

УДК 551.465

ПОПУТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ В ПРОЛИВЕ ДРЕЙКА

© 2014 г. С. В. Гладышев, А. В. Соков

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

e-mail: sgladyshev@ocean.ru

Поступила в редакцию 21.01.2013 г., после доработки 20.06.2013 г.

DOI: 10.7868/S0030157414010055

Антарктическое Циркумполярное течение (АЦТ) — это мощнейшая система течений на Земле, являющихся главным звеном циркуляции Южного океана. Из-за отсутствия барьеров в виде материков АЦТ связывает три океана и оказывает огромное влияние на глобальную циркуляцию и изменения климата. Это течение разделяет теплые субтропики и холодные полярные регионы. АЦТ является глобальным регулятором и осуществляет динамическую связь между ячейками океанского конвейера. В отсутствие континентальных барьеров и влияния β -эффекта АЦТ самоорганизуется в систему интенсивных струй, которые меандрируют, генерируют синоптические вихри разного знака вращения и сливаются друг с другом, образуя “суперструи” [12]. Особенно интенсивно эти процессы происходят в районе резких изменений рельефа дна [13]. Одним из таких ключевых районов, с точки зрения формирования системы АЦТ, является пролив Дрейка.

Попутные наблюдения в проливе Дрейка проводятся Институтом океанологии им. П.П. Ширшова (ИО РАН), начиная с января 2010 г., с целью изучения АЦТ. Пролив Дрейка в качестве района мониторинга АЦТ был выбран не случайно. Во-первых, как уже было сказано, пролив Дрейка является ключевым для формирования системы АЦТ. Во-вторых, два судна ИО РАН, НИС “Академик Иоффе” и НИС “Академик Сергей Вавилов”, с ноября по март каждого года, работая под фрахтом, многократно пересекают этот пролив. В-третьих, это самое узкое место в Южном океане, где течение ограничено материковыми склонами Южной Америки и Антарктиды. Его ширина в данном месте определяется шириной самого пролива, которая составляет около 800 км. Например, южнее Африки ширина АЦТ увеличивается до 1500–2000 км, и его изучение в этом районе океана становится финансово более затратным. В-четвертых, пролив Дрейка является наиболее изученным местом в Южном океане, поэтому полученные при помощи программы но-

вые результаты мониторинга АЦТ в совокупности с архивом исторических данных, несомненно, значительно расширят наши представления о структуре АЦТ, ее изменчивости и влиянии на изменения климата планеты.

Регулярные наблюдения в проливе Дрейка проводятся ИО РАН с 2003 г. На сегодняшний день наблюдения включают семь меридиональных STD/LADCP разрезов, пересекающих пролив от поверхности до дна, расстояние между станциями на которых составляет около 10 миль. В 2007 г. в районе разлома Шеклтона (РШ) была выполнена подробная съемка Полярного течения (ПТ) АЦТ [2]. С 2010 г. на этих разрезах проводятся измерения судовыми ADCP. Основные выводы о течениях, полученные в результате анализа комплексных наблюдений с высоким пространственным разрешением, опубликованы в серии статей [1, 3, 4, 5, 6], и эти результаты можно считать отправной точкой, фундаментом, на котором будет основываться интерпретация данных попутных наблюдений.

Первые попутные наблюдения за течениями в проливе Дрейка были начаты американскими исследователями в 1999 г. [9] и продолжаются по настоящее время [8]. Для этих целей используется судно Laurence M. Gould (LMG), регулярно (примерно раз в месяц) снабжающее антарктическую станцию Palmer на Антарктическом полуострове, а также выполняющее научные исследования в этом районе. До 2004 г. наблюдения за течениями проводились в верхнем 300-метровом слое океана (153.6 кГц RD Instruments ADCP). В конце 2004 г. на судне была установлена новая система излучателей (38 кГц RD Instruments ADCP), позволяющая измерять течения в проливе Дрейка до глубин 1000 м. В отличие от американской, программа попутных наблюдений ИО РАН проводится только в летний период Южного полушария, но интенсивность наших наблюдений существенно выше (до 8.5 пересечений пролива в месяц, против 2 пересечений в месяц на LMG). Увеличение

Количество пересечений пролива Дрейка судами ИО РАН в 2010–2012 гг.

Название судна	2010	2010–2011	2011–2012	Итого
НИС “Академик Иоффе”	10 (2) *	14 (1)	19 (5)	43 (8)
НИС “Академик Сергей Вавилов”	–	15 (10)	19 (1)	34 (11)
Всего	10	29	38	77

* В скобках указано количество пересечений пролива с пропусками данных.

частоты наблюдений позволяет уверенно разрешать синоптические временные масштабы, а, следовательно, открывает перспективы для получения обоснованной оценки меридиональных переносов массы, тепла и импульса вихрями, рассматриваемыми как один из основных источников меридионального переноса через АЦТ. Кроме того, программа попутных наблюдений ИО РАН в северной части пролива охватывает более западный район – район м. Горн, характеризующийся резким изменением направления изобат континентального склона. Поскольку струи АЦТ распространяются до дна и, следовательно, топографически контролируются [11], происходит резкая смена направления северной струи потока, при его одновременном взаимодействии с РШ. Таким образом, данные по этому району помогут исследовать механизмы, влияющие на поведение течения при его взаимодействии с континентальным склоном сложной конфигурации.

К основным задачам проекта, которые вытекают из его основной цели – мониторинга АЦТ, можно отнести следующие:

1. Исследование фронтальной структуры АЦТ и ее изменчивости в широком диапазоне масштабов.
2. Оценка среднего транспорта АЦТ в верхнем слое и его короткопериодной изменчивости.
3. Оценка скорости меридиональной циркуляции через АЦТ.
4. Нахождение связей между флуктуациями поля ветра и короткопериодной изменчивостью переноса АЦТ.
5. Расчет гармонических постоянных приливов в проливе Дрейка.
6. Оценка влияния рельефа на положение (мандрирование) струй АЦТ в проливе Дрейка.

Для осуществления мониторинга АЦТ в проливе Дрейка судами ИО РАН по ходу движения на скорости около 10 узлов проводятся измерения поверхностной температуры и электропроводности морской воды (SBE 21), а также скорости и направления течений в верхнем слое 30–1000 м

(TRDI OS 38 кГц и 75 кГц ADCP). Термосолонограф SBE-21 работает с частотой 0.33 Гц, что при скорости движения 10 узлов составляет в среднем одно измерение на каждые 15 м пути. Измерения профилей течений производятся при помощи доплеровских акустических профилографов ADCP, установленных в специальных камерах вертикальных шахт судов, расположенных в их центральных частях на глубине 5.8 м. Частота измерений ADCP составляет 0.33–0.5 Гц, при этом данные измерений усредняются программой сбора в течение 120 с и включают, как правило, 40 ансамблей. Таким образом, один осредненный профиль течения приходится на каждые 600 м пути. Программа сбора одновременно ассимилирует и навигационную информацию (включая “heading”), передаваемую высокоточными двухантенными GPS. Включение и выключение приборов производится на глубинах 50–100 м на шельфе Южной Америки и Антарктиды (ее островов).

Выполненное к настоящему времени общее количество пересечений пролива Дрейка судами ИО РАН показано в таблице. В таблице дано количество пересечений по годам для каждого судна. В скобках указано количество пересечений с пропусками данных. Общее число пересечений пролива за три года составляет 77. Качество наблюдений судового ADCP сильно зависит от состояния океана. Во время штормовой погоды, нередкой в проливе Дрейка в любое время года, качество получаемых данных может сильно снижаться. Из таблицы видно, что из 77 пересечений 19 (почти 25%) являются неполными или имеют пропуски в данных. Положение треков судов ИО РАН в проливе Дрейка показано на рис. 1.

OS38 кГц измеряет течения до глубин 1000–1200 м при вертикальном разрешении 24 м. Первое измерение OS38 кГц (центральная точка первой ячейки осреднения) производится на горизонте 46 м. Диапазон OS75 кГц составляет 800–900 м (вертикальное разрешение – 16 м, первое измерение – на 30 м). При расчетах транспорта АЦТ верхний 100-метровый слой, как правило, исключается по нескольким причинам. Во-первых, данные

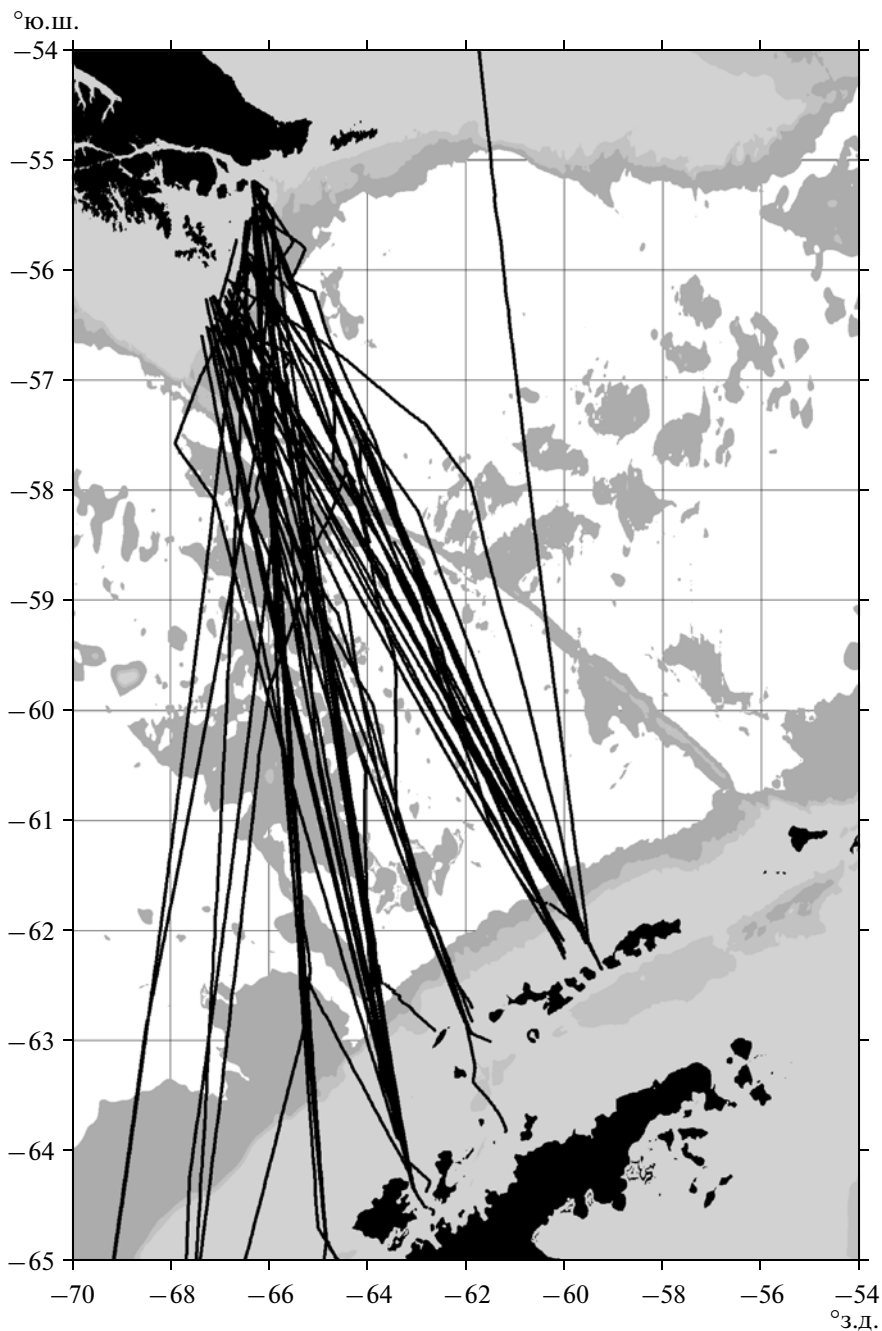


Рис. 1. Положение маршрутов судов, на которых выполнялись попутные наблюдения в проливе Дрейка в 2010–2012 гг. Глубины до 3500 м показаны различными оттенками серого.

первых бинов бывают сильно зашумлены, особенно в южной части пролива. Во-вторых, в верхнем перемешанном слое, который в проливе Дрейка имеет толщину около 100 м, сильно развиты инерционные и дрейфовые течения. Эти течения невозможно отфильтровать, и они вносят значительные неопределенности в расчеты переноса.

Обработка данных ADCP включает выбраковку данных, фильтрацию выбросов, сглаживание

по вертикали и горизонтали и удаление баротропного прилива по глобальной модели ТРХО 7.2 [7]. При анализе используются данные, процент качества которых превышает 70%. Ошибки измерений абсолютных скоростей 2-минутных ансамблей составляют от 2 до 3 см/с [10], и они значительно меньше максимальных скоростей струй АЦТ (50–80 см/с), а, самое главное, в несколько раз меньше стандартного отклонения течений на

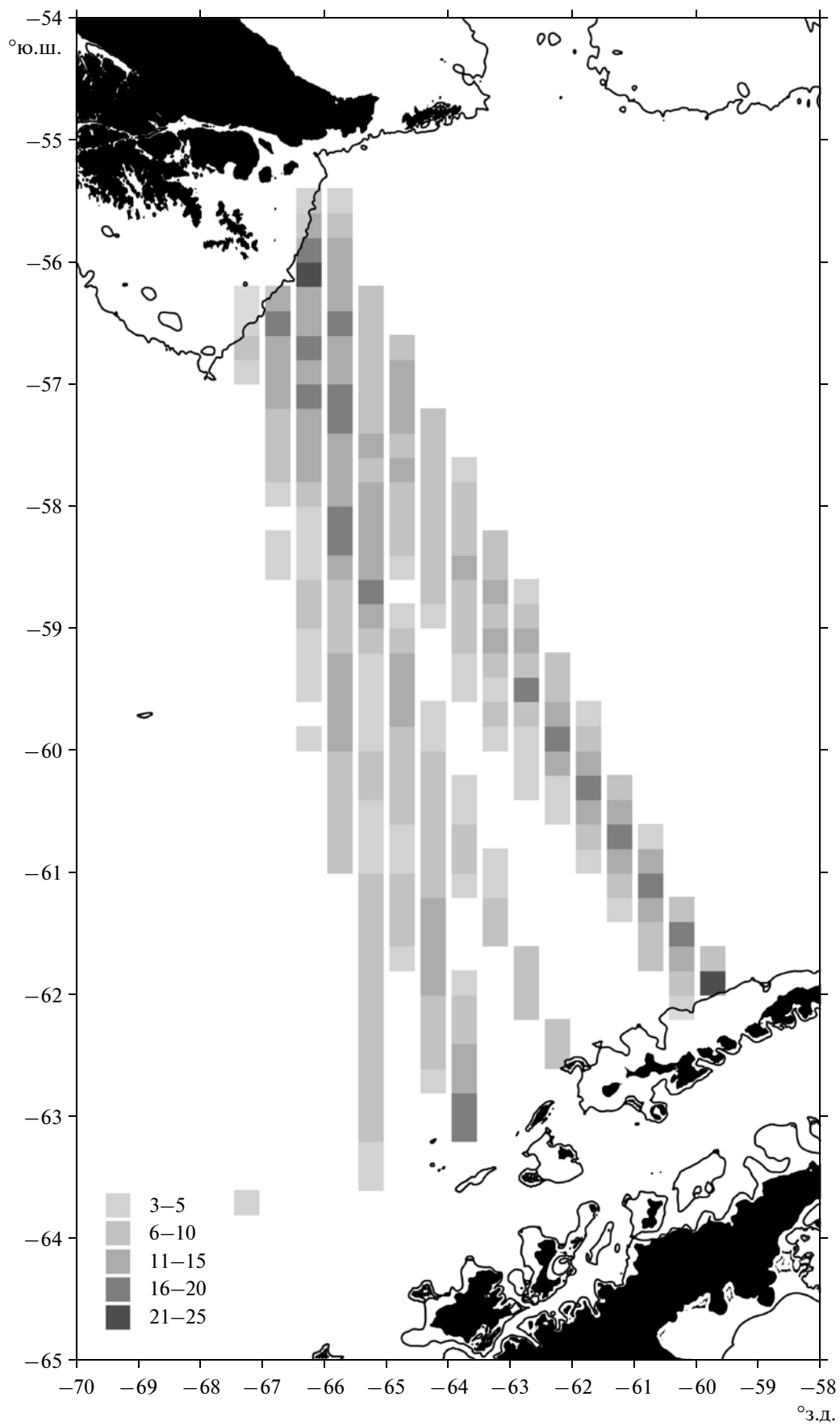


Рис. 2. Обеспеченность данными (количество пересечений) в квадратах $0.2^\circ \times 0.5^\circ$ или (22×28 км) в проливе Дрейка по результатам работы судов в 2010–2012 гг. Легенда расположена в левом нижнем углу рисунка. Сплошной тонкой линией показана изобата 200 м.

любом отрезке пути длиной 0.6-километров, на котором производится осреднение.

При нерегулярных пространственно-временных измерениях для получения средней картины необходимо использовать статистические методы анализа. Для этого данные каждого разреза скорости были проинтерполированы в узлы сетки 0.2° широты по горизонтали и 50 м по вертикали. Участки разрезов с пропусками данных были исключены. Далее была построена карта обеспеченности данными для $0.2^\circ \times 0.5^\circ$ квадратов по широте и долготе с горизонтальными размерами порядка 22×28 км соответственно (представлена на рис. 2).

На рис. 2 различными оттенками серого показаны квадраты, где было выполнено три и более пересечений пролива Дрейка. При построении среднего поля течений в проливе Дрейка на различных горизонтах использовались только те квадраты, в которых количество пересечений превысило пять. Компоненты векторов скорости были проинтерполированы в центральные точки этих квадратов с последующим осреднением. В качестве примера такого построения на рис. 3 представлена средняя карта векторов течений на горизонте 200 м.

Для удобства восприятия на рисунок также нанесены изолинии абсолютной динамической топографии (АДТ) поверхности океана, соответствующие осям отдельных струй АЦТ [13]. На рис. 3 показано среднее положение “осевых” изолиний струй АЦТ (АДТ) за весь период наблюдений за течениями летом 2010–2012 гг. Совместный анализ распределения максимумов скорости течений в слое 100–500 м, полученных по данным программы попутных наблюдений, и распределения градиентов АДТ в проливе Дрейка за весь период наблюдений с 1992 по 2012 гг. как функции самой АДТ позволил идентифицировать струи АЦТ в этом поле. Распределение АДТ в проливе Дрейка выкладывается на сайте www.avisio.oceanobs.com. Этот продукт (АДТ DT-UPD) представляет собой синтез альтиметрических наблюдений спутников TOPEX/Poseidon, ERS, GFO, JASON и Envisat, интерполированных в узлы карты меркаторской проекции с разрешением $1/3^\circ$.

Система течений в проливе Дрейка имеет довольно сложный характер, хотя и в значительной степени когерентна в верхнем слое 500 м. Южная струя Южного течения (юЮТ) располагается в районе склона Антарктического п-ва. Над разломом Феникс (РФ) юЮТ ускоряется и испытывает

очевидные возмущения потока. Северная струя ЮТ (сЮТ) расположена в 20–50 милях к северу от юЮТ и, как видно из рис. 3, лучше выражена в поле скорости. Струя сЮТ пытается обогнуть РФ с севера и пересекает его через самый южный глубоководный проход. Над плато Феникс (ПФ) обнаруживается интенсивное вихревое поле между струями ЮТ и южнее южной струи Полярного течения (юПТ), которые регулярно наблюдаются в этом районе пролива на еженедельных картах АДТ и имеют время жизни несколько месяцев.

Струя юПТ образует мощный стационарный меандр над РФ, смещаясь к северу почти на 2° широты. Судя по карте, западнее РШ эта струя ускоряется. Средняя струя ПТ (срПТ), и это видно по “осевой” изолинии, также смещается к северу, формируя меандр над РФ. Это гораздо более мощное течение по сравнению с юПТ, текущее параллельно ему над ПФ. В данном районе эти две струи расположены достаточно близко друг к другу и их часто очень сложно разделить, даже на индивидуальных пересечениях пролива. Северная струя ПТ (сПТ) сближается с более южными струями над РФ и РШ. К этой струе очень близка по положению южная струя Субантарктического течения (юСАТ), которая, похоже, резко меняет направление после прохождения РШ. На рис. 3 заметны ускорения этих струй в районах разломов. По данным индивидуальных пересечений, периодически, четыре струи (три струи ПТ и юСАТ) формируют одну “суперструю”, максимальные скорости в которой достигают 0.8 м/с.

Средняя и северная струи САТ (срСАТ и сСАТ) часто также сливаются в одну струю. После прохождения РШ они резко поворачивают на северо-восток, следуя изобатам рельефа дна в этом районе пролива. При этом сСАТ обтекает горы Яган (ГЯ) с севера, а срСАТ – с юга. После РШ эти струи явно отделяются от южных струй. Данный результат совпадает с выводами работ [8, 9]. В области РФ и РШ часто очень сложно разделить все струи САТ и сПТ даже на индивидуальных пересечениях из-за их конвергенции в одну “суперструю” с максимальными скоростями выше 0.7 м/с. В районе 56° ю.ш. и 66° з.д. меандр сСАТ выходит на склон Огненной Земли, питая склоновое течение (СКТ), которое в работах [3–5] называется течением мыса Горн.

Таким образом, анализ карты течений пролива Дрейка, обнаруживая новые особенности циркуляции, одновременно демонстрирует картину те-

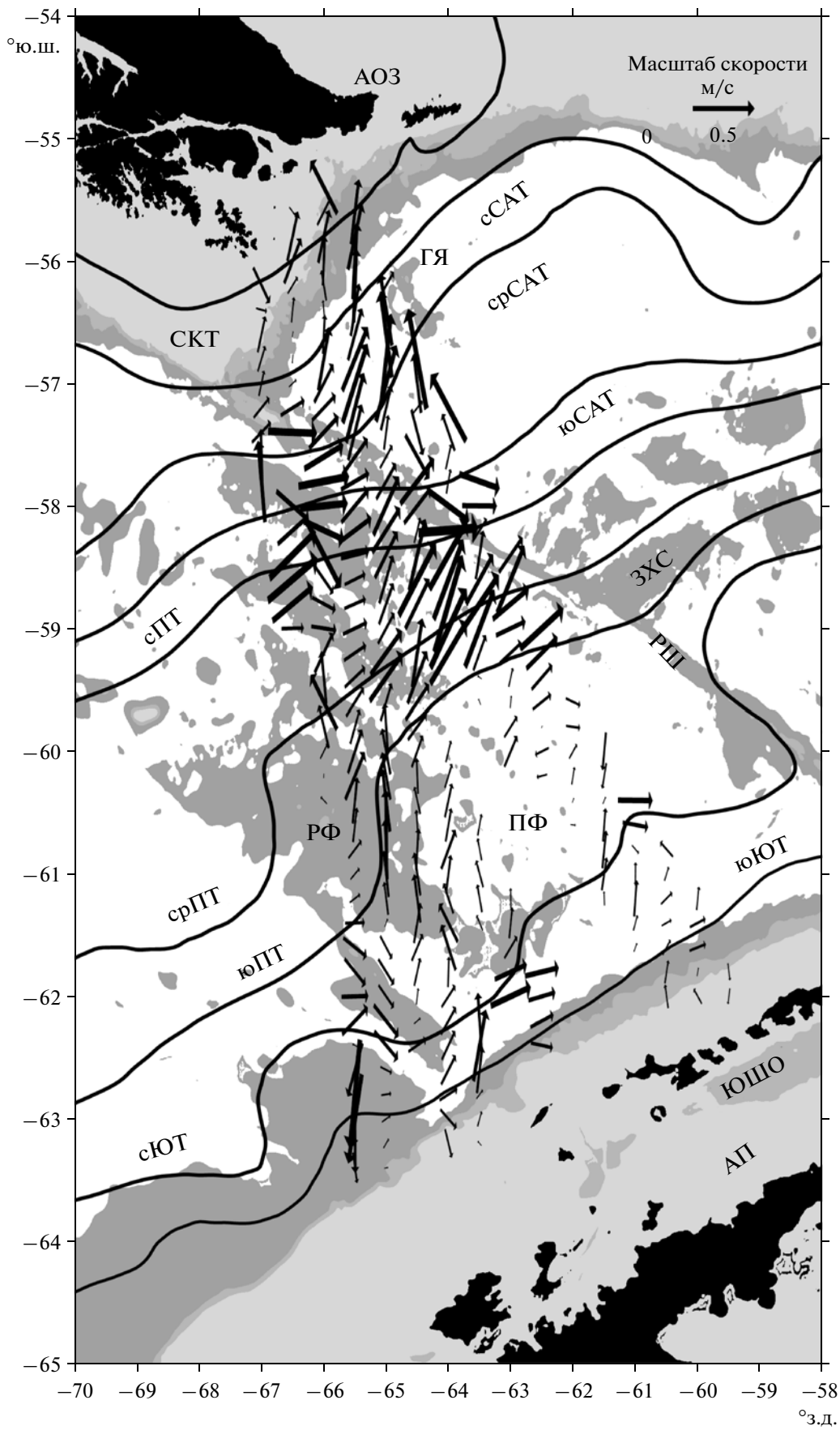


Рис. 3. Карта средних течений на горизонте 200 м в проливе Дрейка, построенная по данным $0.2^\circ \times 0.5^\circ$ квадратов с количеством пересечений не менее 5. Сплошными линиями показаны “осевые” изолинии абсолютной динамической топографии струй АЦТ. Подписи у изолиний обозначают: юЮТ и сЮТ – южная и северная струи Южного течения, юПТ, срПТ, сПТ – южная, средняя и северная струи Полярного течения, юСАТ, срСАТ, сСАТ – южная, средняя и северная струи Субантарктического течения, СКТ – склоновое течение. ГЯ обозначают горы бассейна Яган, РШ – разлом Шеклтона, РФ – разлом Феникс, ЗХС – Западный хребет Скотия, ПФ – плато Феникс, АОЗ – архипелаг Огненная Земля, АП – Антарктический п-ов, ЮШО – Южные Шетландские острова. Глубины до 3500 м показаны различными оттенками серого.

чений, согласованную с предыдущими исследованиями ИО РАН и зарубежных научных центров.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП “Мировой океан”, средств программы Президиума РАН 23П и гранта РФФИ № 10-05-00029.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладышев С.В., Кошляков М.Н., Тараканов Р.Ю.* Течения в проливе Дрейка по данным наблюдений 2007 г. // *Океанология*. 2008. Т. 48. № 6. С. 1–13.
2. *Кошляков М.Н., Гладышев С.В., Тараканов Р.Ю., Рыжиков Н.И.* Глубоководные течения в центральной части пролива Дрейка по данным гидрологической съемки 2008 г. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 6. С. 821–828.
3. *Кошляков М.Н., Гладышев С.В., Тараканов Р.Ю., Федоров Д.А.* Течения в западной части пролива Дрейка по данным наблюдений в январе 2010 г. // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 2. С. 187–198.
4. *Кошляков М.Н., Гладышев С.В., Тараканов Р.Ю., Федоров Д.А.* Течения в проливе Дрейка по данным наблюдений в ноябре 2010 г. // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 3. С. 325–334.
5. *Кошляков М.Н., Гладышев С.В., Тараканов Р.Ю., Федоров Д.А.* Течения в проливе Дрейка по данным наблюдений в октябре–ноябре 2011 г. // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 1. С. 1–12.
6. *Кошляков М.Н., Лисина И.И., Морозов Е.Г., Тараканов Р.Ю.* Абсолютные геострофические течения в проливе Дрейка по данным наблюдений 2003 и 2005 гг. // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 4. С. 451–463.
7. *Egbert G.D., Bennett A.F., Foreman M.* TOPEX/Poseidon tides estimates using a global inverse model // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99. N C12. P. 24.821–24.852.
8. *Firing Y.L., Chereskin T.K., Mazloff M.R.* Vertical structure and transport of the Antarctic Circumpolar Current in Drake Passage from direct velocity observations // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. C08015, doi:10.1029/2011JC006999.
9. *Lenn Y.-D., Chereskin T.K., Sprintall J., Firing E.* Mean jets, mesoscale variability and eddy momentum fluxes in the surface layer of the Antarctic Circumpolar Current in Drake Passage // *J. Mar. Res.* 2007. V. 65. № 1. P. 27–58.
10. *Ocean surveyor installation guide* // Teledyne RD Instruments. 2007. P/N 95A-6019-00. 72 P.
11. *Rintoul S.R., Hughes C.W., Olbers D.* The Antarctic Circumpolar Current System // *Ocean Circulation and Climate Int. Geophys. Ser.* 2001. V. 77. P. 271–302.
12. *Sokolov S., Rintoul S.R.* Multiple jets of the Antarctic Circumpolar Current south of Australia // *J. Phys. Oceanogr.* 2007. V. 37. P. 1394–1412. doi:10.1175/JPO3111.1.
13. *Sokolov S., Rintoul S.R.* Circulation structure and distribution of the Antarctic Circumpolar Current fronts: 1. Mean circumpolar paths // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 114. C11019, doi:10.1029/2008JC005108.