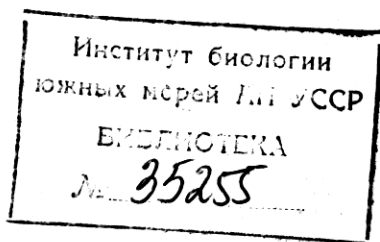


ПРОВ 2010

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЮЖНЫХ МОРЕЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА», КИЕВ, 1974

- Vercelli F. Ricerche di oceanografia fisica eseguite della R. Nave Ammiraglio Magnaghi (1923—1924). Part IV. La temperature e la salinita.—Ann. Idrografici 1927, 11, 1.
- Vercelli F. Nuove ricerche sulli correnti marine nel Mar Rosso.— Ann. Idrografici, 1931, 12, 1.

INDIRECT ESTIMATION OF SEASONAL VARIATION OF WATER EXCHANGE THROUGH BAB EL MANDEB

A. K. Bogdanova

Summary

Tentative values are obtained for a positive component of water exchange through Bab el Mandeb. The Maximum increase of the Aden waters inflow as compared with the Red sea waters outflow is observed in September, the minimum one — in March.

Intensity of water exchange through Bab el Mandeb does not coincide with the change in the positive component of water exchange. The most intensive water exchange through the straight is observed in winter. In summer the water exchange intensity weakens, which is connected with a seasonal change of the wind and ebb-tide fluctuation in the level and interface within the sea and bay regions adjacent to the straight.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФАТОВ В КРАСНОМ МОРЕ И АДЕНСКОМ ЗАЛИВЕ

М. А. Добржанская

Настоящая работа является продолжением обработки гидрохимических материалов рейсов нис «Академик А. Ковалевский» в декабре 1961 г. — марте 1962 г. и в сентябре — декабре 1963 г. (Добржанская, 1970). В данном разделе рассматриваются результаты наблюдений по фосфатам. Последние определялись методом Денниге — Аткинса с применением двуххлористого олова. При вычислении фосфатов солевая поправка не вводилась.

Красное море отличается своеобразным распределением фосфатов как по горизонтали, так и по вертикали. По своим количественным характеристикам его отдельные районы заметно различаются. В продольном направлении, по большой оси Красного моря, по содержанию фосфатов, как и по кислороду (Добржанская, 1970), различаются северная, средняя и южная части. Как следует из прилагаемых таблиц 1, 2 и рисунков 1, а, б, южная, примыкающая к Баб-эль-Мандебскому проливу, часть наиболее обогащена фосфатами. В ноябре 1963 г. содержание фосфатов на поверхности в районе ст. 55 достигало до 8 мг/л Р, вблизи дна (на 220 м) количество фосфатов возросло до 25 мг/л. По мере продвижения к северу содержание фосфатов по всей вертикали понижалось, особенно резко в верхнем 200-метровом слое. Так, на ст. 50 фосфаты отсутствовали лишь в верхних 10 м. По мере дальнейшего продви-

жением на север толщина слоя с нулевыми показателями фосфатов увеличивалась, достигнув в северной части моря 75—100 м (ст. 27, 33, 35 и др.). В январе 1962 г. истощенный фосфатами слой простирался значительно глубже: по оси северной части включая 200-метровый горизонт, средней — 150-метровый.

С глубиной, как правило, содержание фосфатов возрастало, достигая максимума в некоторой промежуточной толще, глубина залегания которой обычно совпадала со слоем минимальных значений кислорода. В глубинной толще, как и в поверхностных горизонтах, более высокие показатели фосфатов присущи также южным и средним районам Красного моря. Для глубинной толщи северной части характерно относительно более низкое содержание фосфатов: Например, на ст. 55, 45, 43 и других в промежуточном слое «максимума» фосфатов количество последних в ноябре 1963 г. достигало 30 мкг/л Р и даже несколько более (до 35 мкг/л). В промежуточном слое более северных районов содержание их немногим превышало 20 мкг/л Р, а на отдельных станциях (27, 29; 1963 г.) выражалось еще более низкими величинами. Глубже слоя «максимума» с дальнейшим углублением количество фосфатов понижается и в большинстве своем достигает с приближением ко дну наименьших для глубинной толщи значений (табл. 1, 2, рис. 1, б, 2). Подобный характер вертикального распределения фосфатов наблюдался также в зимний период 1961—1962 гг. (табл. 3, рис. 1, а).

Увеличение содержания фосфатов с глубиной в различных районах Красного моря происходит с различными градиентами. Эти различия в вертикальных градиентах наибольших значений достигали в верхней толще, примерно, до 200 м. Глубже они постепенно сглаживаются и в толще, расположенной ниже промежуточного слоя «максимума» фосфатов, различия в их величинах относительно невелики. В то же время северный, средний и южный районы моря сохраняют свои различия в величине вертикального градиента фосфатов также и в глубинной толще. В распределении градиентов фосфатов по вертикали в значительном числе случаев выявляется два максимума их значений. Один из них располагается на некоторой глубине в пределах 100—150 м, второй очерчивает верхнюю границу слоя «максимума» фосфатов. Большие градиенты характерны для южной половины моря. На мелководной ст. 53 (с общей глубиной 205 м), расположенной на относительно небольшом удалении от Баб-эль-Мандебского пролива, вертикальный градиент фосфатов в слое от 20 до 60 м в ноябре 1963 г. составлял 0,3 мкг/л Р на глубине 1 м, в слое от 90 до 100 м, т. е. на границе повышенного содержания фосфатов — 0,4 мкг/л Р. Глубже градиенты на этой станции резко понизились и на глубинах от 120 до 150 м выражались величиной с отрицательным знаком: — 0,08 мкг/л Р на 1 м. Подобное распределение градиентов по вертикали характерно и для средней части моря. Например, на ст. 44 (1963 г.) первый максимум градиента фосфатов — 0,24 отмечен в слое от 75 до 100 м, второй — 0,22 — в слое 250—300 м. Глубже, в связи с относительно резким

Распределение фосфатов (Р, мкг/л) в Красном море в сентябре —

Горизонт, м	23	26	27	28	29	30	31	32	33	35	36
	12.X	13.X	13.X	13.X	14.X	16.X	16.X	16.X	17.X	18.X	18.X
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	1	3	0	0	3	0	0	0	0	0	5
75	1	4	0	3	4	0	0	0	0	0	6
100	2	4	2	3	5	0	3	0	0	0	7
150	4	8	5	5	5	5	6	4	3	6	11
200	5	10	6	5	19	8	7	5	4	9	12
250	—	14	8	10	—	—	11	10	—	11	14
300	16	16	7	15	18	18	15	17	12	16	16
350	18	—	—	18	19	—	18	20	—	—	20
400	6	18	9	21	19	18	22	24	20	19	20
450	—	—	—	21	17	—	—	—	—	—	—
500	9	19	11	24	17	16	19	—	24	22	21
550	—	—	—	—	—	—	19	18	—	—	—
600	21	16	14	22	15	14	—	—	22	20	15
700	22	16	14	—	—	—	—	—	—	—	—
750	20	—	—	—	—	11	—	—	—	12	12
830	—	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	—	—	—	—	—	7	—	—	14	13	12
1100	—	—	—	—	—	8	—	—	12	—	—
1250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Глубина станции	760	850	705	640	620	1200	620	1150	1150	1055	1120

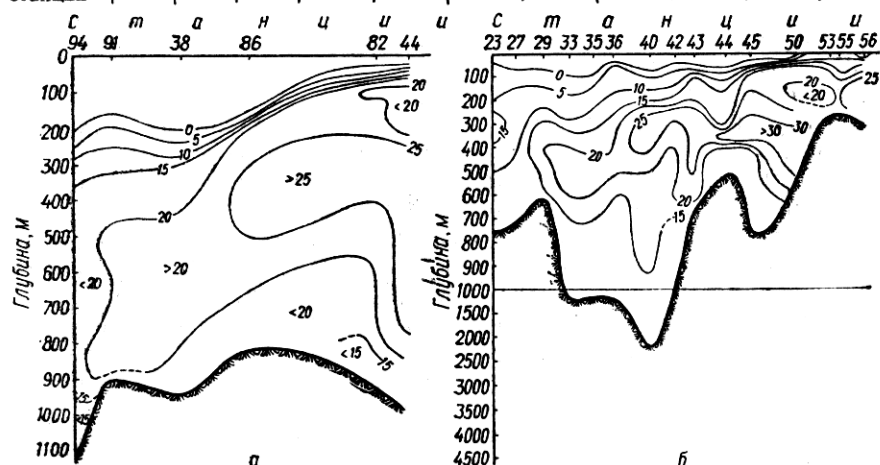


Рис. 1. Распределение фосфатов по оси Красного моря в декабре 1961 — январе 1962 гг. (а) и в октябре — ноябре 1963 г. (б).

декабре 1963 г. (глубоководные районы)

37	39	40	41	42	43	44	45	50	53	55	56
19.X	19.X	20.X	21.X	21.X	21.X	28.X	29.X	1.XI	6.XI	6.XI	8.XI
0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	10	9
0	0	0	—	0	0	0	0	21	17	13	17
10	0	0	2	6	18	2	0	38	21	—	20
16	0	5	4	7	18	8	0	25	25	18	28
24	6	10	6	10	—	14	22	13	19	24	33
30	12	15	9	14	21	18	23	20	18	25	25
31	16	25	17	28	28	18	24	27	—	—	—
29	20	27	17	24	28	20	32	31	—	—	—
27	22	27	29	23	28	31	28	31	—	—	—
27	27	26	20	20	27	18	27	28	—	—	—
—	—	—	9	—	—	12	—	—	—	—	—
26	28	20	—	12	25	—	25	28	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	18	18	—	—	23	—	25	22	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	—
20	20	18	—	9	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	16	—	10	—	—	—	—	—	—	—
—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	840	2250	480	970	640	510	740	655	205	200	240

уменьшением фосфатов в направлении дна, их градиенты составляли отрицательную величину. Наибольший отрицательный градиент ($-0,26$) наблюдался на ст. 44 на глубинах от 300 до 350 м. Промежуточный слой «максимума» фосфатов с большей отчетливостью проявляется в средней части моря. По оси северной части Красного моря градиенты фосфатов ни в верхнем 100-метровом слое, ни в слое их максимума не достигают столь высоких значений. В этой части моря вертикальное распределение фосфатов представляется более сглаженной кривой. В вершине же северного района Красного моря (ст. 23 и 27) слой «максимума» фосфатов в октябре 1963 г. не был обнаружен, содержание фосфатов увеличивалось с глубиной, за исключением самого придонного слоя (ст. 23). В последнем случае, при общей глубине 760 м, содержание фосфатов на глубине 750 м понизилось, по сравнению с расположенным выше горизонтом (700 м), на 2 мкг/л Р.

Закономерности пространственного распределения фосфатов согласуются с распределением их градиентов по вертикали. В про-

Таблица 2

Распределение фосфатов (Р, мкг/л) в Красном море в сентябре — декабре 1963 г. (мелководные участки)

Горизонт, м	22	25	34	38	49	52	54
	11.X	12.X	17.X	19.X	31.X	6.XI	6.XI
0	0	0	0	0	0	8	8
10	2	0	0	0	0	8	8
20	—	—	—	—	—	10	—
23	—	—	—	—	—	—	9
24	—	—	—	—	—	20	—
25	2	0	0	0	—	—	—
30	—	0	—	0	0	—	—
35	2	—	0	—	—	—	—
38	—	0	—	—	—	—	—
46	—	—	5	—	—	—	—
47	2	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—
Глубина станции	52	40	48	33	33	25	24

Распределение фосфатов (Р, мкг/л) в Красном море

Горизонт, м	38	44	80	81	82	83	85
	19.XII	24.XII	20.I	20.I	20.I	22.I	22.I
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	2	0	0	0
25	0	0	3	2	0	0	—
50	0	16	6	5	6	6	0
75	0	21	—	12	24	6	0
100	0	14	10	7	16	12	7
125	0	17	7	12	22	18	8
150	0	—	9	20	24	20	12
200	сл.	16	15	23	24	25	15
250	8	25	—	23	—	33	22
300	—	28	22	23	25	36	25
400	19	28	—	22	24	—	25
500	22	28	—	—	21	—	27
600	—	—	—	—	19	—	—
650	—	—	—	—	—	—	—
700	—	—	—	—	15	—	—
750	22	29	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	—	—
850	—	—	—	—	14	—	—
900	16	—	—	—	—	—	—
1000	—	—	—	—	—	—	—

дольном направлении, по большой оси Красного моря, его южная часть, как отмечалось выше, отличалась наиболее высоким содержанием фосфатов и наибольшими показателями их градиентов. По направлению к северу величины обоих показателей понижаются, в соответствии с чем изоповерхности фосфатов в верхней толще заглублялись в направлении с юга на север. Например, изоповерхность 20 мкг/л Р в южной части моря, в частности на ст. 50, проходила на глубинах 150—200 м, в то время как в районе ст. 33 — примерно на 450—500 м. Севернее ст. 29 содержание фосфатов в ряде случаев составляло менее 20 мкг/л Р.

По содержанию фосфатов в Красном море для периода декабрь 1961 — январь 1962 гг. располагаем значительно меньшим числом данных. Наблюдения велись лишь в северной и средней частях моря. По большой оси этих районов выполнено всего шесть станций. В южной части из-за тяжелых погодных условий работы не проводились. Тем не менее полученные данные позволили выявить некоторые черты режима фосфатов. В отличие от 1963 г. обедненный фосфатами (0,0 мкг/л) слой в северном и отчасти в среднем (включая ст. 86) районах моря простирался значительно глубже — до 150—200 м. В приближении к южной части зона аналитического нуля фосфатов ограничивалась 25-метровым горизонтом. Наряду с этим нижняя граница слоя максимума, оконтуриваемого изоповерхностью 20 мкг/л , в декабре 1961 — январе 1962 гг. проходила на глубинах 800—900 м даже на значительной части северного района

Таблица 3

в декабре 1961 г. — марте 1962 г.

86	87	88	90	91	92	93	94
24.I	24.I	24.I	26.I	26.I	26.I	27.I	30.I
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
—	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
22	12	15	10	6	9	2	0
23	25	23	12	10	12	8	—
26	26	29	14	14	19	11	12
27	34	34	22	20	25	18	18
25	30	31	25	20	31	21	18
22	29	62	—	21	29	19	—
—	—	—	25	—	—	—	—
18	25	—	—	—	—	—	—
—	20	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	22	—	18	17
—	—	—	—	—	33	—	—
—	—	—	—	25	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	14

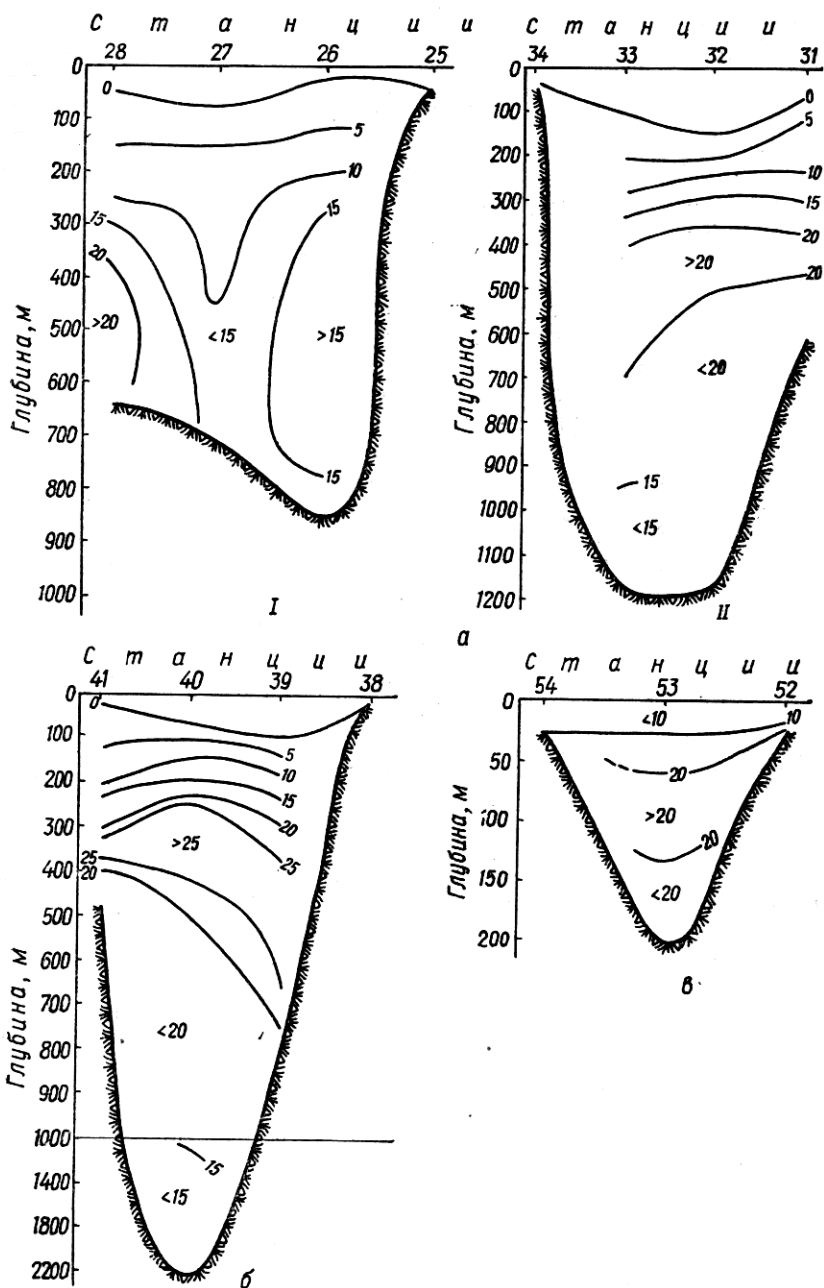


Рис. 2. Распределение фосфатов на поперечных разрезах Красного моря в октябре — ноябре 1963 г.:

а — северная часть (I, II — два разреза), б — средняя часть, в — южная часть.

(рис. 1, а). В октябре — ноябре 1963 г. эта изоповерхность не опускалась глубже 600—650 м, в самой северной части в ряде случаев содержание фосфатов составляло менее 20 мкг/л Р . Однако общие закономерности пространственного, как и вертикального, распределения фосфатов, в 1961—1962 гг. сохраняли основные черты их распределения в 1963 г. А именно, по большой оси моря толщина верхнего обедненного (0,0) фосфатами слоя уменьшалась по направлению с севера на юг: с 200 до 25 м. В этом же направлении повышалось содержание фосфатов в промежуточном слое «максимума» их величин. И наконец, в приближении к югу вертикальные градиенты фос-

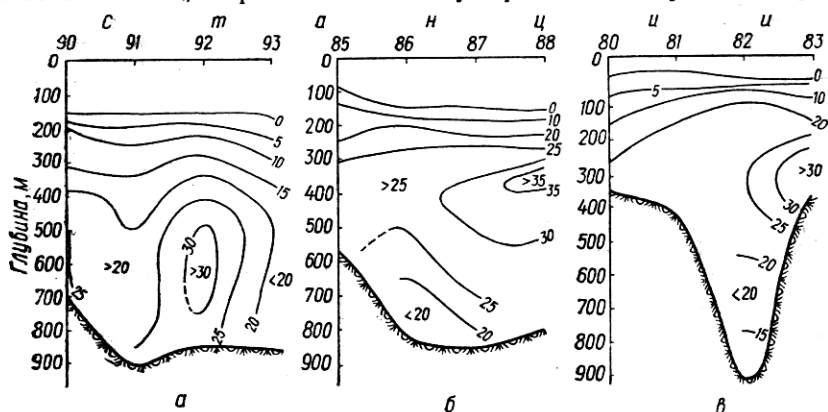


Рис. 3. Распределение фосфатов на поперечных разрезах Красного моря в январе 1962 г.:

а — северная часть, б — средняя часть, в — южная часть.

фатов достигали наиболее высоких значений. Но, в отличие от данных 1963 г., большие градиенты отмечались по преимуществу лишь в верхнем (до 150—200 м) слое. В частности, на ст. 86 на этих глубинах наибольший вертикальный градиент фосфатов составлял 0,44 мкг/л Р на 1 м, а на ст. 82 на глубинах 50—100 м — 0,32 мкг/л . На наиболее южной для данного случая ст. 44 самый высокий градиент (— 0,56 мкг/л Р) отмечен в слое 25—50 м. Глубинная толща в период наблюдений 1961—1962 гг., несмотря на более высокое содержание фосфатов в ней, характеризовалась более низкими, по сравнению с 1963 г., вертикальными градиентами и относительно более равномерным распределением фосфатов. В приближении ко дну имела место та же тенденция к понижению их содержания.

Более полное представление о распределении фосфатов по акватории Красного моря дано на поперечных разрезах (рис. 2, 3). На поперечном сечении северного района (рис. 2, а) в период наблюдений 1963 г. распределение фосфатов заметно отличалось от остальной части моря. В центральном районе этого разреза (ст. 27) отмечено заглубление обедненных фосфатами вод, отчетливо прослеживаемое по глубине залегания изоповерхности (10 мкг/л Р). При этом содержание фосфатов по всей вертикали этой станции

составляло менее 15 мкг/л , при общей глубине 750 м. К западу (ст. 28) и востоку (ст. 26) от нее содержание фосфатов превышало названную величину. Наиболее высокие показатели фосфатов наблюдались на ст. 28 (у африканского берега) в толще, примерно от 350 до 600 м (придонный слой), где количество их превысило 20 мкг/л (до 24). К востоку — у аравийского берега (ст. 26) наибольшая

Таблица 4

Распределение фосфатов (Р, мкг/л) в Аденском заливе в ноябре 1963 г.
(глубоководный район)

Глубина, м	Станции								
	61	62	63	65	66	67	69	70	71
	10.XI	10.XI	10.XI	12.XI	13.XI	14.XI	15.XI	15.XI	16.XI
0	8	9	7	8	10	11	9	6	10
10	8	9	7	8	10	11	9	9	10
25	15	8	9	9	9	11	9	29	12
50	35	29	11	51	48	20	44	39	21
60	44	34	—	58	—	—	—	—	—
75	50	—	39	60	50	51	53	52	34
100	53	—	48	64	54	57	57	53	46
150	68	58	50	55	54	57	58	52	50
200	64	58	55	57	58	58	57	52	50
250	—	58	56	57	58	—	—	—	—
300	62	59	56	57	59	58	—	53	50
400	62	68	64	58	59	57	55	—	—
500	60	66	51	58	58	58	56	56	53
600	60	56	58	58	60	57	60	—	58
700	58	58	—	—	—	58	66	60	58
750	—	—	—	59	—	—	—	—	—
800	57	—	—	41	60	67	62	—	58
900	—	58	—	—	—	65	62	—	—
1000	—	—	—	30	58	65	62	60	—
1100	—	82	—	—	—	—	—	—	—
1250	—	—	—	—	—	72	—	—	—
1500	—	—	—	75	—	—	58	60	58
1750	—	—	—	77	—	67	57	—	—
1900	—	—	—	—	72	—	—	—	—
2000	—	—	—	—	—	—	57	60	57
2200	—	—	—	—	—	63	58	66	—
Глубина станции	826	1130	665	1815	1970	2300	2350	2420	2150

наблюдаемая величина составляла 19 мкг/л Р. При этом, как к западу, так и к востоку от ст. 27 в глубинной толще наблюдалась тенденция к образованию промежуточного слоя «максимума» фосфатов с наибольшими показателями на глубине 500 м (рис. 2, а). С продвижением к югу распределение изоповерхностей фосфатов принимает другой характер и, в частности, на разрезе средней части моря (рис. 2, б) имеет «циклонический» тип (Добержанская, 1967) распределения с вершиной в центральной части разреза (ст. 40). На мелководье южной оконечности моря изоповерхности фосфатов в 1963 г. располагались почти параллельно (рис. 2, в).

Распределение фосфатов в период наблюдений 1961—1962 гг. на поперечных разрезах резко отличалось от такового в 1963 г. (рис. 3, а, б, в). В декабре 1961 — январе 1962 гг. на поперечных сечениях северного и среднего районов Красного моря, в отличие от 1963 г., была отчетливо выражена область максимальных значений фосфатов с наибольшими показателями — более 30 мкг/л Р —

Таблица 5

Распределение фосфатов (Р , мкг/л) в Аденском заливе в ноябре 1963 г. (мелководье)

Глубина, м	Станции					
	57	58	59	60	68	72
	8.XI	8.XI	9.IX	9.XI	14.XI	16.XI
0	7	8	7	6	17	9
10	6	8	7	6	24	9
20	—	8	7	6	30	10
25	8	—	—	—	—	—
30	—	—	—	6	44	10
33	—	—	8	—	—	—
34	25	—	—	—	—	—
35	—	—	—	—	46	—
40	—	—	—	7	—	19
50	—	10	—	7	—	18
60	—	—	—	9	—	18
75	—	25	—	30	—	23
100	—	39	—	—	—	—
175	—	40	—	—	—	—
250	—	46	—	—	—	—
Глубина станций	35	280	34	77	37	75

вблизи аравийского берега. С дальнейшим приближением к югу слой максимума фосфатов еще более отклонялся к востоку и в самом южном для данного случая районе — по разрезу ст. 80—83 — прижат к восточному берегу (рис. 3, в). В этом же направлении поднимается изоповерхность фосфатов, 30 мкг/л Р , очерчивая область их максимальных значений. Так, на ст. 83 верхняя граница ее располагалась на глубине около 250 м, нижняя простиралась до дна (370 м), в то время как на ст. 92 (северный разрез, рис. 3, а) они проходили на 500 и 800 м соответственно. В верхней толще, над слоем максимума фосфатов, изоповерхности их на поперечных сечениях моря располагались почти параллельно. Однако, как и в 1963 г., содержание фосфатов в глубинной толще с приближением ко дну закономерно уменьшалось. Количество их в придонном слое, за небольшим исключением, составляло менее 20 мкг/л , а в отдельных районах (ст. 94, 82) — менее 15 мкг/л Р . Максимальные же величины фосфатов, как правило, всегда отмечаются в слое минимума кислорода.

Аденский залив характеризуется значительно более высоким содержанием фосфатов (табл. 4, 5, 6). В цепи морей Черное —

Таблица 6

Распределение фосфатов (Р, мкг/л) в Аденском заливе в январе 1962 г.

Горизонт, м	Станции			
	54	55	56	57
	3.1	4.1	5.1	8.1
0	0	9	0	0
10	0	11	0	0
25	0	12	0	0
50	0	13	Следы	0
75	0	14	30	0
100	12	50	54	0
125	—	—	—	44
150	50	56	62	44
200	50	56	64	50
250	50	57	64	56
300	53	59	62	57
400	53	60	—	57
500	56	62	67	36
600	—	—	67	53
700	—	—	—	45
750	59	—	67	
1000	61	67	74	
1250			77	
1500			89	
1750			94	
2000				
Глубина станции	1100	1200	2200	790

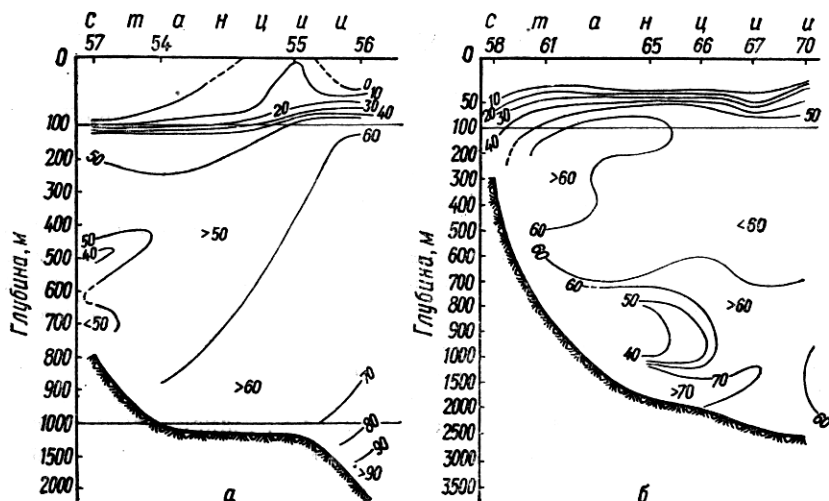


Рис. 4. Распределение фосфатов по продольному разрезу Аденского залива в январе 1962 г. (а) и в ноябре 1963 г. (б).

Средиземное — Красное — Аденский залив, последний, по содержанию биогенов в верхней толще, является наиболее богатым районом. Общие закономерности горизонтального и вертикального распределения фосфатов в Аденском заливе, как и в Красном море, в своих основных чертах соответствуют распределению других гидрохимических показателей, в первую очередь кислорода (Добжанская, 1970). Однако, при том же порядке величин кислорода, воды Аденского залива характеризуются еще более высокими показателями фосфатов. Как следует из рис. 4, б, в период с 8.XI по 16.XI 1963 г. по большой оси Аденского залива содержание фосфатов на поверхности колебалось от 8 до 10 мкг/л Р ; нулевые значения отсутствовали. С глубиной количество их возрастало с очень большими градиентами в верхнем, примерно 100-метровом слое, и в большинстве своем со значительно меньшими в толще, расположенной глубже. В то же время в глубинной толще схема распределения фосфатов имела сложный характер (переслоенность) в структуре их изоповерхностей. Наибольшие градиенты фосфатов отмечены в центральном (ст. 65, 66) районе залива по всей его вертикали. На ст. 66 в ноябре 1963 г. на глубинах от 25 до 35 м этот градиент достигал 1,80 мкг/л , в слое от 35 до 50 м — 1,33 мкг/л Р на 1 м. В данном случае изоповерхность 50 мкг/л Р залегала на глубине, примерно, 50 м. Аналогичное распределение фосфатов имело место на глубоководной ст. 65. По направлению к Аравийскому морю и Баб-эль-Мандебскому проливу вертикальные градиенты фосфатов понижались. При этом все изоповерхности фосфатов в верхнем 100-метровом слое заглублялись по направлению к Баб-эль-Мандебскому проливу. В частности, на ст. 61 максимальные градиенты — 0,7 мкг/л на 1 м — были отмечены в слое от 25 до 75 м и 0,3 мкг/л Р — на глубинах от 100 до 150 м. В районе же мелководной ст. 58 изоповерхность 50 мкг/л Р опустилась на глубину, примерно, 250 м, в то время как на ст. 70 она проходила на глубине 75 м.

В толще, залегающей глубже изоповерхности 50 мкг/л , содержание фосфатов с глубиной увеличивается весьма незначительно и характеризуется относительно равномерным распределением их величин по всему продольному разрезу до глубины 600—700 м. В этой толще содержание фосфатов в большинстве своем составляло менее 60 мкг/л , за исключением части залива, примыкающей к Баб-эль-Мандебскому проливу, примерно, по ст. 65. В последнем случае довольно отчетливо прослеживается промежуточный слой повышенного содержания фосфатов, где количество их несколько превышало 60 мкг/л Р (до 68 мкг/л , ст. 61). Толщина этого слоя по направлению от Баб-эль-Мандебского пролива к ст. 65 уменьшается (рис. 4, б). Глубже 700 м распределение фосфатов и их градиентов как по горизонтали, так и по вертикали представлялось еще более сложной схемой. В районе станций 65 и 66 располагалась область резко пониженного содержания фосфатов с минимальными значениями их на ст. 65 на глубинах от 800 м (41 мкг/л) до 1000 м (30 мкг/л). Это понижение, по всей вероятности, вызвано проникновением более

тяжелых и относительно обедненных фосфатами вод Красного моря. Последние по пути своего движения в Аденском заливе, заглубляясь понижают в нем содержание фосфатов, хорошо прослеживаемое в центральном районе залива. В более глубоких слоях этого района, примерно от 1000 до 2000 м, содержание фосфатов с углублением повышалось. На ст. 65 на глубине 1750 м оно достигло 75 мкг/л Р. С дальнейшим продвижением к Аравийскому морю эта слоистость в распределении фосфатов выражена слабо (рис. 4, б).

Те же особенности вертикального распределения фосфатов в ноябре 1963 г. прослеживались и на поперечных сечениях залива. На разрезе, прилегающем к Баб-эль-Мандебскому проливу (рис. 5, а), в верхнем примерно 150-метровом слое, ограниченном изоповерхностью 50 мкг/л Р, все изоповерхности располагаются почти параллельными кривыми, образуя куполообразный подъем их с вершиной на ст. 61. При этом у аравийского берега все изоповерхности в данном слое несколько более заглублены. На мелководной ст. 60, общая глубина которой 77 м, содержание фосфатов на горизонте 65 м составляло 9 мкг/л Р, т. е. величину одного порядка с поверхностным горизонтом. Лишь в непосредственной близости дна (75 м) количество их возросло до 30 мкг/л Р. У африканского берега изоповерхность 10 мкг/л залегала на глубине около 35 м. Различие в распределении фосфатов между аравийским и африканским берегами особенно отчетливо прослеживается по распределению изоповерхности 60 мкг/л Р, которая в данном случае оконтуривает промежуточный слой повышенного содержания фосфатов. Верхняя граница его у африканского берега залегала на глубине 400 м, у аравийского поднялась на глубину 125 м; нижняя, напротив, у африканского берега проходила на глубине 450 м, а у аравийского заглубилась до 600 м. Соответственно толщина промежуточного слоя по направлению с запада на восток увеличилась со 100 до 600 м. Содержание фосфатов в промежуточном слое колебалось от 60 до 68 мкг/л Р. Глубже промежуточного слоя количество фосфатов составляло меньшую величину — преимущественно 56—58 мкг/л с минимумом 51 мкг/л у африканского берега на глубине 500 м (ст. 63). Это понижение содержания фосфатов на относительно больших глубинах связано с заглубляющимся распределением вод, поступающих из Красного моря и их разбавляющим влиянием на содержание фосфатов в заливе.

На поперечном разрезе, граничащем с Аравийским морем (рис. 5, б), изоповерхности по направлению к востоку более заглублены, у африканского, напротив, несколько приподняты. Соответственно у африканского берега отмечались наиболее высокие показатели содержания фосфатов и их градиентов в верхних 100 м. Так, на ст. 68 количество фосфатов на поверхности составляло 17 мкг/л , на 20 м — 24 мкг/л Р (табл. 4, 5). У аравийского берега (ст. 72) изоповерхность 20 мкг/л опустилась на глубину 65 м. Еще большее расхождение между африканским и аравийским берегами наблюдалось в глубине залегания изоповерхности 50 мкг/л . В районе ст. 68 она про-

ходила на глубине около 60 м, на ст. 71 — глубже 150 м. Толща, ограниченная изоповерхностью 50 мкг/л , подобно тому, как это отмечалось для разреза у Баб-эль-Мандебского пролива, характеризовалась наибольшими вертикальными градиентами фосфатов. На мелководье у африканского берега (ст. 68) средний для всей вертикали градиент составлял порядка 0,5 мкг/л Р на 1 м глуби-

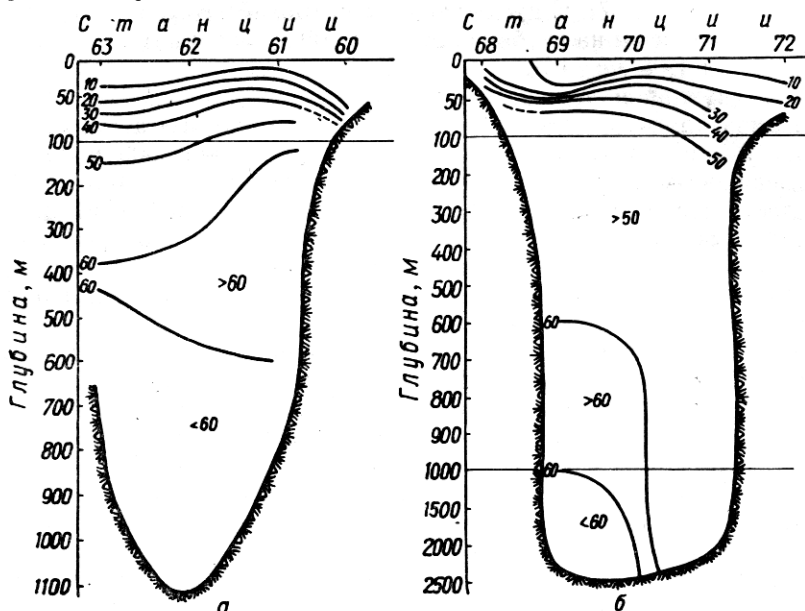


Рис. 5. Распределение фосфатов на поперечных разрезах Аденского залива в ноябре 1963 г. у Баб-эль-Мандебского пролива (а) и в сторону Аравийского моря (б).

ны. Отклонения от этой величины на отдельных горизонтах этого района были не велики. Максимальное значение вертикального градиента фосфатов отмечено на ст. 69, где в слое 35—50 м оно достигло 2,33 мкг/л на 1 м. В толще, расположенной глубже изоповерхности 50 мкг/л Р , повышение содержания фосфатов с глубиной происходило с весьма малыми градиентами. В преобладающей части ее количество фосфатов колебалось от 50 до 60 мкг/л с максимумом 66 мкг/л . В глубинной толще, в слое примерно от 1200 м и до дна, у африканского берега четко выявляется область с содержанием фосфатов менее 60 мкг/л (57—58). Последняя, по-видимому, связана с распределением трансформированных красноморских вод, что, в свою очередь, косвенно свидетельствует о путях их распространения (рис. 5, б).

Для периода декабрь 1961 — март 1962 гг. по фосфатам для Аденского залива располагаем незначительным числом данных (табл. 6). Последние позволили лишь схематично представить распределение фосфатов по продольному разрезу залива (рис. 4, а).

Подобно тому, как это было отмечено в 1963 г., в 1962 г. слой наиболее резкого изменения вертикальных градиентов фосфатов был ограничен изоповерхностью 50 мкг/л Р и простирался до глубины примерно 200 м вблизи Баб-эль-Мандебского пролива и всего лишь до 100 м — у выхода в Аравийское море. Максимальный градиент — 1,75 мкг/л Р на 1 м отмечен у Баб-эль-Мандебского пролива в слое 100—125 м (ст. 57). С продвижением к Аравийскому морю градиенты понижались и на глубинах от 50 до 100 м; максимум их в среднем составлял 1,08 мкг/л Р .

В глубинной толще, вблизи выхода из Баб-эль-Мандебского пролива также наблюдалось резкое понижение фосфатов в слое, 450—750 м с минимумом — 36 мкг/л Р на глубине 500 м (ст. 57), вызванное подтоком красноморских вод. Различия лишь в том, что область пониженного содержания фосфатов в январе 1962 г. не получила столь обширного распространения, как в ноябре 1963 г. Она ограничивалась лишь ближайшим к Баб-эль-Мандебскому проливу районом и располагалась значительно выше (рис. 4, а). По мере продвижения к Аравийскому морю содержание фосфатов в глубинной толще увеличивалось и на глубоководной, примыкающей к нему, ст. 56 количество их возросло до 94 мкг/л Р на глубине 1750 м. Распределение фосфатов в глубинной толще позволяет предполагать, что в рассматриваемый период количество поступающих в эту толщу вод Красного моря было более ограничено, чем в 1963 г.

От 1963 г. также несколько отличалось распределение фосфатов и в верхней толще. В последней в январе 1962 г. наблюдались нулевые значения фосфатов: вблизи Баб-эль-Мандебского пролива до глубины 100 м, у Аравийского моря — до 50 м. При этом распределение их изоповерхностей имело «циклонический» характер, хорошо выраженный в верхнем 100-метровом слое, с вершиной куполообразного поднятия на ст. 55. На последней содержание фосфатов на поверхности достигло 9 мкг/л , при нулевых показателях в стороны от нее. В период наблюдений 1963 г., как отмечалось выше, содержание фосфатов на поверхности не снижалось менее 8 мкг/л .

Полученные по фосфатам данные в общей сложности хорошо согласуются с данными В. В. Серого и В. А. Химицы (1963), хотя и имеются некоторые различия в количественных показателях, в частности по Аденскому заливу. По наблюдениям этих авторов содержание фосфатов в поверхностном слое на разрезе м. Рас-эль-Кальб — м. Осболей в зимний период 1961—1962 гг. составляло 10—20 мкг/л Р . По наблюдениям нис «Академик А. Ковалевский» на большей части исследованной акватории по оси залива в январе 1962 г. фосфаты в верхнем слое отсутствовали. Это расхождение находит свое объяснение, по-видимому, в следующем. Район разреза м. Рас-эль-Кальб — м. Осболей был подвержен большему влиянию северо-аравийских вод, обогащенных фосфатами. Наши наблюдения в январе 1962 г. проводились лишь по оси первой половины Аденского залива, примыкающей к Красному морю, и ограничи-

вались небольшим числом станций. К тому же работы велись в тяжелых погодных условиях при сложной ветровой обстановке. Как известно, ветровой режим может резко изменять структуру изоповерхностей, особенно в верхней толще вод.

Известно, что процессы циркуляции и перемешивания вод являются важнейшими факторами, определяющими содержание и распределение ряда гидрохимических показателей, в том числе фосфатов. Это особенно относится к толще вод, расположенной ниже зоны фотосинтеза, где влияние биологических факторов на содержание фосфатов нивелируется. Вместе с тем обогащение фосфатами зоны фотосинтеза сопряжено также с гидрологической характеристикой района. Широко известно, что зоны подъема глубинных вод (районы, замкнутые циклоническими течениями) более всего обогащены фосфатами. Непериодическое обогащение фосфатами верхних слоев относительно больших участков прибрежного района настигает также вследствие сгонов. В этих условиях минерализация органического вещества с освобождением фосфатов в пределах зоны фотосинтеза, в обогащении последней биогенами занимает подчиненное положение. Тем не менее этот процесс определяет первичную продукцию большинства районов Мирового океана, в частности тех, где в пределах зоны фотосинтеза в теплый период образуется устойчивый термоклин — плотностное расслоение.

В этом отношении Красное море несколько отличается от других участков Мирового океана. Поступление и распределение в нем биогенов, в том числе фосфатов, определяется не столько подъемом глубинных вод непосредственно в самом Красном море или их заглублением, сколько его водообменом со Средиземным морем и Аденским заливом. Однако для последнего в обогащении его верхней толщи питательными солями подъем глубинных вод приобретает более значимую роль. Вследствие особенностей гидрологического режима воды Аденского залива подвержены большому влиянию вод Аравийского моря. Зимой при устойчивых северо-восточных и восточных ветрах устанавливается циклоническое течение, которое сопровождается последовательным переносом обогащенных биогенными элементами вод Аравийского моря в залив. Эти воды, смешиваясь с водами Аденского залива, трансформируются и образуют его поверхностный слой с высоким содержанием фосфатов и нитратов. Воды последнего поступают через Баб-эль-Мандебский пролив в Красное море, где подвергаются дальнейшей трансформации за счет смешения с более легкими и относительно обедненными фосфатами водами Красного моря. Как логическое следствие этого процесса, содержание фосфатов в верхних слоях Красного моря в осенне-зимнее время в конечном итоге понижается с юга на север. В том же направлении уменьшается толщина верхнего, обогащенного фосфатами слоя. Эти закономерности хорошо прослеживаются по распределению фосфатов на представленных продольных разрезах.

Обмен вод Аденского залива с Красным морем из-за малой глубины порога (около 125 м) ограничен верхними слоями. Вместе

с тем, по данным ряда исследователей, в том числе А. К. Богдановой (1966), наблюдения которой относятся к тому же периоду работ нис «Академик А. Ковалевский», в глубинные слои Аденского залива поступают более тяжелые воды Красного моря. Глубина погружения их и распределение по заливу связаны с начальной плотностью вод и системой течений в заливе. По наблюдениям А. К. Богдановой, в январе 1962 г. и в ноябре 1963 г. красноморские воды прослеживались вдоль всего Аденского залива. Глубина их залегания хоть и колебалась от станции к станции, но в общем увеличивалась по направлению к выходу из залива. При этом наблюдалась значительная переслоенность вод по температуре и солености, что, по заключению А. К. Богдановой, указывает на «довольно сложную систему течений». Как было показано выше, вторжение красноморских вод весьма отчетливо прослеживается и в распределении фосфатов. Другими словами, своеобразие распределения фосфатов в глубинной толще Аденского залива обусловлено вторжением красноморских вод. Распределение же фосфатов в его поверхностном слое связано с поступлением вод из Аравийского моря.

Обмен вод Красного моря через Суэцкий канал хотя по своей величине и незначителен, но, согласно Х. Свердрупу и соавторам (Sverdrup et al., 1946), также имеет место зимой. В отличие от вод, поступающих через Баб-эль-Мандебский пролив, воды Суэцкого канала характеризуются высокой соленостью, превышающей соленость вод Красного и Средиземного морей. По наблюдениям Г. Вюста (Wüst, 1934), в октябре — декабре соленость поверхностных вод канала в районе Большого горького озера достигает 50, в придонном слое — до 55‰. По данным А. К. Богдановой (1966), соленость поверхностных вод Суэцкого залива в северной части его в первой половине октября 1963 г. составляла 42,63, в южной — 40,89‰, в конце ноября — 42,25 и 40,27‰ соответственно. В этом же направлении несколько повышалась температура поверхностной воды залива: от 26 до 28° С в начале октября и от 21 до 25° в конце ноября. Повышенная соленость при пониженной температуре поступающих через Суэцкий канал вод позволяет допустить, что последние при входе в Красное море погружаются в его глубинную толщу. Эти воды хорошо прослеживаются по распределению кислорода (Добржанская, 1970), а также по полученному распределению фосфатов. Резкое, по сравнению с промежуточным слоем, снижение фосфатов в глубинной толще, очевидно, следует рассматривать как показатель скатывания более тяжелых и обедненных фосфатами вод Суэцкого канала. Последние вследствие больших горизонтальных и вертикальных градиентов по фосфатам прослеживаются с большей отчетливостью, чем по кислороду.

Как вытекает из изложенного, несмотря на относительно небольшой объем поступающих через Суэцкий канал вод, влияние их на режим Красного моря относительно велико. Полученные закономерности распределения фосфатов полностью подтвердили выводы, сделанные на основании материала по кислороду (Добржан-

ская, 1970). Более того, нюансы гидрологической структуры водной толщи в ряде случаев лучше прослеживаются по распределению гидрохимических параметров. Убедительным примером этого служит полученное в 1963 г. распределение фосфатов на поперечном разрезе, ближайшем к Суэцкому каналу. Здесь заглубление более тяжелых, поступающих из канала, вод хорошо отражено в распределении пониженного содержания фосфатов, в частности на ст. 27, которая расположена по прямой с осью канала и является как бы непосредственным его продолжением.

В заключение необходимо отметить, что распределение изоповерхностей фосфатов как по горизонтали, так и по вертикали, в основном почти идентичны структуре изооксиген. Различие заключается лишь в том, что пониженному содержанию O_2 соответствуют повышенные величины фосфатов. В силу особенностей обмена вод, промежуточная толща Красного моря характеризуется максимумом фосфатов (около 40 $мкг/л$ Р) при наиболее низком содержании кислорода (менее 1 $мл/л$). Последний, по данным ряда исследователей (Thompson, 1939 a, b; Neuman a. McKill, 1961), хорошо совпадают с глубиной залегания минимума температуры, абсолютное понижение которой составляет 0,10—0,15° С. Повышение содержания фосфатов в осенне-зимний период в поверхностных водах Аденского залива возникает под влиянием Аравийского моря, воды которого отличаются высоким содержанием биогенов и несколько пониженным кислородом. Понижение же фосфатов в более глубоких слоях залива, в частности вдоль Африканского берега, вызвано подтоком и заглублением красноморских, более обедненных фосфатами, вод.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданова А. К. Гидрологические условия в Красном море и Аденском заливе по наблюдениям э/с «Академик А. Ковалевский». — Океанологические исследования, 15. «Наука», М., 1966.
- Добржанская М. А. Влияние динамики водных масс на распределение гидрохимических показателей (на примере Черного моря). — В кн.: Вопросы биоокеанографии. «Наукова думка», К., 1967.
- Добржанская М. А. Распределение кислорода в Красном море и Аденском заливе по наблюдениям э/с «Академик А. Ковалевский». — В кн.: Биология моря, вып. 21. «Наукова думка», К., 1970.
- Серый В. В. и Химица В. А. К гидрологии и гидрохимии Аденского залива и Аравийского моря. — Океанология, 1963, 3, 6.
- Neuman A. C. a. McKill D. A. Circulation of the Red Sea in early summer. — Deep-sea Research, 1961, 8, 3/4.
- Sverdrup H., Johnston M., Flemming R. The oceans, their physics, chemistry and general biology. N. Y., 1946.
- Thompson E. F. The general hydrography of the Red Sea. — John Murray Expedition 1933—1934, 1939a, 2, 3.
- Thompson E. F. The exchange of water between the Red sea and the Gulf of Aden over the «sill». — John Murray Expedition 1933—1934, 1939b, 2, 4.
- Wüst G. Salzgehalt und Wasserbewegung im Suezkanal. — Naturwissenschaften, 1934, 22, Jahrb. Heft 36.

CONTENT AND DISTRIBUTION OF PHOSPHATES IN THE RED SEA

M. A. Dobrzhanskaya

Summary

A distinct dependence is determined of phosphate content and distribution on the hydrometeorological conditions of the regions under consideration. In 1961—1962 the phosphate content in the whole studied aquatorium differed somewhat from that in 1963. In 1961—1962 phosphates were absent in the northern part of the Red Sea to a depth of 200, in the southern — to 10 m; in 1963 they were absent in a thinner layers. The waters delivered to the Red Sea through the Suez Canal during their penetration into the depths decrease the phosphate content approximately to 15 $\mu\text{g/lP}$ (the salt correction was not introduced). Because of vertical exchange peculiarities the phosphate content in the waters of intermediate layers is the highest and by their hydrochemical characteristics the waters are «older» with respect to the upper and deep strata. In deep layers of Aden Bay the distribution of the Red Sea transformed waters is accompanied by pronounced decrease in the phosphate content.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ФИТОПЛАНКТОНА В КРАСНОМ МОРЕ И АДЕНСКОМ ЗАЛИВЕ

Е. В. Белогорская

Растительный планктон Красного моря наименее изучен по сравнению с другими районами Мирового океана. В имеющейся литературе рассматриваются, главным образом, вопросы о его систематическом составе и приводятся некоторые данные о фитогеографической характеристике отдельных видов планктонных водорослей (Cleve, 1900; Ostenfeld a. Schmidt, 1902; Schröder, 1906; Karsten, 1907).

Количественные же исследования растительного планктона Красного моря до последнего времени не проводились, они начаты лишь в шестидесятых годах (Белогорская, 1967а, 1970а, 1971; Суханова, 1969). При этом приводимые И. Н. Сухановой данные получены по сетным материалам, собранным планктонной сеткой, оснащенной мельничным ситом № 38, улавливающей только относительно крупные формы. Наши же данные по количественному распределению фитопланктона в Красном море и Аденском заливе основаны на батометрических сборах.

Изучение количественного распределения растительного планктона в Аденском заливе проводилось и М. А. Савичем (1968а, б, 1969, 1971) также по батометрическим сборам. Полученные указанным автором величины численности и биомассы примерно соответствуют нашим. Численность же, по данным И. Н. Сухановой, была значительно ниже. Это обусловлено различиями орудий лова.

Количественные исследования фитопланктона Красного моря и Аденского залива проводятся нами с конца 1961 г. Мы распо-