

УДК 551.465.4

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

*Одесский государственный экологический университет*

## **СТРУКТУРА АНТАРКТИЧЕСКОГО КРУГОВОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРОЛИВЕ ДРЕЙКА И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЕГО РАСХОДА**

*Статья посвящена изучению горизонтальной и вертикальной структуры Антарктического Кругового течения в проливе Дрейка, а также ее межгодовой изменчивости. Согласно анализу архивных данных и многочисленным расчетам средняя величина расхода вод в проливе Дрейка составляет 112 Св, максимальная - 160.2 Св и минимальная – 73.2 Св. Кроме того, показано, что в двадцатом столетии происходил постоянный медленный рост величины расхода.*

**Ключевые слова:** Антарктическое Круговое течение, пролив Дрейка, структура, изменчивость, расход.

Изучением Антарктического Кругового течения занимались многие океанологи и, как правило, расчеты его скоростей и расходов выполнялись в проливе Дрейка, где сплошное водное кольцо сужается до 5,5-6° по меридиану. Первый расчет расхода был выполнен Х.У.Свердрупом и оценен в  $90 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$ , впоследствии  $10^6 \text{ м}^3/\text{с}$  принято в качестве единицы расхода океанических течений, а сама единица названа свердрупом (Св). После Свердрупа в проливе сделано довольно много гидрологических измерений и расчетов скоростей [1-5]. Установлено, что в проливе течение проходит тремя ветвями, которые по вертикали распространяются до дна, скорости в каждой ветви постепенно убывают с глубиной. Ветви течения отделены одна от другой узкими полосами вод с очень малыми скоростями. Никаких поверхностных или подповерхностных течений иного направления не обнаружено, хотя в проливе на границах ветвей образуются круговороты, которые при расчетах вдоль каких-либо линий поперек пролива проявляются в виде слабых течений обратного направления. Расходы течений разными авторами выполнялись от разных отсчетных поверхностей, поэтому их результаты трудно сравнивать между собой, а также невозможно определить средний, максимальный и минимальный расходы. Авторами настоящей статьи было показано [6,7], что три струи (ветви) в проливе наблюдаются не всегда, их может быть только две, так как центральная и северная ветви соединяются в одну, образуя сильное течение, занимающее всю северную половину пролива. Однако пока неясно, в какой пропорции распределяется общий перенос течения между его ветвями.

В связи с изложенным, целью настоящей работы является решение следующих задач: 1) собрать возможно большее число результатов глубоководных гидрологических наблюдений в проливе за многолетний период, 2) выполнить расчеты геострофических течений на разрезах поперек пролива от одной и той же отсчетной поверхности, 3) рассмотреть горизонтальную и вертикальную структуру течений, 4) оценить среднее многолетнее, максимальное и минимальное значение

расхода воды через пролив и, 5) оценить, если это окажется возможным, наличие (или отсутствие) некоторой периодичности в колебаниях расходов и постоянного тренда.

**Использованные материалы наблюдений.** При выполнении работы были собраны все доступные данные измерений температуры и солености воды в проливе. Эти данные выбирались из известных дисков МЦД «А» 1994 и 1998 гг. а также осуществлялся поиск данных в системе INTERNET. Всего удалось найти только 30 случаев, когда данные гидрологических измерений позволяли вычислить геострофические течения и расходы в проливе, на разрезах полностью его перекрывающих. Имеются данные еще 7 разрезов, но они не позволяют вычислить расходы по разным причинам (перепутанные координаты станций, пропущенные станции, много пропущенных горизонтов измерений). Указанные выше 30 разрезов, по которым выполнены расчеты, относятся к периоду 1926-1992 гг.

Расчет геострофических течений во всех случаях выполнялся динамическим методом от поверхности 3000 дб, которая считалась горизонтальной. На концевых станциях разрезов, которые располагались на мелководье, расчет выполнялся от других отсчетных поверхностей в соответствии с глубиной места. Заметим, однако, что разрезы не всегда выполнялись в самой узкой части пролива, иногда они сдвигались в сторону Атлантики или Тихого океана, что приводило к расширению сечения и уменьшению скоростей, но не должно было изменить расход. Все же возможно, что это обстоятельство внесло некоторую дополнительную ошибку в расчеты.

**Анализ полученных результатов.** Результаты расчетов расходов помещены в табл. 1, где указаны годы наблюдений, максимальные скорости, которые всегда отмечались на поверхности и расходы каждой из ветвей (струй) Антарктического Кругового течения, а также общий его расход через пролив Дрейка. Что касается горизонтальной структуры течения, то из таблицы видно, что представление об обязательном существовании трех ветвей не совсем верно. Только в 11 случаях из 30 течение действительно имело три струи. Центральная из них связана с существованием Антарктической конвергенции (Южного полярного фронта), где происходит смешивание холодной поверхностной антарктической воды с более теплыми северными водами, уплотнение при смешивании и образование новой – субантарктической промежуточной воды, опускающейся в слой, который в Мировом океане принято называть промежуточным (примерно 300-1000 м, с ядром около 700-800 м). Распространяясь от зоны Антарктической конвергенции на север, эта водная масса в промежуточном слое Мирового океана занимает более половины его площади. Именно в зоне Антарктической конвергенции, где наблюдаются большие меридиональные градиенты плотности, проходит струя Антарктического Кругового течения со значительными величинами скоростей. В проливе Дрейка эта струя именуется центральной.

Северная струя течения огибает Огненную Землю, прижимаясь к континентальному склону. Считается, что эта струя более слаба, в отдельных случаях это действительно так, но в среднем перенос воды в этой струе составляет 46,5 Св, а в центральной 42,5 Св (средние значения расходов из тех 11 случаев, когда эти струи существовали отдельно). Максимальные геострофические значения скорости в

северной струе (получившей название «течение м. Горн») составляет 47,0-48,6 см/с, а в центральной 40,0-42,0 см/с.

Таблица 1 - Расходы Антарктического Кругового течения (Св) и максимальные значения скорости течения (см/с)

Годы	Северная ветвь		Центральная ветвь		Суммар. расход обеих ветвей	Южная ветвь		Общий расход
	Макс. скор.	Расход	Макс. скор.	Расход		Макс. скор.	Расход	
1926	Вместе с центр.		39,2	94,1	94,1	8,0	15,2	109,3
1927	Вместе с центр.		22,9	73,6	73,6	10,3	31,5	105,1
1928	Вместе с центр.		36,4	95,1	95,1	15,2	65,5	160,2
1929	Вместе с центр.		46,0	72,3	72,3	19,4	48,5	120,8
1930	Вместе с центр.		25,1	113,2	113,2	6,9	8,0	121,2
1931	20,3	34,1	34,2	77,6	111,7	7,8	4,9	116,6
1931	Вместе с центр.		20,4	84,3	81,3	12,5	22,4	103,7
1931	Вместе с центр.		19,6	77,0	77,0	6,5	4,3	81,3
1932	17,4	47,3	7,2	12,0	59,3	16,7	52,0	111,3
1932	Вместе с центр.		25,3	83,0	83,0	7,6	20,3	103,3
1934	Вместе с центр.		10,0	40,5	40,5	14,2	32,7	73,2
1934	8,3	34,1	18,8	34,2	68,3	8,9	15,8	84,1
1947	7,2	41,9	28,6	66,1	108,0	3,3	20,8	128,8
1958	Вместе с центр.		25,1	77,8	77,8	Нет наблюдений		
1959	Вместе с центр.		30,0	76,5	76,5	Нет наблюдений		
1962	Вместе с центр.		21,6	91,8	91,8	11,0	20,2	112,0
1963	9,1	27,3	18,0	26,0	53,3	6,1	21,9	75,2
1963	13,0	52,8	17,6	48,8	101,6	Отсутствует		101,6
1964	Вместе с центр.		22,4	85,3	85,3	16,0	47,0	132,3
1964	Вместе с центр.		30,0	105,3	105,3	14,0	13,7	119,0
1964	48,6	81,6	20,9	18,6	99,8	11,7	20,7	120,5
1966	Вместе с центр.		30,1	94,8	94,8	19,7	17,5	112,3
1969	Вместе с центр.		31,8	90,0	90,0	13,0	20,1	110,1
1970	Вместе с центр.		43,0	105,6	105,6	21,1	39,1	114,7
1975	42,0	48,4	19,1	21,8	70,2	24,1	30,2	100,4
1976	33,1	53,4	33,8	42,4	95,8	6,0	11,1	106,9
1976	47,0	26,7	40,0	80,0	120,0	Нет наблюдений		
1979	40,2	64,2	42,0	39,6	103,8	19,2	28,0	131,8
1980	Вместе с центр.		38,2	91,2	91,2	10,3	20,2	111,4
1992	Вместе с центр.		18,6	107,6	107,6	12,4	20,6	128,2
Сред.		46,5		42,5	88,3		24,2	112,0

Значительный расход северной струи обусловлен тем, что она формируется водами всего северного края западно-восточного переноса. На пути этого края находится континентальный берег Южной Америки. Отделение ветви Перуанского течения, идущего в сторону экватора, происходит около 40° ю.ш., а остальная часть воды поворачивает к югу вдоль берегов Чили – «Чилийское течение» [6]. Именно Чилийское течение усиливает северную ветвь в проливе Дрейка - течения м. Горн.

В 19 случаях из 30 обе ветви - северная и центральная в проливе слиты вместе. В этих случаях общая струя занимает всю северную половину пролива. Как видно из табл.1, расход обеих ветвей независимо от того, существовали ли они отдельно одна от другой или были слиты вместе, составляет в среднем 88,3 Св или 78,8% от общего переноса через пролив.

Южная ветвь течения существует почти всегда. Она отсутствовала только в одном случае – во второй половине 1963г. Возможно, что в виде слабого течения она все же существовала вдоль мелководья, окружающего Антарктический п-ов, но не обнаруживается на разрезе, так как последние станции разреза расположены на некотором расстоянии от берега. Южная ветвь формируется водами моря Беллинсгаузена, т.е. самым южным краем западно-восточного переноса. В связи с тем, что Антарктический п-ов выступает далеко на север (за полярный круг), то течение, натываясь на полуостров, обходит его, образуя в проливе струю, всегда отдельную от центральной ветви. Расход этой южной струи в среднем составляет 24,2 Св, т.е. около 20% от всего переноса через пролив.

В табл.1 средний расход через пролив отличается на 0,5 Св от суммы средних расходов северной, центральной и южной ветвей вследствие того, что расходы северной и центральной ветвей вычислены из 30 случаев, а южной только из 27. В трех случаях из 30 наблюдения в южной ветви не производились вследствие тяжелой навигационной обстановки.

Выше отмечалось, что максимальные значения скоростей течения во всех струях наблюдаются на поверхности. Вертикальное распределение скоростей характеризуется их медленным убыванием с глубиной в каждой из ветвей. Глубже всего большие значения скоростей наблюдаются в северной ветви, независимо от того существует ли она отдельно от центральной или слита с ней. В обеих этих случаях изотаха 10 см/с в ядре может находиться на глубине 2000м, а на глубине 2500м скорость может составлять 4-6 см/с. Затухание с глубиной скоростей центральной ветви (когда она существует отдельно) происходит несколько быстрее, но изотаха 10 см/с в центре этой струи может достигать значительной глубины – около 1500м.

Быстрее всего происходит затухание скоростей с глубиной в южной ветви. Максимальные значения скорости на поверхности чаще всего здесь не превышают 15 см/с, хотя в двух случаях – в 1970 и в 1975гг они составляли 21,1 и 24,1 см/с соответственно. В таких случаях изотаха 5см/с в центре струи опускается до 2000м, но обычно она находится на глубине около 1000м и менее.

Следует отметить еще одну особенность в структуре течений пролива. Наибольшее значение расходов воды через пролив не обязательно наблюдается при наибольших значениях скоростей в центрах струи течения (табл.1). Выше уже упоминалось, что разрезы выполнялись не всегда в одном и том же месте пролива, таким образом, расход воды определялся не только величиной скоростей, но и шириной сечения, следовательно, исследовать изменчивость интенсивности Антарктического Кругового течения можно лишь рассматривая величины его расходов в разные годы.

Табл.1 позволяет обнаружить значительную изменчивость расходов как всего течения, так и отдельных его ветвей. Максимальное значение расхода всего течения в

проливе достигало 160,2 Св, минимальное составляло всего 73,2 Св, а наибольшее значение суммы двух основных ветвей (северной и центральной) втрое превышало наименьший их расход : 120,0 и 40,5 Св соответственно.

Приведенный в табл.1 ряд наблюдений не позволяет выполнить надежный их статистический анализ вследствие того, что интервалы времени между отдельными наблюдениями слишком разные по своей продолжительности, да и число случаев невелико. Все же некоторые выводы относительно временной изменчивости интенсивности Антарктического Кругового течения сделать можно. Даже визуальный анализ вычисленных расходов течения позволяет заметить, что малых значений расходов, не достигающих даже 90 Св, в первой половине ряда больше, чем во второй. Если же разбить весь ряд на два интервала, равных между собой по числу лет и по числу случаев, затем вычислить среднее значения в каждом из них, то результаты оказываются довольно интересными (табл.2).

Таблица 2 - Средние значения расходов воды в проливе Дрейка, вычисленные для двух разных частей общего ряда наблюдений

Периоды (годы)	Число лет	Число случаев	Средние значения расходов, Св	
			Северная и центр.ветви	Полный расход
1	2	3	4	5
1926-1959	34	15	82,1	109,1
1960-1992	33	15	94,2	114,8

В расходах как северной так и центральной ветвей, независимо от того были ли эти ветви объединены или существовали отдельно, средний расход в период 1926-1959 гг. был на 12,1 Св меньше, чем расход в последующий период 1960-1992 гг. Так как расход этих двух ветвей составляет около 80% суммарного расхода воды через пролив, то и средние величины этого общего расхода оказались в период 1960-1992гг. больше, чем в предыдущий период 1926-1959гг., что показывает наличие некоторого постоянного тренда. В среднем каждый год расход в XX столетии увеличивался примерно на 0,2Св.

Выявить какую-либо периодичность внутри указанных двух отрезков временного ряда трудно, учитывая нерегулярность наблюдений. Все же, если оба отрезка имеющегося ряда разбить на равные интервалы по пять лет (лучше суммы расходов двух ветвей: северной и центральной, так как наблюдений там больше) независимо от числа наблюдений в каждом пятилетии, например, 1926-1930, 1931-1935 гг., затем после длительного перерыва 1956-1960, 1961-1965, 1966-1970, 1971-1975, 1976-1980, затем определить среднее значение расхода в каждом пятилетии, то можно заметить довольно правильное чередование величин расходов выше и ниже средней многолетней нормы (88,2 Св): 1926-1930 - 90,0 Св, 1931-1935 - 74,4 Св. После длительного перерыва такое же чередование: 1961-65 - 89,5; 1966-70 - 96,8; 1971-75 - 70,2; 1976-80 гг. - 102,7 Св. Конечно, этот результат не является вполне достоверным, но дает основание предполагать существование на фоне общего

повышения интенсивности Антарктического Кругового течения некоторых циклов продолжительностью примерно в пять лет. При этом в одной половине каждого цикла интенсивность течения увеличивается, а в другой - уменьшается. Поскольку в XX столетии существование общего тренда, также как и, примерно, десятилетней цикличности, обнаружено во многих гидрометеорологических явлениях Северного полушария, то можно полагать, что эти явления глобальны и проявляются в обоих полушариях.

Выполненные расчеты расходов Антарктического Кругового течения в проливе Дрейка в слое 0-3000 м позволяют сделать **следующие выводы.**

1. Антарктическое Круговое течение в проливе Дрейка проходит двумя или тремя ветвями. Из 30 случаев обработанных наблюдений северная и центральная ветви существовали отдельно только в 2 случаях, а в 19 случаях они были слиты в одну сильную струю. Южная ветвь течения, огибающая п-ов Антарктический, наблюдается всегда.

2. Средний расход северной ветви (течение м. Горн) составляет 46,5 Св, а центральной 42,5 Св, когда они существовали отдельно. Независимо же от того были ли эти ветви слиты в одну струю или существовали отдельно, их средний расход составляет 88,2 Св, что равно примерно 80% общего расхода течения. Средний расход южной ветви 24,2 Св, т.е. около 20% от общего расхода.

3. Антарктическое Круговое течение подвержено значительной междугодичной изменчивости. При среднем значении общего расхода течения 112 Св максимальное его значение достигало 160,2 Св, а минимальное составляло только 73,2 Св. Изменчивость расходов отдельных его ветвей еще больше. Наибольшее значение расхода каждой из них может втрое превышать наименьшее.

4. На протяжении 20-го столетия расход Кругового Антарктического течения в среднем постепенно возрастал. Сравнение среднего расхода за период 1926 -1959 гг. (34 года, 15 случаев наблюдений ) и за последующий период 1960 – 1992 гг. (33 года, 15 случаев наблюдений) показывает, что увеличение расхода за каждый год в среднем составляет около 0,2 Св.

5. Анализ междугодичной изменчивости дает некоторое основание полагать, что на фоне общего повышения интенсивности Антарктического Кругового течения существуют отдельные циклы продолжительностью примерно в 5 лет. При этом в одну половину цикла расход течения возрастает, а в другую уменьшается.

### Список литературы

1. Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Водные массы и циркуляция Южного океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986.- 288 с.
2. Hoffmann E.E. Whitworth T. A Synoptic description of the flow at Drake Passage from year-long measurements // J. Geophys. Res. -1985. -90.– p.7177-7187.
3. Whitworth T. Zonation and geostrophic flow of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage // Deep Sea Res. – 1980.- V.27. -№7. –p. 497 – 507.

4. Whitworth T., Nowlin W. D., Worley S.Y. The net transport of the Antarctic Circumpolar Current through Passage // J. Phys. Oceanogr. – 1982. -12. – p.960 -971.
5. Nowlin W.D., Whitworth T., Pillsbury R. D. Structure and transport Antarctic Circumpolar Current of Drake Passage from short-term measurement // J. Phys. Oceanogr. -1977.- №7. –p.788- 802.
6. Суховей В. Ф., Рубан І. Г., Пятакова В. Ф. Циркуляція вод юго-східної частини Тихого океана // Вісник Одеського державного екологічного університету.-2006.-Вип. 3.- с. 201-209.
7. Суховей В.Ф., Рубан І. Г. Взаємодія меридіональних течій Южного півкуль і Антарктичного Кругового течення // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. -2008.-Вип.50, ч.ІІ.- с 225 -232.

**Структура Антарктичної Кругової течії у протоці Дрейка, та її міжрічна мінливість.**

**Суховій В.Ф., Рубан І.Г.**

*Стаття присвячена вивченню горизонтальної та вертикальної структури Антарктичної Кругової течії, та її міжрічної мінливості. Згідно з аналізом архівних матеріалів та численним розрахункам, середня величина витрат в протоці Дрейка складає 112 Св, максимальна - 160.2 Св, а мінімальна – 73.2 Св. Крім того, показано, що у двадцятому сторіччі спостерігалось повільне постійне зростання величини витрат.*

**Ключові слова:** Антарктична Кругова течія, протока Дрейка, структура, мінливість, витрата.

**The structure of Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage and interannual variability of its transport. Suhovey V.F., Ruban I.G.**

*The article is dedicated to the study of horizontal and vertical structure and interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage.*

*According to the analyses of the archives data and numerous calculations the average volume transport through Drake Passage is 112 Sv, maximum 160.2 Sv, minimum 73.2 Sv. Besides that the slow permanent increase volume transport in twentieth century is shown.*

**Keywords:** Antarctic Circumpolar current, Drake Passage, structure, variability, transport.