

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

ПРОВ 98

ПРОВ 2010

Лист. 1980

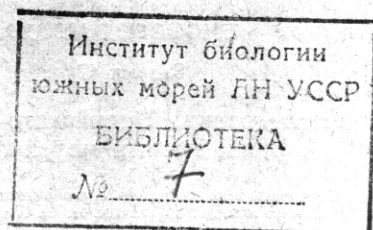
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 47

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА
И ЮЖНЫХ МОРЕЙ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1978

Е. В. Белогорская

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КРАСНОМ МОРЕ И АДЕНСКОМ ЗАЛИВЕ

В экспедициях Института биологии южных морей АН УССР и Азово-Черноморского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии в 1961—1963 гг. были собраны обширные материалы по фитопланктону Красного моря и Аденского залива, которые обрабатывались автором. Результаты исследований, касающихся основных данных по средним показателям численности и биомассы, а также по общему систематическому составу фитопланктона в верхнем 100-метровом слое моря, частично уже опубликованы [1—4].

В настоящем сообщении более подробно освещено распределение этих параметров по вертикали до глубин 500—1000 м в Красном море и до 2000 м в Аденском заливе на основании последующей обработки материалов. Поскольку материалы собраны в зимний, летний и осенний сезоны на всей протяженности Красного моря с севера на юг, они помогли выявить некоторые региональные и сезонные особенности вертикального распределения фитопланктона.

Счетно-весовым методом обработано 530 батометрических проб, собранных на 70 станциях, определены также средние массы клеток водорослей.

Распределение фитопланктона зимой (1961—1962 гг.)

Фитопланктон Красного моря в зимний период был относительно беден по сравнению с другими сезонами. Численность и биомасса водорослей в зоне фотосинтеза колебались в значительных пределах (3—62 млн. кл/м³ и 1,5—160 мг/м³).

Северная часть Красного моря, в отличие от других районов, характеризовалась значительной бедностью фитопланктона. Наибольшие количества его здесь не превышали 35 млн. кл/м³ и 46 мг/м³. Средние значения численности и биомассы по глубинам в зоне фотосинтеза изменялись в пределах 7,5—21,1 млн. кл/м³ и 7,9—24,7 мг/м³. При этом плотность водорослей в верхнем слое 0—25, 0—50 м была наиболее высокой. С увеличением глубины количество водорослей постепенно уменьшалось и на границе фотосинтетической зоны, на глубине 100—150 м, значения численности и биомассы не превышали 4—8 тыс. кл/м³ и 2—8 мг/м³ (табл. 1).

Преобладание пиропитовых водорослей, главным образом перидиниевых и хризопитовых (в основном кокколитофорид), характерно для всей северной части моря. Перидиниевые водоросли в зоне фотосинтеза составляли более 50% численности и более 25% биомассы растительного планктона. Доминирование их по численности с глубиной увеличивалось. Так, на глубине 300, 750 м содержание перидиниевых составляло соответственно 76 и 87% численности фитопланктона. Удельный вес диатомовых в общей численности фитопланктона не превышал 15%.

Доминирование перидиниевых и кокколитофорид и подчиненное положение диатомовых водорослей в северной части моря, по-видимому, не случайно. Низкое содержание биогенных элементов, в первую очередь фосфатов, в этом районе, очевидно, обусловило низкое количественное развитие фитопланктона, и в особенности диатомовых водорослей, наиболее требовательных к фосфатам. Перидиней, напротив, менее требовательны к питательным солям [7].

Таблица 1
Средняя численность (Ч, тыс. кл/м³) и биомасса (Б, мг/м³) фитопланктона в Красном море зимой (1961 — 1962 гг.)

Глубина, м	Pyrophyta		Bacillariophyta		Chrysophyta		Cyanophyta		Мелкие жгутиковые и прочие		Весь фитопланктон	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
Северная часть												
0	11185	14,30	1516	3,50	7237	4,45	—	—	1171	2,49	21109	24,74
10	11186	4,66	1491	6,55	5821	5,50	2883	0,37	351	0,81	21732	17,89
25	10323	3,02	2733	4,79	5071	2,26	250	0,02	279	0,93	18656	11,02
50	9568	3,07	1877	4,75	5091	3,11	—	—	247	0,97	16783	11,90
75	4211	1,65	646	1,88	2750	1,63	—	—	261	0,64	7868	5,80
100	4284	2,62	447	0,77	2560	4,09	—	—	215	0,46	7506	7,94
150	2376	0,29	429	0,73	864	0,56	—	—	85	0,16	3754	1,74
200	2268	0,49	112	0,23	1045	0,72	—	—	156	0,65	3581	2,09
300	2193	1,59	307	0,97	248	0,14	—	—	125	0,11	2873	2,81
400	926	0,09	215	0,31	213	0,13	—	—	119	0,23	1473	0,76
500	973	0,09	278	0,24	161	0,08	—	—	49	0,07	1425	0,48
750	1092	0,01	110	0,04	33	0,01	—	—	17	0,10	1252	0,16
1000	—	—	320	0,07	135	0,04	—	—	325	0,02	780	0,13
Южная часть												
0	6632	13,23	13162	48,35	4615	2,77	—	—	125	0,35	24534	64,70
10	7510	6,91	7077	23,60	2577	1,77	166	0,03	368	0,75	17698	33,06
25	5635	8,09	29163	90,22	3782	1,81	—	—	367	0,54	38947	100,66
50	6900	2,15	12279	24,14	3365	2,77	—	—	232	0,70	22776	29,76
75	3261	2,19	1698	4,50	1072	1,13	—	—	246	0,40	6277	8,22
100	2123	2,04	736	1,08	793	1,17	—	—	614	0,97	4266	5,26
150	1913	1,27	812	0,84	525	0,44	—	—	1040	1,91	4290	4,46
200	1119	0,45	774	1,62	906	2,97	—	—	113	0,26	2912	5,30
300	1292	0,61	415	1,49	847	0,90	—	—	106	0,09	2660	3,09
400	1139	0,48	782	1,38	128	0,12	—	—	98	0,14	2147	2,12
500	850	0,04	150	0,08	135	0,04	—	—	180	0,25	1315	0,37
750	550	0,24	312	0,12	160	0,04	—	—	110	0,04	1132	0,44
850	500	0,60	570	0,14	105	0,14	—	—	100	0,04	1275	0,92
Центральная часть												
0	16973	8,22	10750	29,07	7587	4,02	500	0,10	403	2,78	36213	44,37
10	16916	2,76	8595	19,20	7150	5,91	4750	0,59	638	2,75	38049	31,21
25	20324	7,04	7398	23,27	11251	13,57	300	0,01	216	2,27	39489	46,16
50	16079	6,81	2096	4,90	8585	6,65	400	0,01	236	2,69	27396	21,06
75	14867	5,88	2889	7,97	7226	5,95	200	0,00	629	2,09	25811	21,89
100	8496	2,66	1024	3,11	4082	2,82	—	—	231	0,67	13833	9,26
150	5567	3,09	532	0,87	1719	0,86	500	0,01	180	1,49	8498	6,32
200	4056	2,24	762	0,90	1328	0,54	—	—	291	0,43	6437	4,11
300	4050	1,05	671	1,19	1613	1,08	—	—	167	1,04	6501	4,36
400	2763	0,14	3800	4,40	431	0,47	—	—	1319	0,37	8313	5,38
500	3126	0,58	740	0,76	343	0,29	—	—	166	0,43	4375	2,06
750	1467	0,06	533	0,21	513	0,57	—	—	111	0,10	2624	0,94

Синезеленые водоросли в северной части моря в зимнем планктоне встречались редко и в очень малом количестве. Остальные таксономические группы — зеленые, желто-зеленые и мелкие жгутиковые — в общем развитии фитопланктона играли незначительную роль.

Относительная бедность фитопланктона северной части Красного моря обусловлена спецификой гидрологического и гидрохимического

режима этого района. Очень низкое содержание биогенных элементов в зоне фотосинтеза — отличительная черта этой части моря. Содержание фосфатов, по данным М. А. Добржанской [6], в слое 0—200 м находилось в пределах аналитического нуля. Относительно выравненные значения температуры, солености, отсутствие скачка плотности в результате интенсивного конвективного перемешивания создали неблагоприятные условия для концентрации планктонных водорослей в верхних слоях (см. табл. 1). При интенсивном конвективном перемешивании водоросли увлекаются с токами воды за пределы фотического слоя. Автотрофные водоросли, попадая в условия недостаточной освещенности, либо погибают, либо теряют возможность к дальнейшему воспроизводству, и только отдельные виды, способные переходить на гетеротрофный тип питания, могут жить и размножаться в условиях низкой освещенности.

Численность и биомасса фитопланктона ниже зоны фотосинтеза отличались сравнительной выравненностью и низкими показателями. Средняя численность в слое 150—1000 м колебалась в пределах 780—3800 тыс. кл/м³, а биомасса — от 0,13 до 2,8 мг/м³. Видовой состав фитопланктона глубинных слоев беден и представлен ограниченным набором видов, относящихся к диатомовым кокколитофоридам и перидиниевым водорослям. Характерно, что все водоросли глубинных слоев отличались очень малым размером. Здесь обнаружены *Nitzschia delicatissima*, *Fragilaria oceanica*, *Exuviaella cordata*, *Coccolithus huxley*, *C. fragilis*, а также мелкие представители *Glenodinium*, *Gymnodinium*, *Navicula*, *Thalassiosira*. Возможно, часть водорослей была занесена в нижние слои из зоны фотосинтеза в результате интенсивного конвективного перемешивания. Некоторые из них — *Coccolithus fragilis*, *C. huxley*, — способные к гетеротрофному питанию, могут успешно развиваться в условиях афотической зоны.

Распределение фитопланктона по глубинам в центральной и южной частях моря характеризовалось двумя максимумами, на поверхности и на глубине 25 м, а в северной части фитопланктон распределялся сравнительно равномерно. Особенно большие колебания количественных характеристик были отмечены в южной части. Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона здесь на глубине 25 м были примерно в 1,5—2 раза выше, чем на поверхности (см. табл. 1).

Различия в распределении фитопланктона в центральной и южной частях Красного моря по сравнению с северной частью обусловлены влиянием поступающих из Аденского залива вод, богатых биогенными слоями [6], что благоприятно сказывается на общем развитии планктонных водорослей, в первую очередь диатомовых. Диатомовые водоросли развиваются в этих районах, особенно в южном, в значительно большем количестве, чем в северной части, и занимают доминирующее положение среди остальных групп фитопланктона. Роль кокколитофорид (особенно перидиниевых водорослей) заметно снижается.

Наличие четко выраженного слоя скачка плотности в значительной мере определяет и характер вертикального распределения фитопланктона этих районов. Максимальные значения численности и биомассы планктонных водорослей, как правило, приурочены либо к слою скачка плотности, как в центральном районе, либо распределяются непосредственно над этим слоем, как в южном районе. Наиболее отчетливо слой скачка плотности прослеживается в южной части Красного моря, где он находится на глубине 50—75 м, иногда опускаясь до 100 м. Градиент плотности составлял 0,026—0,037 ед. усл. плотн. В центральной части моря слой скачка был значительно ниже — на глубине 10—25 м, и градиент плотности достигал всего 0,015 ед. усл. плотн.

В Аденском заливе фитопланктон был богаче, чем в южной части Красного моря. Средняя численность водорослей в верхнем 50-метровом слое составляла 100 и более млн. кл/м³, а биомасса превышала 200 мг/м³ (максимальное значение — 400 мг/м³ на глубине 50 м). Здесь в еще большей степени наблюдалось доминирование диатомовых водорослей. На их долю приходилось от 80 до 92% численности и 72—96% биомассы фитопланктона (табл. 2). В Аденском заливе в большом количестве отмечались различные виды *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Bacteriastrum*, *Thalassiothrix*, *Coretron hystrix*, *Cerataulina bergonii*, *Schroderella delicatula*, *Nitzschia delicatissima*. Численность отдельных видов достигала 10 млн. кл/м³. Наиболее часто встречались *Chaetoceros compressus*, *Ch. lauderi*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. affinis*, *Ch. affinis* var. *willei*, *Ch. atlanticus* var. *neapolitana*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Rh. stolterfothii*, *Rh. setigera*, *Rh. alata* f. *indica*, *Rh. alata* f. *gracilima* и др.

Таблица 2

Средняя численность (Ч, тыс. кл/м³) и биомасса (Б, мг/м³) фитопланктона в Аденском заливе зимой (1961—1962 гг.).

Глубина, м	Pyrrophyta		Bacillariophyta		Chrysophyta		Мелкие жгутиковые и прочие		Весь фитопланктон	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
0	7177	49,15	76661	180,91	9768	22,01	302	0,46	93908	252,53
10	7945	29,63	99868	203,33	5397	7,08	10780	12,61	123990	253,37
25	9481	17,44	144803	259,14	4428	5,59	157	0,61	158869	282,78
50	11149	6,61	74470	386,34	4775	2,82	2333	4,39	92727	400,16
75	6559	5,19	29062	35,41	5363	2,49	1751	0,78	42735	43,87
100	6180	3,22	2437	11,66	2831	2,00	402	0,69	11850	17,57
150	3550	0,10	523	2,79	1045	0,28	350	0,26	5468	3,43
200	4685	2,08	2425	9,37	1815	0,75	212	0,57	9137	12,77
300	700	0,11	165	1,29	385	0,19	65	0,04	1315	1,63
400	1460	0,13	241	0,41	465	0,72	312	0,13	2478	1,39
500	1055	0,43	356	1,15	405	0,27	66	0,10	1882	1,95
750	1500	0,33	2055	3,71	540	0,96	—	—	4095	5,00
1000	1000	0,20	225	0,10	50	0,01	—	0,07	1275	0,38

Ниже зоны фотосинтеза количество фитопланктона обычно резко снижалось. Численность здесь, как правило, не превышала 10 млн. кл/м³ и чаще всего колебалась между 1,5—5 млн. кл/м³; биомасса обычно не превышала 5 мг/м³. Следует отметить, что с глубиной удельный вес диатомовых снижается и возрастает роль перидиниевых в общем развитии фитопланктона. Это наблюдалось как в Аденском заливе, так и в Красном море в его центральной и южной части (см. табл. 1 и 2).

Видовой состав ниже зоны фотосинтеза беден. Здесь обитают преимущественно мелкие виды *Glenodinium*, *Amphidinium*, *Gyrodinium* из перидиниевых и виды рода *Nitzschia* из диатомовых водорослей.

В Аденском заливе так же, как и в южной части Красного моря, наиболее богатый фитопланктон был в верхнем 25—50-метровом слое над скачком плотности, который находился на глубине 75—100 м и характеризовался хорошо выраженным градиентом плотности — 0,021 ед. усл. плотн.

Распределение фитопланктона летом (1963 г.)

Растительный планктон в центральной и южной части Красного моря в летний период отличался очень высокими значениями численности и биомассы, наиболее высокими у поверхности, где численность

фитопланктона на отдельных участках моря достигала 2 млрд. кл/м³. Максимальная численность 2,7 млрд. кл/м³ отмечена в южной части Красного моря. Средние значения численности в верхнем 25-метровом слое в центральном районе колебались от 200 до 600 млн. кл/м³. В южной части моря численность фитопланктона на поверхности была почти в 2 раза выше — до 1 млрд. кл/м³ (табл. 3). Как следует из приведенных данных, численность фитопланктона в Красном море летом в верхнем 50-метровом слое определялась массовым развитием сине-зеленых водорослей *Oscillatoria tieubautii* и *O. erythraea*. На их долю приходилось до 87—96% общей численности фитопланктона в центральной части моря и до 56—95% в южной. Абсолютные значения численности этих водорослей в южной части моря были примерно в 2 раза выше по сравнению с таковыми в центральной части.

Таблица 3

Средняя численность (Ч, тыс. кл/м³) и биомасса (Б, мг/м³) фитопланктона в Красном море и Баб-эль-Мандебском проливе летом (1963 г.)

Глубина, м	Pyrrhophyta		Bacillariophyta		Chrysophyta		Cyanophyta		Мелкие жгутиковые и прочие		Весь фитопланктон	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
Красное море, центральная часть												
0	2039	103,24	12248	303,97	2001	1,65	568023	78,40	6833	36,52	591144	523,78
25	1249	18,50	14411	50,40	1958	0,90	202251	32,16	5016	2,58	224885	104,54
50	1515	16,68	4344	35,00	2392	2,21	87090	13,40	4810	6,10	100151	73,39
75	1375	8,97	1575	38,59	3882	1,95	169	0,04	4584	0,65	11585	50,20
100	390	1,54	1117	2,94	2034	1,35	431	0,06	3771	8,68	7743	14,57
150	449	0,87	8078	230,03	5282	2,78	9538	1,64	5532	5,98	28879	241,30
200	22	0,04	1955	36,35	407	0,16	—	—	3388	0,70	5772	37,25

Красное море, южная часть

0	7053	176,74	39899	294,00	3316	2,32	938648	136,46	4572	1,71	993490	611,21
25	3737	142,79	14800	57,87	1679	0,63	32584	5,40	4997	2,01	57797	208,70
50	1816	24,54	11672	108,79	4953	5,44	136494	20,60	4965	1,45	159900	160,82
75	657	4,45	693	1,67	1932	1,49	4342	1,61	2037	3,14	9661	12,36
100	627	4,74	1951	11,35	1454	0,61	2783	0,93	2578	1,19	9393	18,82
150	25	0,40	3015	4,85	7854	2,39	333	0,08	3598	0,24	14825	7,96
200	601	18,44	767	2,06	596	1,42	58308	28,99	1827	1,21	62099	52,12

Баб-эль-Мандебский пролив

0	3773	142,14	54959	328,30	285	0,23	188290	25,80	5135	0,58	252442	497,05
25	4672	80,88	51106	305,60	19	0,03	5160	1,18	3366	0,22	64323	387,91
50	1591	15,68	3354	50,92	390	0,10	1746	0,03	3942	2,33	11023	69,06
75	468	6,59	1825	14,26	891	0,40	2084	0,92	1613	0,55	6881	22,72
100	290	1,82	3938	12,02	836	0,31	846	0,28	1357	0,88	7267	15,31

Массовое развитие сине-зеленых водорослей в летний период определило и общий характер вертикального распределения фитопланктона, особенно в верхнем слое зоны фотосинтеза. В обоих районах вертикальное распределение фитопланктона можно описать двухвершинной кривой. Первый, наиболее ярко выраженный максимум, приурочен к поверхности и обусловлен массовым развитием сине-зеленых водорослей, второй, значительно меньший, располагается на глубине 100—150 м. В этом слое часто наблюдалось большое количество мелких оливково-зеленых клеток коккоидной формы типа *Nostoc*. Большие скопления этих водорослей отмечены в центральной части на глубине 150 м.

Диатомовые, перидиниевые и кокколитофориды в общей численности фитопланктона играли небольшую роль. Только в нижних слоях зоны фотосинтеза глубже 75 м несколько увеличивалось процентное

содержание диатомовых и кокколитофорид. На глубине 150—200 м содержание диатомовых в общей численности фитопланктона возросло до 28—34% в центральной части Красного моря. С глубиной увеличались также и абсолютные значения численности кокколитофорид (см. табл. 3). Распределение перидиниевых водорослей было относительно равномерным, наибольшее их количество отмечалось на поверхности и с глубиной уменьшалось. Мелкие жгутиковые и другие систематические группы водорослей имели невысокую численность, хотя процентное содержание их с глубиной увеличивалось.

Биомасса фитопланктона, так же, как и его численность, летом характеризовалась относительно высокими значениями, особенно в верхнем слое до глубины 50 м. Максимальные значения биомассы на поверхности в центральном районе превышали 500 мг/м³, а в южном — 600 мг/м³. На отдельных станциях биомасса фитопланктона была более 1000 мг/м³. Максимальное ее значение — 1800 мг/м³ — отмечено на поверхности в центральной части моря.

Биомасса фитопланктона, в отличие от численности, в значительной степени определялась диатомовыми водорослями, биомасса которых на поверхности достигала 300 мг/м³, составляя 48—58% общей биомассы фитопланктона.

Присутствие в планктоне относительно крупных диатомей заметно повышало биомассу фитопланктона. К ним относятся некоторые виды рода *Rhizosolenia*, которые встречались как в центральной, так и в южной части Красного моря. Это такие виды, как *Rh. alata* f. *indica*, *Rh. imbricata* var. *shrubsolei*, *Rh. calcar avis*, *Rh. stolterfothii*, *Rh. cylindrus*, а также сравнительно мелкие виды, как *Rh. fragilissima*, *Rh. delicatula*. Численность этих видов была довольно высокая. Максимальные значения биомассы диатомовых водорослей (1234 мг/м³) отмечены на поверхности в центральной части. Здесь найдено большое количество сравнительно крупной диатомеи *Rhizosolenia imbricata* var. *shrubsolei*. С глубиной биомасса диатомовых водорослей заметно снижалась.

Перидиниевые водоросли, как указывалось, отличались низкой численностью. Однако биомасса их, благодаря присутствию относительно крупных видов, не была низкой. В планктоне довольно часто встречались представители рода *Ceratium* и *Dinophysis*. В наиболее богатом верхнем слое 0—50 м обнаружены *Ceratium trichoceros*, *C. trichoceros* var. *contrarium*, *C. tripos*. *Dinophysis miles*, *Pyrophacus horologicum*, *Peridinium globulus*, *Pyrodinium schilleri*. Они вносили заметный вклад в общую биомассу фитопланктона. Относительно крупные *Pyrocystis pseudonostilusa*, встреченные в центральной части моря в небольшом количестве на ст. 31, очень сильно повысили биомассу фитопланктона. Биомасса всего фитопланктона составляла 781 мг/м³, из них на долю *P. pseudonostilusa* приходилось 721 мг/м³. В среднем в верхнем 25-метровом слое биомасса перидиниевых водорослей колебалась от 100 до 200 мг/м³, в более глубоких слоях не превышала 20 мг/м³, в большинстве случаев значение ее составляло 1—2 мг/м³. В южной части моря на глубине 200 м биомасса фитопланктона повысилась до 18 мг/м³ за счет относительно крупных *Ceratium*.

Кокколитофорида отличались сравнительно низкими значениями биомассы и более или менее равномерным распределением по вертикали. Эти водоросли не имели четко выраженной приуроченности к определенным глубинам в пределах верхней 200-метровой толщи. В среднем биомасса кокколитофорид колебалась от десятых долей миллиграмма до 5 мг/м³. В планктоне встречались главным образом мелкие широко распространенные виды с размером клеток от 5—7 до 14 мкм. Наиболее массовыми были *Coccolithus huxleyi*, *Syracosphaera pulchra*, *Coccolithus fragilis*. Мелкие жгутиковые и другие малочисленные группы

водорослей имели низкую биомассу и более равномерно распространялись по глубине.

Количественное развитие фитопланктона в Баб-эль-Мандебском проливе было несколько ниже, численность его здесь не превышала 250 млн. кл/м³ на поверхности и с глубиной значительно уменьшалась (см. табл. 3). Сине-зеленые водоросли в больших количествах отмечены только на поверхности. Преобладали диатомовые, особенно по биомассе. Средние ее значения в слое 0—25 м составляли более 300 мг/м³, или 66—78% общей массы фитопланктона. В слое 50—100 м абсолютные значения биомассы и численности диатомовых резко снижались. Роль перидиниевых уменьшалась, особенно по численности, однако их биомасса была сравнительно высока за счет крупных видов. Содержание кокколитофорид и остальных групп водорослей в слое фотосинтеза было невелико.

Распределение фитопланктона по глубине летом определялось сложным характером водообмена между Красным морем и Аденским заливом. В южной части Красного моря и в Баб-эль-Мандебском проливе существует трехслойное течение [5, 8]. Из Красного моря с поверхностным и придонным течениями поступают в Аденский залив более теплые и соленые воды с пониженным содержанием питательных солей. Богатые биогенными элементами, более холодные и менее соленые воды Аденского залива поступают в Красное море по промежуточному слою на глубине 40—85 м. Такое резкое различие гидрологических и гидрохимических характеристик вод в пределах верхних 200 метров оказывало большое влияние на распределение фитопланктона. Большие скопления сине-зеленых водорослей на поверхности в южной части моря обусловлены, с одной стороны, их массовым развитием, с другой — их переносом поверхностным течением из центральных районов. Увеличение численности и биомассы диатомовых в южной части на глубине 50 м в 3 раза по сравнению с центральным районом на той же глубине связано с притоком аденских вод. Ход кривых вертикального распределения численности и биомассы фитопланктона в Красном море и Баб-эль-Мандебском проливе в основном определялся наличием и местоположением слоя скачка плотности, его градиентом и содержанием биогенных элементов (см. табл. 3). Слой скачка плотности был хорошо выражен и располагался в Красном море и в Баб-эль-Мандебском проливе. Максимальные значения градиента плотности наблюдались в Красном море и в Баб-эль-Мандебском проливе. Относительно высокое содержание биогенных элементов отмечалось в зоне фотосинтеза.

Распределение фитопланктона осенью (1963 г.)

Количество фитопланктона в осенний период было заметно ниже, чем летом. Численность планктона, как и летом, определяло массовое развитие сине-зеленых водорослей *Oscillatoria tiebautii*, *O. erythraea*, однако максимум их численности, отмеченный в центральной части Красного моря, не превышал 1 млрд. кл/м³ на поверхности.

Самая низкая численность фитопланктона отмечена в северной части Красного моря (табл. 4). В верхнем, наиболее населенном водорослями слое 0—50 м численность и биомасса колебались в пределах 10—18 млн. кл/м³ и 14—21 мг/м³. В слое 0—25 м около 50% численности фитопланктона приходилось на долю сине-зеленых водорослей и примерно столько же по биомассе составляли перидиниевые. Содержание остальных систематических групп водорослей в общей численности фитопланктона было примерно на одном уровне. По биомассе несколько

преобладали диатомовые. В нижнем слое зоны фотосинтеза (50—100 м) численность фитопланктона снизилась до 4 млн. кл/м³.

Слой скачка плотности осенью располагался на глубине 50—70 м, здесь был отмечен максимум биомассы фитопланктона. Градиент плотности в этом слое составлял 0,030 ед. усл. плот. Наиболее высокая численность наблюдалась на поверхности и на глубине 50 м за счет сине-зеленых водорослей. В более глубоких слоях количественные характеристики развития фитопланктона были низкими — до 2 млн. кл/м³ и от 1 до 4 мг/м³.

Таблица 4

Средняя численность (Ч, тыс. кл/м³) и биомасса (Б, мг/м³) фитопланктона в Красном море осенью (1963 г.)

Глубина, м	Pyrrhophyta		Bacillariophyta		Chrysophyta		Cyanophyta		Мелкие жгутиковые и прочие		Весь фитопланктон	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
Северная часть												
0	1465	8,35	1604	4,50	3354	1,95	7738	1,93	3450	0,48	17611	17,21
10	1598	6,80	348	3,25	1244	1,14	8999	2,04	2696	0,80	14885	14,03
25	1460	11,80	1017	2,86	1523	1,59	3301	0,83	2726	0,88	10027	17,96
50	735	8,60	699	6,47	994	0,93	13996	4,37	1123	0,37	17517	20,74
75	688	6,98	787	14,65	650	1,07	—	—	1975	1,05	4100	23,75
100	425	0,71	483	0,60	1075	0,64	80	0,02	2005	0,66	4069	2,63
150	238	0,64	428	0,50	956	0,46	—	—	613	0,89	2235	2,49
200	145	1,18	260	0,15	183	0,15	175	0,04	425	0,86	1188	2,38
300	120	1,36	302	2,29	525	0,44	—	—	548	0,04	1495	4,13
500	18	0,41	185	0,25	95	0,12	45	0,01	438	0,08	781	0,87
Центральная часть												
0	1838	12,55	2031	18,61	777	0,50	270399	37,42	1506	0,71	276551	69,79
10	2735	23,12	4523	32,22	3338	1,29	172049	23,60	3278	0,35	185923	80,58
25	2428	19,32	1306	12,66	1752	1,59	97811	13,46	1454	0,29	104751	47,32
50	466	2,52	1094	9,22	1349	0,88	2152	0,29	898	0,44	5959	13,35
75	803	3,55	943	1,54	1262	1,55	1348	0,19	1323	1,14	5679	7,97
100	365	2,94	1064	8,34	896	0,78	50	0,00	811	0,41	3186	12,47
150	1238	2,61	203	0,95	466	0,23	597	0,08	347	0,02	2851	3,89
200	122	0,53	167	0,17	95	0,08	25	0,00	388	0,12	797	0,90
300	133	2,25	372	0,32	208	0,19	40	0,00	406	0,29	1159	3,05
400	3672	7,68	125	0,19	373	0,15	60	0,05	567	0,39	4797	8,46
500	70	0,77	312	0,80	1107	0,26	566	0,05	473	0,10	2528	1,98
750	—	—	260	0,29	40	0,07	—	—	120	0,01	420	0,37
1000	75	1,38	125	0,60	50	0,03	25	0,00	175	0,03	450	2,04
Южная часть												
0	1968	15,21	19772	133,60	3292	3,03	66363	10,37	2370	0,16	93765	162,37
10	2335	24,20	19208	95,78	3971	3,74	56280	8,35	2970	0,32	84964	132,39
25	1495	10,18	14109	98,17	4368	1,62	21483	3,22	1902	0,50	43357	113,69
50	470	26,91	7510	128,47	2378	4,40	2840	0,26	1525	0,11	14723	160,15
75	1218	4,23	5013	6,27	3312	0,57	—	—	1780	0,11	11323	11,18
100	150	0,63	300	4,20	505	0,37	1240	0,31	750	0,05	2945	5,56
150	195	0,42	660	0,78	75	0,07	—	—	135	0,01	1065	1,28
200	20	0,02	200	2,07	21	0,02	—	—	140	0,01	380	2,12
300	—	—	115	0,23	60	0,02	—	—	130	0,01	305	0,26
400	—	—	60	2,19	165	0,04	—	—	90	0,01	315	2,24
500	—	—	15	0,01	—	—	—	—	75	0,01	90	0,02

В центральной части Красного моря значения численности фитопланктона были очень высокими в верхнем 25-метровом слое и превышали таковые северной части более чем на порядок. Здесь наблюдалось массовое развитие сине-зеленых водорослей, количество которых достигало на поверхности 270 млн. кл/м³, что составляло 98% общей числен-

ности фитопланктона. Биомасса их на поверхности составляла более 50%, на глубине 10—25 м около 30% общей биомассы фитопланктона. Содержание перидиниевых, диатомовых и кокколитофорид по численности было невелико — до 30%, однако биомасса первых двух групп в слое 0 — 25 м достигала 23—32 мг/м³, или 30—40%. Количество фитопланктона, начиная с глубины 50 м, резко уменьшалось (59 млн. кл/м³, 13 мг/м³ и ниже), а на глубине 750—1000 м численность фитопланктона измерялась в пределах 420—450 тыс. кл/м³ (см. табл. 4).

Таблица 5

Средняя численность (Ч, тыс. кл/м³) и биомасса (Б, мг/м³) фитопланктона в Баб-эль-Мандебском проливе осенью (1963 г.)

Глубина, м	Pyrrhophyta		Bacillariophyta		Chrysophyta		Cyanophyta		Мелкие жгутиковые и прочие		Весь фитопланктон	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
0	2204	11,18	27012	121,37	7617	6,69	2300	0,57	2875	0,19	42008	140,00
10	1230	17,54	20520	94,17	8394	9,82	2404	0,33	2367	0,27	34915	122,13
25	1504	15,18	26145	135,23	5600	4,45	—	—	1950	0,13	35199	154,99
50	2568	45,17	14542	52,32	6320	4,69	—	—	1913	1,24	25343	103,42
75	610	11,05	5773	23,13	3547	3,01	—	—	1258	1,13	11188	38,32
100	92	4,14	9325	43,52	2275	1,50	1100	0,27	840	0,06	13632	49,49
150	270	3,60	4137	20,19	1303	0,84	—	—	890	0,06	6600	24,69
200	88	2,53	4042	14,29	1467	0,89	—	—	698	0,05	6295	17,76

Таблица 6

Средняя численность (Ч, тыс. кл/м³) и биомасса (Б, мг/м³) фитопланктона в Аденском заливе осенью (1963 г.)

Глубина, м	Pyrrhophyta		Bacillariophyta		Chrysophyta		Cyanophyta		Мелкие жгутиковые и прочие		Весь фитопланктон	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
0	2478	19,63	11967	56,83	10510	15,65	—	—	3914	0,61	28869	92,72
10	1493	11,46	5149	39,98	15246	16,61	—	—	3323	0,51	25211	68,56
25	1958	15,74	14300	62,28	10520	11,66	1600	0,22	3002	0,34	31380	90,24
50	934	11,30	12942	62,94	8023	8,60	386	0,09	2373	2,07	24658	85,00
75	527	2,55	10639	56,22	2304	2,58	125	0,01	1024	0,28	14619	61,64
100	507	1,68	4245	15,63	1914	1,85	—	—	2202	0,54	8868	19,70
150	231	0,83	1172	6,30	654	0,72	—	—	494	0,03	2551	7,88
200	5410	9,84	500	6,69	385	0,37	—	—	1028	0,07	7323	16,97
300	30	0,29	464	1,82	244	0,13	—	—	234	0,02	972	2,26
400	8	0,01	353	0,70	130	0,04	—	—	108	0,01	599	0,76
500	531	1,02	249	1,13	91	0,09	—	—	127	0,03	998	2,27
750	13	0,04	303	1,02	60	0,05	—	—	75	0,00	451	1,11
1000	30	0,03	118	0,31	96	0,03	—	—	86	0,01	330	0,38
1250	23	0,02	177	3,19	57	0,03	—	—	53	0,00	310	3,24
1500	8	0,01	155	0,11	58	0,02	—	—	57	0,00	278	0,14
1750	—	—	10	3,21	10	0,03	—	—	15	0,00	35	3,24
2000	90	1,74	270	0,35	90	0,03	—	—	120	0,01	570	2,13

Фитопланктон в южной части Красного моря отличался более низкими значениями численности — менее 100 млн. кл/м³. В этом районе численность сине-зеленых заметно снизилась. В верхнем слое 0—25 м насчитывалась всего до 66 млн. кл/м³ и меньше. Однако биомасса фитопланктона возросла до 130—170 мг/м³, главным образом за счет крупных диатомовых водорослей, а также увеличения численности мелких видов. Ниже зоны фотосинтеза количество водорослей резко уменьшалось. В этом слое численность и биомасса фитопланктона были на таком же уровне, как и в глубинных слоях центральной части моря — до 1 млн. кл/м³ и 1—2 мг/м³ (см. табл. 4).

В Баб-эль-Мандебском проливе численность фитопланктона была ниже, чем в южной части Красного моря (11—42 млн. кл/м³). Биомасса оставалась такой же, как и в южной части. Содержание сине-зеленых еще больше снизилось в проливе, а роль диатомовых водорослей, как и в южной части моря, возросла. Перидиниевые и кокколитофориды имели здесь меньший удельный вес (табл. 5).

В Аденском заливе фитопланктон беднее, чем в Баб-эль-Мандебском проливе и в южной части Красного моря. Численность его здесь составляла в верхнем 50-метровом слое до 31 млн. кл/м³, а биомасса — 92 мг/м³. Диатомовые водоросли занимали доминирующее положение и по численности и по биомассе. Перидиниевые и кокколитофориды имели гораздо меньшее значение, а роль сине-зеленых водорослей была ничтожно мала. Основная масса водорослей распределялась над скачком плотности выше 75 м. На глубине 100 м и ниже численность и биомасса фитопланктона резко снижались (табл. 6).

В распределении фитопланктона в Баб-эль-Мандебском проливе и в Аденском заливе наблюдалось два максимума, примерно одинаковых по величине: первый — на поверхности, второй — на глубине 25 м. По всей вероятности, распределение фитопланктона в этих районах в значительной степени определялось горизонтальными течениями.

Выводы

Сезонные изменения количественного развития фитопланктона и его вертикальное распределение в Красном море и Аденском заливе обусловлены сезонными колебаниями динамических процессов в море в результате сезонной смены муссонных ветров. Их направление определяет характер поверхностных течений в Красном море и Аденском заливе и водообмен между ними.

Распределение фитопланктона по глубинам в Красном море и Аденском заливе неравномерно. Наиболее богатый фитопланктоном верхний 25—50-метровый слой. Наличие слоя скачка плотности, его значение и местоположение в значительной мере определяли вертикальное распределение фитопланктона.

Зимой в северном районе Красного моря при отсутствии слоя скачка плотности наблюдается интенсивное конвективное перемешивание. Фитопланктон из верхних слоев с токами воды уносится на большие глубины, при этом зона фотосинтеза постоянно обедняется. Фитопланктон распределяется более или менее равномерно и уменьшение его количества по мере увеличения глубины происходит постепенно.

Осенью, как и зимой, фитопланктон в северной части характеризуется относительной бедностью и сравнительно равномерным распределением по глубинам. Незначительное повышение численности и биомассы фитопланктона на глубине 50—75 м наблюдалось в слое скачка плотности. Относительно глубокое и равномерное распределение фитопланктона в этом районе, по-видимому, следует связывать с началом зимнего конвективного перемешивания.

Центральный и южный районы Красного моря были значительно богаче фитопланктоном. Здесь в летне-осенний период развивались в массовом количестве сине-зеленые водоросли, которые и определяли общую численность фитопланктона в этих районах. Распределение фитопланктона в значительной степени определял водообмен между Красным морем и Аденским заливом. В зимнем планктоне преобладали диатомовые водоросли, особенно в южной части моря.

В центральном и южном районах Красного моря во все сезоны наблюдений отмечен слой скачка плотности. Наиболее богатый фитопланктоном слой обычно находился над ним и значительно реже в са-

мом слое скачка. Градиент плотности и содержание биогенных элементов в Красном море увеличиваются с севера на юг. Это и определяет, главным образом, характер распределения фитопланктона в зоне фотосинтеза. Наличие хорошо выраженного слоя скачка плотности и повышенное содержание питательных солей обуславливают интенсивное развитие фитопланктона в верхнем слое зоны фотосинтеза и затрудняют опускание водорослей в нижние слои.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белогорская Е. В. Распределение фитопланктона в Красном море и Аденском заливе в зимний период.— В кн.: Некоторые результаты исследований III Красноморской экспедиции. К., 1967, с. 5—16.
2. Белогорская Е. В. Качественное и количественное распределение фитопланктона в Красном море и Аденском заливе в октябре и ноябре 1963 г.— Биология моря, К., 1970, вып. 21, с. 133—152.
3. Белогорская Е. В. Распределение фитопланктона в Красном море летом 1963 г.— Биология моря, К., 1971, вып. 24, с. 111—125.
4. Белогорская Е. В. Распределение биомассы фитопланктона в Красном море и Аденском заливе.— В кн.: Биологическая продуктивность южных морей. К., 1974, с. 246—260.
5. Богданова А. К. Гидрологические условия в Красном море и Аденском заливе по наблюдениям э/с «Академик А. Ковалевский».— Океанол. исследования, 1966, № 15, с. 45—68.
6. Добержанская М. А. Содержание и распределение фосфатов в Красном море и Аденском заливе.— В кн.: Биологическая продуктивность южных морей. К., 1974, с. 238—246.
7. Киселев И. А. Панцирные жгутиконосцы. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950. 279 с.
8. Серый В. В. О водообмене между Красным морем и Аденским заливом.— Океанол. исследования, 1967, № 19, с. 195—200.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского

Поступила в редколлегию
10.07.77

Е. V. Belogorskaja

VERTICAL DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON IN THE RED SEA AND THE GULF OF ADEN

Summary

Results of quantitative processing of 530 bathymetric samples are analyzed. The sampling was performed in summer, autumn and winter seasons at 70 stations arranged over the whole water area of the Red Sea and adjacent part of the Gulf of Aden. Average of the phytoplankton amount and biomass are presented for the mentioned seasons in the northern, central and southern parts of the sea with subdivision into the main taxonomic groups at different depths from 0 to 500-1000 m. Peculiarities of phytoplankton distribution are considered in interrelated with the hydrological structure of water masses.

УДК 581.524.43.585.341

Т. Ф. Нарусевич, Э. А. Михайлов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА И ПРОЗРАЧНОСТИ В ПЕРИОД ЗИМНЕГО МУССОНА В АРАВИЙСКОМ МОРЕ

При исследовании физических и биологических процессов в океане все большее распространение получают оптические методы. Работами Г. Г. Неуймина и Н. А. Сорокиной [4] показано наличие тесной связи между показателем ослабления направленного света в воде и гидрологическими и гидрохимическими характеристиками.