

ПРОБ 2010

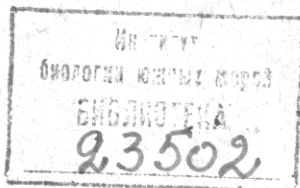
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

БИОЛОГИЯ МОРЯ

Вып. 21

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В КРАСНОМ И АРАВИЙСКОМ МОРЯХ

Республиканский межведомственный сборник



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»

КИЕВ — 1970

M o r i t a R.J. a. H o w e R.A. Phosphatase activity of marine bacteria under hydrostatic pressure. - Deep-Sea Res., 4, 4, 1957.

M u r p h y J.a. R i l e y J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. - Anal. Chim. Acta, 27, 1, 1962.

P r a t t D.M. Experimental study of the phosphorus cycle in fertilized sea water. - J. Mar. Res., 9, 1, 1950.

R e n n C.E. Bacteria and phosphorus cycle in the sea. - Biol. Bull., 72, 1, 1937.

Z o B e l l C.E. Marine microbiology. - Waltham, Mass., U.S.A., 1946.

О ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ КРАСНОГО МОРЯ И АДЕНСКОГО ЗАЛИВА

Н.Н.Хмелева

Количественные данные, характеризующие интенсивность новообразования органического вещества фитопланктоном в Красном море и Аденском заливе, крайне ограничены. Непосредственные определения первичной продукции по интенсивности фотосинтеза в этих районах не проводились. Имеются лишь некоторые величины, рассчитанные по содержанию хлорофилла /*Yentsch, Wood, 1961*, цит. по *Neumann, McGill, 1962*/ и по суточному приросту клеток водорослей /*Кондратьева, 1967*/, причем первое из них относится к весенне-летнему сезону /май - июнь 1958 г./ и выполнено на 5 станциях в Красном море и 3 - в Аденском заливе. Наблюдения второго автора относятся к зимнему периоду /декабрь - январь 1962 г./ и основаны на двух суточных определениях в Красном море и одном - в Аденском заливе. После исследований, описанных в настоящей статье, в период смены зимнего муссона на летний / в мае/ были сделаны два измерения первичной продукции радиоуглеродным методом на входе в Аденский залив и между м.Гвардафуй и о.Сокотра /Заика, Гордина, Ковалева, Кузьменко, 1967/.

Величины первичной продукции были получены в октябре - ноябре 1963 г., во время П Красноморской экспедиции нис "Академик А.Ковалевский" на 18 станциях в Красном море и 6 станциях в Адянском заливе /рис.1/. Определения проводили с помощью радиуглерода по методике, предложенной Е.Стиманом-Нильсеном /Steeman-Nielsen, 1952/ в соответствии со схемой Ю.И.Сорокина /1956, 1958/. Радиуглерод использовали в виде раствора карбоната натрия, предварительно расфасованного в ампулы по 10 - 20 μ Ci в 1 мл. Расфасовку раствора радиоуглерода, так же как и определение его исходной активности, производили согласно имеющейся инструкции /Винберг, Кабанова, Кобленц-Мишке, Хмелева и др., 1960/. В склянки с пробами воды, объемом 100-200 мл, с помощью шприца вносили по 1 мл радиоактивного раствора и экспонировали их либо в инкубационном боксе на палубе, либо подвешивали к специальному бую за бортом корабля. В палубном инкубаторе во время экспозиции обеспечивался постоянный проток заборной воды, так что температура опыта соответствовала поверхностной температуре воды в море. По окончании опыта радиоактивный фитопланктон из склянок осаждали фильтрацией на мембранные фильтры № 5 с диаметром порядка 1 μ . Радиоактивность фильтров после соответствующей их обработки определяли на счетчике МСТ-17. Зависимость фотосинтеза от подводной освещенности / K_T / измеряли на суточных станциях в северной, средней и южной частях Красного моря и Адянском заливе. При этом склянки заполняли однородной пробой воды, полученной путем смешения ряда проб, взятых с 9-10 горизонтов эвфотической зоны. Заполненные таким образом склянки помещали на горизонты 0,5, 10, 15, 25, 35, 50, 60, 75, 100 м и экспонировали полный световой день.

Коэффициент K_p , характеризующий продукционную способность фитопланктона на различных горизонтах, определяли для каждой станции отдельно, кроме нескольких мелководных, где была возмож-

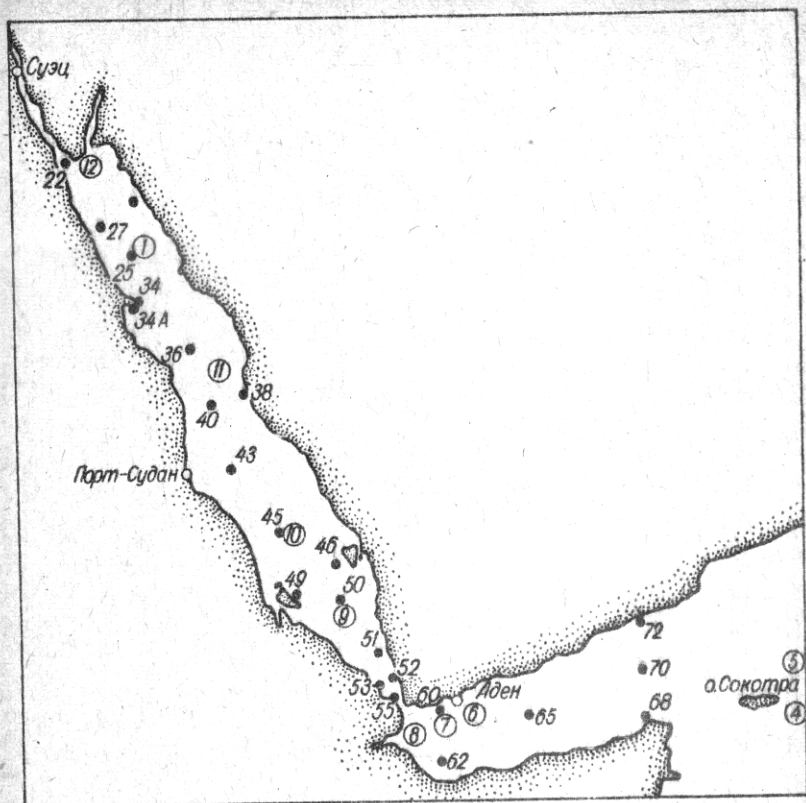


Рис.1. Схема расположения станций.

Ст. 1,6 - 12 выполнены Енчем и Вудом; величины первичной продукции рассчитаны ими по хлорофиллу.

ность поставить опыты *in situ*. Для измерения K_p пробы воды отбирали со стандартных горизонтов и дополнительно с 15,35 и 60 м, в зависимости от глубины на данной станции и расположения температурного скачка. Слянки помещали в инкубатор, расположенный на палубе, и экспонировали в течение полного или половины светового дня. Для учета темновой фиксации одновременно в черных слянках экспонировали пробы воды, взятые

соответственно с тех же горизонтов. Во всех случаях опыты ставились в двух-трех повторностях.

Расчет первичной продукции под 1 м^2 эвфотической зоны производили на основании полученных коэффициентов K_T , K_p / и измерения фотосинтеза фитопланктона в поверхностном слое воды /Винберг, Кобленц-Мишке и др., 1960/.

Параллельно определению первичной продукции просматривали прижизненно видовой состав фитопланктона из сетных и батометрических оборов. Интересно, что наряду с различными формами фитопланктона, в Красном море, особенно в его южной части и Аденском заливе, было отмечено значительное количество радиолярий из отряда *Acantharia* и *Eumellaria* /колонияльные/, у которых известен симбиоз с водорослями. В связи с этим на нескольких станциях в Аденском заливе была измерена параллельно первичная продукция фитопланктона и зооксантелл, живущих в радиоляриях. В опыте использовали колонияльные формы радиолярий рода *Collozoum*.

В склянку со 100 мл профильтрованной морской воды помещали две-пять колоний радиолярий. Как и при определении первичной продукции фитопланктона, добавляли по $10 \mu\text{Ci}$ карбоната натрия. Склянки помещали в инкубационный бокс с постоянным протоком морской воды, где они находились в течение суток. В конце опыта радиолярий вынимали из воды пипеткой и помещали на фильтр. Для удаления радиоуглерода, сорбированного на поверхности колоний, их промывали слабым раствором соляной кислоты, приготовленным на ультрафильтрате морской воды.

Результаты измерений

К р а с н о е м о р е . Как видно из табл. I, пределы колебаний суточной продукции углерода в Красном море довольно велики — от 0,8 до $100 \text{ мг С в } 1 \text{ м}^3$ и от 0,07 до $4,35 \text{ г С под } 1 \text{ м}^2$ эвфотической зоны. По уровню продукции органического вещества фитопланктона Красное море можно разделить на три части: северную, среднюю и южную.

Северная часть простирается от Суэцкого залива примерно до 21° с.ш. Средняя величина первичной продукции в данном районе составляет $0,22 \text{ г С под } 1 \text{ м}^2$. Согласно классификации мор-

Т а б л и ц а I

Величины первичной продукции в Красном море
/октябрь-ноябрь 1963 г./

Номер стан- ции	Координаты	Дата опреде- лений	Глубина, м	Прозрач- ность по дису Сек- ки, м	Продукция, гС/сутки	
					на по- верх- ности 1 м ³	под 1 м ²
22	27°44' с.ш. 33°50' в.д.	11.X	52	22	0,0043	0,224
25	26°48' с.ш. 35°51' в.д.	12.X	40	-	0,0008	0,066
27	26°05' с.ш. 35°01' в.д.	13.X	705	28	0,0009	0,091
29	25°09' с.ш. 35°45' в.д.	14.X	675	35	0,0013	0,124
34	23°53' с.ш. 35°53' в.д.	17.X	675	41	0,0063	0,407
34а	23°53' с.ш. 35°47' в.д.	17.X	48	27	0,0084	0,382
36	22°37' с.ш. 37°30' в.д.	18.X	1100	39	0,0040	0,278
38	21°20' с.ш. 39°03' в.д.	19.X	38	29	0,0035	0,209
40	21°03' с.ш. 38°03' в.д.	20.X	2290	27	0,0160	0,511
43	19°19' с.ш. 38°35' в.д.	21.X	640	20	0,0077	0,486

Продолжение табл. I

Но- мер стан- ции	Координаты	Дата опре- деле- ний	Глуби- на, м	Проз- рач- ность по ди- ску Секки, м	Продукция, гС/сутки	
					на по- верх- ности 1 м ²	под 1 м ²
45	17° 32' с.ш. 40° 02' в.д.	29.X	760	33	0,0020	0331
46	16° 30' с.ш. 41° 31' в.д.	31.X	62	14	0,0190	0,514
49	15° 59' с.ш. 40° 50' в.д.	31.X	33	-	0,0120	-
50	15° 34' с.ш. 41° 49' в.д.	1.XI	500	17	0,0110	0,617
51	14° 03' с.ш. 42° 43' в.д.	2.XI	44	11	0,0276	1,206
52	13° 14' с.ш. 43° 10' в.д.	6.XI	25	8	0,1072	4,352
53	13° 09' с.ш. 43° 04' в.д.	6.XI	205	-	0,0071	0,271
55	12° 55' с.ш. 43° 05' в.д.	7.XI	190	-	0,0082	-

ских вод, предложенной Стиманом-Нильсеном, по уровню продук-
ции фитопланктона этот район следует отнести к III классу
/ Steeman-Nielson, 1954/. Первичная продукция создавалась
главным образом синезелеными водорослями, кокколитофорами
и динофлагеллятами и в меньшей степени диатомовыми. Синезеле-
ные водоросли были представлены двумя видами: *Oscillatoria ery-
thraeum* (Ehrenb.) и *Os. thiebautii* (Gom.), из которых последний

нередко образует сильно выраженное "цветение" воды. Первое массовое скопление их было обнаружено у африканского берега на мелководной ст. 34а. Количество синезеленых было таково, что гипонейстонная сеть, протянутая на расстоянии 50-70 м, приносила около ведра довольно концентрированной массы водорослей, причем полосы и пятна, образуемые этими водорослями на поверхности воды, тянулись вдоль берега на несколько миль. Подобные скопления водорослей очень неравномерно распределялись по акватории моря. Так, ст.34 располагалась всего на $0^{\circ}06'$ восточнее ст. 34а, но такого количества синезеленых там не отмечалось. Они присутствовали здесь в поверхностных горизонтах воды, но численность их, по данным Е.В.Белогорской / см.наст. сборник/, составляла всего 9 - 68 млн. клеток в 1 м^3 и 1084 млн. клеток под 1 м^2 . Вместе с тем, на данной станции отмечено появление значительного количества радиолярий из отряда *Acantharia*. Отмеченное повышенное продуцирование органического вещества на ст.34, по-видимому, в значительной степени обусловлено наличием радиолярий с симбиотическими водорослями, а на ст.34а вызвано массовым развитием синезеленых.

Средняя часть акватории Красного моря характеризуется более высокой величиной первичной продукции, равной $0,41\text{ г С под }1\text{ м}^2$. Границей этой зоны с севера является район стыка двух противотечений / $19-20^{\circ}$ с.ш./, с юга - Фарасанские острова. Воды данной части моря по результатам измерения первичной продукции можно отнести ко II классу продуктивности. Фитопланктон состоял из синезеленых, жгутиковых и диатомовых. Общая численность его по сравнению с северной частью моря также возросла с 14,8 до 58,6 млн.клеток в м^3 /Белогорская, наст. сборник/. Синезеленые водоросли постоянно составляли основную часть фитопланктона в поверхностном слое воды, особенно на ст.40 и 43. Так, на ст.40 в 100 мл воды из батометрической пробы насчитывали до 500 нитей радиолярий длиной 2-3 мм. 29 - 30.X во время суточной ст.45 вновь наблюдалось массовое появление синезеленых водорослей. Образуя полосу шириной 15 - 25 м, длину которой трудно было определить, они медленно сносились течением в северном направлении. Такая динамичность перемещения фитопланктонных пятен по акватории моря может создавать временные очаги повышенной первичной продукции и заметно изменять общую картину распределения последней.

Суданские воды отличались обилием акантарий. Ими были также заполнены кишечники ракообразных /Cirripedia/, которые в массе обрастали саргассовые водоросли, плавающие по поверхности моря. В этом отношении выделялась ст.43, на которой одновременно обнаружено большое количество мелких беспанцирных жгутиковых и диатомовых. Данная станция среди прочих выделялась и по общей величине продуцируемого водорослями органического вещества.

Для южной мелководной части Красного моря характерна наиболее высокая средняя величина первичной продукции /1,65 г под 1 м²/ в связи с чем по продуктивности этот район следует отнести к I классу вод. Самые высокие величины первичной продукции /1,2-4,35 г С под 1 м²/, известные лишь для высокопродуктивных районов морей и океанов, получены в Йеменских водах. В южной части моря в образовании первичной продукции первое место принадлежало диатомовым и жгутиковым /Pyrrophyta, Chrysophyta/. Синезеленые водоросли, хотя и не исчезли из состава фитопланктона, но встречались в значительно меньшем количестве. Среди диатомовых преобладали крупные формы из рода Chaetoceros и Rhizosolenia. Интересно отметить, что в период наблюдений в этой части моря /ст.50,51/ на большинстве диатомовых, особенно на Ch.coarctatus, поселялись простейшие /Vorticella oceanica/, по четыре-пять организмов на каждой клетке.

Одним из показателей физиологического состояния водорослей является соотношение в них отдельных компонентов хлорофилла. В частности, повышенное содержание хлорофилла "с" по сравнению с "а" свидетельствует, в известной мере, об ослаблении фотосинтетической активности водорослей. Отношение хлорофилла "с"/"а" оказалось максимальным /4,8/ в южной части Красного моря, особенно в районе Баб-эль-Мандебского пролива /Белогорская, 1967/. Несмотря на это, и общее содержание хлорофилла, и первичная продукция в этой зоне были наиболее высокими. По-видимому, это говорит о наличии благоприятных условий для развития фитопланктона в данном районе.

Среди многих факторов, влияющих на скорость продуцирования первичного органического вещества, пожалуй, основное значение имеет обеспеченность фитопланктона биогенными элементами.

Последнее обстоятельство во многом зависит от гидрологического режима водоема. Гидрологический режим в Красном море находится под воздействием муссонного характера циркуляции атмосферы. Настоящие исследования проводились в период зимнего муссона, который в 1963 г., в отличие от предыдущих лет, установился очень быстро. Северная половина моря находилась под воздействием северо-северо-западных ветров, южная — юго-юго-восточных. Вследствие смены муссонов характер циркуляции вод в Аденском заливе изменяется и система течений приобретает ту или иную степень сложности /Муромцев, 1960; Neumann, Gill, 1962; Богданова, 1966/. В результате воздействия юго-юго-восточных ветров в осенний период в южной части моря происходит сток поверхностных вод, сопровождающийся подъемом глубинных вод, обогащенных питательными солями /Химица, 1964; Добржанская, 1966/. Данный район характеризуется сильными приливо-отливными течениями, интенсивным вертикальным перемешиванием, а главное — непрерывным поступлением в море Аденских вод, богатых биогенными элементами. Вследствие этого, вполне естественно ожидать в этом районе интенсивного развития фитопланктона и повышения величины первичной продукции органического вещества. Кроме того, образование временных циклонических круговоротов /Тр. АзЧерНИРО, Отчет, 1964, 1965; Прасад, 1966/ может приводить к возникновению локальных высокопродуктивных зон, аналогичных Йеменским водам. Судя по отчетам АзЧерНИРО /1964/, в осенний период в Красном море по всем биологическим показателям была обнаружена такая же продуктивная зона и в районе Массауа /Эфиопский шельф/. По мере продвижения на север количество биогенных элементов в экваториальной зоне резко сокращается и севернее области стыка двух проточечений /19 — 20° с.ш./ оно достигает нуля. Здесь и наблюдается самая низкая продукция фитопланктона.

А д е н с к и й з а л и в. Измерения первичной продукции в этом районе ограничены всего шестью станциями, которые могут дать только общее представление о величине образования органического вещества фитопланктоном /табл.2/. Уровень первичной продукции в целом несколько выше, чем в северной и средней части Красного моря, но ниже по сравнению с его южной частью. Наиболее продуктивным оказался район у юго-восточного

Т а б л и ц а 2

Величины первичной продукции в Аденском заливе /ноябрь 1963 г./

Номер станции	Координаты	Дата определения	Глубина, м	Прозрачность по диску Секки, м	Продукция, гс/сутки	
					на поверхности I м ²	под I м ²
60	12° 27' с.ш. 44° 34' в.д.	9.XI	75	18	0,020	0,485
62	11° 00' с.ш. 44° 34' в.д.	10.XI	1095	17	0,008	0,232
65	12° 17' с.ш. 47° 07' в.д.	12.XI	1770	9	0,019	1,004
68	11° 58' с.ш. 50° 42' в.д.	14.XI	38	-	0,042	1,232
70	13° 27' с.ш. 50° 38' в.д.	15.XI	2445	15	0,006	0,384
72	14° 57' с.ш. 50° 41' в.д.	16.XI	75	22	0,012	0,417

побережья залива /м.Гвардафуй/ и в центральной части, по 47 меридиану. Продукция фитопланктона в этих районах составляла 1-1,2 г С под 1 м². По данным Г.К.Богдановой /1966/, в период зимнего муссона юго-восточное побережье является устойчивым местом сгона и обогащения питательными солями, которые появляются в результате подъема глубинных вод. Содержание фосфатов в поверхностном горизонте достигало 58-60 мг/м³ /Химица, 1964; Добржанская, 1966/. В центральной области Аденского залива, ограниченной по 50 меридиану, образуется циклонический круговорот, где происходит подъем вод из нижних горизонтов с повышенной концентрацией питательных солей /Химица, 1964/. В Аденском заливе основная роль в образовании органического вещества принадлежит диатомовым, которые и по численности, и по видовому разнообразию превосходят остальные группы водорослей.

Как уже говорилось выше, в Красном море и Аденском заливе было отмечено значительное количество радиолярий из отрядов *Acantharia*, *Sphaerellaria*. Присутствие радиолярий с симбиотическими водорослями было характерно для эвфотической зоны, особенно для слоя 0-20 м. Максимальное количество *Acantharia* /50-70 экз/д/ наблюдалось обычно в самом поверхностном слое воды в вечерние часы и на глубине 5-10 м - в дневное время. Глубже /35 - 50 м/ они встречались единично. Оптимальные условия освещенности для симбиотических зооксантелл отличаются от оптимальной освещенности для фитопланктона. Цитоплазма и слизистое вещество колоний радиолярий поглощает дополнительно определенную часть солнечного света. Очевидно, этим можно объяснить присутствие колониальных радиолярий /*Collozoum*/, зооксантеллы которых погружены в толстостенную студенистую массу, в самом поверхностном слое воды, а неколониальных акантарий с тонким слоем цитоплазмы - в более глубоких слоях. Однако известно, что эти радиолярии могут также совершать миграции в более глубокие горизонты под воздействием различных факторов внешней среды: выпадение осадков, ветер, волнение моря, изменение температуры воды и т.д. В таких случаях они скапливаются на глубине от 50 до 200 м, поднимаясь вновь на поверхность с наступлением благоприятных условий /Основы палеонтологии, 1959; Schewiakoff, 1926/.

В Аденском заливе, особенно у северных его берегов, наблюдалось сильное развитие колониальных бесскелетных радиолярий рода *Collozoium* из отряда *Sphærellaria*, которых можно было легко обнаружить визуально. Эти радиолярии находились в самом поверхностном слое воды /0-5 м/. Диаметр колоний составлял 5-7 мм. Численность этих форм достигала 16-20 колоний в 1 л воды, т.е. 16-20 тыс. колоний в 1 м³.

В одном экземпляре акантарий насчитывалось от 12 до 30 зооксантелл, хотя отдельные виды акантарий /*Nexalaspis*/могут содержать их до 150-300 клеток на 1 экз. Численность зооксантелл в колониях *Collozoium* была во много раз больше и они располагались вокруг каждой центральной капсулы по 8-12 клеток. Колонии коллозоума /диаметром 3,5 - 4,0 мм/ содержали 180-200 центральных капсул. Таким образом, в одной колонии коллозоума может находиться около 2000 зооксантелл. Мелкие колонии *Sphaerozoium* /диаметром 2,0-2,5 мм/ включают в себя 100-130 капсул, окруженных 18-30 клетками зооксантелл, что в среднем дает 2500-3000 клеток в колонии. Произведенный подсчет общего количества зооксантелл в 1 м³ радиолярий показывает, что их число может превосходить среднюю плотность фитопланктона даже в прибрежных участках моря. В связи с этим, продукция фитопланктона в 1 м³ может быть в 2-3 раза ниже, чем продукция зооксантелл, обитающих в радиоляриях /Хмелева, 1967/. Таким образом, наличие радиолярий может заметно влиять на общие результаты определения первичной продукции в водоеме. Возникает также вопрос, как оценивать величину углерода, накопленного в радиоляриях симбиотическими водорослями, и следует ли включать ее в общую величину первичной продукции, образуемой свободноживущими водорослями. По-видимому, более правильно было бы дифференцировать оба процесса, поскольку первый из них имеет специфический характер. Методически не представляет труда при постановке опыта удалить колониальные формы радиолярий, размеры которых достигают нескольких миллиметров, и практически невозможно отделить акантарий. В результате величины первичной продукции, полученные для исследованной акватории, приведены с учетом органического вещества, создаваемого зооксантеллами радиолярий.

Измерение зависимости фотосинтеза фитопланктона от подводной освещенности $/K_T/$ на исследованной акватории показало, что максимум интенсивности его наблюдался на глубине 10-25 м. Продукционная способность фитопланктона, взятого с разных горизонтов $/K_p/$, в известной степени была связана с расположением температурного скачка. В Красном море термоклин либо вовсе отсутствовал в эвфотической зоне, либо находился на глубине между 50-75 м и 75-100 м. В Аденском заливе холодные воды поднимались значительно выше и термоклин наблюдался между 25 и 50 м /ст.62, 65/ и даже между 10 и 25 м /ст.70/. В большинстве случаев высокая интенсивность фотосинтеза фитопланктона была отмечена над термоклином, где происходила концентрация водорослей. При отсутствии термоклина наибольшие значения K_p наблюдались в слое 10-15 м и у дна на мелководных станциях, а в глубоководных районах - на горизонте 25-35 м. Следует заметить, что нередко в темноте происходила повышенная фиксация углерода, которая, вероятно, в значительной степени относится к гетеротрофной фиксации углерода бактериями. Исследуемые водоемы отличались интенсивным развитием бактериального населения /Лебедева, см. наст. сборник/, в том числе и гетеротрофной флоры /Лебедева, Анищенко, 1967/. Особенно высокая темновая фиксация была отмечена на ст.43 в поверхностных горизонтах, где, по данным Э.Анищенко /1967/, развитие гетеротрофных бактерий оказалось максимальным. На способность гетеротрофных бактерий использовать растворенный в воде углерод углекислоты указывали многие авторы /Аристовская, 1944; Понтович, 1951; Скалон, 1955; Thomas, 1958; Сорокин, 1961; Жарова, 1963, и др./. Для количественной оценки гетеротрофной ассимиляции углерода бактериями относительно общей величины темновой фиксации с помощью C^{14} была поставлена серия опытов с чистыми культурами гетеротрофов. К сожалению, здесь не представляется возможным привести полученные результаты, так как пока отсутствуют данные по численности и биомассе бактерий, использованных в опытах. Можно только с уверенностью сказать, что гетеротрофы активно ассимилировали углерод углекислоты, причем в темноте и на свету этот процесс шел с одинаковой интенсивностью.

Используя имеющиеся данные по содержанию хлорофилла в планктоне /Белогорская, 1967/ и собственные результаты по первич-

ной продукции, мы рассчитали ассимиляционные числа для планктона Красного моря и Аденоского залива /табл.3/. Ассимиляционное число выражается отношением величины интенсивности фотосинтеза к содержанию хлорофилла "а" в планктоне и показывает, какое количество углерода ассимилируется единицей веса хлорофилла "а" за единицу времени. Поскольку между этими величинами, как показано рядом авторов, существует тесная связь, то определение последней представляет интерес при изучении первичной продукции водоема. Как видно из табл.3, ассимиляционные числа, рассчитанные для поверхностного горизонта воды, составляют 2,21 - 10,6. При измерении на глубинах максимального фотосинтеза они несколько изменяются и равны 3,91-12,03. В среднем отношение между интенсивностью фотосинтеза и содержанием хлорофилла "а" в планктоне для исследованных водоемов можно принять равным 5,7 мг С/мг хлорофилла "а". Эта величина оказалась ниже известной для тропического планктона /Holmes, Schaefer, Shimida, 1957; Holmes 1958; Сушеня, Финенко, 1965/. Другим показателем скорости образования первичной продукции может служить коэффициент П/Б, который означает, какое количество вещества или углерода /П/ синтезируется единицей биомассы /Б/ водорослей за единицу времени. Величина данного коэффициента, по-видимому, будет зависеть от ряда факторов, таких, как видовой состав фитопланктона, соотношение живых и мертвых водорослей в популяции, темп деления клеток, освещенность и т.д. Однако в целом величины П/Б могут дать общее представление о степени продуцирования органического вещества в различных водоемах или отдельных районах. В табл.4 представлена удельная продукция фитопланктона под 1 м² эвфотической зоны, полученная не только для Красного моря и Аденоского залива, но и для ряда других водоемов. В том случае, когда отсутствовали данные по биомассе фитопланктона, ее рассчитывали по содержанию хлорофилла в фитопланктоне. При этом принимали, что хлорофилл "а" составляет 2,5% сухого веса водорослей, а углерод - 50% органического вещества /Винберг, 1960/. Поскольку основную часть морского фитопланктона обычно составляют диатомовые, то соотношение между сырым и сухим весом водорослей брали равным 5, а содержание золы в сухом веществе равным 40%.

Т а б л и ц а 3

Соотношение между интенсивностью фотосинтеза и содержанием хлорофилла "а"
в планктоне

Гори- зонт, м	t°С	Красное море								Аденский залив				
		Северная часть		Средняя часть		Южная часть								
		Ф	Х	АЧ	Ф	Х	АЧ	Ф	Х	АЧ				
										t°С	Ф	Х	АЧ	

121

0 30,3 0,31 0,140 2,21 0,71 0,244 2,90 2,5 0,398 6,43 26,6 1,77 0,167 10,59

Глубина
максима-
льного
фотосин-
теза

29,2 0,65 0,166 3,91 1,14 0,275 4,14 3,42 0,488 7,01 24,0 2,31 0,192 12,03

Примечание: Ф - интенсивность фотосинтеза, мгС /м³ в час;

Х - содержание хлорофилла "а", мг/м³; АЧ - ассимиляционное число.

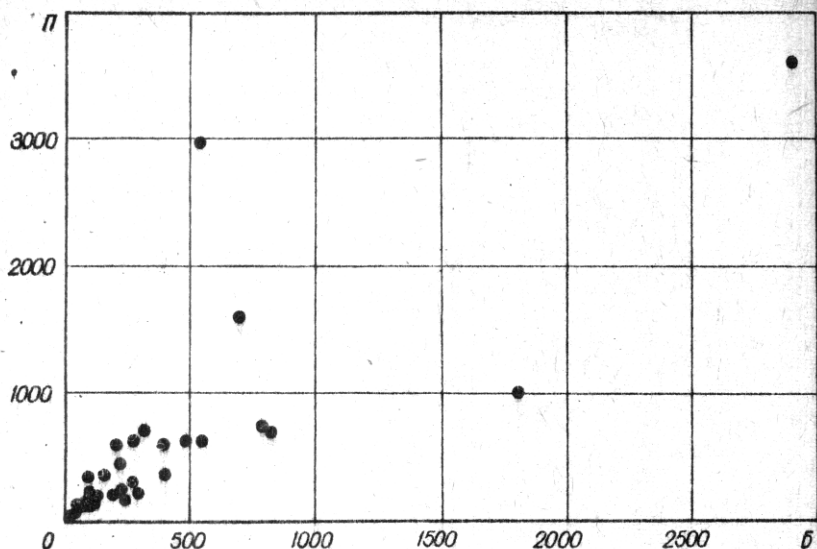


Рис.2. Удельная продукция фитопланктона под 1 м^2 эвфотической зоны, мгС в сутки:
/по оси абсцисс - биомасса водорослей;
по оси ординат - первичная продукция/.

Как видно из рис.2, по ориентировочным расчетам намечается прямая зависимость между биомассой фитопланктона и количеством синтезируемого им вещества. Исходя из пределов колебания величин П/Б, по данным разных авторов, суточная первичная продукция может составлять 84 - 500% наличной биомассы водорослей /табл.4/. В среднем на единицу биомассы фитопланктона в Красном море и Аденском заливе под 1 м^2 зоны фотосинтеза образуется около 170% органического вещества, а в остальных водоемах - 164% /табл.4/. Скорее всего, приведенные величины П/Б являются завышенными, т.к. первичную продукцию определяли в закрытых сосудах, где отсутствует, например, выедание водорослей зоопланктоном.

тоном. Биомасса водорослей или количество хлорофилла, фиксируемые одновременно в водоеме, постоянно подвергаются выеданию. В результате величины первичной продукции, полученные скляночным методом, должны быть выше реальных, что показано и расчетами Т.М.Кондратьевой /1967/. Кроме того, следует заметить, что содержание хлорофилла „а“, равное 2,5% сухого вещества, которое было взято при расчетах биомассы водорослей, является предельно высоким. Есть сведения, что для различных широт эта величина может колебаться от 3 до 0,6% /Винберг, 1960; Strickland, 1960/. В таком случае значения П/Б могут уменьшиться в 4 раза. В связи с этим несколько удивляют своими высокими значениями /11,2-18,4/ отношения потенциальной продукции к исходной биомассе под 1 м^2 зоны фотосинтеза, полученные Т.М.Кондратьевой /1967/ для Красного моря. Очевидно, данное обстоятельство требует дальнейшего более детального и всестороннего анализа обсуждаемого вопроса, включая и методическую сторону измерения продукции фитопланктона. Используя средний коэффициент П/Б, полученный для Красного моря, и данные Енча и Вуда /Yentsch, Wood, 1961, цит. по Neumann, McGill, 1962/ по среднему содержанию хлорофилла „а“ в летний сезон /19 мг под 1 м^2 /, мы рассчитали биомассу фитопланктона и первичную продукцию под 1 м^2 эвфотической зоны. Полученная величина /0,456 гС/м² в сутки/ оказалась в 2 раза выше, чем величина указанная этими авторами и рассчитанная ими же по хлорофиллу. В своих расчетах Енч и Вуд пользовались ассимиляционным числом, равным 3,7. При внесении данной поправки на 1 мг хлорофилла „а“ будет ассимилироваться 7,4 мгС в час, т. е. получится величина, близкая к установленной в последнее время для тропических вод /Holmes, 1958; Сушеня, Финенко, 1965/.

Заключение

Как показал анализ полученных данных, первичная продукция в Красном море и Аденском заливе в начальный период зимнего муссона колеблется в широких пределах - от 0,066 до 4,35 гС в сутки под 1 м^2 трофогенной зоны. По акватории Красного моря наблюдается закономерное повышение ско-

Удельная суточная продукция фитопланктона

Водоем	Период исследования	Первичная продукция в мг С под 1 м ² /сутки	Содержание хлорофилла "а" в мг под 1 м ²
1	2	3	4
Красное море			
без р-на Баб-эль-Ман-дебского пролива	Октябрь-ноябрь 1963 г.	318	23,7
р-н Баб-эль-Мандебского пролива		1611	59,0
в среднем для водоема		631	41,3
23°20'3" с.ш.	19 декабря-10 января 1962г.	43	-
36°26'4" в.д.			
17°19'5" с.ш.		65	-
40°16'0" в.д.			
В среднем для водоема	16 мая-28 июня 1958 г.	230	19
Аденский залив			
	Октябрь-ноябрь 1963 г.	625	23,2
12°38' с.ш.	19 декабря -10 января 1962 г.	205	-
48°23' в.д.			
западная часть	16 мая-28 июня 1958г.	200	17,4
около м.Гвардафуй	17 мая 1966 г.	164	10,0
Аравийское море			
Р-н с высокой продуктивностью	Май-июль 1966г.	3009	47,8
Р-н со средней продуктивностью		445	15,2
Р-н с низкой продуктивностью		122	10,1
По всей акватории	Сентябрь-ноябрь 1963 г.	300-6000	-
Индийский океан			
	Апрель 1960 г., Май 1968 г.	176	20,8

Т а б л и ц а 4

под 1 м² эвфотической зоны

Биомасса водорослей под 1 м ²		Удельная продукция, П/Б	Автор
в мг сыро- го веса	в мг С /Б/		
5	6	7	8
-	285	1,12	Хмелева /наст.статья, гр.3/
-	708	2,27	Белогорская, 1967 /гр.4/
-	485	1,30	
850	20,2	2,10	Кондратьева, 1967
1470	35,0	1,90	
-	228	1,01	Ventsch, Wood, 1961
-	276	2,26	Хмелева /наст.статья, гр.3/
4560	108,5	1,90	Белогорская, 1967, /гр.4/ Кондратьева, 1967
-	209	0,96	Ventsch, Wood, 1961
-	120	1,36	Зайка, Гордина, Ко- валева, Кузьменко, 1967
-	570	5,2	Те же
-	238	1,86	
-	122	1,0	
-	300-4000	1,65	Ryther, Menzel, 1965 Кабанова, 1964 /гр.3/
-	249	0,71	Ventsch, Wood, 1961 /гр.4/

Водоем	Период исследования	Первичная продукция, мг С под I м ² /сут- ки /П/	Содержа- ние хло- рофилла а", мг под I м ²
Средиземное море	Декабрь 1961 г., февраль 1962 г.	150	8
Черное море			69
Севастопольская бухта	1962-1963 гг.	700	-
Халистатическая об- ласть		120	7,7
Азовское море, открытая часть	1962-1963 гг.	600	17,5
Мексиканский залив	Май 1965 г.	600	-
Флоридский пролив	" "	125	-
Прикубинские воды	Сентябрь-де- кабрь 1964 г., апрель-май 1965 г.	371	-
Атлантический океан	Сентябрь-ок- тябрь 1963 г.	347	8
тропическая часть		155	9
Антарктические воды			
Bransfield Strait		700	68
Gerlach Strait	Февраль-март 1965 г.	860	151
Desception Island		3620	200
Океанические воды		370	34

Продолжение табл.4

Биомасса водорослей под 1 м ²		Удельная продукция, П/Б	Автор
в мг сыро- го веса	в мг С /Б/		
5	6	7	8
-	86	1,74	Сорокин, 1961/гр.3/ Белогорская, 1967 /гр.4/
-	828	0,84	Финенко, 1964, 1965 /гр.3,4/
5140	314	0,22	
-	92,5	1,30	Кондратьева, 1967 /гр.5/
1530	73	1,64	
-	210	2,8	Финенко, 1964, 1965
11656	554,6	1,08	Кабанова, 1966 /гр.3/
2257	117,4	1,16	Кабанова, Лопес, 1965 /гр.3/
3530	168	2,21	Роухияйнен, Георгиева, Сеничкина, 1968 /гр.5/ Кондратьева, Соса, 1966 /гр.3/
-	96	3,61	Сущеня, Финенко, 1964, 1965
-	124	1,25	
-	816	0,85	Mandelli, Burkholder, 1967
-	1812	0,47	
-	2900	1,24	
-	414	0,90	

рости продуцирования органического вещества в направлении с севера на юг. В результате, в Красном море можно выделить три района: северный, средний и южный с соответствующими средними величинами первичной продукции — 0,22, 0,41 и 1,65 г С/м² в сутки. Распределение величин первичной продукции изученных районов в значительной степени соответствовало общему количественному распределению фитопланктона. Отмеченная при этом пятнистость синезеленых водорослей, вызывающих часто "цветение" воды, и их перемещение с течениями по акватории моря может создавать временные очаги повышенной продукции фитопланктона.

Прижизненное микроскопирование планктона позволило обнаружить в нем присутствие значительного количества радиолярий из отряда *Acantharia* и *Sphaerellaria*, для которых характерен симбиоз с одноклеточными водорослями. Ранее, при определении первичной продукции, или биомассы водорослей, их значение не принималось во внимание, вероятно, в основном из-за трудности сохранения радиолярий в фиксированных обычным образом формалинных пробах /Стрелков, Решетняк, 1962/. Радиолярии с населяющими их симбиотическими водорослями оказались дополнительным фактором, влияющим на общую величину первичной продукции. Учитывая широкое географическое распространение и значительную численность представителей указанных групп радиолярий /Павштик, 1956; Стрелков, Решетняк, 1962; Bottazi, Vanucci, 1965; Павштик, Пенькова, 1966 /, этот, обычно не учитываемый источник образования первичной продукции, следует признать важным для ряда районов океана.

Среднее ассимиляционное число для фитопланктона поверхностного слоя воды в Красном море и Аденском заливе равнялось 5,7. Коэффициент П/Б под 1 м² эвфотической зоны оказался равным 1,7, т.е. наличной биомассой водорослей может синтезироваться за сутки около 200% органического вещества. Подтверждается существующее представление о том, что в тропических водах, главным фактором, лимитирующим фотосинтез и развитие фитопланктона, является недостаток биогенов. Самые низкие величины первичной продукции зафиксированы в северной части Красного моря, где в слое 0-100 м питательные соли практически полностью отсутствовали. Поступление биогенных элементов в трофогенный слой тесно

связано с гидрологическим режимом водоема. Максимальная продукция фитопланктона наблюдалась или в мелководной части моря, где имеет место интенсивное вертикальное перемешивание и поступление вод Аденского залива, обогащенных питательными солями, или в районах поднятия глубинных вод, богатых биогенами. Проведенные исследования по первичной продукции в Красном море и Аденском заливе приводят к мнению, что в целом эти водоемы, по сравнению с другими тропическими районами, нельзя считать обедненными, и по уровню первичной продукции их можно отнести ко II классу вод. При эффективной утилизации фитопланктона последующими трофическими звеньями в районах с высокой первичной продукцией /Йеменский шельф, юго-восточное побережье Аденского залива, его центральная часть по 47 меридиану/ следует ожидать повышения общей биологической продуктивности, и, следовательно, эти районы могут быть отнесены к перспективным в промысловом отношении.

Л и т е р а т у р а

А н и щ е н к о Э.Я. Количественное распределение гетеротрофных бактерий в Красном море и Аденском заливе в осенний период. - Гидробиол. журн., 3, 3, 1967.

А р и с т о в с к а я Т.В. Значение CO_2 в жизнедеятельности гетеротрофного микроорганизма. - Успехи совр. биол., 17, 1, 1944.

Б е л о г о р с к а я Е.В. Содержание хлорофилла в планктоне Красного моря и Аденского залива. - В кн.: Биология распределения планктона южных морей. "Наука", М., 3, 1967.

Б е л о г о р с к а я Е.В. Количественное распределение фитопланктона в Красном море и Аденском заливе. - См. наст. сборник.

Б о г д а н о в а А.К. Гидрологические условия в Красном море и Аденском заливе по наблюдениям э/с "Академик А.Ковалевский". - В кн.: Океанолог. исследования. "Наука", М., 1966.

В и н б е р г Г.Г. Первичная продукция водоемов. Изд-во АН БССР, Минск, 1960.

Винберг Г.Г., Кабанова Ю.Г., Кобленц-Мишке О.И., Хмелева Н.Н. — Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом. Изд-во БГУ, Минск, 1960.

Добрянская М.А. Гидрохимия Красного моря и Аденского залива. — Научн. отчет ИнБЮМ АН УССР, Севастополь, 1966.

Жарова Т.В. Ассимиляция углекислоты гетеротрофными бактериями и ее значение при определении хемосинтеза в водоемах. — Микробиология, 32, 5, 1963.

Заика В.Е., Гордина А.Д., Ковалева Т.М., Кузьменко Л.В. Предварительные итоги биологических исследований в 19 рейсе НИС "Михаил Ломоносов". — В кн.: Исследования в северо-западной части Индийского океана. Изд-во МГИ АН УССР, Севастополь, 1967.

Кабанова Ю.Г. Первичная продукция и содержание биогеенных элементов в водах Индийского океана. — В кн.: Тр.Ин-та океанологии, 64, 1964.

Кабанова Ю.Г., Лопес Л. Первичная продукция в водах южной части Мексиканского залива и прибрежной полосы северо-западной Кубы. — Отчет о работах, проведенных во втором полугодии Советско-Кубинской экспедицией /март-июль 1965 г./, 1965.

Кабанова Ю.Г. Первичная продукция в южной части Мексиканского залива и прибрежной полосе северо-запада Кубы. — Второй международный Океаногр. конгресс, Тез. докладов. "Наука", М., 1966.

Кондратьева Т.М., Соса Э. Первичная продукция прикубинских вод. — В кн.: Исслед. Центр.-Амер. морей. "Наукова думка", К., 1966.

Кондратьева Т.М. Продукция фитопланктона в Красном море. — В кн.: Вопросы биоокеанографии. "Наукова думка", К., 1967.

Кондратьева Т.М. Продукция и суточные изменения фитопланктона в южных морях. Дисс. Севастополь, 1967.

Лебедева М.Н., Анищенко Э.Я. Количественное развитие гетеротрофных бактерий в Красном море и Аденском заливе в осенний и зимний периоды. — В кн.: Биология и распределение планктона южных морей. "Наука", М., 1967.

Лебедева М.Н., Шумакова Г.В. Численность и биомасса бактериального населения в Аденском заливе осенью 1963 г. - См. наст. сборник .

Муромцев А.М. К гидрологии Красного моря. - ДАН СССР, 134, 6, 1960.

Основы палеонтологии. Простейшие, М., 1959: Отчет о работе I Красноморской экспедиции АзЧерНИРО /с 15 июня 1963 г. по 3 февраля 1964 г./ . Керчь, 1964.

Отчет о работе II Красноморской экспедиции АзЧерНИРО на э/с "Ихтиолог" /ноябрь 1964 г. по апрель 1965 г./ . Керчь, 1965.

Павштикс Е.А. Сезонные изменения в планктоне и кормовые миграции сельди.-В кн.: Тр. Полярного н.-и. ин-та морск. рыбн. хоз-ва и океаногр., 9, 1956.

Павштикс Е.А., Панькова Л.А. О питании пелагической молоди морских окуней рода *Sebastia* планктоном в Девисовом проливе. - Мат-лы науч.сессии Полярного н.-и. ин-та морск. рыбн. хоз-ва и океаногр., 6, 1966.

Понтович В.Э. О возможности использования углекислоты в синтетических процессах гетеротрофных организмов. - Изв. АН СССР, сер. биол., 5, 1951.

Прасад Р.Р. Последние достижения в изучении продукции в Индийском океане. - Второй междунар. океаногр. конгресс. Тез. докл. "Наука", М., 1966.

Роухияйнен М.И., Георгиева Л.В., Се-
ничкина Л.Г. Состав, количественное развитие и распределение фитопланктона в Центр.-Амер. морях. - В кн.: Исслед. Центр.-Амер. морей, 2, 1968.

Скалон И.С. Отношение гетеротрофных микроорганизмов к углекислоте, влияние количества клеток при засеве на выявление потребности у микроорганизмов в CO_2 . - В кн.: Изотопы в микро-биологии. Изд-во АН СССР, М., 1955.

Сорокин Ю.И. О применении C^{14} для изучения первичной продукции водоемов. - В кн.: Тр. Всесоюз. гидробиол. общ-ва, 7 1956.

Сорокин Ю.И. Первичная продукция органического вещества в водной толще Рыбинского водохранилища. - В кн.: Тр. Биол. ст. "Борок" АН СССР, 3, 1958.

С о р о к и н Ю.И. Гетеротрофная ассимиляция углекислоты микроорганизмами. - Журн. общей биол., 22, 4, 1961.

С о р о к и н Ю.И., К л я ш т о р и н Л.Б. Первичная продукция в Атлантическом океане. - В и н.: Тр. Всесоюз. гидро-биол. общ-ва, 11, 1961.

С о р о к и н Ю.И. Продукция фотосинтеза фитопланктона в Черном море. - ДАН СССР, 144, 4, 1962.

С т р е л к о в а А.А., Р е ш е т н я к В.В. Колониальные радиолярии *Spermellaria* Южно-Китайского моря. - *Studia Mar, Sinica*, 1, 1962.

С у щ е н я Л.М., Ф и н е н к о З.З. К изучению продуктивности планктона тропической части Атлантического океана. Содержание пигментов в планктоне. - Океанология, 4, 5, 1964.

С у щ е н я Л.М., Ф и н е н к о З.З. Изучение первичной продукции Тропической части Атлантического океана. - Океанология, 5, 6, 1965.

Ф и н е н к о З.З. Содержание хлорофилла в планктоне Черного и Азовского морей. - Океанология, 4, 3, 1964.

Ф и н е н к о З.З. Первичная продукция в Черном, Азовском морях и тропической части Атлантического океана. Автореф.дисс. Минск, 1965.

Х и м и ц а В.А. Некоторые особенности сезонной динамики гидрохимических условий в Аденском заливе и Аравийском море. Отчет АзЧерНИРО, Керчь, 1964.

Х м е л е в а Н.Н. Роль радиолярий при оценке первичной продукции в Красном море и Аденском заливе. - ДАН СССР, 172, 6, 1967.

B o t t a z z i M., V a n n u c c i A. Acantharia in the Atlantic Ocean. - Estratto dall'Archivi di Oceanografia e Limnologia, 19, 1, 1965.

H o l m e s R.W., S c h a e f e r M.V., S h i m i d a B.M. Primary production, chlorophyll and zooplankton volumes in the Tropical Pacific Ocean. - Bull. of the Intern.-Amer. Trop. Tuna Comm., 2 (4), 1957.

H o l m e s R.W. Surface chlorophyll "a" surface primary production and zooplankton volumes in the Eastern Pacific Ocean. - Rapp. et proces-verbaux reunions, 144, 1958.

Mandelli E., Burkholder P. Primary productivity in the Gerlache and Bransfield straits of Antarctica. - J. Mar. Res., 24, 1, 1967.

Neumann A.C., McGill D.A. Circulation of the Red Sea in early summer. - Deep-Sea Research, 8, 1962.

Ryther J.H., Menzel D.W. On the production composition, and distribution of organic matter in the Western Arabian Sea. - Deep-Sea Research, 12, 2, 1965.

Steeman-Nielsen E. The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the Sea. - J. du Conseil, 18, 1952.

Steeman-Nielsen E. On organic production in the oceans. - J. du Conseil, 19, 3, 1954.

Strickland J.D. Measuring the production of marine phytoplankton. - Bull. Canad. Fish. Res., 122, 1960.

Schewiakoff W. Die Acantharia des golfes von Neapel. Fauna und Flora. Roma-Berlin, 1926.

Thomas W.H. Perspectives in marine biology. - Berkley-Los Angeles, 1958.

КАЧЕСТВЕННОЕ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КРАСНОМ МОРЕ И АДЕНСКОМ ЗА- ЛИВЕ В ОКТЯБРЕ-НОЯБРЕ 1963 г.

Е.В.Белогорская

Красное море по своему местоположению относится к морям средиземного типа. В системе этих морей Красное море в отношении растительного планктона является одним из наименее изученных.

Литературные данные относительно видового состава фитопланктона Красного моря немногочисленны /Cleve, 1900; Ostensfeld, Schmidt, 1902; Schroder, 1906; Karsten, 1907/. Что же касается количественных исследований, то в этом направлении до последнего времени данные в литературе вообще отсутствовали.

В Аденском заливе изучение фитопланктона с точки зрения его количественного развития начато В.В.Зерновой в 1960-1961 гг.