

УДК 551.465.4

В.Ф.Суховей, д.г.н., И.Г.Рубан, к.ф.-м.н., В.Ф.Пятакова
Одесский государственный экологический университет

Рассматривается океанская циркуляция субполярных, субтропических и тропических вод в юго-восточной части Тихого океана. Обсуждаются особенности циркуляции вод на основе геострофического приближения. Геострофические течения строятся по квадратам с одноградусным разрешением для летнего сезона южного полушария (январь-март). Полученные особенности циркуляции вод на восточной границе южной части Тихого океана сравниваются с моделями циркуляции для этого региона, предложенными другими авторами.

Ключевые слова: течение, Циркумполярное, Перуанское, Чилийское, противотечение, Перу-Чилийское, скорость, расход, круговорот.

ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Вступление. В юго-восточной части Тихого океана наблюдается сложная система течений. Круговое Антарктическое (Циркумполярное) течение, ширина которого на удалении от континентов достигает 40-45° по меридиану, разветвляется при подходе к Южно-Американскому континенту. Южная Америка вместе с Антарктическим полуостровом, выдвинутым к северу далее, чем любая иная часть Антарктиды, образуют узкий проход между Атлантическим и Тихим океанами (пролив Дрейка), ширина которого не более 6° по меридиану, если исключить прибрежные мелководья. Наличие преграды на пути течения и узость прохода приводят, во-первых, к усилению течения в проливе Дрейка, во-вторых, к разветвлению Циркумполярного течения. Одно из его ветвей поворачивает к северу вдоль континента, формируя Перуанское течение, которое само образует две ветви – прибрежную и мористую. Где именно и в какой пропорции происходит разветвление течений не вполне ясно.

С севера, навстречу Перуанскому течению, проходит Перу-Чилийское противотечение, являющееся продолжением Южного экваториального противотечения и замыкающее тропический циклонический круговорот с востока. Заключение относительно того, как далеко на юг распространяется Перу-Чилийское противотечение у разных авторов противоречивы. Поэтому целью настоящей работы является получение более определенных результатов на основе обработки большого числа глубоководных наблюдений.

Использованные материалы наблюдений. Основной массив глубоководных измерений получен из Мирового центра данных «А» (Вашингтон). Весь массив включает много тысяч гидрологических станций во всем южном полушарии. Однако для данной работы необходимы были только данные станций, расположенных в юго-восточной части Тихого океана. Поэтому для анализа привлекались измерения, выполненные в следующих квадратах Мерседена: 522, 523, 524, 559, 560, 487, 488, 451, 452, 415, 416, 379, 380. Между параллелями 43 и 30° ю.ш. массив дополнен данными, полученными с судов советской рыбопромысловой разведки, которые в центр «А» не

посылались. В связи с тем, что наблюдений в районе, расположенном на юг от 45° ю.ш., в зимний период было выполнено очень мало, обработка данных и построение карт динамического рельефа, а также вычисление расходов течений выполнялись только для летнего сезона года, к которому отнесены месяцы январь, февраль и март.

В проливе Дрейка, а также еще в нескольких районах выбранной области океана, гидрологических станций, выполненных почти в одних и тех же координатах в разные годы, было несколько (до 8-9), поэтому вся область была разделена на одноградусные квадраты, в пределах которых вычислялись средние значения температуры и солености для каждого горизонта. Вычисления удельного объема производились по этим средним значениям, однако во многих квадратах имелась лишь 1-2 станции, следовательно, вычисленные значения удельного объема для разных точек (центров квадратов) не являются равноценными. Имеются квадраты, в которых нет ни единого измерения. В связи с этим при проведении изолиний большая роль отводилась тем значениям, которые получены на основе осреднения данных за несколько разных лет. В проливе Дрейка расходы Циркумполярного течения вычислялись за отдельные годы на разрезах, ориентированных поперек пролива.

Глубина океана в рассматриваемом регионе изменяется в основном от 3000 до 4000 метров. При вычислении динамических высот в качестве отсчетной выбрана поверхность 3000 дб.

Анализ полученных результатов. Циркумполярное течение. Как уже было известно ранее [1-3] в проливе Дрейка Циркумполярное течение образует три струи (или три ветви). Однако выполненные расчеты показывают, что такая структура течения существует не всегда. За весь период наблюдений удалось найти только девять разрезов, относящихся к одному сезону (лето) с измерениями до самого дна и с такими расстояниями между станциями, которые позволяют достаточно уверенно рассмотреть пространственное распределение скоростей и вычислить как расходы отдельных струй, так и общий расход через пролив. Всего на каждом разрезе было от 11 до 15 станций, только в 1929 г их было всего 7.

Три отдельные струи (ветви) в проливе Дрейка наблюдались в четырех годах: 1964, 1975, 1976 и 1979. В другие годы, а именно, в 1929, 1958, 1969, 1970 и 1980 северная и центральная струи были объединены в одно сильное течение, которое занимало всю северную половину пролива (табл.1). В тех случаях, когда северная и центральная струи существовали отдельно одна от другой, северная струя имела более значительный расход (в среднем 52,4 Св), тогда как центральная только 32,5 Св. Средний расход обеих ветвей (струй) составляет около 80% от общего расхода через пролив независимо от того существовали ли они отдельно или были соединены в одну струю. Общий расход через пролив Дрейка составляет летом 106,1 Св, наибольший 127,3 Св, наименьший 83,9 Св. Такие результаты позволяют заключить, что интенсивность Циркумполярного течения имеет значительные межгодовые колебания.

Зимних наблюдений в проливе Дрейка очень мало (как и вообще в высоких широтах южного полушария). Удалось найти только три случая, когда в проливе Дрейка выполнялись глубоководные наблюдения зимой. Однако в двух из них разрезы с севера на юг достигали только 60° ю.ш. и лишь в одном из них течение можно было вычислить поперек всего пролива. Во всех трех случаях северная ветвь была соединена с центральной, но этот факт еще не означает того, что в зимний период эти две ветви не могут существовать отдельно, ведь и в летний период в пяти случаях из девяти они были соединенными и только в четырех случаях существовали отдельно. Важным представляется то обстоятельство, что общий расход обеих ветвей зимой и летом почти одинаков (23,9 Св летом и 82,0 Св зимой).

Таблица 1- Широтное положение отдельных ветвей Циркумполярного течения в проливе Дрейка, их расходы (в Св) и максимальные скорости (в см/с), летний сезон

Годы	Северная ветвь			Центральная ветвь			Южная ветвь			Общий расход
	Широт. полож.	Макс. скор.	Расход	Широт. полож.	Макс. скор.	Расход	Широт. полож.	Макс. скор.	Расход	
1929	Вместе с центр.			57,2-59,3 ю.ш.	44	87,5	60,5-62,4 ю.ш.	12	23,1	110,6
1958	Вместе с центр.			55,3-59,3 ю.ш.	25	77,6	Нет данных			
1964	55-56,5° ю.ш.	43	49,1	57-59,5° ю.ш.	18	31,1	59,7-62,2 ю.ш.	21	37,6	117,8
1969	Вместе с центр.			57,3-60,1 ю.ш.	31	65,5	60,8-62,4 ю.ш.	8	8,4	73,9
1970	Вместе с центр.			56,8-59,3 ю.ш.	39	92,1	60,2-63,2 ю.ш.	21	28,1	120,2
1975	56,3-58,2 ю.ш.	42	46,2	58,4-59,7 ю.ш.	19	17,1	59,9-62° ю.ш.	24	30,2	93,5
1976	56,2-59,3 ю.ш.	43	55,6	58,9-60,3 ю.ш.	30	42,3	61,3-61,9 ю.ш.	11	11,1	109,0
1979	56,7-58,2 ю.ш.	40	58,6	58,7-60,4 ю.ш.	42	39,4	60,4-62,1 ю.ш.	19	29,3	127,3
1980	Вместе с центр.			56,2-59,3 ю.ш.	38	82,1	61,1-62,4 ю.ш.	10	14,2	96,3
Средний расход			52,4			Вместе с север.-81 Отдельно-32,5			22,8	106,1 по вертикали

Существование центральной струи связано с наличием зоны антарктической конвергенции со значительными меридиональными градиентами температуры воды и, частично, солености. Согласно В.А.Буркову [4] эта струя течения заметна во всем Южном океане, хотя скорость в ней существенно меньше, чем в проливе Дрейка. Что же касается двух других струй: северной и южной, то можно думать, что их появление связано с вторжением в Циркумполярное течение оконечности Южной Америки с севера и Антарктического полуострова с юга. Когда северный край течения достигает берегов Северной Америки, происходит его разделение. Часть воды огибает Огненную Землю, именно она образует северную струю, которая получила название «течение мыса Горн». Другая часть воды поворачивает на север вдоль берегов Чили и Перу и имеет официальное название – Перуанское течение.

В тех случаях, когда центральная струя сдвигается к северу (а это возможно, так как смещение антарктической конвергенции, особенно зимой, отмечалось в разных районах Южного океана [5-7]), происходит соединение центральной и северной струй. Когда же антарктическая конвергенция смещается к югу, обе струи существуют отдельно одна от другой.

Южная, наиболее слабая ветвь течения, в проливе Дрейка существует всегда и отделена от центральной ветви полосой воды с очень маленькими скоростями, иногда обратного направления. По-видимому Южная ветвь образуется благодаря наличию Антарктического полуострова, который вместе с мелководьем вытянут на северо-восток довольно далеко, приблизительно до $62,5^{\circ}$ ю.ш. Именно поэтому южный край Циркумполярного течения, который западнее Антарктического п-ова в море Беллинсгаузена достигает 68° , а может и 70° ю.ш. (в настоящей работе это выяснить не удалось), поворачивает вдоль склона полуострова на северо-восток и в проливе образует хорошо выраженную третью струю течения.

Чилийское течение. Значительные скорости геострофического течения в проливе Дрейка и большой расход этого течения, который в среднем составляет 106-107 Св позволяет предположить, что в пролив попадают воды не только той части Циркумполярного течения, которая западнее пролива проходит на широте пролива, но и воды северного его края. Для того, чтобы решить вопрос о том какая именно часть течения попадает в пролив Дрейка и каким образом эта часть течения направляется к проливу, в работе были построены карты динамического рельефа, которые дают представление о направлении геострофических течений в районе, прилегающем с запада к побережью Южной Америки. В качестве примера на рисунке приведены карты динамического рельефа свободной поверхности океана и 300 дб поверхности.

На этих (как и на картах других поверхностей) достаточно ясно видно, что при приближении к берегу разделение Циркумполярного течения происходит на $40-41^{\circ}$ ю.ш. Именно здесь южный край течения круто поворачивает на юг, а северный край на север. Южная ветвь направляется вдоль берегов Чили к проливу Дрейка, не образуя каких-либо ответвлений или противотечений, скорость на поверхности около 10 см/с. В глубину оно распространяется также, как и все Циркумполярное течение, до дна, только скорости с глубиной уменьшаются быстрее, чем в проливе Дрейка. Представляется целесообразным назвать эту ветвь Чилийским течением по аналогии с официальным названием северной ветви – Перуанское течение, которое направлено в сторону экватора. Именно Чилийское течение усиливает северную струю Циркумполярного течения в проливе Дрейка.

Перуанское течение. Северная ветвь Циркумполярного течения поворачивает в сторону экватора между 40 и 41° ю.ш. под названием Перуанского течения. Изображенное на многих картах разветвление Циркумполярного течения на широте $47-48^{\circ}$ или 45° ю.ш. неверно. Поворот, как это видно на рисунке, происходит гораздо

дальше к северу. Меридианальное направление течение приобретает только около 39° ю.ш., а самый северный край Циркумполярного течения (Южно-Тихоокеанское течение) поворачивает к северу на 34-36° ю.ш., образуя мористую ветвь Перуанского течения, которая минуя 25° ю.ш. постепенно поворачивает к западу, вливаясь в Южное Пассатное течение. На рис. 1а заметно прибрежное более сильное, чем мористая ветвь, Перуанское течение. В подповерхностном и даже промежуточном слоях воды оно также хорошо выражено. Появление этой прибрежной ветви Перуанского течения обусловлено устойчивыми южными ветрами на восточной периферии Южно-тихоокеанского субтропического антициклона, которые образуют сгонный эффект, так называемый классический экмановский апвеллинг. Благодаря сгону воды в зону открытого океана образуется наклон изобарических поверхностей в направлении к берегу, а при повороте течения влево от направления силы градиента оно оказывается направленным вдоль берега в сторону экватора.

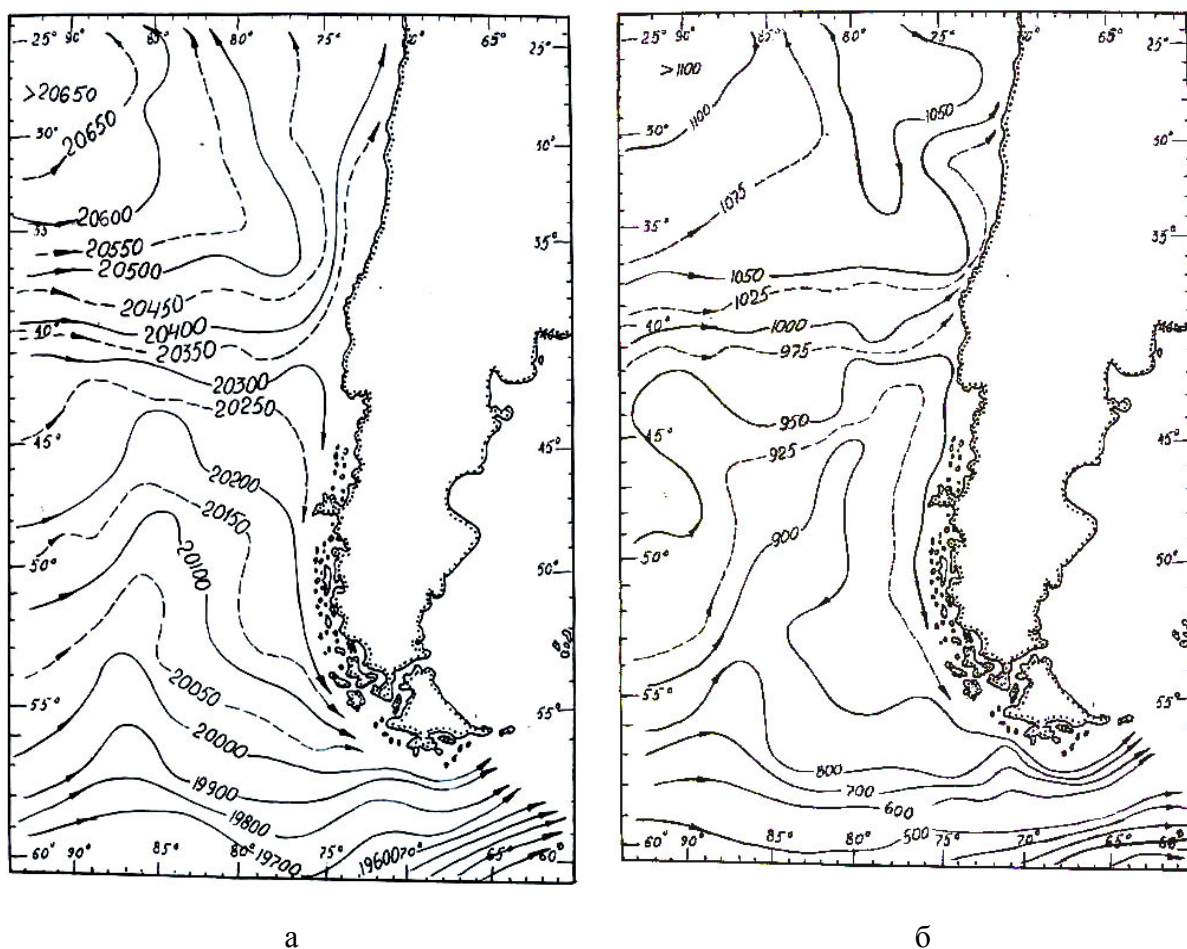


Рисунок 1 - Карта динамического рельефа юго-восточной части Тихого океана
 а) свободная поверхность; б) поверхность 300 дб

Что касается причины разделения Циркумполярного течения именно на 40-41° ю.ш., то на основании расчетов рельефа урвневной и других изобарических поверхностей океана по заданным полям плотности воды, определенно утверждать ничего, естественно, нельзя. Однако можно принять во внимание два следующих фактора. Первый из них – наличие Чилийского поднятия, которое подходит к берегу Чили примерно на этой широте. Это поднятие и может быть причиной поворота части

течения к югу вдоль берега Чили, т.е. появления Чилийского течения. Самый северный край Циркумполярного течения подходит к побережью севернее Чилийского поднятия, его поворот в сторону экватора, образование Перуанского течения, может быть обусловлен вторым, уже упоминавшимся фактором – южными ветрами, которые становятся устойчивыми к северу от 40° ю.ш., как зимой, так и летом.

Расход Перуанского течения вычислен по параллели 28° ю.ш. Именно здесь в направлении берега проходит субтропическая конвергенция, и Перуанское течение является наиболее узким. Вычисления были выполнены на разрезе между берегом (73° з.д.) и 87° з.д., где Перуанское течение почти незаметно. Скорости течения невелики, в верхнем слое они составляют около 3-6 см/с и очень медленно уменьшаются с глубиной в мористой ветви. В прибрежной ветви скорости на поверхности больше и достигают 12-14 см/с. Прибрежная ветвь Перуанского течения проникает в глубину только до 300-500 метров, ее расход около 2,2 Св. Расход основной ветви Перуанского течения 13,7 Св. Таким образом общий расход течения составляет около 16 Св. Вместе с той частью Циркумполярного течения, которая проходит через пролив Дрейка (106 Св в среднем) расход всего течения составляет 122 Св. В проливе Дрейка максимальный (из девяти случаев) расход на 20% превышает средний, поэтому можно полагать, что в годы с повышенной интенсивностью Циркумполярного течения его расход в этом регионе достигает 150 Св, а может быть и превышает эту величину.

Представляет интерес сравнение расходов Циркумполярного течения в восточной части тихоокеанского сектора с его расходом в иных регионах. Расчеты геострофических скоростей на разрезе между оконечностью Африки и берегом Антарктиды (разрез проходит под небольшим углом к меридиану 20° в.д.) показали, что расход течения между 41° ю.ш. и Антарктидой составляет 155-157 Св при выборе отсчетной поверхности у дна. Превышение расхода течения в этом регионе над его расходом в восточной части тихоокеанского сектора вряд ли можно объяснить некоторой разницей в выборе отсчетной поверхности, так как скорости в придонном слое очень слабые. Уменьшение расхода Циркумполярного течения в тихоокеанском секторе может быть обусловлено тем, что в Индийском океане северный край течения приобретает меридиональную составляющую к северу и образует восточное звено южноиндоокеанского субтропического антициклонического круговорота.

Перу-Чилийское противотечение. В направлении на север от 35° ю.ш. с глубиной не только уменьшается наклон изобарических поверхностей, но и появляются новые черты в самом рельефе. Если на свободной поверхности океана прибрежная ветка Перуанского течения почти не отделяется от мористой, то на поверхности 100 дб их разделение более заметно, а на 300 и 500 дб поверхностях эти ветви разделены вторжением слабого течения со стороны экватора, приблизительно до 33-34° ю.ш. (рис.1б), т.е. противотечения по отношению к Перуанскому течению. Наличие такого противотечения было замечено и упоминается в некоторых статьях еще в середине 60-х и в 70-е годы [4,8]. Именно тогда было обнаружено и Южное экваториальное противотечение, которое проходит с запада на восток и отделяет от Южного пассатного течения его южную ветвь. Это противотечение отмечалось между 3 и 9° ю.ш., т.е. оно является некоторым аналогом Межпассатного противотечения в северном полушарии (4-10° с.ш.). Однако Межпассатное противотечение достаточно быстрое, распространяется в глубину от поверхности не менее, чем до 1000 м (как и сами пассатные течения), оно хорошо описано в литературе, его существование достаточно убедительно объясняется существованием зоны слабых ветров между северо-восточным и юго-восточным пассатами. Существование его южного аналога не только не было предсказано в теоретических работах об океанической циркуляции, но

и до сих пор не имеет объяснения. Тем не менее оно существует, его продолжение в восточной части Тихого океана в виде Перу-Чилийского противотечения показано и в некоторой мере исследовано в настоящей работе.

В подповерхностном слое Перу-Чилийское противотечение распространяется на юг дальше, чем на поверхности (рис 1б). Хорошо заметно оно на глубине 500 дб поверхности, где достигает 33-34° ю.ш. Скорости противотечения на этом участке не более 1-2 см/с, а расход составляет только 2,1 Св.

Таким образом, Перу-Чилийское противотечение завершает с востока южный тропический циклонический круговорот, который образуют Южное экваториальное противотечение и южная ветвь пассатного течения. Этот вытянутый в широтном направлении круговорот занимает географическое положение вполне симметричное по отношению к северному тропическому антициклональному круговороту, который образуют Межпассатное противотечение и Северное пассатное течение. В отличие от своего северного аналога южный круговорот изучен слабо. В частности, вопрос о том, какой широты достигает Перу-Чилийское противотечение оставался не вполне ясным. По утверждению некоторых авторов это противотечение обнаруживалось на 42 и даже 48° ю.ш. [8], что является сомнительным. Противотечение переносит воду из зоны пассатов, более соленую, чем вода Перуанского течения, переносящего воду из субполярных широт. Поэтому в вертикальном распределении солености имеется промежуточный максимум солености, который фактически и послужил причиной для предположения о существовании противотечения по отношению к Перуанскому течению. В соответствии с исследованиями В.Ф.Суховой, М.Е.Гонзалес, С.О.Монсона [9] промежуточный максимум солености четко заметен в этом регионе до 35° ю.ш. и очень слабо до 39-40° ю.ш. Это дает основание считать, что течение на юг вдоль берега Америки, которое как будто выявлено на 42 и тем более 48° ю.ш. не имеет отношения к Перу-Чилийскому противотечению. Скорее всего отмеченное на 42 и 48° течение на юг является ответвлением Циркумполярного течения и названо в настоящей работе Чилийским течением. Мало заметное повышение солености в промежуточном слое южнее 33° ю.ш. может быть обусловлено образованием небольших круговоротов в зоне разделения северного края Циркумполярного течения на Перуанское и Чилийское течения и поворотом на северо-запад Перу-Чилийского противотечения. Такие круговороты могут переносит небольшие объемы воды из Перу-Чилийского противотечения южнее 32-35° ю.ш. и быть причиной того, что промежуточный максимум солености местами слабо заметен до 39-40° ю.ш.

Выводы.

1. Циркумполярное течение подходит к восточной границе тихоокеанского сектора широкой полосой, однако меридиональные градиенты в поле динамических высот неодинаковы. По сгущениям изолиний выделяются две ветви течения. На меридиане 90° з.д. одна из них проходит между 60 и 62,5° ю.ш., другая между 57 и 58° ю.ш. Скорости течений в обеих ветвях составляют 9-11 см/с на поверхности океана. Между этими ветвями они уменьшаются до 4 см/с.
2. При приближении к проливу Дрейка изолинии динамических высот в каждой из ветвей собираются в узкие пучки, а скорости увеличиваются до 40-42 см/с (в верхнем слое).
3. В направлении на юг от этих двух ветвей скорости течения уменьшаются, однако в самом проливе появляется третья ветвь. Благодаря тому, что на северо-восток выступает Антарктический полуостров, течение из моря Беллинсгаузена сужается и образует эту третью южную ветвь со скоростями 12-15 см/с.

4. Трехструйная система течений в проливе Дрейка существует не всегда. Из имеющихся девяти разрезов, выполненных в проливе в разные годы, три отдельных струи наблюдались в четырех случаях. В другие годы северная и центральная струи были соединены и занимали всю северную часть пролива с одним стрежнем течения. В тех случаях, когда северная и центральная струи существовали отдельно, северная имела средний расход равный 52,4 Св, тогда как центральная только 32,5 Св. Средний расход обеих струй, существовали ли они отдельно или были соединены, достигал 80% от всего расхода через пролив. Общий расход в среднем составлял 106,1 Св, наибольший 127,3, наименьший 83,9 Св (при отсчетной поверхности 3000 дб).
5. Разделение северного края Циркумполярного течения при приближении к континенту происходит около 40-41° ю.ш. Южная ветвь от 41° ю.ш. образует течение, направленное вдоль берега к мысу Горн, именно она и усиливает северную струю в проливе Дрейка. В настоящей работе течение от 41° ю.ш. до пролива условно названо Чилийским течением.
6. Перуанское течение, как ответвление Циркумполярного течения, начинается только от 39-40° ю.ш. Его расход на 28° ю.ш., где оно хорошо выражено, составляет около 16 Св.
7. Перу-Чилийское противотечение (по отношению к Перуанскому течению), являющееся продолжением Южного экваториального противотечения, достигает 33-34° ю.ш. Здесь оно поворачивает к западу, сливается с мористой ветвью Перуанского течения, замыкая с востока южный тропический циклонический круговорот. Чилийское же течение, направленное к югу от 41° ю.ш., которое, возможно, и обнаруживали на 42 и 48° ю.ш., никакого отношения к тропическому циклоническому круговороту не имеет. Оно является ответвлением Циркумполярного течения и переносит субполярную воду.

Список литературы

1. Reid Y.L., Nowlin W.D. Transport of water through the Drake Passage.-Deep-Sea Res.,1971 – vol.18,N1 – p.51-64
2. Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Водные массы и циркуляция Южного океана. - : Гидрометеиздат, 1986. – 288 с
3. Булгаков Н.П., Артамонов Ю.В., Ломакин П.Д., Белокопытов В.Н., Скрипалева Е.А. Атлас-циркуляция, температура, соленость, ледовые условия юго-западной части Атлантического океана и прилегающей акватории Антарктики. – Севастополь: изд.МГИ НАНУ,-2003, 99 с
4. Бурков В.А. Общая циркуляция Мирового океана. – Л: Гидрометеиздат,, 1980, 252 с
5. Атлас Антарктики. – Л: Гидрометеиздат, - 1969, т.1
6. Ботников В.Н. Географические положения зоны Антарктической конвергенции в Южном океане // Информ.бюлл.САЭ,-1963,-Т41, с 19-21
7. Трешников А.Ф. Гидрология прибрежных антарктических вод. – Труды САЭ, - 1963, т.17
8. Silva N.S., Neshiba S.O. In southern most extension of Peru – Chile undercurrent-Deep-Sea Res.-1979.-A26,N12.-p.1387-1939

9. Суховой В.Ф., Гонзалес М.Е., Монсон С.О. Геострофическая циркуляция в восточной пограничной зоне Тихого океана. – Морской гидрофизический журнал. – 2001, - №6, - с 21-31

Циркуляція вод південно-східної частини Тихого океану.

Суховій В.Ф., Рубан І.Г., П'ятакова В.Ф.

Розглядається океанська циркуляція субполярних, субтропічних та тропічних вод у південно-східній частині Тихого океану. Обговорюються особливості циркуляції вод на основі геострофічного наближення. Геострофічні течії побудовані по квадратах з одноградусним розв'язанням для літнього сезону південної півкулі (січень-березень). Отримані особливості циркуляції вод на східній границі південної частини Тихого океану зрівнюються з моделями циркуляції для цього ж регіону, запропонованими іншими авторами.

Ключові слова: течія, Циркумполярна, Перуанська, Чилійська, протитечія, Перу-Чилійська, швидкість, витрата, кругообіг.

Circulation of water in the south-eastern Pacific.

Suhovey V.F., Ruban I.G., Pjatakova V.F.

Eastern branches of subpole, subtropical and tropical oceanic circulation in the south-eastern Pacific are considered. The circulation peculiarities are discussed on the basis of the geostrophic approach. The geostrophic currents are re-constructed on a grid with one-degree resolution for the summer season of South hemisphere (january – march). The obtained features of the ocean circulation in the eastern boundary regions of the South Pacific Ocean are compared versus to ocean circulation patterns in this area described by the other authors.

Keywords: current, Circumpolar current, Peru current, Chile current, countercurrent, volume transport, gire