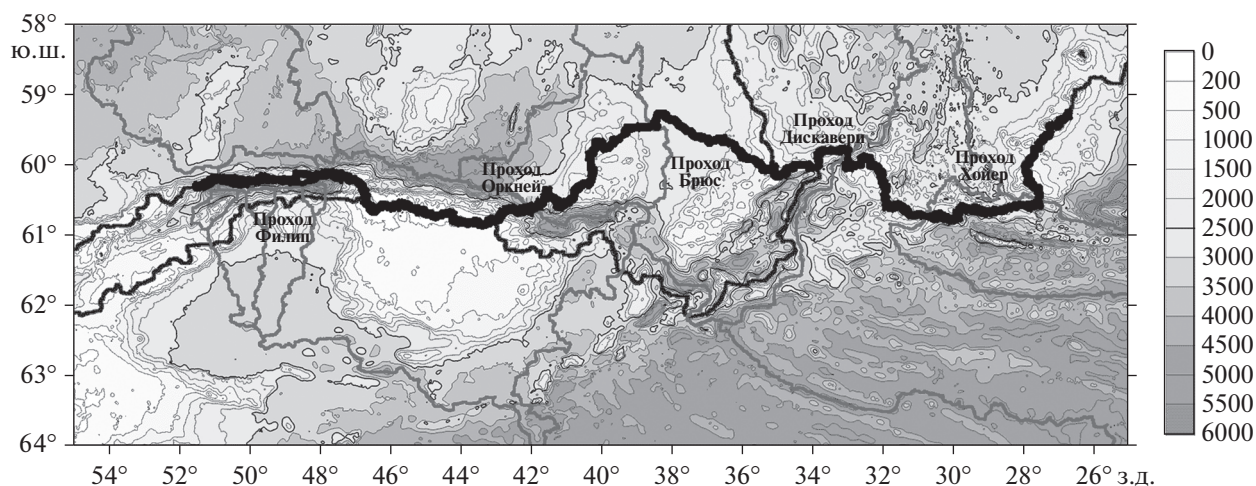


Рис. 1. Батиметрическая карта северной части моря Уэдделла. Показаны: тальвег – линия минимальных глубин в проходах и линия гребней подводных хребтов (светло-серые линии). Гребни подводных и надводных хребтов (черные линии). Толстая черная линия показывает гребень хребта Саут Скотия, профиль которого приведен на рис. 2.

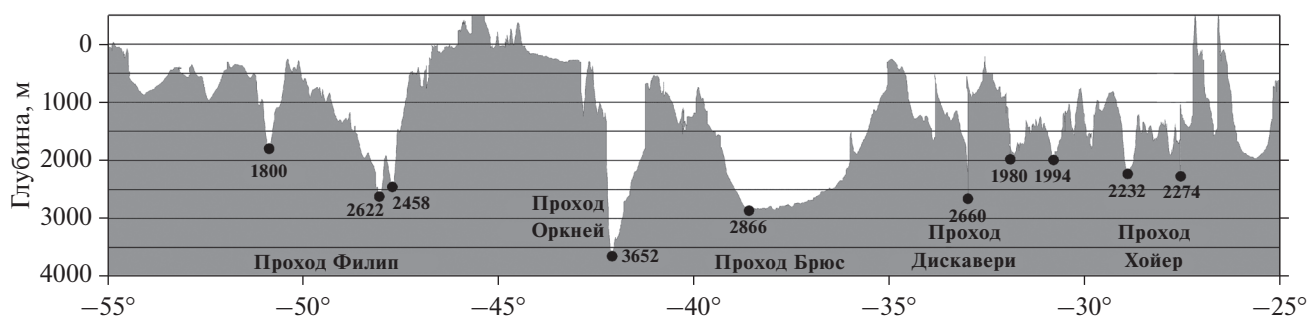


Рис. 2. Профиль глубин и высот вдоль линии гребней подводного хребта Саут Скотия и островов. Цифры обозначают максимальную глубину перевала в метрах.

проход Оркней (Orkney Passage). Перенос глубинной воды моря Уэдделла через проход Филип по данным зондирований профилографом скорости LADCP оценен как 0.7 ± 0.4 Св. Другой расчет по геострофическому соотношению и с отчетной поверхностью, определенной по данным LADCP, показывает перенос 0.2 ± 0.4 Св, что в обоих расчетах близко к нулю. Максимальные скорости в проходе Филип – около 20 см/с. Перенос через проход Оркней максимален (6.0 ± 0.6 Св) и определяет почти весь перенос через хребет Саут Скотия. Скорости потока там превосходят 50 см/с. Через проходы Брюс и Дискавери течет незначительное количество воды.

В работе [16] на основании численной модели BRIOS-1 перенос глубинной воды моря Уэдделла через проходы в хребте Саут Скотия оценен как 6.7 Св. Из них поток через проход Филип оценен как более 2 Св с максимумом в апреле (2.4 Св) и минимумом в октябре (2.2 Св), а оценка потока

через проход Оркней – около 5 Св. Потoki в остальных трех проходах незначительны.

В этой работе мы рассмотрим измерения течений в проходе Филип (Philip Passage), которые были проведены в 79-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в январе 2020 г. В работе [12] проход Филип рассматривается как широкое пространство между Южными Оркнейскими островами на востоке (47° з.д.) и островом Шишкова на западе (55° з.д.). На этом широком интервале есть несколько углублений. Мы проводили работы только в восточной узкой части этого интервала по $60^\circ 08'$ ю.ш. между $48^\circ 06'$ и $47^\circ 42'$ з.д.

ВАЖНОСТЬ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ ПРОХОДЫ В ХРЕБТЕ САУТ СКОТИЯ

Поток Антарктической донной воды через проходы в хребте Саут Скотия влияет на свойства донной воды в море Скотия, в Аргентинской котловине и далее на изменчивость температуры воды в канале Вима. Такое влияние объясняется ме-

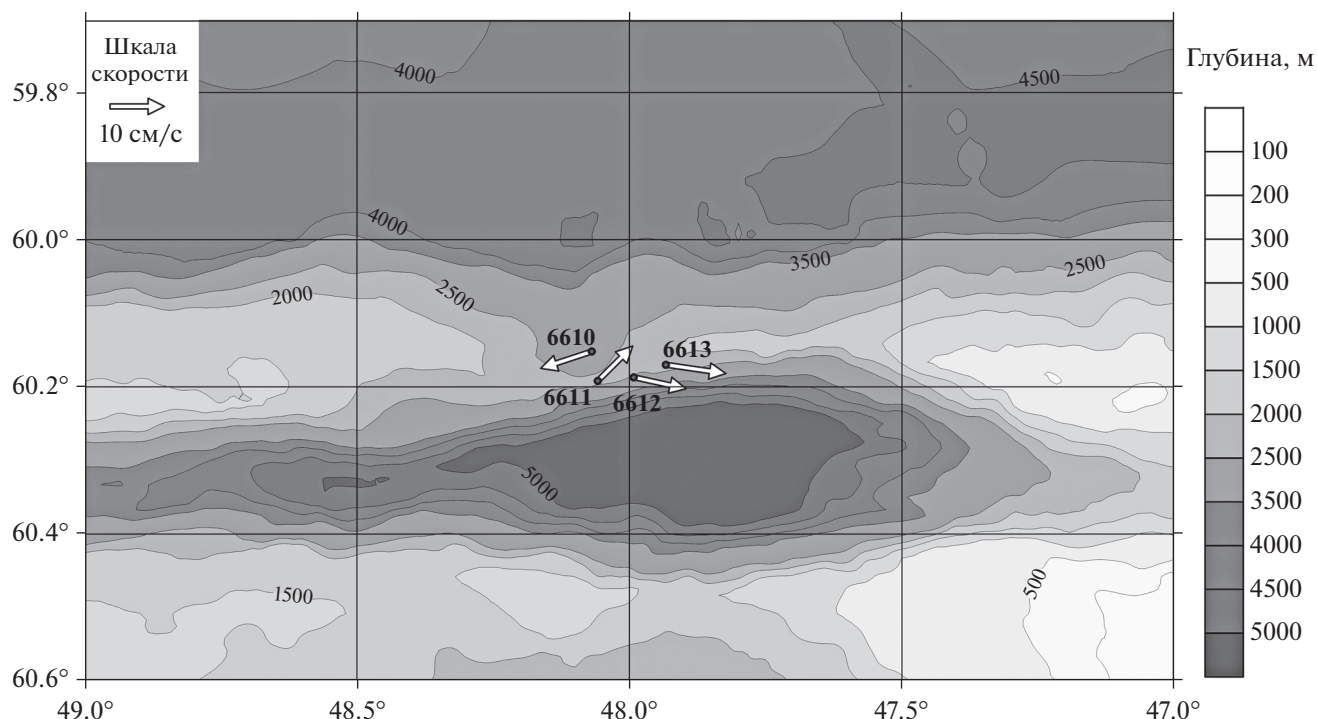


Рис. 3. Батиметрия района восточной части прохода Филип. Схема станций и вектора придонных течений.

ханизмом, предложенным в работах [10] и [4]. Изменения в ветровом циклоническом воздействии на океан в атмосферном круговороте Уэдделла приводят к тому, что изопикнические поверхности в море становятся либо более плоскими, либо более наклонными при сильных ветрах в соответствии с усилением или ослаблением атмосферного круговорота (spinup или spindown). Это приводит к изменению плотности Глубинной воды моря Уэдделла, которая переливается через хребт Саут Скотия в море Скотия. При сильных ветрах самая холодная вода остается захваченной южнее хребта, а переливается лишь менее плотная вода. При слабых средних ветрах изопикнические поверхности становятся более плоскими, и более плотная вода может протекать в проходы в хребте. Таким образом, объемы воды разной плотности попадают в море Скотия и далее в Аргентинскую котловину, модулируя процесс дальнейшего распространения донной воды на север. Схема колебаний изопикнических поверхностей изображена на рис. 4.22 в книге [11].

ТЕЧЕНИЯ И ТЕРМОХАЛИННЫЕ СВОЙСТВА ВОД В ПРОХОДЕ ФИЛИП

Термохалинные свойства вод в море Уэдделла описаны в работах [8, 6, 7]. Холодная зимняя вода занимает верхний слой до 100–300 м глубины. Летом верхний слой до 50–100 м прогревается и перемешивается. Глубже этой воды залегает слой

Теплой глубинной воды, который определяет максимум температуры и солёности на промежуточных глубинах около 600 м. Далее залегает слой Глубинной воды моря Уэдделла, или, в другой терминологии, Антарктической донной воды. Под ней находится слой Донной воды моря Уэдделла с температурой менее -0.7°C .

Работы экспедиции на НИС “Академик Мстислав Келдыш” в проходе Филип начались 28 января и закончились 29 января 2020 г. Сначала был выполнен эхолотный промер. Обнаружено положение поперечного хребта и выполнен промер глубин вдоль этого хребта. Карта глубин, станций и векторов течений у дна показана на рис. 3. Мгновенные скорости течений, измеренные профилографами, были подвергнуты обработке для удаления приливных течений, оцененных по модели Университета штата Орегон (США) TRHO 9 [5].

Выполнено три станции поперек прохода и одна станция на северном склоне, предположительно вниз по потоку. Вертикальные распределения потенциальной температуры и солёности в районе работ на станции 6611 ($60^{\circ}11.5'$ ю.ш., $48^{\circ}03.6'$ з.д.) показаны на рис. 4. Солёность показана глубже 40 м, чтобы исключить верхний распресненный слой (31–33 епс).

Слой 500–1000 м занят относительно теплой (0.2 – 0.5°C) водой, которая характерна для всего моря Уэдделла. Вся вода, что находится ниже горизонта 1000 м, еще холоднее. Глубинная вода

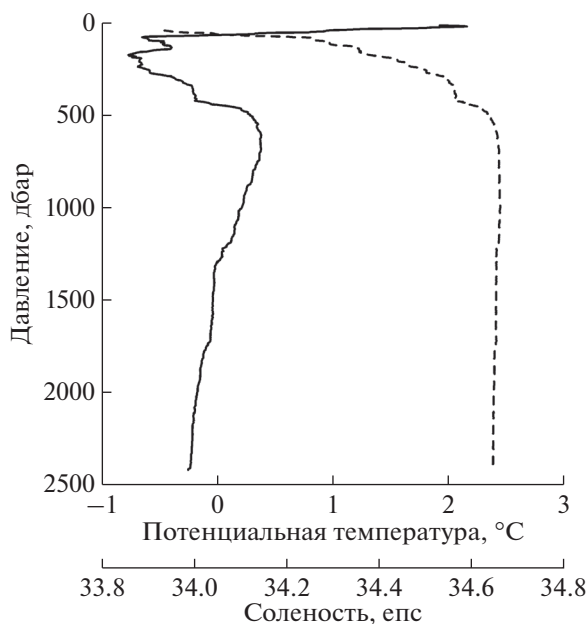


Рис. 4. Вертикальное распределение потенциальной температуры (сплошная линия) и солёности (штриховая) воды на станции 6611 (60°11.6' ю.ш., 48°03.6' з.д.).

моря Уэдделла может перетекать через большую часть гребня хребта Саут Скотия. Лишь только поток самой холодной ее части направлен в узкие проходы в хребте.

В работе [13] показано, что перенос на север Глубинной воды моря Уэдделла в проходах в хребте Саут Скотия осуществляется в западных частях проходов, в то время как в восточных частях проходов идет перенос на юг. На станции 6611 в западной части прохода Филип на придонных горизонтах обнаружено течение около 8 см/с на северо-восток. Эта станция находится точно на седловине поперечного хребта через проход на глубине 2376 м. На двух восточных станциях (6612 и 6613) обнаружен перенос на восток—северо-восток со скоростями придонного течения около 9 см/с. Эти станции расположены на южном склоне поперечного хребта.

Для слоя Глубинной воды моря Уэдделла, расположенной глубже 1000 м, средние скорости переноса на север на станциях 6610 и 6611 в западной части прохода оценены как 4 см/с, что дает перенос глубинной воды на север в пределах 0.1–0.2 Св.

ВЫВОДЫ

В восточной части прохода Филип в море Уэдделла обнаружен слабый поток Глубинной воды моря Уэдделла на север. Поток на север зарегистрирован только в западной части узкого прохода

да на меридиане около 48° з.д. Скорости потока — 4 см/с, перенос — 0.1–0.2 Св.

Источник финансирования. Работа выполнена по госзаданию 0128-2019-0008. Анализ STD-данных поддержан грантом РФФ 16-17-10149, измерения в океане поддержаны грантом РФФИ 20-08-00246.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов Е.Г., Демидов А.Н., Тараканов Р.Ю. Перенос Антарктических вод в глубоководных каналах Атлантики // Докл. АН. 2008. Т. 422. № 6. С. 815–818.
2. Baines P.G., Condie S. Observation and modelling of Antarctic downslope flows: a review // In: Ocean, Ice, and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin. Antarctic Res. Ser. 1998. V. 75. P. 29–49.
3. Carmack E.C., Foster T.D. On the flow of water out of the Weddell Sea // Deep-Sea Research. 1975. V. 22. P. 711–724.
4. Coles V.J., McCartney M.S., Olson B.D., Smethie W.J. Changes in Antarctic Bottom Water properties in the western South Atlantic in the late 1980s // J. Geophys. Res. 1996. V. 101 (C4). P. 8957–8970.
5. Egbert G.D., Erofeeva S.Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2002. V. 19. No. 2. P. 183–204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183:EI-MOBO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EI-MOBO>2.0.CO;2)
6. Fahrbach E., Harms S., Rohardt G. et al. Flow of bottom water in the northwestern Weddell Sea // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. P. 2761–2778.
7. Fahrbach E., Hoppema M., Rohardt G. et al. Decadal-scale variations of water mass properties in the deep Weddell Sea // Ocean Dyn. 2004. V. 54. P. 77–91. <https://doi.org/10.1007/s10236-003-0082-3>
8. Fahrbach E., Rohardt G., Scheele N. et al. Formation and discharge of deep and bottom water in the northwestern Weddell Sea // Journal of Marine Research. 1995. V. 53. P. 515–538.
9. Gordon A.L., Visbeck M., Huber B. Export of Weddell Sea deep and bottom water // J. Geophys. Res. 2001. V. 106 (C5). P. 9005–9017.
10. Meredith M.P., Naveira Garabato A.C., Gordon A.L., Johnson G.C. Evolution of the deep and bottom waters of the Scotia Sea, Southern Ocean, during 1995–2005 // J. Climate. 2008. V. 21. P. 3327–3343.
11. Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W. Abyssal channels in the Atlantic Ocean: water structure and flows. 2010. Springer. Dordrecht. 266 p.
12. Naveira Garabato A.C., Heywood K.J., Stevens D.P. Modification and pathways of Southern Ocean deep waters in the Scotia Sea // Deep-Sea Research I. 2002b. V. 49. P. 681–705.
13. Naveira Garabato A.C., McDonagh E.L., Stevens D.P., Heywood K.J., Sanders R.J., On the export of Antarctic Bottom Water from the Weddell Sea // Deep-Sea Research II. 2002a. V. 49. P. 4715–4742.
14. Orsi A.H., Johnson G.C., Bullister J.L. Circulation, mixing, and production of Antarctic Bottom Water // Progress in Oceanography. 1999. V. 43. P. 55–109.

15. *Rintoul S.R.* On the origin and influence of Adelie Land Bottom Water, Ocean, Ice, and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin // *Antarctic Research Series*. 1998. V. 75. P. 151–171.
16. *Schodlok M.P., Hellmer H.H., Beckmann A.* On the transport, variability and origin of dense water masses crossing the South Scotia Ridge // *Deep-Sea Research II*. 2002. V. 49. P. 4807–4825.
17. *Whitworth T., Nowlin W.D., Pillsbury R.D. et al.* Observations of the Antarctic Circumpolar Current and Deep Boundary Current in the Southwest Atlantic // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96 (15). P. 105–118.
18. *Whitworth T., Orsi A.H., Kim S.-J. et al.* Water masses and mixing near the Antarctic Slope Front // In: *Ocean, Ice, and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin*. Antarctic. Res. Ser. 1998. V. 75. P. 1–27.

Antarctic Bottom Water Flow Through the Eastern Part of the Philip Passage in the Weddell Sea

E. G. Morozov^{a, #}, D. I. Frey^a, R. Yu. Tarakanov^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: egmorozov@mail.ru*

Measurements of currents and Antarctic Bottom Water properties overflowing the sill from the Weddell Sea to the Scotia Sea are described. The bottom water overflows the sill of one of the passages through the South Scotia Ridge (eastern part of the Philip Passage approximately at 48° W). A weak flow of the Weddell Sea Deep Water to the north was found. The northward flow was recorded only in the western part of the passage, which is 14 km wide. The velocity of the flow is 4 cm/s, the bottom water transport is 0.1–0.2 Sv.

Keywords: Antarctic Bottom Water, Weddell Sea, Philip Passage, Scotia Sea, currents.