

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В СУБТРОПИЧЕСКИХ
И АНТАРКТИЧЕСКИХ ВОДАХ ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ**

В. Е. Артемьев, И. А. Мельников

Изучению распределения растворенного и взвешенного органического вещества в толще вод океана посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей. В водах Атлантического океана большие исследования в этом направлении выполнены Б. А. Скопинцевым (Скопинцев и др., 1962, 1966). Следует отметить также работы ряда других авторов (Duursma, 1961; Menzel, 1967; Menzel a. Ryther, 1968). Общий обзор современных исследований растворенного и взвешенного органического вещества приведен в работах Скопинцева (1971) и Люцарева (1972). Среди проблем, связанных с изучением органического вещества в толще вод океана, большой интерес представляет проблема о связи распределения органического вещества и отдельных его компонентов с циркуляцией водных масс (Pont, Newell, 1963; Newell, Kegg, 1968; Hobson, Menzel, 1969).

Для выяснения особенностей распределения органического вещества в водах различных по продуктивности районов океана и его связи с циркуляцией водных масс в 11-м рейсе нис «Академик Курчатов» были поставлены работы по определению в океанской воде и взвеси органического углерода, углеводов и липидов. В тех же пробах воды, кроме того, были определены фосфаты и нитраты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для работ послужили пробы воды, отобранные в южной части Атлантического океана на меридиональном разрезе по 26° з. д. (рис. 1). Одна станция (981) была взята в субтропических водах вблизи побережья Бразилии. Вода отбиралась 200-литровым батометром. Для фильтрации морской воды использовали стекловолокнистые фильтры фирмы «Ватман» (GF/C) диаметром 4,5 и 11,0 см. Органический углерод определяли методом мокрого сжигания органического вещества, смесью серной кислоты, бихромата серебра и бихромата калия (Люцарев, 1968), углеводы — фенольным методом (Артемьев и др., 1971). Растворенные липиды извлекали из больших объемов воды (20 л) хлороформом, липиды взвеси — смесью хлороформ — метанол (2:1), сумму липидов в экстракте определяли бихроматным методом. Минеральный фосфор определяли по методу Морфи и Райли в модификации Стрикленда (Strickland, Parsons, 1968). Нитраты — по методу Вуда и др. в модификации Сапожникова и др. (1973).

Авторы благодарят сотрудников гидрохимического отряда Б. В. Волостных и В. В. Бузовкина, выполнивших анализы на содержание фосфатов и нитратов.

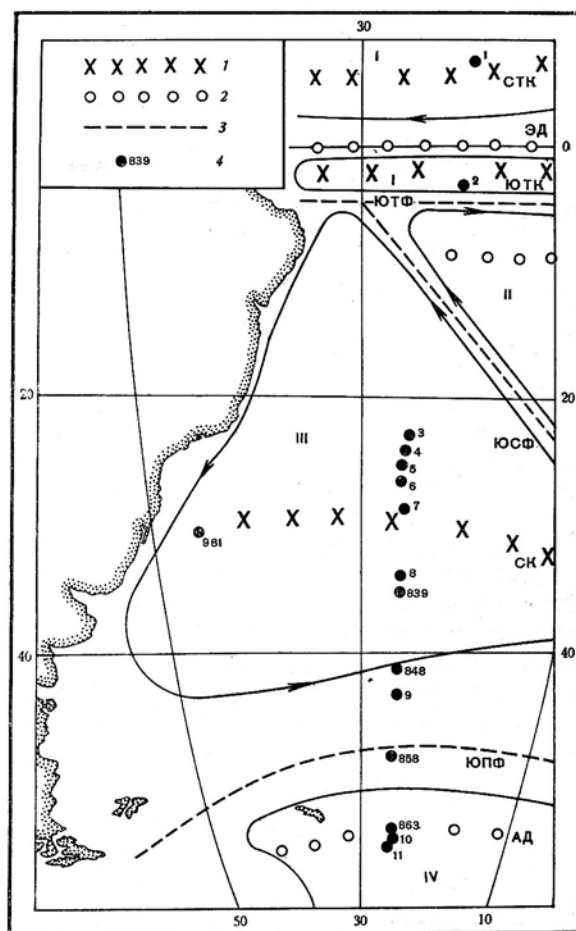


Схема циркуляции вод в Южной Атлантике (Булатов, 1971)

1 — конвергенция; 2 — дивергенция; 3 — фронты; 4 — станции сбора проб воды

I — северный тропический круговорот, II — южный тропический круговорот, III — южный субтропический круговорот, IV — южный субполярный круговорот. СТК — северная тропическая конвергенция, ЭД — экваториальная дивергенция, ЮТК — южная тропическая конвергенция, ЮГФ — южный тропический фронт, СК — субтропическая конвергенция, ЮПФ — южный полярный фронт, АД — антарктическая дивергенция; ЮСФ — южный субтропический фронт

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В поверхностных водах (0—5 м) Южной Атлантики выделяются несколько максимумов концентраций $C_{орг}^{раств}$ ¹, связанных с зонами опускания и подъема вод. Первый максимум (ст. 1—3,39 мг/л) отмечен в водах северной тропической конвергенции, второй — на северной границе южной субтропической конвергенции (ст. 5—3,47 мг/л), третий — в зоне антарктической конвергенции (ст. 858—2,91 мг/л). Повышенное содержание $C_{орг}^{раств}$ обнаружено также и в зоне антарктической дивергенции (ст. 863—2,38 мг/л). Содержание $C_{орг}^{раств}$ в воде, отобранной на остальных станциях, значительно ниже (см. стр. 255).

Распределение и состав органического вещества по вертикали были изучены на станциях, взятых в пределах антарктической, субантарктической и субтропической структур вод. Границы вертикального распространения различных водных масс в районе исследования приведены в работе (Арсеньев и др., 1972).

Антарктическая структура вод формируется из пяти водных масс: поверхностной антарктической, подповерхностной антарктической, верх-

¹ Под $C_{орг}^{раств}$ подразумевается содержание $C_{орг}$ в нефльтрованной воде (кроме проб воды, взятых на ст. 863 и 981). Это вполне допустимо, так как в исследованном районе $C_{орг}^{взв}$ составляет всего 3—7 % от общего $C_{орг}$.

Содержание органического углерода в поверхностных водах

Номер станции	Дата отбора пробы	Координаты		С _{раств. орг.} , мг/л
Ноябрь 1971 г.				
1	9	6°21' с. ш.	20°14' з. д.	3,39
2	11	3 50 ю. ш.	21 17	1,49
3	14	24 19	26 30	1,13
4	15	24 59	26 32	1,74
5	15	25 29	26 35	3,47
6	16	26 06	26 49	1,21
7	17	29 48	26 34	1,33
8	18	35 13	26 32	1,21
839	18	36 59	26 31	1,33
848	21	42 47	26 48	0,97
9	23	44 04	26 03	1,01
858	24	48 52	26 34	2,91
863	27	55 05	26 53	2,38
Декабрь 1971 г.				
10	5	56 18	26 59	0,73
11	6	56 17	26 56	0,66

чей глубинной, нижней глубинной и донной. Эти воды характеризуются низкими, мало изменяющимися с глубиной температурами (1—2°), незначительным увеличением по вертикали солёности (от 33,8 до 34,6‰). На поверхности в районе ст. 863 и 858 (см. табл. 1) отмечены высокие (15—30 мгС/м³/день) величины первичной продукции фитопланктона (Кабанова и др., наст. сб.), повышенное содержание фосфатов, нитратов и органических веществ. К самому верхнему слою приурочен также и максимум кислорода. С глубиной вплоть до нижней границы слоя фотосинтеза (150—200 м) содержание растворенного и взвешенного органического вещества и отдельных его соединений уменьшается, параллельно уменьшается и количество растворенного кислорода. Это связано с уменьшением первичной продукции фитопланктона — основного источника взвешенных и растворенных органических веществ. Резкий максимум содержания $C_{\text{раств. орг.}}$ на горизонте 100 м в районе ст. 858 связан с существованием на этой глубине плотного звуко-рассеивающего слоя (скопление зоопланктона и рыб). Эти воды характеризуются также высоким содержанием гетеротрофных организмов (Мицкевич, 1972). В водах ниже 200-метрового слоя содержание растворенного и взвешенного $C_{\text{орг}}$ и углеводов во взвеси мало меняется с глубиной вплоть до 5500 м, а содержание растворенных углеводов и липидов колеблется от слоя к слою в довольно больших пределах. Возможно, что значительная часть этих компонентов растворенного органического вещества, обнаруженных в пределах нижней глубинной водной массы, принесена циркумполярными глубинными водами через пролив Дрейка из Перуанско-Чилийского района¹. Концентрация растворенных углеводов и липидов в антарктических донных водах, на глубине 3000 м, вновь уменьшается соответственно в 3,5 и 2 раза по сравнению с предыдущим горизонтом. В этих же водах на глубине 5500 м количество растворенных липидов почти не меняется, а содержание растворенных углеводов резко возрастает. Причина последнего явления в настоящее время неясна.

В водах субантарктической структуры (см. ниже) повышенное содержание $C_{\text{раств. орг.}}$ свойственно поверхностной субантарктической водной массе. В глубже лежащих водах концентрация $C_{\text{раств. орг.}}$ меняется незначительно от слоя к слою, имея слабую тенденцию к уменьшению к ниж-

¹ О происхождении нижней глубинной водной массы см. Sverdrup et al., 1942.

Таблица 1

Распределение органических и минеральных компонентов в антарктической структуре вод
(ст. 863, 54°56' 0 ю. ш.; 26°29' 0 з. д., глубина 5900 м)

Водная масса	Горизонт, м	С _{раств орг} , мг/л	С _{взв орг} , мкг/л	С _{раств* угл} , мг/л	С _{взв угл} , мкг/л	С _{раств** лип} , мг/г	P-PO ₄ , мкг·ат/л	N-NO ₃ , мкг·ат/л
Поверхностная антарктическая	0	2,38	41,0	0,54	7,08	0,28	2,28	12,9
	100	2,03	27,0	0,63	4,40	0,09	1,86	12,9
Верхняя глубинная	300	1,43	7,2	0,47	1,80	0,09	2,36	16,2
Нижняя »	1000	1,43	8,7	0,85	1,48	0,23	2,36	24,2
Донная »	3000	1,37	8,5	0,25	1,36	0,13	2,53	26,6
	5500	1,53	8,1	0,65	2,16	0,10	2,19	31,6

* Коэффициент для расчета С_{угл} от суммы углеводов — 0,4.

** Коэффициент для расчета С_{лип} от суммы липидов — 0,75.

ним горизонтам. Относительно низкие концентрации С_{раств орг} в этих водах по сравнению с антарктическими и сравнительно однородный характер его распределения по вертикали связаны с гидрологическими особенностями, в частности с опусканием бедных органическим веществом субтропических вод от поверхности до глубины около 600 м.

Ст. 858 (48°52' ю. ш.; 26°34' з. д.)

Водная масса	Горизонт, м	С _{раств орг} , мг/л
Поверхностная антарктическая	0	2,91
	30	3,88
	50	2,18
	75	1,78
	100	5,26
Подповерхностная антарктическая	150	1,13
	200	1,66
	300	1,57
	500	1,46
Верхняя глубинная	800	2,63
Нижняя »	1000	1,46

Субтропическая структура вод (табл. 2, ст. 981 и 839), так же как антарктическая и субантарктическая формируется пятью водными массами — поверхностной, с повышенной соленостью, подповерхностной субтропической промежуточной (антарктической) с повышенной соленостью, глубинной и донной. Здесь хорошо выражена тепловая стратификация. Верхний слой воды значительно осолонен (36,3‰), но при этом так нагрет, что опускаться на глубину не может. Поверхностный (0 м) слой этих вод характеризуется низкими величинами первичной продукции (2,0 мгС/м³/день), почти полным отсутствием питательных солей — фосфаты на этом горизонте не обнаружены, а нитраты составляют всего 0,19 мкг·ат/л — и пониженным по сравнению с антарктическим районом содержанием растворенных органических веществ. Содержание взвешенного С_{орг} в слое 0 м лишь незначительно меньше, чем в области антарктической структуры вод. Возможно, одним из источников взвешенного органического вещества в поверхностном горизонте ст. 981 является пе-

Распределение растворенного органического углерода в субантарктической структуре вод (ст. 848, 42°47'5 ю. ш.; 26°48'5 з. д.)

Водная масса	Горизонт, м	С _{раств орг} , мг/л
Поверхностная субантарктическая	0	0,97
	20	1,17
	50	1,09
	75	1,13
Подповерхностная субтропическая	100	0,97
	150	0,69
	200	0,73
Промежуточная антарктическая	300	0,57
	500	0,36
	800	0,61
	1000	0,36

Таблица 2

Распределение органических и минеральных компонентов в субтропической структуре вод (ст. 981, 31°45'0 ю. ш.; 45°48'0 з. д.; глубина 3706 м)

Водная масса	Горизонт, м	С _{раств орг} , мг/л	С _{взв орг} , мкг/л	С _{раств угл} , мг/л	С _{взв угл} , мкг/л	С _{раств лип} , мг/л	P-PO ₄ , мкг-ат/л	N-NO ₃ , мкг-ат/л
Поверхностная субтропическая	0	1,48	36,2	0,48	7,8	0,19	0,00	0,19
	50	1,78	33,4	0,33	6,1	0,20	0,19	0,24
	100	1,13	12,6	0,37	7,8	0,09	0,28	1,14
Подповерхностная субтропическая	200	2,76	11,4	0,21	3,4	0,08	0,57	3,40
Промежуточная антарктическая	1000	1,11	60,5	0,20	17,8	0,12	2,18	26,8
Донная	1500	1,01	21,3	0,20	1,5	0,11	2,09	22,7
	3200	1,54	8,9	0,19	4,2	0,10	1,71	19,6

перенос его «поверхностной субтропической водной массой» из области экваториальной дивергенции.

Распределение С_{раств орг} по вертикали характеризуется сменой относительно повышенных и пониженных его концентраций. Верхний максимум содержания С_{раств орг} на глубине 5 м, видимо, связан с наибольшей фотосинтетической активностью фитопланктона. Ниже слоя фотосинтеза вновь отмечаются повышенные содержания С_{раств орг} (ст. 981, горизонт

Распределение растворенного органического углерода в субтропической структуре вод (ст. 839, 36°59'4 ю. ш.; 26°31'0 з. д.)

Водная масса	Горизонт, м	С _{раств орг} , мг/л
Поверхностная субтропическая	0	1,33
	20	1,29
	50	2,26
	75	1,90
	100	1,98
Подповерхностная субтропическая	150	1,22
	200	1,41
	300	2,14
	500	1,98
Промежуточная антарктическая	800	1,13

200 м и ст. 839, горизонты 300 и 500 м). Установлено (Арсеньев и др., 1972), что воды на этих глубинах принадлежат субтропической подповерхностной водной массе, которая формируется у юго-западного побережья Африки на 17—24° ю. ш. (Булатов, 1971). Ниже 500-метрового слоя содержание растворенного $C_{орг}$ вновь уменьшается и в нижележащих слоях воды (до 3200 м) незначительно меняется с глубиной.

В то же время содержание растворенных углеводов и липидов на ст. 981 в пределах слоя 0—200 м по вертикали уменьшается и на глубине 200 м не имеет максимума. Ниже 100-метрового слоя содержание

Таблица 3

Состав растворенного органического вещества в водах Южной Атлантики

Водная масса	Горизонт, м	Процент от $C_{орг}$		
		$C_{раств}$ угл	$C_{раств}$ лип	$C_{раств}$ — $C_{лип}$
Станция 863				
Поверхностная антарктическая	0	22,7	9,6	67,7
	100	31,0	4,4	64,6
Верхняя глубинная	300	32,8	6,3	60,9
Нижняя »	1000	55,4	16,0	24,6
Донная »	3000	18,2	9,5	72,3'
	5500	55,5	6,5	38,0
Среднее		36,6	8,4	54,7
Станция 981				
Поверхностная субтропическая	0	32,5	12,8	54,8
	50	18,5	11,2	70,3
	100	32,7	8,0	59,3
Подповерхностная субтропическая	200	7,6	2,9	89,5
Промежуточная антарктическая	1000	18,0	10,8	71,2
	1500	19,8	10,9	69,3
Донная	3200	12,3	6,5	81,2
Среднее		20,0	9,0	70,8

этих компонентов почти не меняется вплоть до самых глубоких из исследованных горизонтов.

Распределение по вертикали органического углерода и углеводов взвеси отличается рядом особенностей. В верхних (0—200 м) слоях воды содержание этих компонентов органического вещества в целом уменьшается и на глубине 200 м взвешенного $C_{орг}$ обнаружено в 3,5 раза, а углеводов взвеси в 2,5 раза меньше, чем на поверхности. Это связано с уменьшением либо с полным прекращением производства органического вещества фитопланктоном и утилизацией его бактерио- и зоопланктоном. Однако на глубине 1000 м содержание взвешенного $C_{орг}$ и углеводов возрастает в 1,5—2 раза по сравнению с поверхностью. Можно предположить, что органическое вещество взвеси поступило сюда вместе с антарктическими водами, которые в области субтропической структуры вод (ст. 981) занимают слой от 450 до 1500 м, а в области антарктической структуры вод (ст. 863) — слой от 0 до 150—250 м с повышенным содержанием органического вещества. Другой вероятной причиной глубинного максимума взвешенного $C_{орг}$ может быть наличие на глубине 1000 м пикноклина и связанного с ним скопления минераль-

ных солей (фосфатов и нитратов), а также организмов бактерио- и зоопланктона.

Ниже зоны пикноклина на глубине 1500 м содержание взвешенного органического углерода и углеводов взвеси вновь резко уменьшается, сохраняется столь же низким в донных антарктических водах.

В табл. 3 приведены данные об изменении состава растворенного органического вещества с глубиной. Как видно, в водах на обеих станциях содержание углеводов в растворенном органическом веществе составляет в среднем 20—40% и превышает содержание липидов (в среднем 10%). При этом в районе Южно-Сандвичева желоба содержание растворенных углеводов почти в два раза больше, чем в субтропических водах, а по содержанию липидов в составе органического вещества они отличаются незначительно. За исключением отдельных горизонтов сумма углеводов и липидов в исследованных водах не превышает 40%. Более 60% растворенного органического вещества составляют трудногидролизуемые стойкие соединения водного гумуса.

В антарктических водах содержание наиболее стойких к утилизации и распаду веществ, являющихся, вероятно, продуктом химических превращений органических соединений, генерируемых в основном фитопланктоном, в целом ниже их содержания в субтропических водах (табл. 3). Это объясняется высокими темпами воспроизводства органического вещества фитопланктоном, так и благоприятными условиями его сохранения (низкая температура воды) и переноса в более глубокие слои воды (интенсивное вертикальное перемешивание).

Следует отметить также изменения состава растворенного органического вещества по вертикали, что связано с различной природой органических соединений, приносимых разными по происхождению водными массами. Как видно, водные массы различаются по составу органического вещества. В то же время в пределах одной и той же водной массы состав растворенного органического вещества мало меняется. Примером может быть антарктическая водная масса, занимающая на ст. 863, в северной части Южно-Сандвичева желоба, слой от 0 до 250 м, а на ст. 981, в области субтропической структуры вод, слой от 450 до 1500 м.

ВЫВОДЫ

1. Распределение растворенного и взвешенного органического вещества в толще вод океана в значительной мере обусловлено циркуляцией водных масс.

2. О путях переноса органического вещества в толще вод с большей надежностью можно говорить, определяя отдельные его компоненты, распределение которых с глубиной может значительно отличаться от распределения общего $C_{орг}$.

3. Показано, что в условиях ярко выраженной термической стратификации и слабого вертикального перемешивания вод (субтропическая структура) в растворенном органическом веществе увеличивается содержание (в среднем 70,8%) стойких к распаду и минерализации органических соединений.

4. Обнаруженное сходство состава растворенного органического вещества в пределах одной и той же водной массы удаленных друг от друга районов океана свидетельствует о его стойкости к распаду и минерализации в процессе переноса.

ЛИТЕРАТУРА

- Арсеньев В. С., Булатов Р. П., Леонтьева В. В. 1972. Гидрологические исследования в 11-м рейсе нис «Академик Курчатов». — ЦНИИТЗИ рыбного хозяйства, экспресс-информация, серия 9, вып. 12.
- Арсеньев В. С., Булатов Р. П., Гусарова А. Н., Леонтьева В. В. Структура и динамика вод в районе исследования нис «Академик Курчатов». См. наст. сб.
- Артемьев В. Е., Краюшкина Л. Н., Романкевич Е. А. 1971. Определение общей суммы углеводов в океанических осадках. — Океанология, т. XI, вып. 6.
- Баринев А. А., Булатов Р. П., Панфилова С. Г. Объемы основных водных масс моря Скотия. См. наст. сб.
- Булатов Р. П. 1971. Циркуляция вод Атлантического океана в различных пространственно-временных масштабах. В кн. «Исследование циркуляции и переноса вод Атлантического океана». — Океанол. исслед., № 22. М., «Наука».
- Кабанова Ю. Г., Коновалов Б. В., Ведерников В. И., Л. Н. Андреева. Первичная продукция и хлорофилл «а» в юго-западной части Атлантического океана. См. наст. сб.
- Люцарев С. В. 1968. Метод и прибор для определения органического углевода в морской воде. Методы рыбохозяйственных химико-океанографических исследований, ч. II. М., ОНТИ.
- Люцарев С. В. 1972. О содержании органического вещества в океанской воде и взвеси. — Труды ВНИРО, т. 75.
- Мицкевич И. Н. 1972. Отчет о работе в 11-м рейсе нис «Академик Курчатов». Фонды ИОАН СССР.
- Сапожников В. В., Гусарова А. Н., Лукашев Ю. 1973. Определение нитратов в морской воде. — В сб. «Химия морей и океанов». М., «Наука».
- Скопинцев Б. А. 1971. Современные достижения в изучении органического вещества вод океанов. — Океанология, т. XI, вып. 6.
- Скопинцев Б. А., Тимофеева С. Н. 1962. Содержание органического углерода в водах Балтийского и Северного морей, в субтропической и тропической областях северной части Атлантического океана. — Труды Морского гидрофизического института, т. 25.
- Скопинцев Б. А., Тимофеева С. Н., Вершинина О. А. 1966. Органический углерод в водах приэкваториальной и южной части Атлантического океана и Средиземного моря. — Океанология, т. VI, вып. 2.
- Duursma E. K. 1961. Dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus the sea. — Neth. J. Sea Res. v. 1, No. 1/2.
- Hobson L. A., Menzel D. W. 1969. The distribution and chemical composition of organic particulate matter in the sea and sediments of the east coast of South America. — Limnol. a. Oceanogr., v. 14, No. 1.
- Menzel D. W. 1967. Particulate organic carbon in the deep sea. — Deep-Sea Res., v. 14, No. 2.
- Menzel D. W., Ryther J. H. 1968. Organic carbon and the oxygen minimum in the south Atlantic ocean. Deep-Sea Res., v. 15, No. 3.
- Newell B. S., Kerr J. D. 1968. Suspended organic matter in the south-eastern Indian Ocean. — Austr. J. Mar. Freshw. Res., v. 19, No. 2.
- Pont G. D., Newell B. 1963. Suspended organic matter in the Tasman Sea. — Austr. J. Mar. Fresh. Res., v. 14, No. 2.
- Strickland J. D. H., T. R. Parsons. 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis. — Fish. Res. Brd. of Canada, Bull. 167.
- Sverdrup H. U., Jonson A., Fleming C. A. 1942. «Oceans», No. 1.

ORGANIC MATTER IN SUBTROPIC AND ANTARCTIC WATERS
OF THE SOUTHERN ATLANTIC OCEAN

V. E. Artemyev, I. A. Melnikov

Summary

The peculiarities of the distribution of organic carbon, carbohydrates and lipids in the water and suspended matter from the surface to 5500 m depth in subtropic and antarctic waters of Southern Atlantic Ocean are described. It is shown that the distribution of dissolved and suspended organic matter is caused by the circulation of the water masses. The amount of the dissolved carbohydrates (mean quantity) is considerably less in the waters with strongly pronounced temperature stratification (20,0%) than in the antarctic waters (36,6%). The amount of dissolved lipids (mean quantity) is nearly the same at both types of water (9,0 and 8,4%). It is found that composition of organic matter within the same water mass is more or less similar in their different parts.