

Том LXIV	<i>Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)</i>	1968
Том XXVIII	<i>Труды Азово-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (АзчерНИРО)</i>	

УДК 551.464.6(267.5)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОРОДА И ФОСФОРА В КРАСНОМ МОРЕ

Н. А. Тимофеев
ВНИРО

В статье приводятся данные по распределению растворенного в воде кислорода и фосфатного фосфора, полученные первой экспедицией АзчерНИРО в южную половину Красного моря с июня 1963 по февраль 1964 г.

Распределение гидрохимических элементов связано с динамикой вод. Верхние слои воды Красного моря находятся под действием системы ветров над ним, меняющихся два раза в году. С мая по сентябрь по всему морю преобладают северо-северо-западные ветры. С октября по апрель над северной половиной моря направление ветра сохраняется прежним, а южнее 20° с. ш. меняется на противоположное. Соответственно изменяется и направление поверхностных течений. Летом поверхностные воды сгоняются к Баб-эль-Мандебскому проливу и выносятся через него в Аденский залив. Зимой ветровые течения направлены к центру моря, вызывая здесь накопление поверхностных вод.

Под воздействием силы Кориолиса летом поверхностные воды ветрового течения должны отклоняться вдоль всего моря к африканскому берегу и скапливаться там, создавая нагонный эффект, а зимой — в южной половине моря у побережья Аравийского полуострова. В результате летом вдоль этого побережья, а зимой вдоль южной части африканского должны подниматься глубинные воды. Большая потеря воды летом вследствие испарения с поверхности Красного моря (около 3,5 м за год) и за счет выноса вод летним ветровым течением вызывает интенсивный компенсационный поток воды из Аденского залива, расположенный непосредственно под ветровым течением. Этот компенсационный поток наблюдается только летом. Считается (А. М. Муромцев, 1960 и 1961), что нижняя граница его в Баб-эль-Мандебском проливе расположена около 150 м. Глубже придонным плотностным течением воды Красного моря выносятся в Аденский залив и Индийский океан.

Помимо этого, погружающиеся в течение зимы на севере моря воды (зимняя конвекция) формируют глубинный поток, направленный к Баб-эль-Мандебскому проливу. Томпсон (1934) считает, что эти воды проходят путь до Баб-эль-Мандебского пролива за 6 месяцев, Му-

ромцев, — что за 2 месяца. Томпсон же предполагает, что вдоль арабского берега на средних глубинах проходит компенсационный поток воды с юга.

Такая система движения вод Красного моря приводит к образованию в центре моря ядра малоподвижной воды с центром на глубине около 400 м. Характерные черты этой воды: дефицит кислорода и высокое содержание фосфатов.

Таково современное представление о движении и строении вод Красного моря. Наши работы позволили уточнить некоторые детали. Работы эти проводились в южной половине Красного моря (рис. 1) преимущественно вдоль Африканского побережья до глубины 700 м. Съёмки были выполнены в периоды зимнего и летнего муссонов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОРОДА

Растворенный в воде кислород является одним из важных гидрохимических элементов, содержание и характер распределения которого служит показателем различных физических, химических и биологических процессов, протекающих в воде. Источником кислорода в воде служит прежде всего кислород атмосферы. Вследствие того что высокие значения температуры и солёности воды Красного моря ограничивают обмен кислородом между морем и атмосферой, содержание растворённого в воде кислорода на поверхности не превышает обычно 4,5 мл/л. С другой стороны, зимняя конвекция, связанное с ней погружение поверхностных вод на севере моря и распространение их на юг обеспечивают высокое содержание кислорода в глубинных водах Красного моря (до 2 мл/л у дна). Искислорода в глубинных водах Красного моря до 20 мл/л у дна). Исключение составляет упомянутое выше малоподвижное ядро вод

Рассмотрим распределение кислорода на выполненных нами гидрологических разрезах.

Разрез 1 (рис. 2, а) расположен в той части моря, где в течение всего года ветры и соответственно поверхностные течения направлены на юг.

В результате нагонного эффекта, возникающего при течении у берега, поверхностные воды, богатые кислородом, скапливаются у африканского берега. Поэтому содержание кислорода здесь и в июле, и в декабре до глубины 200 м не было меньше 3,5 мл/л. С мористой стороны разреза на глубинах 300—500 м наблюдается выход вод с содержанием кислорода меньше 1 мл/л летом и меньше 1,5 мл/л зимой. Очевидно, это воды отмеченного нами малоподвижного ядра.

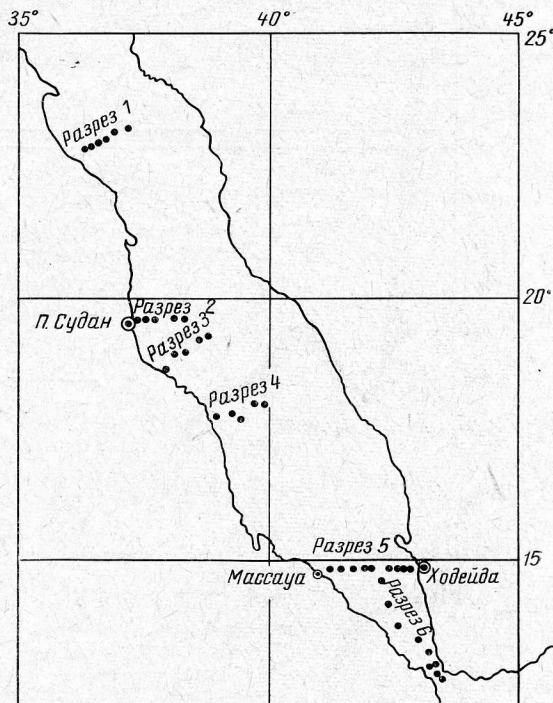
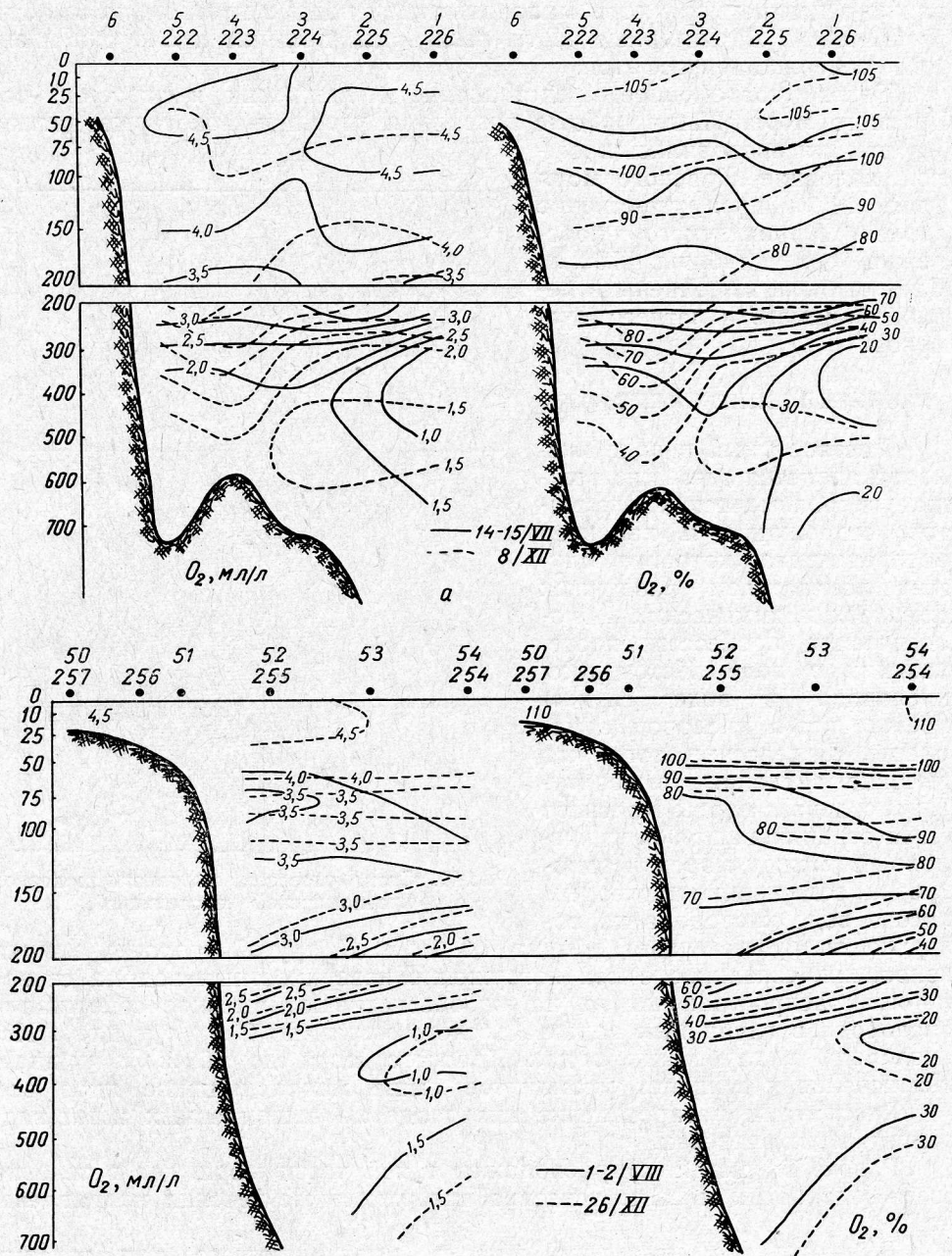


Рис. 1. Схема разрезов, выполненных первой красноморской экспедицией.



б

Рис. 2. Распределение кислорода на разрезе 1 (а) и 3 (б).

Пересыщение воды кислородом в слое до 100 м наблюдалось и летом и зимой. Однако величина его не превышала 5—7%. Очевидно, массового развития планктона здесь не происходит.

Южнее, на разрезе 3 (рис. 2, б), распределение кислорода несколько иное. Разрез 3 расположен в зоне зимнего затишья между северными и южными ветрами. Следствием этого является горизонтальный ход изооксиген зимой в отличие от лета. Слой воды до 300 м стратифицирован резко, а ниже 300 м вода более однородна, чем на разрезе 1. На глубине 300 м снова наблюдается выход вод с дефицитом кислорода. Пересыщение вод кислородом увеличивается до 10%, но слой воды с пересыщением уменьшается до 50 м. Дефицит кислорода наблюдается и летом и зимой только в воде вышеупомянутого ядра.

Разрез 5 (рис. 3) расположен еще южнее и пересекает все море. Здесь особенно хорошо прослеживается структура движения вод летом. В отличие от предыдущих разрезов распределение кислорода в воде летом и зимой здесь резко различается. В августе очень четко выражен слой скачка в распределении содержания кислорода, обозначающий границу между поверхностным ветровым течением и потоком аденских вод. Видно, что аденские воды с малым содержанием кислорода (около 1 мл/л) прижимаются к арабскому берегу и выходят на его шельф. В это время на африканском шельфе содержание кислорода в воде не было меньше 2 мл/л. Может быть в какой-то мере дефицит кислорода на арабском шельфе обусловил незначительность промысловых скоплений донных рыб (по данным выполненных нами тралений). Фосфатов здесь было вполне достаточно.

На глубинах ниже 200 м содержание кислорода в воде было меньше 1 мл/л.

Насыщенность воды кислородом на поверхности летом достигает 120%, что гораздо выше, чем на северных разрезах. Такое пересыщение воды кислородом возможно только при достаточно интенсивном фотосинтезе, т. е. при массовом развитии фитопланктона. Слой пересыщенной кислородом воды при этом неодинаков. От 10 м у арабского берега он увеличивается до 25 м у африканского, указывая на скопление здесь поверхностных вод. Над свалом африканского берега этот слой увеличивается до 50 м, что связано, очевидно, с погружением поверхностных вод.

Зимой картина полностью меняется. Верхний 50-метровый слой воды совершенно однороден. Полагают (А. М. Муромцев, 1960 и 1962; E. F. Thompson, 1939), что он весь охвачен зимним ветровым течением из Аденского залива. Содержание кислорода в этом слое повсюду больше 4 мл/л, а пересыщение воды кислородом гораздо меньше, чем летом. Очевидно, зимой развитие фитопланктона продолжается, но с меньшей интенсивностью.

Зона с дефицитом кислорода зимой несколько увеличивается, поднимаясь выше 200 м. Существование обширной области с дефицитом кислорода на разрезе 5 и отсутствие ее на северных разрезах говорит, вероятно, больше о «старении» вод при движении их с севера, чем об интенсивных окислительных процессах, протекающих здесь. Это подтверждается также тем, что на разрезе 3 содержание кислорода на глубинах ниже 300 м меньше, чем на разрезе 1.

Следует отметить также, что на разрезе 5 зимой у свала африканского берега наблюдается язык вод с повышенным содержанием кислорода. Происхождение этого языка трудно объяснить. Однако, принимая во внимание то, что такое содержание кислорода характерно

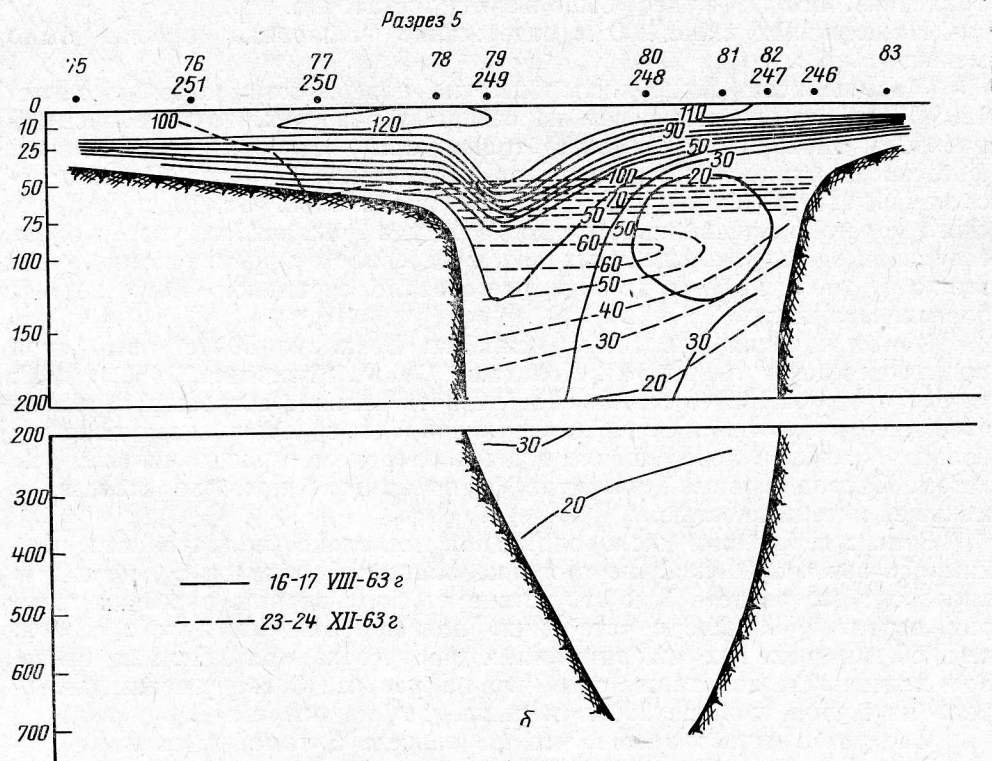
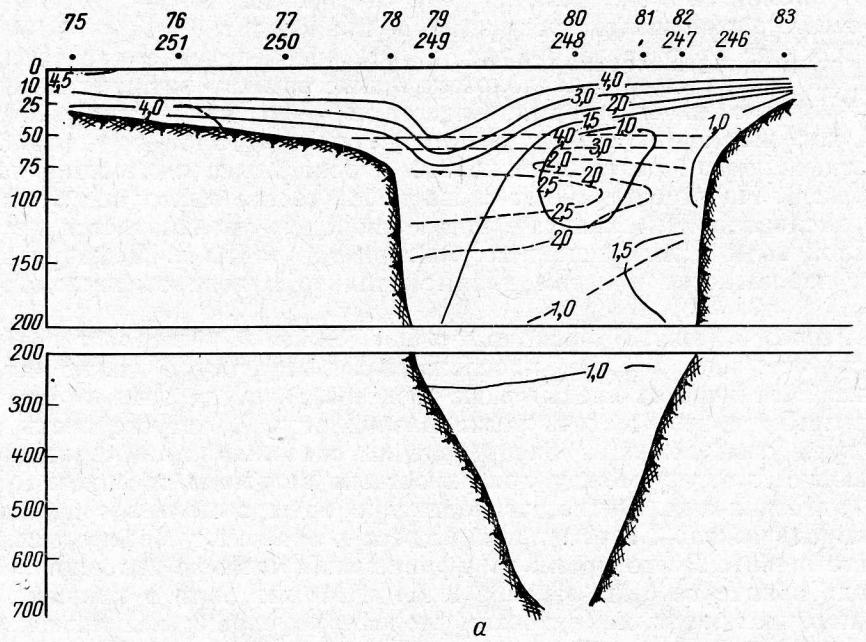


Рис. 3. Распределение кислорода на разрезе 5:
 а — в мл/л; б — в %.

для вод, расположенных на этих глубинах севернее разреза, можно предположить, что вдоль свала африканского берега на глубинах 75—100 м в это время существовал перенос вод с севера.

Подобное распределение кислорода сохраняется до Аденского залива (рис. 4). Продольный гидрологический разрез в связи с интен-

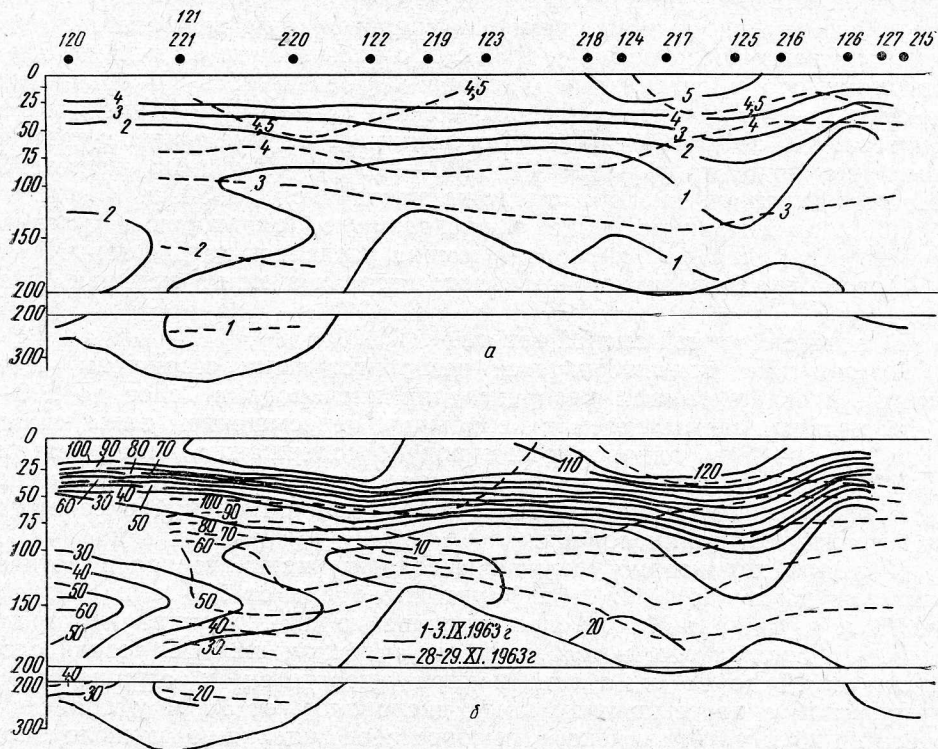


Рис. 4. Распределение кислорода на разрезе б:
а — в мл/л; б — в %.

сивной навигацией был выполнен не по желобу моря, а ближе к африканскому берегу. Поэтому и отмеченные здесь условия следует рассматривать как свойственные приафриканским водам. Характерно, что с продвижением на юг содержание кислорода в воде увеличивается. В Баб-эль-Мандебском проливе на поверхности его уже больше 5 мл/л.

Летом на границе красноморских вод ветрового течения и аденских вод компенсационного течения сохраняется слой скачка кислорода с большими градиентами. Поток аденских вод хорошо обрисовывается изооксигеной 1 мл/л. В водах от 75 м до дна на большей части разреза наблюдается дефицит кислорода.

Со стороны Красного моря у дна, вдоль свала африканского берега, наблюдается подход с севера вод с высоким содержанием кислорода. То же самое, судя по наклону изооксиген, должно было быть и на разрезе 5. Здесь же он выражен отчетливо, особенно по процентному содержанию кислорода. Однако в проливе эти воды нами обнаружены не были. Вторая индоокеанская экспедиция АзчерНИРО в 1962 г. также не отметила постоянного потока вод у дна из Красного моря. В то же время наличие такого потока в Индийском океане не

вызывает сомнения. Очевидно, эта вода переливается через «порог» пролива периодически с приливным течением.

Пересыщение воды кислородом в фотическом слое к югу постоянно увеличивается, достигая 20% и больше. Слой пересыщенной кислородом воды по всему разрезу остается постоянным — около 25 м.

Зимой кислород по глубине распределяется равномернее, что связано с зимним перемешиванием. На «пороге» пролива растворенного кислорода везде было не менее 2,5 мл/л с насыщением не меньше 50%. В верхних слоях содержание кислорода уменьшилось по сравнению с летним до 4,5 мл/л, что связано, очевидно, только с уменьшением фотосинтеза. Об этом говорит также значительное уменьшение степени насыщения воды кислородом (до 100—105%). Как и на разрезе 5, слой пересыщенной кислородом воды увеличился до 50 м.

Обобщая сказанное выше, обследованную акваторию Красного моря по распределению кислорода можно разделить на две зоны:

1) зона круглогодичного северного ветра и зимнего затишья (разрезы 1,3);

2) зона с сезонной сменой ветров.

Первая зона характеризуется незначительными сезонными изменениями в содержании и распределении кислорода в слое до 200—300 м, поверхностным слоем с небольшим пересыщением воды кислородом до 50—75 м, однородностью вод по содержанию кислорода ниже 300 м, дефицитом кислорода в ядре старых малоподвижных вод.

Вторая зона характеризуется резкой сезонной сменой в содержании и распределении кислорода.

Для лета характерно увеличение содержания кислорода в фотическом слое к югу до 5 мл/л, дефицит кислорода от 200 м на разрезе 5 и 75 м в Баб-эль-Мандебском проливе до дна, дефицит кислорода в потоке аденских вод, в том числе на арабском шельфе, резкий слой скачка от 10 до 25 м, общий наклон изооксиген к африканскому берегу, слой с пересыщением воды кислородом от 10 м у арабского берега до 25 м у африканского, высокое пересыщение воды кислородом (до 20%).

Для зимы характерен однородный, перемешанный слой до 50 м, отсутствие в проливе дефицита кислорода, уменьшение пересыщения воды кислородом в фотическом слое и увеличение этого слоя до 50 м.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФАТОВ

Если содержание кислорода в воде (пересыщение или дефицит) может говорить о развитии или угнетении жизни в данном водоеме в данное время, то содержание фосфора указывает на потенциальную возможность развития жизни. Достаточная концентрация фосфора в воде часто служит основой для массового развития фитопланктона. Особенно интересно знать о содержании фосфора в фотическом слое, где он потребляется планктоном.

Фосфор поступает в водоем обычно за счет стока с суши, вод смежных водоемов, атмосферных осадков и регенерации из органических соединений. В пополнении фосфором фотического слоя очень большую роль играет подъем глубинных вод, обычно богатых фосфором. В данном случае в южной половине Красного моря фосфор поступает в основном за счет притока вод из Аденского залива и регенерации.

На выполненных разрезах фосфора в верхнем слое воды не было (рис. 5 и 6). С севера на юг толщина этого бесфосфатного слоя умень-

шается от 200 м (разрез 1) до 10—25 м (разрез 5) и сохраняется приблизительно таким до Баб-эль-Мандебского пролива. Фосфор отсутствует и летом и зимой. Это говорит, во-первых, о непрекращающемся здесь круглый год потреблении фосфора, т. е. непрерывном развитии планктона, и, во-вторых, о том, что интенсивность и массовость развития планктона в центральной и южной частях моря лимитируется количеством фосфатов в фотическом слое. Этот вывод важен

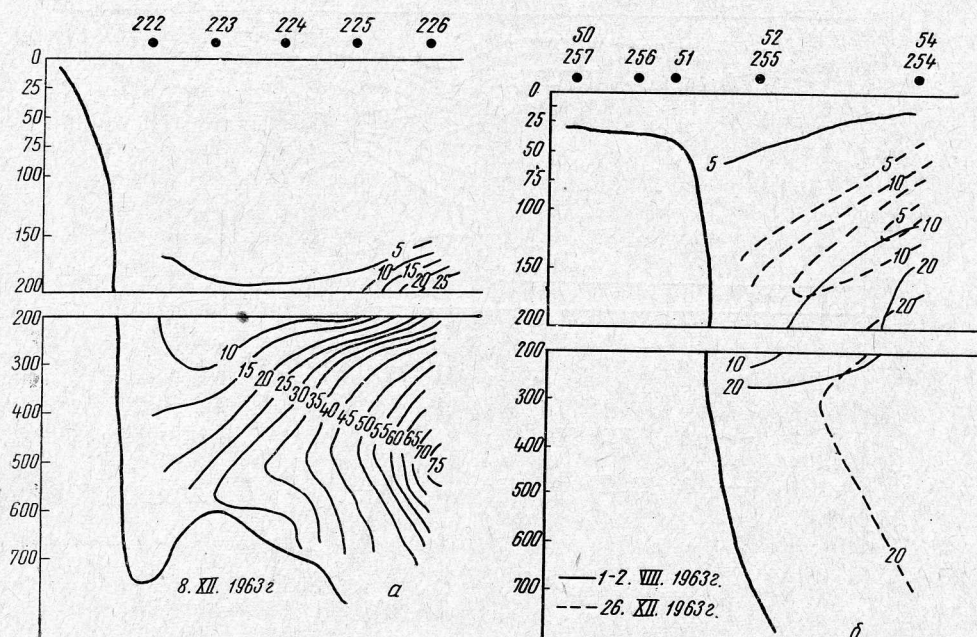


Рис. 5. Распределение фосфора (в мг/л) на разрезах 1 (а) и 3 (б).

для объяснения низкой продуктивности Красного моря, особенно его центральной части. Высокое содержание фосфора на глубинах около 500 м на разрезе 1 и частично на разрезе 3 указывает на упомянутое выше ядро малоподвижных вод Красного моря.

Сезонный ход в содержании и распределении фосфора хорошо выражен в той части моря, где проявляется действие компенсационного течения из Аденского залива, т. е. приблизительно до 20° с. ш. На разрезе 5 эта смена выражена особенно четко. Распределение фосфора на этом разрезе аналогично распределению кислорода. Ветровое течение из Красного моря характеризуется бесфосфатной зоной. Для компенсационного течения из Аденского залива характерно высокое содержание фосфора (до 50 мг/л в центре потока). На обоих шельфах летом фосфора достаточно.

Зимой бесфосфатный слой увеличивается до 50—75 м. Однако отсутствие фосфора в этом слое больше говорит о малом его поступлении, чем об интенсивном потреблении, поскольку интенсивность фотосинтеза (по пересыщению кислородом) зимой здесь небольшая.

У свала африканского берега на глубинах около 100 м виден выход вод с малым содержанием фосфора, что подтверждает наличие здесь южного переноса, которое предполагалось на основании распределения кислородных характеристик.

Южнее, до Аденского залива, подобный характер распределения фосфора в общем сохраняется.

В обобщенном виде основные черты распределения фосфора следующие.

Как и в распределении кислорода, выделяются две зоны распределения фосфора. Для обеих зон характерно отсутствие фосфора в верхнем слое в течение всего года.

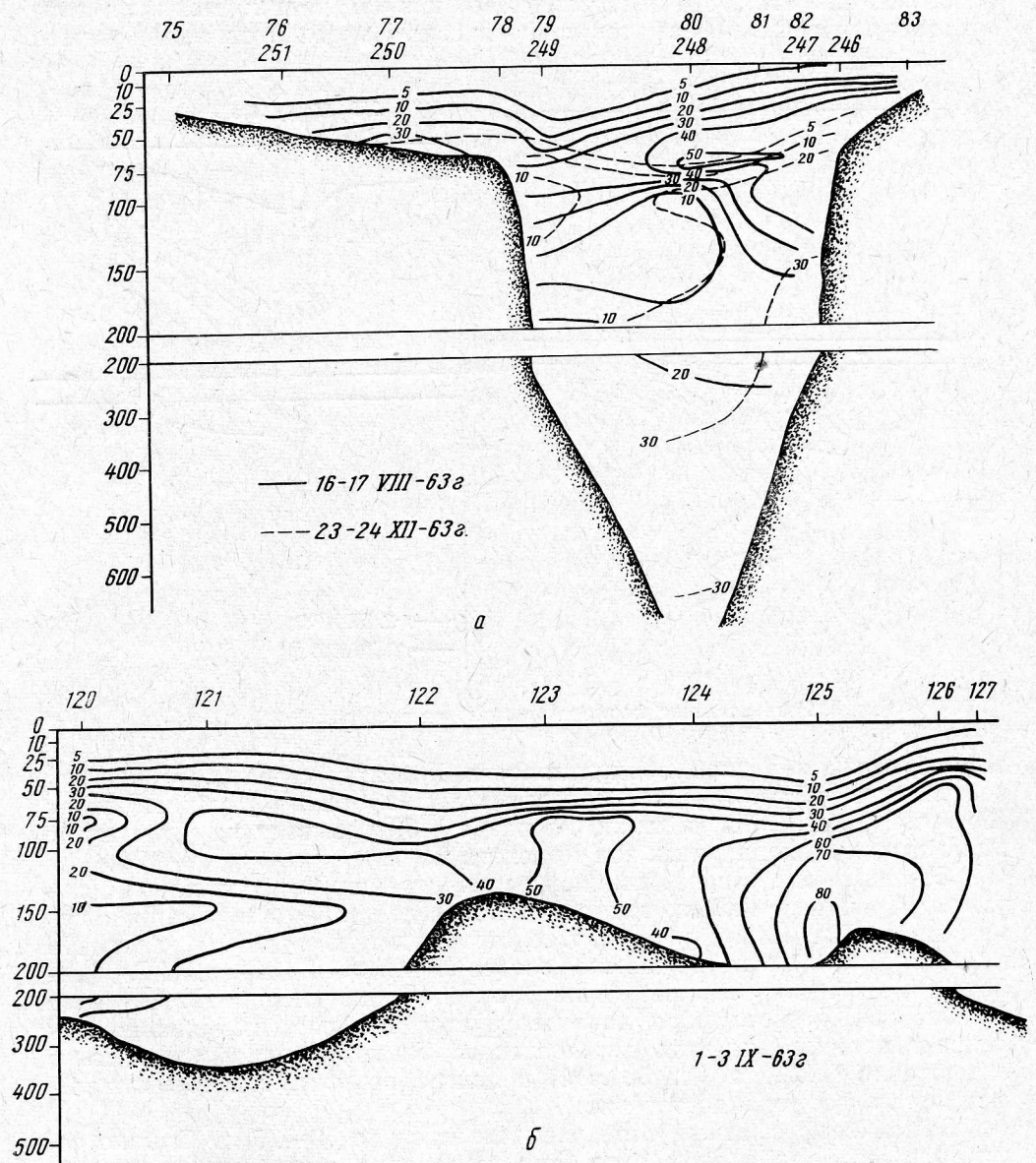


Рис. 6. Распределение фосфора (в мг/л) на разрезе 5 (а) и 6 (б).

Первая зона характеризуется мощным бесфосфатным слоем (до 200 м) и высоким содержанием фосфора в ядре «старых» вод.

Во второй зоне летом распределение фосфора характеризуется высоким содержанием фосфора в потоке аденских вод и на обоих шельфах, а также изменением толщи бесфосфатного слоя от 0 м на арабском шельфе до 25 м на африканском.

Зимой бесфосфатный слой увеличивается до 50 м, занимая большую часть шельфов. По сравнению с летом наблюдается общее уменьшение содержания фосфора и некоторое увеличение его ниже 200 м.

Выводы

1. Анализ распределения растворенного в воде кислорода и фосфатного фосфора показывает, что в южной половине Красного моря, как и в других тропических морях, цветение фитопланктона происходит круглый год. Сезонная разница в продуцировании кислорода и потреблении фосфора четко проявляется в зоне смены ветров, причем чем южнее, тем резче.

2. Зимой продуцирование кислорода сохраняется на одном довольно низком уровне (около 105%) во всей южной половине моря. Летом этот уровень, оставаясь таким же в средней части моря, повышается к югу (до 120% и больше в Баб-эль-Мандебском проливе).

3. Фосфор в фотическом слое всей южной половины моря в течение всего года потребляется полностью (за исключением Аравийского шельфа летом). Недостаточное его поступление в фотический слой, очевидно, лимитирует развитие планктона здесь и объясняет в значительной степени низкую продуктивность Красного моря, особенно его центральной части.

ЛИТЕРАТУРА

Муромцев А. М. К гидрологии Красного моря. ДАН СССР. Том 134, № 6, 1960.

Муромцев А. М. К гидрологии Суэцкого канала, Красного моря и Аденского залива. Метеорология и гидрология, 1962, № 2.

Thompson E. F. Chemical and physical investigations. The John Murray expedition, 1933—1934. Vol. II, No 3, 1939.