

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВКЛАДА В МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСХОДА АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ЮЖНЕЕ АВСТРАЛИИ

Лебедев К.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: KLebedev@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 15.01.2019, одобрена к печати 30.02.2019

В статье изучается межгодовая изменчивость расхода Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) на разрезе Австралия–Антарктида по результатам расчетов с использованием Арго-модели исследования глобального океана (АМИГО), состоящей из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Средний за период 2005–2014 гг. расход АЦТ через разрез Австралия–Антарктида получился равным 178 ± 6 Св ($1 \text{ Св} = 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$). Для оценки вклада ветра в межгодовую изменчивость расхода АЦТ были проведены дополнительные численные эксперименты с заменой реальных термохалинных полей климатическими аналогами и с заменой климатическими аналогами реальных полей тангенциального напряжения трения ветра. Анализ результатов численных экспериментов показал, что основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость расхода АЦТ через разрез Австралия–Антарктида, является изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра.

Ключевые слова: Антарктическое циркумполярное течение, моделирование, расход, изменчивость, Арго.

Введение

Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ), опоясывающее Антарктиду с запада на восток, является самым мощным течением в Мировом океане, оставаясь при этом наименее изученным в силу удаленности и сложности проведения исследований в Южном океане. Появление в начале XXI века постоянно действующей глобальной сети океанографических наблюдений на основе дрейфующих измерителей международной программы Argo предоставляет ученым-океанологам уникальные возможности непрерывного мониторинга состояния Южного океана, в т.ч. и оценки расхода АЦТ. С 2005 г. измерения с помощью поплавков Argo стали вести на большей части акватории Мирового океана: около 4000 поплавков Argo осуществляют на сегодняшний день автономное зондирование до глубин 2 км с 10-дневным временным интервалом. Разработанная в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО), состоящая из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Argo и блока модельной гидродинамической

адаптации вариационно проинтерполированных полей, позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений (Лебедев, 2016, 2017).

Данная работа является продолжением начатых совместно с Ю.А. Ивановым исследований по изучению роли ветра в формировании крупномасштабной океанской циркуляции (Иванов, Лебедев, 2003) и ее изменчивости (Иванов, Лебедев, 1996, 2003), в которых было показано, что значительная изменчивость полей течений и соответственно их расходов во многом связаны с нестационарным ветровым воздействием на поверхность океана. Цель данного исследования – оценить с использованием данных моделирования АМИГО сезонную и межгодовую изменчивость расхода АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой и изучить вклад ветра в формирование этой изменчивости.

В работе (Lebedev, Tarakanov, 2018) авторами был предложен оригинальный подход к исследованию влияния ветра на изменчивость АЦТ в проливе Дрейка. На основе численных экспериментов показано, что основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость расхода АЦТ в проливе Дрейка, является изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра. В данной работе предложенный в (Lebedev, Tarakanov, 2018) подход к исследованию влияния ветра на изменчивость крупномасштабной циркуляции был усовершенствован и использован для исследования ветровой изменчивости АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой. Данный район отличается тем, что здесь на изменчивость АЦТ накладывается изменчивость компенсационной циркуляции вокруг Австралии со средним расходом 15 Св (Sprintall et al., 2009), связанной с водообменом между Тихим и Индийским океанами через Индонезийские проливы. Это, как будет показано ниже, приводит к заметному усложнению исследования.

Методика

Исследование изменчивости АЦТ базируется на результатах модельных расчетов АМИГО (Лебедев, 2016, 2017), выполненных с использованием данных измерений Argo (Argo, 2000) и полей напряжения трения ветра из реанализа ECMWF ERA-Interim (Dee et al., 2011). Модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования Argo (Lebedev et al., 2010; Курносова, Лебедев, 2014) и блока модельной гидродинамической адаптации (Иванов, Лебедев, Саркисян, 1997; Лебедев, 1999) вариационно проинтерполированных полей температуры и солености. Для контроля поведения решения и выбора оптимальных параметров модели используются данные спутниковой альтиметрии (Ducet et al., 2000), осредненные за соответствующий временной интервал. Выполненные расчеты охватывают 10-летний период с 2005 по 2014 гг. и представлены ежемесячными (120 полей), сезонными (40 полей), годовыми (10 полей), а также среднеклиматическими для 2005–

2014 гг. данными (17 полей, включающие среднеклиматический год, сезоны и месяцы) с пространственным разрешением 1 градус по долготе и широте. Сравнение результатов модельных расчетов с данными дрейфтеров в приповерхностном слое океана показало, что использование вариационной методики интерполяции на регулярную сетку измеренных дрейфующими поплавками Argo значений температуры и солености позволяет рассчитать реалистичные поля скорости течений (Лебедев, Саркисян, Никитин, 2016; Саркисян, Никитин, Лебедев, 2016). Полученные в результате расчетов по Арго-модели средние значения меж океанского водообмена хорошо согласуются с известными оценками, полученными на основании прямых многолетних измерений (Лебедев, 2017). Использование данных поверхностной солености, полученных на основе указанной методики, приводит к лучшему воспроизведению в моделях общей циркуляции океана межгодовой изменчивости глубины верхнего перемешанного слоя, изменчивости солености в нижележащих слоях, а также к воспроизведению так называемых «барьерных слоев» (Fugue et al., 2018). База данных АМИГО находится в свободном доступе в сети Интернет на официальном сервере ИО РАН по адресу <http://argo.ocean.ru/>.

Для изучения вклада ветрового воздействия в изменчивость расхода АЦТ были выполнены 3 серии дополнительных численных экспериментов. В Эксперименте 1 используемые в расчетах АМИГО поля температуры и солености были заменены их среднеклиматическими аналогами (расчет для января 2005 г. проводился по среднеклиматическим данным января 2005–2014 гг. и т.д.). Поля ветра при этом соответствовали реальным месяцам и сезонам (расчет для января 2005 г. проводился по данным тангенциального напряжения трения ветра в январе 2005 г. и т.д.). Это позволило оценить вклад в изменчивость расхода АЦТ ветрового воздействия.

В Эксперименте 2 используемые в расчетах АМИГО поля тангенциального напряжения трения ветра были заменены их осредненными за 2005–2014 гг. аналогами (для января 2005 г. использовались данные температуры и солености января 2005 г. и осредненный за январь 2005–2014 гг. ветер и т.д.). Целью этих расчетов была оценка вклада изменчивости термохалинных полей в изменчивость расхода АЦТ.

Контрольный Эксперимент 3 аналогичен Эксперименту 1, отличался от него лишь тем, что вместо среднеклиматических данных АМИГО в нем использовались данные климатических массивов Левитуса World Ocean Atlas 2009 (WOA09) (Antonov et al., 2010; Locarnini et al., 2010).

Основные результаты

Среднегодовая циркуляция Мирового океана, полученная в результате модельных расчетов с использованием данных измерений Арго за период 2005–2014 гг., представлена на рис. 1 функцией тока полных потоков. Функция тока полных потоков рассчитывалась путем интегрирования в меридиональном направлении на юг от северной твердой границы (на которой функция тока задавалась равной нулю) интегральной по глубине зональной компоненты скорости. На рисунке

отчетливо видны все основные элементы крупномасштабной океанской циркуляции: хорошо выраженные западные пограничные течения, антициклонические и циклонические круговороты, экваториальные течения Тихого и Атлантического океанов, Антарктическое циркумполярное течение.

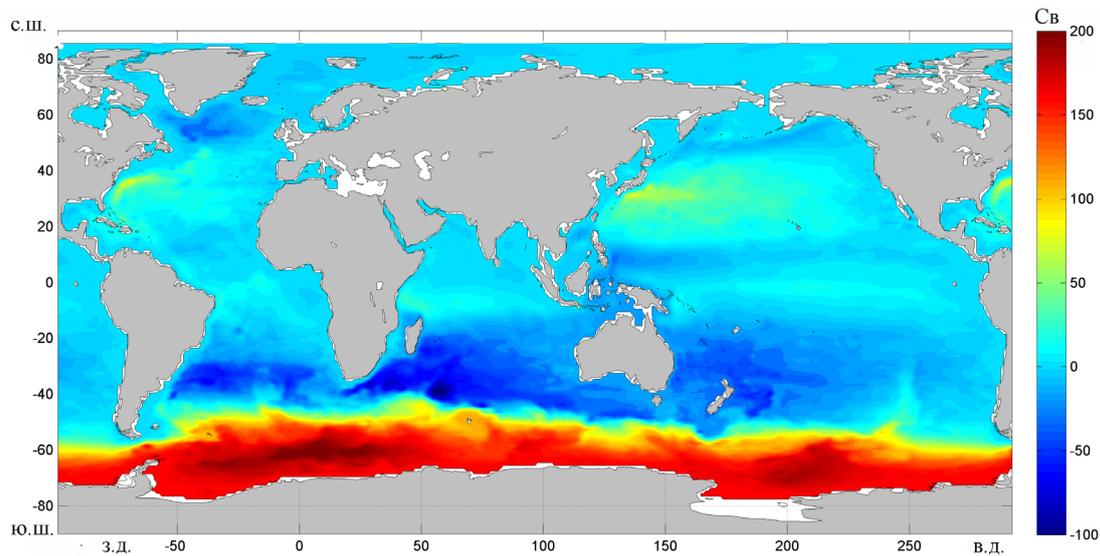


Рис. 1. Функция тока полных потоков Мирового океана в свердрупах, полученная по данным климатических расчетов АМИГО для 2005–2014 гг.

Средний за период 2005–2014 гг. расход АЦТ через разрез Австралия–Антарктида по 117° в.д., рассчитанный на основе среднемесячных данных АМИГО, получился равным 178 ± 6 Св. Максимальное значение среднемесячного расхода 194 Св наблюдалось в июле 2010 г., минимальное значение – 165 Св – пришлось на январь 2010 г. (Lebedev, 2018). На пути от пролива Дрейка до Австралии расход АЦТ увеличивается сначала на $0,63 \pm 0,57$ Св, которые поступают в Атлантический сектор (рис. 2а) из-за наличия аналогичного переноса в Северный Ледовитый океан через Берингов пролив, а затем еще на $15,4 \pm 3$ Св, которые поступают в АЦТ в Индийском секторе (рис. 2б) в соответствии с водообменом между Тихим и Индийским океанами, происходящем севернее Австралии. Последние известные работы, выполненные на основе обработки многолетних данных прямых измерений течений, дают следующие оценки интересующих нас расходов: 173 ± 11 Св для АЦТ в проливе Дрейка (Donohue et al., 2016), 0,83 Св для переноса в Арктику через Берингов пролив (Roach et al., 1995) и 15 Св для переноса из Тихого в Индийский океан (Sprintall et al., 2009). Таким образом, полученная нами для разреза Австралия–Антарктида величина расхода хорошо согласуется с данными среднесезонных прямых инструментальных измерений течений.

Внутридекадная изменчивость АЦТ проиллюстрирована на рис. 3а графиками изменчивости расхода через разрез Австралия–Антарктида. Результаты численного моделирования АМИГО с использованием сезонных полей показаны сплошной синей линией. Результаты численного Эксперимента 1 с заменой реальных

полей температуры и солености их среднеклиматическими для 2005–2014 гг. аналогами представлены зеленым штрих-пунктиром. Тонкая красная штриховая линия соответствует результатам численного Эксперимента 2, в котором вместо реальных полей тангенциального напряжения трения ветра использовались их осредненные для 2005–2014 гг. аналоги. Тонкая сплошная черная линия отображает результаты контрольного Эксперимента 3 с использованием климатических данных WOA09.

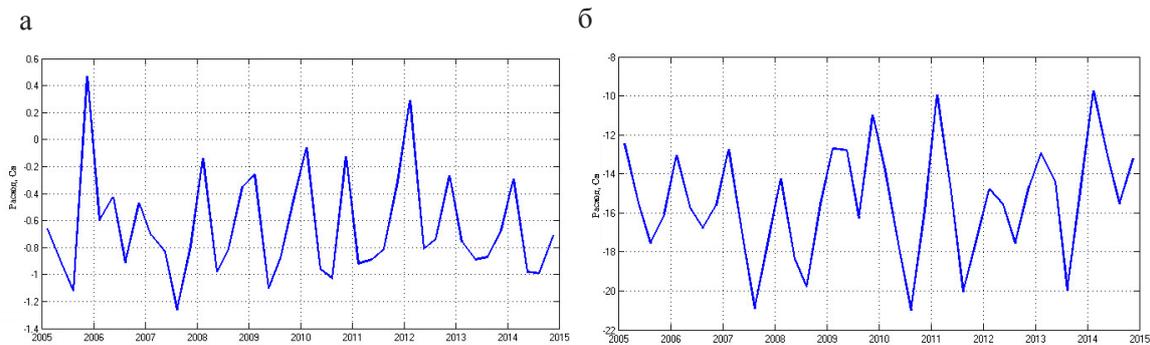


Рис. 2. Изменчивость среднесезонных значений интегрального меридионального переноса (Св) на 35°ю.ш. в Атлантическом (а) и Индийском (б) секторах Южного океана за период 2005–2014 гг.

Анализ графиков на рис. 3а показывает, что полученная с использованием данных АМИГО изменчивость расхода АЦТ имеет четко выраженный сезонный характер: с максимальными расходами зимой и минимальными летом Южного полушария. Из особенностей в поведении изменчивости расхода отметим его заметное падение в зимний сезон Южного полушария 2009 г. Колебания расхода между зимой и летом в отдельные годы рассматриваемого периода достигали 20 Св, что связано с относительно большой амплитудой сезонной изменчивости водообмена между Тихим и Индийским океанами (рис. 2б). Это заметно превышает амплитуды сезонной изменчивости АЦТ в проливе Дрейка, которые анализировались в предыдущей работе автора, посвященной изучению вклада ветрового фактора в изменчивость расхода АЦТ (Lebedev, Tarakanov, 2018). В связи с тем, что большие значения сезонного хода могут маскировать межгодовую изменчивость, из всех расходов был удален сезонный ход, и весь дальнейший анализ велся с использованием рядов аномалий расходов.

На рис. 3б представлены графики аномалий описанных выше расходов АЦТ, полученные в результате удаления среднего за период 2005–2014 гг. сезонного хода. График изменчивости аномалий расхода в Эксперименте 1, в котором реальный сезонный ветер накладывался на среднеклиматические сезонные поля температуры и солености (зеленый штрих-пунктир), ведет себя аналогично графику расхода АЦТ по данным АМИГО (толстая синяя линия) и практически неотличим от графика из Эксперимента 3 (черная тонкая линия). Межгодовая изменчивость в этом варианте расчета также оказалась очень близкой к результатам из расчета АМИГО: 5 Св весной, 6 Св летом, 9 Св осенью и 12 Св зимой Южного полушария. График изменчивости аномалий расхода в Эксперименте 2, где на реальные сезонные поля

температуры и солености накладывался осредненный для соответствующего сезона ветер (тонкая красная штриховая линия), заметно отличается от предыдущих расчетов слабо выраженной межгодовой изменчивостью.

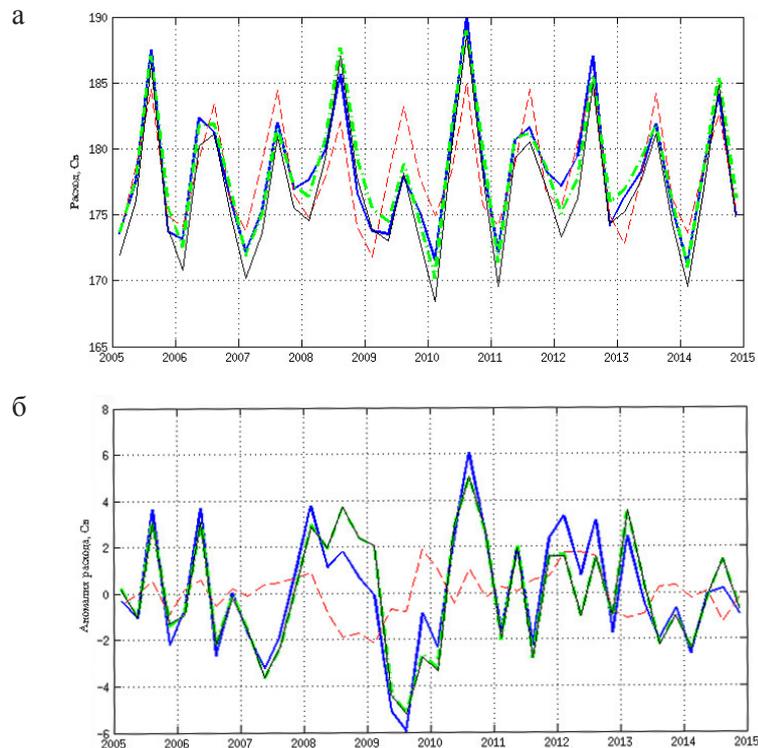


Рис. 3. Изменчивость среднесезонных значений расхода (а) и аномалий расхода (Св) относительно среднего сезонного хода (б) АЦТ на разрезе по 117° в.д. за период 2005–2014 гг. Результаты расчетов АМИГО представлены синей сплошной линией, результаты Эксперимента 1 представлены зеленой штрих-пунктирной линией, результаты Эксперимента 2 изображены красной штриховой линией, результатам Эксперимента 3 соответствует черная сплошная линия.

Заключение

По результатам проведенных модельных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Модельные расчеты АМИГО с использованием данных Argo за 2005–2014 гг. позволили оценить расход АЦТ и его изменчивость на разрезе Австралия–Антарктида по 117° в.д. Расход АЦТ получился равным 178 ± 6 Св. Изменчивость расхода АЦТ в этом районе имеет четко выраженный сезонный характер. Максимальное значение среднемесячного расхода получилось равным 194 Св (июль 2010 г.), минимальное – 165 Св (январь 2010 г.). Полученный расход АЦТ хорошо согласуется с оценкой, полученной по результатам обработки данных прямых измерений (Donohue et al., 2016; Roach et al., 1995; Sprintall et al., 2009).

2. Численный эксперимент с заменой в расчетах АМИГО реальных сезонных полей тангенциального напряжения трения ветра на их осредненные за 2005–

2014 г. аналоги показал, что изменчивость расхода АЦТ на разрезе Австралия–Антарктида начинает в этом случае носить в основном сезонный характер, разность расходов зима–лето падает, а межгодовая изменчивость становится слабовыраженной. На основании выполненной серии численных экспериментов с моделью АМИГО получен вывод о том, что межгодовая изменчивость термохалинных полей Южного океана оказывает слабое влияние на изменчивость расхода АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой.

3. Численный эксперимент с заменой в расчетах АМИГО реальных сезонных полей температуры и солености на их климатические аналоги для периода 2005–2014 гг. показал, что изменчивость расхода АЦТ на разрезе Австралия–Антарктида получается очень близкой к изменчивости, установленной на основе оригинальных расчетов АМИГО. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость расхода АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой, является изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра.

Данные Арго были собраны и выложены в свободный доступ международной программой Argo при участии национальных программ (<http://www.argo.ucsd.edu>, <http://argo.jcommops.org>). Программа Argo является частью Глобальной инструментальной системы наблюдений за состоянием океана. Альтиметрическая информация подготовлена при помощи системы обработки спутниковой альтиметрии Ssalto/Duacs и распространяется через Aviso при поддержке CNES (<http://www.aviso.altimetry.fr/duacs/>).

Работы по обработке данных Арго велись в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № 0149-2019-0004). Работы по анализу и систематизации данных АМИГО выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-00878, анализ изменчивости Антарктического циркумполярного течения поддержан грантом РНФ № 16-17-10149. База данных АМИГО находится в свободном доступе на сервере ИО РАН по адресу <http://argo.ocean.ru/>.

Литература

- Иванов Ю.А., Лебедев К.В.* Моделирование реакции Северной Атлантики на нестационарное воздействие ветра // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1996. Т. 32. № 5. С. 672–679.
- Иванов Ю.А., Лебедев К.В.* Модельные исследования оценки вклада ветровых течений в общую циркуляцию Мирового океана // Океанология. 2003. Т. 43. № 6. С. 827–833.
- Иванов Ю.А., Лебедев К.В., Саркисян А.С.* Обобщенный метод гидродинамической адаптации (ОМЕГА) // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1997. Т. 33. № 6. С. 812–818.
- Курносова М.О., Лебедев К.В.* Исследование изменчивости переносов в системе Куроисио на 35° с.ш., 147° в.д. по данным поплавков Argo и спутниковой альтиметрии // Докл. АН. 2014. Т. 458. № 2. С. 225–228.
- Лебедев К.В.* Среднегодовой климат океана. 2. Интегральные характеристики климата Мирового океана (переносы массы, тепла, солей) // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1999. Т. 35. № 1. С. 96–106.

- Лебедев К.В.* Арго-Модель Исследования Глобального Океана (АМИГО) // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 2. С. 186–196.
- Лебедев К.В.* Арго-Модель Исследования Глобального Океана: синтез наблюдений и численного моделирования // *Океанологические исследования*. 2017. Т. 45. № 1. С. 53–69. DOI:10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).6.
- Лебедев К.В., Саркисян А.С., Никитин О.П.* Сравнительный анализ поверхностной циркуляции Северной Атлантики, воспроизведенной тремя различными методами // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2016. Т. 52, № 4. С. 465–474.
- Саркисян А.С., Никитин О.П., Лебедев К.В.* Физические характеристики Гольфстрима как индикатор качества моделирования циркуляции Мирового океана // *Докл. АН*. 2016. Т. 471. № 5. С. 595–598.
- Antonov J.I., Seidov D., Boyer T.P., Locarnini R.A., Mishonov A.V., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., Johnson D.R.* World Ocean Atlas 2009, Volume 2: Salinity // S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 2010. 184 p.
- Argo. Argo float data and metadata from Global Data Assembly Center (Argo GDAC) // SEANOE. 2000. <http://doi.org/10.17882/42182>.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen L., Kállberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N., Vitart F.* The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* 2011. Vol. 137. P. 553–597.
- Donohue K. A., Tracey K. L., Watts D. R., Chidichimo M. P., Chereskin. T. K.* Mean Antarctic Circumpolar current transport measured in Drake Passage // *Geophys. Res. Lett.* 2016. Vol. 43. 11760–11767. DOI:10.1002/2016GL07031919498.
- Ducet N., Le Traon P.Y., Reverdin G.* Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and -2 // *J. Geophys. Res.* 2000. Vol. 105. No. C8. P. 19477–19498.
- Furue R., Takatama K., Sasaki H., Schneider N., Nonaka M., Taguchi B.* Impacts of sea-surface salinity in an eddy-resolving semi-global OGCM // *Ocean Modelling*. 2018. Vol. 122. P. 36–56. DOI:10.1016/j.ocemod.2017.11.004.
- Lebedev K.V.* Modeling study of the Antarctic Circumpolar Current variability based on Argo data // *The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography*. Springer Oceanography. Springer International Publishing, Amsterdam. 2018. P. 487–493. DOI:10.1007/978-3-319-71934-4_30.
- Lebedev K.V., DeCarlo S., Hacker P.W., Maximenko N.A., Potemra J.T., Shen Y.* Argo Products at the Asia-Pacific Data-Research Center // *Eos Trans. AGU*. 2010. Vol. 91. No. 26. Ocean Sci. Meet. Suppl., Abstract IT25A-01.
- Lebedev K.V., Tarakanov R.Yu.* A model study of the wind stress influence on the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current // *Russ. J. Earth Sci.* 2018. Vol. 18. ES2002. DOI:10.2205/2017ES000610.
- Locarnini R.A., Mishonov A.V., Antonov J.I., Boyer T.P., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., Johnson D.R.* World Ocean Atlas 2009, Volume 1: Temperature // S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 2010. 184 p.

Roach A.T., Aagaard K., Pease C.H., Salo S.A., Weingartner T., Pavlov V., Kulakov M. Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait // *J. Geophys. Res.* 1995. Vol. 100. No. C9. P. 18443–18457.

Sprintall J., Wijffels S.E., Molcard R., Jaya I. Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006 // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 144. C07001. DOI:10.1029/2008JC005257.

THE MODEL STUDY OF THE WIND STRESS IMPACT TO THE INTERANNUAL VARIABILITY OF THE ANTARCTIC CIRCUMPOLAR CURRENT SOUTH OF AUSTRALIA

Lebedev K.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: KLebedev@ocean.ru
Submitted 15.01.2019, accepted 30.02.2019*

The interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current (ACC) in the region south of Australia is studied on the base of numerical simulations performed with the use of the Argo-based model for Investigation of the Global Ocean (AMIGO). The model consists of a block for variational interpolation to a regular grid of Argo floats data and a block for model hydrodynamic adjustment of variationally interpolated fields. The mean ACC transport for the period of 2005–2014 through the Australia-Antarctica section was estimated at 178 ± 6 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$). Additional numerical experiments were carried out in order to study the contribution of the wind forcing to the interannual variability of the ACC transport: the real thermohaline fields corresponding to the particular time period were replaced by climatic ones (1) and by replacing the real wind forcing data with the climatic ones (2). Analysis of the numerical experiments results has shown that the variable wind stress forcing is the key factor determining the interannual variability of the ACC transport through the Australia-Antarctica section.

Keywords: Antarctic Circumpolar Current, modeling, transport, variability, Argo floats

References

- Antonov J.I., Seidov D., Boyer T.P., Locarnini R.A., Mishonov A.V., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., and Johnson D.R.* World Ocean Atlas 2009, Volume 2: Salinity, S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69. Washington, D.C.: Government Printing Office, 2010, 184 p.
- Argo*, Argo float data and metadata from Global Data Assembly Center (Argo GDAC). *SEANOE*, 2000, <http://doi.org/10.17882/42182>.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen I., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N., and Vitart F.* The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance

- of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 2011, Vol. 137, pp. 553–597.
- Donohue K. A., Tracey K. L., Watts D. R., Chidichimo M. P., and Chereskin T. K. Mean Antarctic Circumpolar current transport measured in Drake Passage. *Geophys. Res. Lett.*, 2016, Vol. 43, pp. 11760–11767, doi:10.1002/2016GL07031919498.
- Ducet N., Le Traon P.Y., and Reverdin G. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and -2. *J. Geophys. Res.*, 2000, Vol. 105, No. C8, pp. 19477–19498.
- Furue R., Takatama K., Sasaki H., Schneider N., Nonaka M., and Taguchi B. Impacts of sea-surface salinity in an eddy-resolving semi-global OGCM. *Ocean Modelling*, 2018, Vol. 122, P. 36–56, doi:10.1016/j.ocemod.2017.11.004.
- Ivanov Yu.A. and Lebedev K.V. Model studies of the estimate of the contribution of wind-driven currents to the general circulation of the World Ocean. *Oceanology*, 2003, Vol. 43, No. 6, pp. 779–785.
- Ivanov Yu.A. and Lebedev K.V. Numerical simulation of the North Atlantic response to a nonstationary wind forcing. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 1996, Vol. 32, No. 5, pp. 620–627.
- Ivanov Yu.A., Lebedev K.V., and Sarkisyan A.S. Generalized hydrodynamic adjustment method (GHDAM). *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 1997, Vol. 33, No. 6, pp. 752–757.
- Kurnosova M. O. and Lebedev K.V. Study of transport variations in the Kuroshio extension system at 35°N, 147°E based on the data of Argo floats and satellite altimetry. *Doklady Earth Sciences*, 2014, Vol. 458, No. 1, pp. 1154–1157.
- Lebedev K.V. Modeling study of the Antarctic Circumpolar Current variability based on Argo data, *The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography*. Springer Oceanography, Amsterdam: Springer International Publishing, 2018, pp. 487–493, doi:10.1007/978-3-319-71934-4_30.
- Lebedev K.V. The Argo-Based Model for Investigation of the Global Ocean: a synthesis of observations and numerical modeling. *Oceanologicheskie issledovaniya*, 2017, Vol. 45, No. 1, pp. 53–69, doi:10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).6.
- Lebedev K.V. An Argo-Based Model for Investigation of the Global Ocean. *Oceanology*, 2016, Vol. 56, No. 2, pp. 172–181.
- Lebedev K.V. Average annual climate of the ocean. Part 2: Integral characteristics of the world ocean climate (mass, heat, and salt transports). *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 1999, Vol. 35, No. 1, pp. 87–96.
- Lebedev K.V., DeCarlo S., Hacker P.W., Maximenko N.A., Potemra J.T., and Shen Y. Argo Products at the Asia-Pacific Data-Research Center. *EOS Trans. AGU*, 2010, Vol. 91, No. 26, Ocean Sci. Meet. Suppl., Abstract IT25A-01.
- Lebedev K.V., Sarkisyan A.S., Nikitin O.P., Comparative analysis of the North Atlantic surface circulation reproduced by three different methods. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2016, Vol. 52, No. 4, pp. 410–417.
- Lebedev K.V. and Tarakanov R. Yu. A model study of the wind stress influence on the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current. *Russ. J. Earth Sci.*, 2018, Vol. 18, ES2002, doi:10.2205/2017ES000610.
- Locarnini R.A., Mishonov A.V., Antonov J.I., Boyer T.P., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., and Johnson D.R. World Ocean Atlas 2009, Volume 1: Temperature, S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68. Washington, D.C. Government Printing Office, 2010, 184 p.
- Roach A.T., Aagaard K., Pease C.H., Salo S.A., Weingartner T., Pavlov V., and Kulakov M. Direct

Лебедев К.В.

measurements of transport and water properties through the Bering Strait. *J. Geophys. Res.*, 1995, Vol. 100, No. C9, pp. 18443–18457.

Sarkisyan A.S., Nikitin O.P., and Lebedev K.V., Physical characteristics of the Gulf Stream as an indicator of the quality of large-scale circulation modeling. *Doklady Earth Sciences*, 2016, Vol. 471, No. 2, pp. 1288–1291.

Sprintall J., Wijffels S.E., Molcard R., and Jaya I. Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004–2006. *J. Geophys. Res.*, 2009, Vol. 144, C07001, doi:10.1029/2008JC005257.