

УДК 551.465.4

В.Ф.Суховей, д.г.н., И.Г.Рубан, к.ф.-м.н

Одесский государственный экологический университет

ОСОБЕННОСТИ ВОСТОЧНЫХ ПОГРАНИЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВДОЛЬ ЗАПАДНОГО БЕРЕГА АВСТРАЛИИ

Статья посвящена изучению особенностей циркуляции в юго-восточном районе Индийского океана. Для этого были рассчитаны геострофическая и дрейфовая составляющие скорости течения в этом регионе. Построенные карты геострофической циркуляции показывают увеличение переноса вод в южном направлении: 15°ю.ш. – 5.0; 20°- 4.8; 25°- 6.0; 30°- 7.1; 35°- 7.2 Св ($10^6 \text{ м}^3/\text{с}$). Дрейфовая составляющая к югу, наоборот, уменьшается.

Ключевые слова: течение Ливина, циркуляция, геострофический перенос, изменчивость, расход.

Восточные пограничные течения в Индийском океане отличаются от аналогичных течений в других океанах: Канарского и Бенгельского в Атлантическом, Калифорнийского и Перуанского в Тихом. Все эти четыре течения имеют общие особенности - это широкие медленные течения, их мористая граница выражена слабо, ширина их составляет не менее 800-1000 км, расходы в среднем не превышают 20 Св. В связи с тем, что течения находятся на восточных перифериях субтропических антициклонов, ветры вдоль берегов Африки и Америки направлены в сторону экватора, в результате чего образуются прибрежные ветви всех упомянутых течений и хорошо выраженные обширные апвеллинги. На некоторых участках этих прибрежных ветвей интенсивность апвеллинга настолько значительная, что разность в значениях температуры воды поверхностного слоя между прибрежной полосой и районами в центре океанов достигает 6-7, в некоторых случаях 8°C [1-4]. На картах температуры воды поверхностного слоя Индийского океана [1,2] нельзя обнаружить признаков апвеллинга вдоль западного берега Австралии. Напротив, изотермы в этом районе несколько отклоняются к югу, что может свидетельствовать о поступлении теплой воды из низких широт в более высокие, по крайней мере в верхнем слое воды, и отсутствии апвеллинга. Причинами этого являются отличия в формировании циркуляции вод Индийского океана от циркуляции других океанов. Главными из таких причин можно считать две. Первая из них – наличие в северной части Индийского океана муссонных круговоротов, в которых в зависимости от сезона изменяется не только направление течений, но и площади, занимаемые круговоротами, и объемы переносимых вод. Второй причиной является сообщение Индийского океана с Тихим через проливы Австрало-Азиатского средиземноморья. Следует отметить, что не все проливы дают возможность для прохода тихоокеанской воды. Самый северный пролив – Малаккский, узкий в своей южной части, мелководный и на выходе в Южно-Китайское море имеет множество мелких островов. Второй пролив – Зондский (между Явой и Суматрой) также узкий, мелководный, посреди него находится вулкан Кракатау, который время от времени при своем извержении оставляет острова. Таким образом, в Индийский океан может поступать тихоокеанская вода только через проливы, расположенные восточнее Явы из моря Банда через моря Суву и Тиморское. Само же обширное море Банда пополняется тихоокеанской экваториальной водой через широкую и глубокую (около 2000 м) Молуккскую депрессию между островами Сулавеси и Хальмахера.

Что же касается муссонных круговоротов, то на их восточной периферии в оба сезона возможно отделение ветвей, направленных на юг вдоль западного берега

Австралии и переносящих теплую воду. В зимний сезон в северном полушарии (январь) круговорот направлен против часовой стрелки. Зимний СВ муссон формально совпадает с СВ пассатом. В северной части течение идет с востока на запад (как и Северное пассатное течение в других океанах), затем вдоль Сомали на юг и переходит в экваториальное противотечение, которое появляется с осени севернее экватора, затем его южная граница переходит в южное полушарие и в январе она достигает 10° ю.ш. Вдоль экватора существует струя противотечения с повышенными скоростями (течение Тареева). На восточном крае противотечение проходит вдоль берегов Суматры и Явы, а затем его воды поворачивают в Южное пассатное течение и, вероятно, часть их проходит на юг вдоль Австралии.

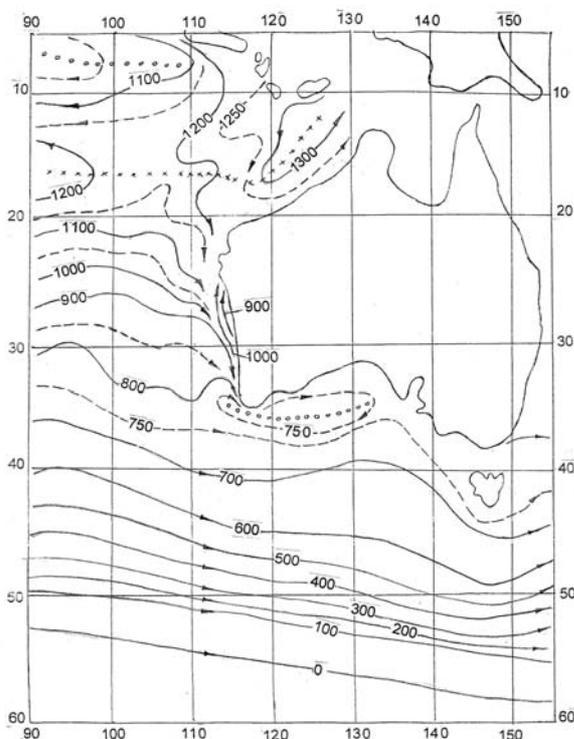
Летом северного полушария (июль) муссонный круговорот направлен по часовой стрелке. Сомалийское течение идет на север, скорости его увеличиваются, так как ЮЗ муссонный ветер сильный, и на западе нередко достигает силы шторма. Минуя Африку, течение поворачивает к востоку. Фактически в этот сезон все муссонное течение, направленное на восток, является противотечением по отношению к Южному пассатному течению. На юг противотечение (муссонное течение) распространяется только до 5° ю.ш., в экваториальной полосе, как и в зимний сезон, скорости противотечения увеличиваются (течение Тареева наблюдается в оба сезона). На своем восточном конце противотечение поворачивает на запад, где вливается в южное пассатное течение [2].

В настоящей статье представлены результаты расчетов геострофических течений верхнего слоя вод у западного и южного берегов Австралии с целью уточнения особенностей переноса вод из экваториальной зоны на юг и источников этих вод.

Использованные материалы наблюдений. Для того, чтобы уточнить схемы циркуляции юго-восточной части Индийского океана в настоящей работе предпринята попытка собрать доступные материалы наблюдений, выполненные разными судами в этой части океана, ограниченной 5° ю.ш. с севера, 90° в.д. с запада, Австралией с востока и 50° ю.ш. с юга. Советских наблюдений здесь было мало, однако Мировой центр данных «Б» (МЦД-ВНИИГМИ) в Обнинске получал результаты измерений судами других стран в порядке обмена. Кафедрой океанологии ОГМИ в течение ряда лет эти данные копировались, в результате чего был собран некоторый массив данных. Кроме того, из банка данных WOD-2005 (World Ocean Database) были заимствованы результаты измерений на нескольких разрезах, расположенных примерно по нормали к берегу Австралии и выполнявшихся австралийскими судами. Всего в этом районе собраны данные более 1000 глубоководных станций с глубиной измерения не менее 1000 м, что, в общем, недостаточно для детального изучения всех особенностей циркуляции. Однако в восточной части Индийского океана глубоководных наблюдений вообще на порядок меньше, чем в других регионах. Поэтому их совместная обработка представляет определенный интерес для изучения особенностей циркуляции вод этого района даже при недостаточном количестве данных.

Указанные станции относятся к двум сезонам: зиме и лету. К зиме отнесены данные за период с 15 июня до 15 сентября, к лету – с 15 декабря до 15 марта. Для переходных сезонов данные наблюдений не собирались.

Температура и соленость для каждого стандартного горизонта усреднялись по квадратам $2.5 \times 2.5^\circ$. Число станций, относящихся к зиме и лету примерно одинаковое. Следует отметить, что некоторые квадраты при осреднении оказались «пустыми» (без измерений). Значения температуры и солености в таких квадратах заполнялись посредством линейной интерполяции по данным в соседних узлах. Динамический рельеф вычислялся от 1000 дб поверхности, так как не во всех узлах сетки были измерения глубже 1000м. Кроме описанных материалов наблюдений, через INTERNET были получены результаты спутниковых уровенных наблюдений. Разумеется, такие снимки (помимо недостаточной точности) характеризуют динамику вод только в определенные сутки. Все же наиболее существенные детали снимков дают уверенность в реальности полученных особенностей схемы течений рассматриваемого региона.



Анализ полученных результатов. Для расчета карт динамической топографии и скоростей геострофических течений использовалась стандартная программа ODV (Ocean Data View), созданная в институте А.Вегенера (Германия). По вычисленным значениям динамических высот построены карты, которые позволяют судить о различиях в системе течений рассматриваемого региона по сравнению с течениями в восточных пограничных зонах других океанов.

Рис.1 - Динамический рельеф свободной поверхности океана (дин.мм) вдоль западного берега Австралии.

Как видно на рис.1, Южно-Индийское течение летом (январь) в верхнем слое океана подходит к побережью Австралии широкой полосой южнее 19° ю.ш. Некоторая часть вод этого течения (самый северный его край) поворачивает на запад и вместе с частью вод Экваториального противотечения, которое существует в этот сезон года между течением северо-восточного муссона и Южным пассатным течением и тоже частично разворачивается на запад, образует начало Южного пассатного течения (около 100° в.д.). Другая часть вод Южно-Индийского течения поворачивает вдоль австралийского берега к югу. Это хорошо видно на карте свободной поверхности океана: изогипсы достаточно четко отклоняются к югу вдоль западного берега Австралии.

Течение к югу было обнаружено и прямыми измерениями, а также на картах поверхности океана по данным спутниковых альтиметрических наблюдений [5,6] и

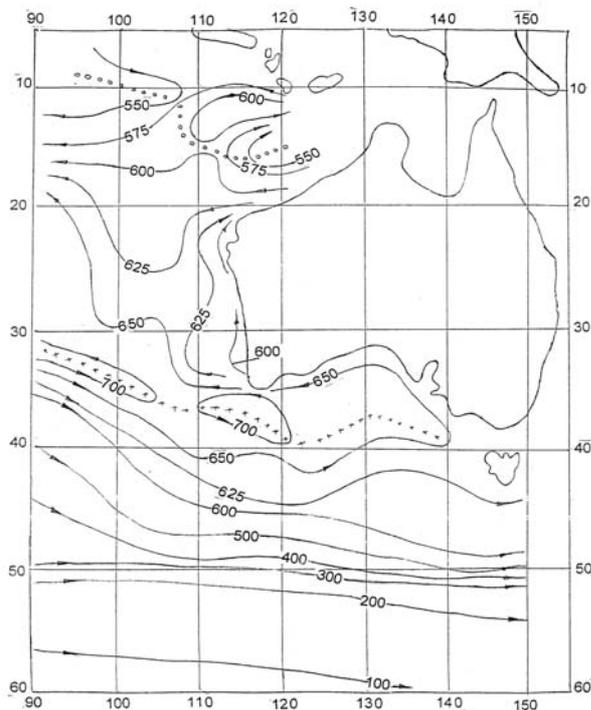
получило название течение Ливина, которое в прибрежной части обходит юго-западную оконечность Австралии и проходит далее на восток вдоль ее южного берега. Интенсивного апвеллинга вдоль западного берега Австралии, подобного апвеллингам вдоль западных берегов обеих Америк, Пиренейского полуострова и Африки, естественно, нет, так как течение направлено на юг, и берег находится слева от него. Согласно работе [5] температура воды на поверхности океана в прибрежной зоне на 2-3°C выше, чем на тех же широтах (20, 25, 30° ю.ш.) на расстоянии 1600-1800 км от берега. Это связано с затоком теплой воды из морей Тиморского, Саву, Флорес в прибрежное течение, направленное на юг в более высокие широты. Однако наблюдения последних лет позволили обнаружить локальный прибрежный апвеллинг примерно между широтами 25 и 30° ю.ш., особенно заметный летом южного полушария (рис. 1). Этот апвеллинг может быть связан с местными ветрами.

В летний сезон над Австралией образуется область пониженного атмосферного давления, а давление в Южно-Индийском субтропическом антициклоне повышается. В связи с этим в указанных широтах появляются прибрежные ветры с юга на север, которые и приводят к появлению апвеллинга в узкой полосе океана вдоль берега.

Южнее Австралийского континента изогипсы направлены на восток, но отклоняются от параллелей, что вполне понятно, так как и сам южный берег Австралии прогибается внутрь континента, а его восточный край находится примерно на 10° южнее, чем западный. Течение Ливина проходит на восток узкой полосой вдоль берега, а на юг от него находится ложбина динамического рельефа, хоть и слабо выраженная. Течение Ливина обходит ложбину по часовой стрелке, часть его вод проходит через мелководный Бассов пролив между Австралией и Тасманией в Тихий океан, а часть воды поворачивает в обратном направлении, образуя циклонический круговорот в Большом Австралийском заливе, сильно вытянутый в широтном направлении. Наибольшие значения скорости течения Ливина наблюдаются в районе, где оно обходит юго-западную оконечность Австралии, и достигают (возможно не всегда) величин 40-50 см/с. Однако в связи с тем, что течение неглубокое, его расход небольшой. На 20° ю.ш. он составляет всего 3.1 Св и увеличивается к 35° ю.ш. до 7.2 Св в верхнем 200-метровом слое.

Показанные на рис.1 детали геострофической циркуляции, которые описаны выше, сохраняются на картах 50 и 100 дб поверхностей, ниже происходит перестройка циркуляции вод. На глубине 200 дб поверхности ложбины в Большом Австралийском заливе уже нет. Напротив, здесь появляются признаки субтропической конвергенции – слабый гребень динамического рельефа. Еще ниже, на картах 300 (рис.2) и 500 дб поверхностей хорошо выраженная субтропическая конвергенция проходит к югу от австралийского берега, приблизительно по 37-38° ю.ш., а восточнее меридиана 140° в.д. опускается к Тасмании, ее гребень на долготе Тасмании располагается на 45-46° ю.ш. Вдоль северной периферии этого гребня течение направлено на запад, это и есть течение Флиндерса, о котором имеются упоминания еще в литературе 60-70^x годов. Минуя юго-западный выступ Австралии, течение Флиндерса поворачивает к северу (прибрежная ветвь) и северо-запад. Эти две ветви замыкают вдоль западного берега Австралии большой субтропический антициклонический круговорот в южном

полушарии Индийского океана, т.е. именно их можно назвать собственно Западно-Австралийским течением, подобным другим течениям вдоль аналогичных берегов Северной и



Южной Америки, однако в Индийском океане это течение промежуточного слоя и в прибрежной зоне океана, как было показано выше, на поверхность не выходит.

В районе океана, расположенном на юг от Австралии, субтропическая конвергенция фактически является и субполярным фронтом: на север от нее находятся воды субтропические, на юг субполярные. Как было показано Бурковым [1], субполярные климатические фронты в Южном полушарии Индийского и Тихого океанов выражены не очень четко и могут быть определены только в верхнем слое воды, приблизительно до 200-300м. Субтропическая же конвергенция в этом верхнем слое воды расположена севернее субполярного фронта.

Рис.2 - Динамический рельеф изобарической поверхности 300 дб (дин.мм) вдоль западных берегов Австралии.

С увеличением глубины конвергенция смещается к югу и на глубине 300м уже совпадает с субполярным фронтом. В Южной Атлантике субполярный фронт выражен более четко, однако и там наблюдается сдвиг субтропической конвергенции к югу с увеличением глубины, но совпадает конвергенция с субполярным фронтом только на глубине около 800 м.

По схеме Экмана для полных дрейфовых потоков были рассчитаны также дрейфовые составляющие вдоль берега Австралии между 90°в.д. и прибрежной полосой. Скорость и направление ветра заимствованы из Атласа [7]. Результаты расчета показали, что как зональный, так и меридиональный дрейфовый переносы в рассматриваемом регионе небольшие. Зонального переноса здесь вообще почти нет, а максимальные значения меридионального переноса направлены к югу, их наибольшие значения наблюдаются зимой южного полушария до 30°ю.ш. Южнее меридиональный дрейфовый перенос исчезает, но появляется небольшая зональная составляющая. В сумме геострофический и дрейфовый перенос на юг (течение Ливина) показан в табл.1.

Таблица 1 – Геострофический, дрейфовый и суммарный переносы воды течением Ливина

Толщина слоя (м) Широта	Геострофический перенос, Св		Дрейфовый перенос, Св	Суммарный перенос, Св
	0-200 м	0-300 м		
15°ю.ш.	2.8	2.8	2.2	5.0
20°ю.ш.	3.1	3.1	1.7	4.8
25°ю.ш.	4.5	5.2	0.8	6.0
30°ю.ш.	6.4	7.1	0	7.1
35°ю.ш.	7.2	7.2	0	7.2

Выводы:

1. Чисто дрейфовый меридиональный перенос вод в юго-восточной части Индийского океана невелик и в низких широтах имеет направление на юг. Южнее 30° ю.ш. дрейфовый перенос становится зональным. Значения составляющей меридионального переноса между 90° ю.ш. и берегом Австралии изменяются от 0.8 до 2.2 Св.
2. Воды, поступающие в Индийский океан из моря Банда через проливы восточнее о.Ява и из Тиморского моря, образуют начало течения Ливина.
3. Течение Ливина особенно хорошо выражено в зимний по южному полушарию период. Его скорости увеличиваются в направлении на юг, около 30° ю.ш. они достигают 20-25 см/с, а у мыса Ливин даже 40-50 см/с. Ширина течения от берега в сторону океана составляет около 400 км.
4. В связи с тем, что течение Ливина с океанской стороны пополняется водами Южно-Индоканского течения, его расход в направлении на юг увеличивается.

Список литературы

1. Бурков В.А. Общая циркуляция Мирового океана. – Л.: Гидрометиздат., – 1980. – 251 с.
2. Бурков В.А., Нейман В.Г. Общая циркуляция вод Индийского океана. – М.: Наука, – 1977. – С.3-90.
3. Суховай В.Ф., Гонзалес М.Е., Монсон С.О. Геострофическая циркуляция вод в восточной пограничной зоне Тихого океана // Морской гидрофизический журнал. – 2001. - №6. – С.21-31.
4. Суховай В.Ф., Рубан И.Г., Пятакова В.Ф. Циркуляция вод юго-восточной части Тихого океана // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2006. -Вип.3. – С.201-209.
5. Суховай В.Ф., Баскаран Б.В. Особенности циркуляции вод юго-восточной части Индийского океана // Морской гидрофизический журнал. - 1995. - №3. – С.21-35.
6. Gesswell G.R. und Golding T.J. Observations of south-flowing current in the southeastern Indian Ocean // Deep – Sea Res. – 1980. – 27. – P.449-466.
7. Атлас океанов: Атлантический и Индийский океаны. – М.: Министерство обороны СССР, 1977. – 306 с.

Особливості східних прибережних течій уздовж західного узбережжя Австралії. Суховай В.Ф., Рубан І.Г.

Стаття присвячена вивченню особливостей циркуляції в південно-західному регіоні Індійського океану. З цією метою були розраховані геострофічні та дрейфові складові швидкості течій у цьому районі. Побудовані карти геострофічної циркуляції показують збільшення переносу вод в південному напрямку: 15° півд.ш. – 5.0; 20° – 4.8; 25° – 6.0; 30° – 7.1; 35° – 7.2 Св ($10^6 \text{ м}^3/\text{с}$).

Ключові слова: течія Лівіна, циркуляція, геострофічний потік, мінливість, витрата.

The features of eastern border currents along the west coast of Australia. Suhovey V.F., Ruban I.G.

The objective of the paper is to study the main features of the circulation in southeastern Indian Ocean. For this purpose the charts of geostrophic currents were constructed. Charts demonstrate the south flow along western Australia coast. This stream was discovered by another authors using satellite-tracked drifting buoy observations, bathythermograph data and called Leeuwin Current. Using the constructed charts the south-flow transport was calculated which gradually increase southwards: 15°s.l. – 5.0; 20° – 4.8; 25° – 6.0; 30° – 7.1; 35° – 7.2 Sv ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

Keywords: Leeuwin current, circulation, geostrophic flow, variability, transport.