

УДК 551.46

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ПЕРЕНОСА АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ В ГЛУБОКОВОДНОМ КАНАЛЕ ВИМА

Е. Г. Морозов^{1,*}, Д. И. Фрей¹, член-корреспондент РАН В. Г. Нейман¹,
Н. И. Макаренко², Р. Ю. Тараканов¹

Поступило 29.01.2019 г.

В апреле 2017 г. и в октябре 2018 г. в российской экспедиции на научно-исследовательском судне “Академик Сергей Вавилов” в юго-западной Атлантике были выполнены измерения температуры, солёности и скорости течения на стандартном разрезе через глубоководный канал Вима по 31°12′ ю.ш. При этом обнаружены предельно высокие и предельно низкие скорости потока и расхода Антарктической донной воды за всю историю наших наблюдений на этом разрезе. В 2017 г. максимальная скорость на разрезе достигала 55 см/с, а в 2018 г. она не превышала 30 см/с. В 2018 г. характерное для стрежня потока Антарктической донной воды чёткое ядро повышенной скорости в придонных слоях канала отсутствовало.

Ключевые слова: канал Вима, Антарктическая донная вода, абиссальные потоки, измерения в океане, профили CTD/LADCP, изменчивость течений.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524864485-488>

Глубоководный канал Вима длиной более 700 км соединяет Аргентинскую и Бразильскую котловины [1] и является одним из основных естественных каналов, по которым проходит Антарктическая донная вода (ААДВ) при её распространении на север.

Начиная с 2002 г., Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН проводит эпизодические измерения потока ААДВ через канал Вима. Эти исследования являются продолжением работ, начатых и многократно выполнявшихся в данном районе немецкими учеными в 1990-х гг. [2]. На сегодняшний день российское участие в этой программе заключается в девятикратном выполнении стандартного разреза поперек канала Вима по широте 31°12′ ю.ш.: в 2002, 2003, 2004, 2 раза в 2005 г., в 2006, 2009, 2017 и 2018 гг. В этом месте находится главная седловина канала [3], ширина которого здесь равна примерно 15 км. Таким образом, данные об этом потоке постоянно пополняются. Наши наблюдения проводились с помощью зонда CTD SBE19 и, начиная с 2005 г. сопровождалась измерениями течений погружаемым профилографом LADCP RDI 300 кГц (Lowered acoustic Doppler current profiler) [4].

Выполненный в свое время анализ экспериментальных данных по распространению ААДВ в Мировом океане [5] позволил сформулировать существующее представление о том, что эта водная масса обладает наибольшей плотностью за счёт своей экстремально низкой температуры. В Атлантике ААДВ можно определить как водную массу с потенциальной температурой $\theta < 2^\circ\text{C}$ [1, 2], которая расположена под слоем Североатлантической Глубинной воды (САГВ). В Атлантическом океане ААДВ формируется в море Уэдделла, откуда под влиянием перепада уровня ее верхней границы осуществляется её основной перенос в северном направлении [6].

Канал Вима является наиболее глубоководным из трёх возможных путей проникновения ААДВ на север из Аргентинской котловины в Бразильскую, к числу которых относятся также плато Сантос и канал Хантер [1]. Глубины канала Вима превышают 4600 м, в то время как остальные потенциальные проходы имеют на несколько сотен метров меньшую глубину. Известно, что канал Вима представляет собой узкий проход между двумя террасами, расположенными к востоку и западу от него, и является путём распространения наиболее холодных и плотных форм ААДВ [7–9]. Поток ААДВ в канале Вима формирует по крайней мере два ядра с низкой температурой [10]. Один поток связан с руслом канала и представляет собой гидравлически управляемый сток ААДВ, накапливающейся в глубокой абиссали

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской Академии наук, Москва

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск

*E-mail: egmorozov@mail.ru; vneiman2007@yandex.ru

Аргентинской котловины. Второй поток следует над пологим западным склоном канала на глубинах на несколько сот метров меньше первого и является частью Глубинного западного пограничного течения ААДВ в Атлантике, поддерживаемого геострофическим балансом.

Измерения, проведенные во многих экспедициях, показали, что ядро ААДВ в канале Вима представляет собой изотропную струю толщиной около 150–200 м с потенциальной температурой ниже 0,2 °С. В качестве характерной кинематической особенности этой струи отмечено, что за счёт трения в экмановском придонном слое она смещена к восточному склону канала [11].

В данной работе была поставлена задача оценки максимальных и минимальных скоростей и расходов течения в пределах слоя ААДВ по собственным и другим доступным данным измерений в канале Вима. При этом мы имели возможность сравнить наши данные, прежде всего, с результатами немецких ученых из института GEOMAR, которые в 1991–1992, 2003–2005, и в 2005–2007 гг. выставляли долговременные буи с измерителями течений в канале Вима на широтах 31°08' ю.ш. и 31°15' ю.ш. [1, 4, 12]. Их измерители течений находились в придонном слое в канале на расстоянии 15–50 м от дна. Как правило, средние скорости здесь были в диапазоне 20–35 см/с. При этом максимальные скорости направленного на север течения достигали 56,1 см/с. В пределах всего обширного массива немецких данных было обнаружено, что в некоторых случаях приборы зафиксировали минимальную скорость потока в слое ААДВ вплоть до перемены знака его направления и возникновения переноса на юг со скоростью 2,8 см/с. Надо отметить, что направленная на юг скорость фиксировалась в пределах весьма короткого промежутка времени продолжительностью всего несколько часов [4].

Традиционный стандартный разрез в канале Вима, по которому можно проводить сравнения измерений гидрофизических характеристик ААДВ в разные годы, выполнялся по 31°12'–31°14' ю.ш. На основе всех доступных результатов наблюдений стало ясно, что термодинамическая структура потока ААДВ в канале изменчива. Была обнаружена тенденция к повышению потенциальной температуры в ядре ААДВ — за последнее две декады на несколько сотых градуса [13]. Отмечаются значительные флуктуации скорости течения и меридионального переноса ААДВ в северном направлении. Наиболее полный обзор всех долговременных буйковых постановок в канале Вима приведён в [12].

В апреле 2017 г. в 44-м рейсе научно-исследовательского судна (нис) “Академик Сергей Вавилов” мы в восьмой раз начиная с 2002 г. выполнили стандартный разрез через канал Вима по широте 31°12' ю.ш. Разрез, состоявший из 8 станций, был продлён на запад с тем, чтобы получить более детальную картину распределения скорости течений на всем поперечном сечении канала и далее на плато Сантос. На рис. 1а показано распределение скорости течения в канале Вима по данным наших измерений в 2017 г., выполненных с помощью профилографа LADCP. Как и прежде, ядро холодной и распресненной воды было смещено к восточной стенке канала.

Основная характерная особенность распределения северной меридиональной компоненты скорости течения на разрезе состоит в том, что основной поток донной воды оказался привязанным к западной и центральной частям канала, что, по-видимому, является здесь обычным явлением [3, 4, 11]. Показанная на рисунке нормальная к разрезу компонента скорости была близка по величине к модулю ее полного вектора и достигала 55 см/с, что более чем в 1,5 раза больше средних значений по измерениям в разные годы (30–35 см/с). Таким образом, в 2017 г. нам удалось зафиксировать абсолютный положительный экстремум скорости ААДВ в канале Вима за весь период собственных наблюдений в этом районе. Одновременно с этим наблюдения показали, что у восточного склона канала скорость течения была в среднем почти на 10 см/с ниже, чем у западного. В соответствии с характеристиками поля скорости были сделаны оценочные расчеты объемного переноса в северном направлении придонной воды в канале через его поперечный разрез. Вначале был рассчитан расход в слое ниже изотермы потенциальной температуры $\theta = 2$ °С. Величина расхода этого направленного на север переноса, ассоциируемого с полной массой ААДВ, оказалась равной 3,1 Св (1 Св = 10^6 м³/с). Затем для сопоставления порядка величин был выполнен расчет переноса в слое с температурой менее 0,2 °С, в пределах между жидкими вертикальными границами от 39°41' з.д. до 39°14' з.д. Расход рассчитанного в таких границах направленного на север потока наиболее холодной части массы ААДВ составил 1,1 Св.

В октябре 2018 г. в 46-ом рейсе нис “Академик Сергей Вавилов” мы выполнили шесть станций на стандартном разрезе через канал Вима по 31°12' ю.ш. На этот раз разрез, протянувшийся с востока на запад, был выполнен только до долготы 39°29' з.д., поскольку в предыдущем году западнее этого меридиана наблюдались лишь весьма слабые течения.

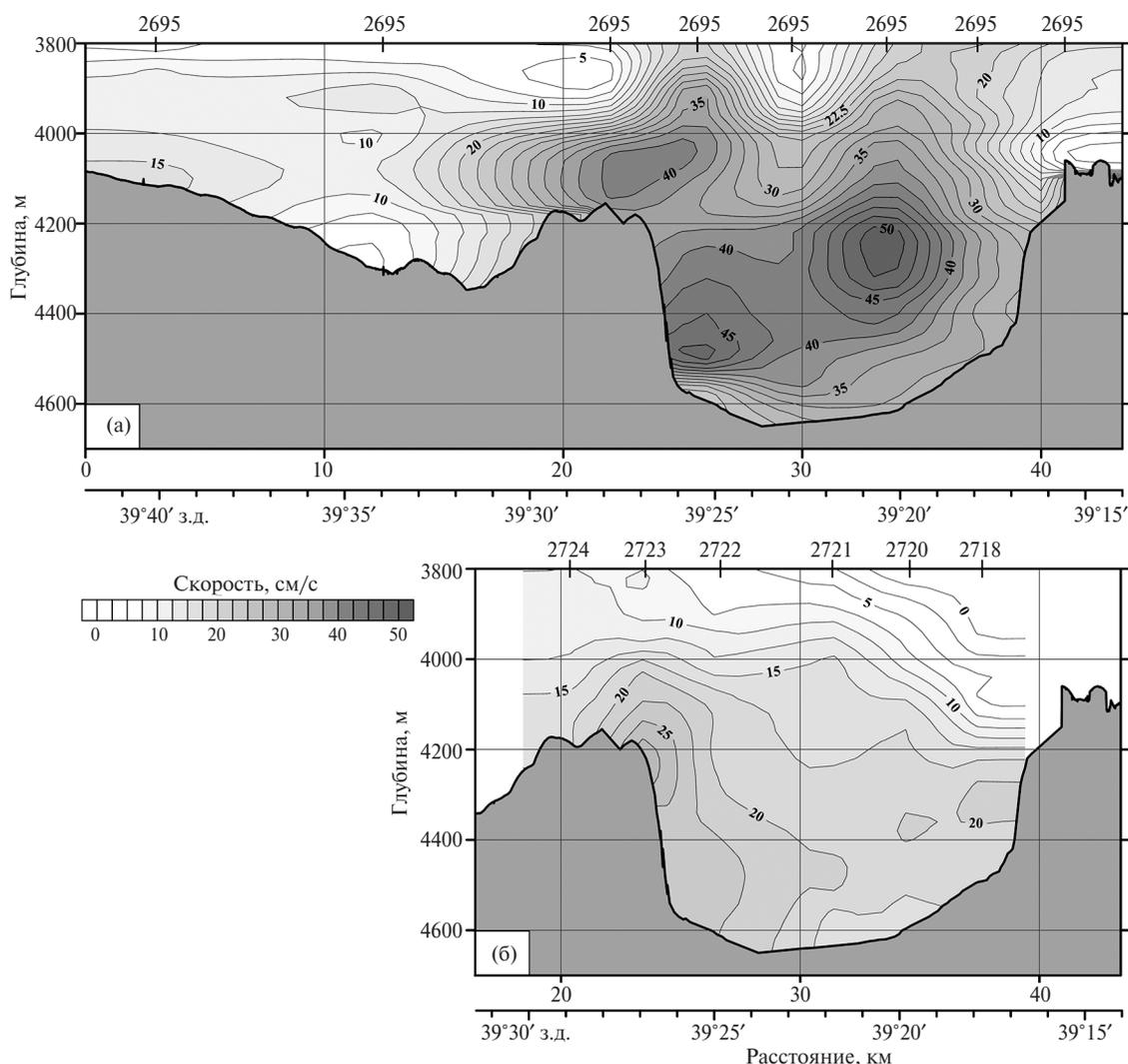


Рис. 1. Распределения меридиональной компоненты скорости на разрезе по широте $31^{\circ}12'$ ю.ш. в апреле 2017 г. (а) и в октябре 2018 г. (б). Вверху разреза указаны номера станций, на которых проводились измерения.

Хотя скорости на разрезе в 2018 г. также оказались невысокими, тем не менее они повсеместно превышали 10 см/с в придонном 100-метровом слое. Ядро холодной и распреснённой воды, как и в предыдущих случаях, было смещено к восточной стенке канала. Разрез меридиональной компоненты скорости течения, построенный по данным наблюдений 2018 г., приведён на рис. 1б.

На рисунке видно, что в 2018 г. в канале Вима направленный на север поток донной воды был зафиксирован вблизи западной стенки канала. Однако максимальная величина нормальной к разрезу компоненты скорости течения в его ядре не превышала 30 см/с. Эту величину, по-видимому, надо считать экстремально низким значением скорости ААДВ, когда-либо зафиксированной нашими собственными инструментальными измерениями в канале Вима. Соответственно, рассчитанный перенос

массы донной воды в слое, лежащем ниже изотермы 2°C , оказался равным 1,1 Св, т.е. почти в три раза меньше по сравнению с величиной подобной оценки по данным предшествующего года. Важно, что расход воды, заключённой в слое, находящемся ниже изотермы $0,2^{\circ}\text{C}$, оказался в пределах точности расчёта, фактически такой же, что и в 2017 г. — около 1 Св.

Таким образом, в апреле 2017 г. и в октябре 2018 г. мы обнаружили предельно высокие и предельно низкие скорости потока ААДВ в канале Вима. В 2017 г. поток состоял из двух ядер: одно располагалось посередине канала и максимальные скорости (55 см/с) были измерены на горизонте 4300 м, т.е. в 300 м выше дна канала. Второе ядро находилось над западным склоном канала и скорости в нем превышали 40 см/с. В октябре 2018 г. скорости потока оказались предельно низкими. Ядро располагалось

над западной стенкой канала и скорости не превышали 30 см/с. Переносы массы донной воды в слое ниже изотермы $\theta = 2^\circ\text{C}$ в 2017 и 2018 гг. оказались 3,1 и 1,1 Св соответственно. Расходы воды в нижнем придонном слое с потенциальной температурой ниже $0,2^\circ\text{C}$ (Глубинная вода моря Уэдделла) в оба указанных года были около 1,1 и 1,0 Св.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках госзадания 0149–2019–0004, экспериментальные измерения в океане поддержаны грантом РФФИ (проект № 17–08–00085).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hogg, N.G., Siedler G., Zenk W. // J. Phys. Oceanogr. 1999. V. 29. P. 145–157
2. Zenk W., Hogg N. // Deep-Sea Res. 1996. V. 43. № 9. P. 1461–1473.
3. Zenk W., Speer K.G., Hogg N.G. // Deep-Sea Res. 1993. V. 40. P. 1925–1933.
4. Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean: Water Structure and Flows. Dordrecht: Springer, 2010. 266 p.
5. Океанология Физика океана. Т. 1. Гидрофизика океана / под ред. В.М. Каменковича, А.С. Моница. М.: Наука, 1978. 456 с.
6. Бышев В.И., Нейман В.Г. // Исследование динамики глубинных вод по данным инструментальных наблюдений в Южной Атлантике. В кн. Фундаментальные исследования океанов и морей. М.: Наука, 2006. С. 34–40.
7. Морозов Е.Г., Демидов А.Н., Тараканов Р.Ю. // ДАН. 2008. Т. 422. № 6. С. 815–818.
8. Морозов Е.Г., Фрей Д.И., Камнос Э. // Фундамент. и прикл. гидрофизика. 2018. Т. 11. № 2. С. 94–102.
9. Фрей Д.И., Фомин В.В., Дианский Н.А., Морозов Е.Г., Нейман В.Г. // ДАН. 2017. Т. 473. № 1. С. 104–107.
10. Тараканов Р.Ю., Морозов Е.Г. // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 173–181.
11. Jungclaus J., Vanicek M. // J. Geophys. Res., 1999. V. 104. № C9. P. 21123–21136.
12. Zenk W., Visbeck M. // Deep Sea Res. II. 2013. V. 85. P. 244–260.
13. Zenk W., Morozov E. // Geophys. Res. Lett., 2007. V. 34. № 14. L14607.

EXTREME TRANSPORT VELOCITIES OF ANTARCTIC BOTTOM WATER FLOW THROUGH THE DEEP VEMA CHANNEL

E. G. Morozov¹, D. I. Frey¹, Corresponding Member of the RAS V. G. Neiman¹,
N. I. Makarenko², R. Yu. Tarakanov¹

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

Received January 29, 2019

In April 2017 and in October 2018, a Russian expedition on the R/V “Akademik Sergey Vavilov” in the South-West Atlantic carried out measurements of temperature, salinity, and velocity over a standard section across the deep Vema Channel at 31(градус) 12(минут) S. Extremely high and extremely low velocities and transports of Atlantic Bottom Water (AABW) in the entire history of our observations over this section were found. In 2017, the maximum speed over the section reached 55 cm/s, and in 2018, it did not exceed 30 cm/s. In 2018, a core of high velocities in the bottom layers of the channel characteristic of the AABW flow was not found.

Keywords: Vema Channel, Antarctic Bottom Water, abyssal flows, CTD/LADCP field measurements, variations in currents.