

ПРОВ 98

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

ПРОВ 2010

ЛРФ. 1980

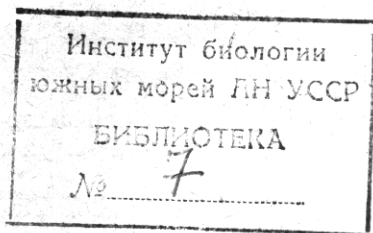
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 47

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА
И ЮЖНЫХ МОРЕЙ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1978

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. Добжанская 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

E. 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.

Целью наших работ являлось изучение взаимосвязи распределения растительного планктона и прозрачности при различных гидрологических ситуациях в Аравийском море в период зимнего муссона.

Материал собрали в пятом рейсе НИС «Академик Вернадский» в феврале—марте 1972 г. 5-литровым батометром. Одновременно определяли прозрачность. Фитопланктон обрабатывали осадочным методом.

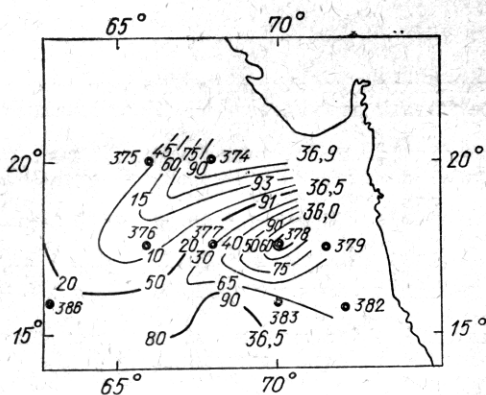


Рис. 1. Схема станций, выполненных в Аравийском море в период пятого рейса НИС «Академик Вернадский». Расположение изогалин по данным отряда гидрологии. Цифры на изолиниях показывают глубину залегания, в начале изолиний — соленость.

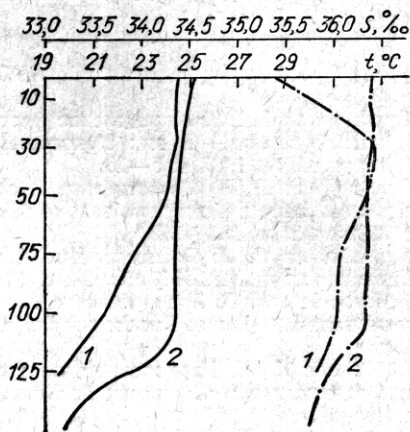


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры (сплошные линии) и солёности (штрихпунктирные), на ст. 377 (1) и 386 (2).

Серия разрезов (рис. 1) позволила получить интересную картину распределения фитопланктона и прозрачности в зависимости от расположения зон подъема и опускания вод, содержания в них биогенных элементов и кислорода (см. таблицу). Зона дивергенции в центральной части Аравийского моря проходит между двумя циркуляциями, обусловленными существующей системой течений в период зимнего муссона, и прослеживается на карте распределения солёности (см. рис. 1, данные отряда гидрологии). Подобную систему течений ранее отмечал И. М. Овчинников [5].

Подъем нижележащих слоев воды к поверхности моря является благоприятным фактором для развития фито- и зоопланктона, что ведет к созданию зоны пониженной прозрачности. Максимальные значения показателя ослабления направленного света в воде отмечены на станциях 377 и 386, расположенных в зоне дивергенции течений, где они достигают $0,2 \text{ м}^{-1}$. Севернее и восточнее этих станций показатель ослабления света постепенно уменьшается до $\epsilon = 0,1 \text{ м}^{-1}$.

Наиболее интенсивный подъем вод наблюдался на ст. 377. Здесь на глубине 100 м отмечено минимальное насыщение кислородом по сравнению со всеми другими станциями, равное 12,3%. На этой станции на поверхности содержание кислорода было также пониженным и составляло 93%. В прежних исследованиях Аравийского моря отмечалось, что в зонах дивергенции течений степень насыщения воды кислородом даже на поверхности в ряде случаев достигала 99—97%, несмотря на повышенное развитие фитопланктона [3]. Доказательством интенсивного подъема богатых биогенными элементами вод на ст. 377 может служить и слабый, постоянный наклон кривых температуры и солёности к поверхности (рис. 2). Наибольшее количество фосфатов, в среднем

Распределение численности фитопланктона и показателя ослабления направленного света в воде при $\lambda=442$ нм в зависимости от гидрологических и гидрохимических условий в Аравийском море в период зимнего муссона (28. II—9. III 1972 г.)

Номер станции	Горизонт, м	Численность, тыс. кл/л	Показатель ослабления K_d , усл. ед.	Количество фосфатов, мкг/л	Насыщение O_2 , %	t , °C	S , ‰
374	0	264,0	70	8,5	101,9	23,60	36,617
374	15	84,7	59	11,5	101,5	23,57	36,775
374	33	99,4	50	16,8	92,0	23,40	36,938
374	50	152,7	48	24,0	83,0	23,17	36,971
374	100	299,0	46	23,0	88,0	23,15	36,992
374	150	31,1	—	—	—	19,50	36,461
375	0	278,6	94	11,0	100,0	24,21	36,576
375	15	443,5	101	9,9	95,0	24,18	36,568
375	50	268,5	70	14,6	91,0	23,98	36,563
375	90	231,0	65	32,8	58,0	23,20	36,375
375	100	176,3	55	37,4	50,0	21,93	36,304
375	125	20,2	—	—	—	19,80	36,525
375	170	71,7	—	—	—	18,20	36,375
376	0	164,1	68	16,0	98,0	24,08	36,621
376	15	168,5	62	14,6	99,3	24,08	36,620
376	50	256,9	55	17,6	97,3	24,02	36,619
376	90	106,4	45	44,3	40,8	22,26	36,273
376	100	100,5	33	54,3	19,8	21,66	36,183
376	125	26,2	25	—	—	19,85	36,050
377	0	868,0	125	15,0	92,9	24,48	36,397
377	10	810,3	125	15,4	95,8	24,49	36,406
377	40	653,0	92	21,2	78,2	24,25	36,375
377	50	700,4	79	24,7	65,4	24,03	36,338
377	60	413,0	71	34,6	51,0	23,65	36,250
377	100	39,4	28	55,7	12,3	21,52	36,074
378	0	59,7	60	1,0	98,9	25,41	35,474
378	10	35,8	53	1,0	99,3	25,40	35,476
378	40	60,1	49	5,8	87,1	25,30	35,588
378	50	82,5	51	10,1	75,6	25,21	35,834
378	100	24,5	30	31,2	29,1	22,43	35,934
378	160	33,5	25	—	—	17,78	35,638
378	180	119,1	33	—	—	17,18	35,750
379	0	39,0	56	5,5	101,0	25,59	35,226
379	10	41,6	47	5,5	101,0	25,58	35,280
379	55	32,1	35	8,0	98,9	26,18	36,138
379	100	10,0	27	33,3	34,5	23,82	36,016
382	0	45,5	53	3,5	101,0	26,85	35,165
382	10	104,7	51	5,2	101,0	26,75	35,169
382	25	23,9	56	7,9	101,0	26,60	35,175
382	40	69,0	44	10,8	100,5	26,55	35,213
382	75	42,0	43	15,7	90,5	26,26	36,331
382	100	50,7	33	30,2	62,4	25,56	36,070
382	150	8,3	27	—	—	19,86	35,388
383	0	17,7	47	10,4	103,0	26,81	36,140
383	10	62,6	44	16,3	102,5	26,60	36,136
383	20	36,7	47	22,2	102,1	26,39	36,131
383	50	23,0	39	21,3	98,6	26,21	36,283
383	70	38,7	44	20,8	77,6	26,15	36,43
383	100	28,6	29	15,9	23,1	23,10	36,137
386	0	229,3	111	12,5	110,0	25,24	35,415
386	10	228,0	128	13,6	107,0	25,05	35,796
386	15	467,0	127	14,2	105,5	24,95	36,000
386	20	239,0	119	14,7	104,0	24,86	36,177
386	30	345,5	78	15,8	100,0	24,69	36,423
386	50	122,9	38	18,1	94,0	24,43	36,378
386	75	35,8	29	21,3	93,8	25,41	36,385
386	125	107,7	27	—	—	22,80	36,000

Примечание. Гидрологические и гидрохимические данные получены из фондов МГИ АН УССР.

27 мкг/л, для горизонтов от 0 до 100 м наблюдалось также на этой станции.

Обильный приток питательных солей, хорошая освещенность и пр. создали благоприятные условия для интенсивного развития здесь фитопланктона. Численность его в поверхностных горизонтах достигает максимальных величин (868 тыс. кл/л) за счет преобладающего развития

диатомовых водорослей, представленных видами из родов *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia* и др.

Высокая численность фитопланктона (467 тыс. кл/л) отмечена и на ст. 386, расположенной тоже в зоне дивергенции. Однако на этой станции уже отмечается образование слоя скачка плотности (см. рис. 2), и некоторое уменьшение фосфатов (см. таблицу) по сравнению со ст. 377. В фитопланктоне преобладали диатомовые водоросли, подавляющая часть которых была представлена различными видами рода *Nitzschia*, особенно *N. delicatissima* Cl. Таким образом, при продолжающемся подъеме глубинных вод и при условии «старения» вод (в результате образования слоя с высокой устойчивостью и связанным с этим снижением концентрации биогенных элементов) в планктоне

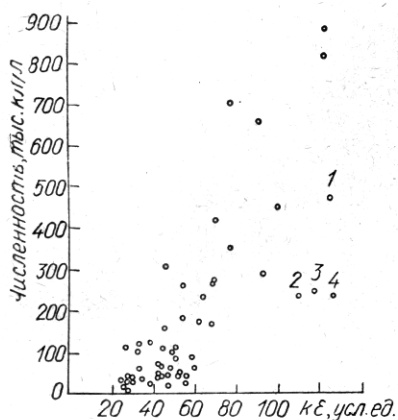


Рис. 3. Соотношение между численностью фитопланктона и показателем ослабления направленного света в воде K_d при $\lambda=442$ нм в Аравийском море:

1—4—горизонты 0, 10, 15 и 20 м (ст. 386).

начинают доминировать мелкие формы диатомовых водорослей. Это подтверждают и данные Л. А. Виноградовой [1]. Образование слоя скачка плотности на ст. 386 (см. рис. 2), а вследствие этого и уменьшение вертикального обмена (температура в слое 0—110 м уменьшилась лишь на 1°), в сочетании с высокой скоростью фотосинтеза привели к пересыщению вод кислородом, максимальное содержание которого (110%) было отмечено в поверхностном слое.

Богатая кормовая база на ст. 386 обусловила развитие зоопланктона, максимальное количество которого здесь в более «старой» воде составляло 19,5 тыс. экз/м³ и было в 4 раза больше максимума в относительно «молодой» воде (5,3 тыс. экз/м³) на ст. 377. Однако средняя численность зоопланктона в слое 0—100 м (3,8 тыс. экз/м³) на ст. 377 была в 2 раза выше, чем на станциях 378, 379, 382 и 383, расположенных в основном в зоне опускания «старых» вод, которые отличались и пониженным содержанием фосфатов. Численность растительного планктона и значения показателя ослабления направленного света в воде на этих станциях не достигают высоких значений, отмеченных в зоне подъема вод. В фитопланктоне преобладают представители таких систематических групп, как *Ryngophyta*, *Chrysophyta*, *Chlorophyta*, а также *Synophyta*, при невысокой общей численности (в среднем около 60 тыс. кл/л).

Высокие значения фитопланктона в слоях пониженной прозрачности получены на станциях 374, 375, 376. На всех станциях блок-разреза распределение фитопланктона и прозрачности взаимосвязано с гидрологическими и гидрохимическими условиями. На некоторых горизонтах, особенно при повышенном содержании биогенных элементов, нередко отмечалась высокая численность фитопланктона, обусловленная сине-зелеными водорослями типа *Nostoc* с размерами клеток до 5 мкм. Благодаря малым размерам, а также некоторым морфологи-

ческим особенностям, отличающим их от других систематических групп водорослей, влияние их на прозрачность воды незначительно, однако некоторое уменьшение прозрачности наблюдается, например, на горизонте 180 м ст. 378 (см. таблицу).

Особенно высоким содержанием зоопланктона (7,2—19,5 тыс. экз/м³) и панцирных жгутиковых водорослей рода *Ceratium* (53,1—69,4 тыс. экз/м³) отличались верхние горизонты ст. 386 (рис. 3). Очевидно, пониженная прозрачность здесь обусловлена не только высокой численностью фитопланктона, но и богатством этих вод зоопланктоном. Коэффициент корреляции между численностью фитопланктона и показателем k_e , вычисленный без учета точек 1, 2, 3, 4 рис. 3, составляет $0,864 \pm 0,036$, а для всех полученных данных — $0,764 \pm 0,057$.

Как известно, температура и соленость морской воды непосредственно не могут влиять на прозрачность. Их воздействие опосредовано гидродинамическими и биологическими процессами, происходящими в океане. При тех или иных условиях температуры и солености, определяющих плотность воды, происходит ослабление или усиление гидродинамических процессов, способствующих подъему вод, обогащенных питательными солями, наличие которых, в свою очередь, определяет развитие растительного планктона и вызывает понижение прозрачности. Так, в тропической Атлантике отмечено соответствие области максимальных значений k_e областям максимальных значений фосфатов [7].

Однако интенсификация гидродинамических процессов является благоприятным фактором лишь до определенного предела. В районе усиленных течений и подъема вод нередко отмечается наличие «пустой» воды, без признаков обильного развития планктона, хотя и при высоком содержании биогенных элементов [2]. Наши наблюдения в Аравийском море были выполнены в период окончания зимнего муссона. В центральной части моря отмечено максимальное развитие диатомовых водорослей со средними объемами клеток (более 1000 мкм³), что соответствует второй стадии сукцессии растительного сообщества [6]. Здесь в зоне дивергенции (ст. 377) при почти полном отсутствии выраженного скачка плотности (см. рис. 2) и высоком содержании фосфатов отмечены максимальные значения показателя ослабления направленного света в воде, обусловленные обильным развитием фитопланктона.

Таким образом, выполненные нами исследования показали тесную зависимость между количественным развитием фитопланктона и показателем ослабления направленного света в воде k_e при $\lambda = 442$ нм с коэффициентом корреляции $0,764 \pm 0,057$.

В зоне интенсивного подъема «молодых вод», обогащенных фосфатами, при отсутствии выраженного скачка плотности отмечено максимальное развитие растительного планктона, обусловившее и максимальные значения показателя ослабления. В области дивергенции отмечены максимальные значения показателя ослабления направленного света в воде в менее «молодых» водах с более развитым зоопланктоном. Наряду с фитопланктоном понижение прозрачности здесь было обусловлено обильным развитием зоопланктона. В зоне опускания вод численность растительного планктона и показатели ослабления света высоких значений не достигают.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова Л. А. Сезонное развитие фитопланктона в Гвинейском заливе.— В кн.: Продукционная зона экваториальной Атлантики и условия ее формирования. Калининград, 1971, с. 117—159.
2. Виноградов М. Е. Изучение экосистем пелагиали восточно-тихоокеанских апвеллингов во время 17-го рейса НИС «Академик Курчатов».— В кн.: Экосистемы пелагиали Тихого океана. М., 1975, с. 7—17.

3. *Иваненков В. Н., Винтовкин В. Р., Шацков К. З.* Распределение кислорода в водах северной части Индийского океана.— В кн.: Исследования Индийского океана (33 рейс научно-исследовательского судна «Витязь»).— Тр. ин-та океанологии СССР, 1964, М., с. 115—127.
4. *Неуймин Г. Г., Сорокина Н. А.* О корреляции между вертикальными распределениями оптических и гидрологических характеристик в океане.— Океанология, 1976, 17, вып. 3, с. 441—450.
5. *Овчинников И. М.* Циркуляция вод северной части Индийского океана в период зимнего муссона.— Океанол. исследования, 1961, № 4, с. 18—24.
6. *Семенова С. Н.* Динамика размерного состава водорослей в процессе сукцессионного изменения фитоценоза у Северо-Западного побережья Африки.— I съезд советских океанологов. М., 20—25 июня 1977 г. Доп. к тез. докл., М., 1977, с. 00—00.
7. *Сорокина Н. А., Тимохина Р. К.* О связи прозрачности вод с гидрологическими характеристиками в промысловых районах Тропической Атлантики.— Мор. гидрофиз. исследования, 1972, № 1, с. 160—167.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР
Морской гидрофизический институт
АН УССР

Поступила в редколлегию
20.09.77

T. F. Narusevich, E. A. Mikhajlov.

DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON AND TRANSPARENCY IN THE PERIOD OF WINTER MONSOON IN THE ARABIAN SEA

Summary

The article deals with the results of parallel studies of water transparency and phytoplankton amount in different water layers performed at some stations in the spring of 1972. A close correlation (coefficient 0,764) is found between the plankton concentration and index of the directed light weakening in water at $\lambda=442$ nm. Simultaneously the dependence of these parameters distribution on the hydrological structure of waters, in particular, density stratification is shown.

УДК 551.464.618.577.475:581.526.325

Д. К. Крупаткина

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ФИТОПЛАНКТОНА В СВЯЗИ С СОДЕРЖАНИЕМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КЛЕТКАХ

Минеральное питание является одним из основных факторов, определяющих уровень первичной продукции. Однако показать четкую зависимость между концентрацией биогенов в морской воде и величиной первичной продукции весьма трудно. Обогащение морской воды питательными солями не всегда повышает фотосинтез водорослей даже при аналитическом нуле фосфора и азота в среде [1]. Как показали эксперименты с культурами морских планктонных водорослей, фотосинтез зависит еще и от содержания биогенов в клетке, которое определяется предшествующими условиями питания и может варьировать в очень широких пределах. Например, одноклеточные водоросли могут запасать фосфор в количествах, которые до 30 [5], а азот — до 5 раз [22] превышают потребности клетки. Поэтому фотосинтез водорослей при аналитическом нуле фосфора и азота в среде сразу не прекращается, а продолжается за счет клеточных запасов.

Поскольку отсутствуют методы разделения детрита, фито- и зоопланктона, химическим анализом невозможно сколько-нибудь точно определить количество фосфора и азота в фитопланктоне. Степень его обеднения этими элементами оценивали лишь косвенно по изменению физиологических показателей и пигментного состава, т. е. по пониже-