

ПРОВ 2010

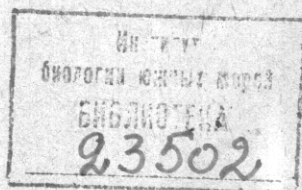
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

БИОЛОГИЯ МОРЯ

Вып. 21

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В КРАСНОМ И АРАВИЙСКОМ МОРЯХ

Республиканский межведомственный сборник



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»

КИЕВ — 1970

Idrografica Nel Mar Rosso Della Regia Nave "Ammiraglio Mag-naghi" 1923-1924, 1927.

V e r c e l l i F. Nuove Ricerche Sulle Correnti Marine Nel Mar Rosso. Genova, 1931.

W ü s t G. Salzgehalt und Wasserbewegung im Suezkanal. - Naturwissenschaften, 22, Jahrg, 36, 1934.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В КРАСНОМ МОРЕ И АДЕНСКОМ ЗАЛИВЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ Э/С "АКАДЕМИК А.КОВАЛЕВСКИЙ"

М.А.Добржанская

Наблюдения проводились в период рейсов э/с "Академик А.Ковалевский" в декабре 1961 - марте 1962 гг. и в сентябре-декабре 1963 г. Непосредственно в Красном море наблюдения велись в январе 1962 г. и октябре 1963 г. В 1963 г. гидрохимические наблюдения распространились на все Красное море (в 1962 г. в его наиболее южной мелководной части работы не проводились). В 1962 г. в Красном море выполнено 16 станций, в Аденском заливе - 4; в 1963 г. в Красном море - 32 и в Аденском заливе - 15 станций /рис.1/.

Данные, полученные для Красного моря и Аденского залива, в основной своей массе приходятся на зимний период. В это время года обмен вод между Аденским заливом и Красным морем, играющий важную роль в формировании водной массы Красного моря, отличается более сложной схемой. Как известно из литературных источников /Thompson, 1939a, 1939b; Sverdrup a.all, 1946; Муромцев, 1960, 1962; Богданова, 1966; и др./, поступление в Красное море и характер распределения в нем менее соленых и обогащенных биогенными элементами вод Аденского залива в значительной мере определяется направлением преобладающих ветров. В отличие от лета, когда над всей поверхностью Красного моря господствуют северо-северо-западные ветры, зимой /с октября по апрель/ они сохраняют свое направление лишь в северной части Красного моря /до широты $21-22^{\circ}$ /. В южной части доминируют ветры обратного направления - юго-юго-восточные. Е.Барлоу /Barlow, 1934, цит. по Sverdrup a.all, 1946/, проводивший многочисленные непосредственные определения течений в Красном море, установил, что поверхностное течение в нем с ноября по

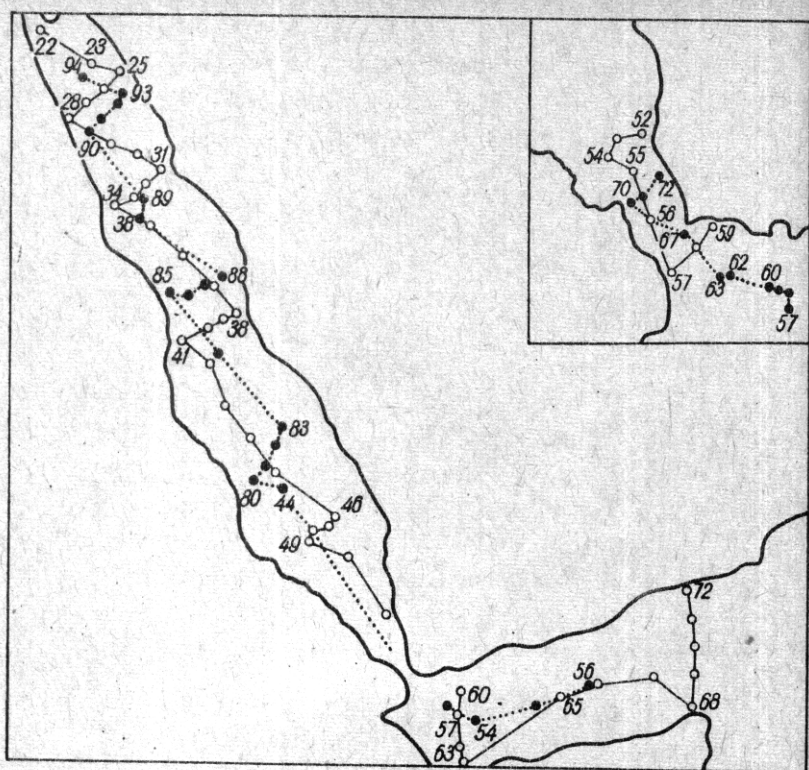


Рис. I. Схема станций э/с "Академик А.Ковалевский" в Красном море и Аденском заливе в период рейсов:

●..... 3.XII 1961г.- 3.III 1962 г.; ○— 28.IX-12.XII 1963г.

март идет по направлению на северо-северо-запад, а с июня по сентябрь — на юго-юго-восток. Октябрь же является промежуточным периодом.

Как известно, процессы циркуляции и перемешивания вод яв-

ляются важнейшими факторами, определяющими содержание и распределение ряда гидрохимических показателей, в частности, поступление кислорода в глубинные слои всецело зависит от циркуляции водных масс.

Поверхностные воды Красного моря, соответственно их высоким температурам и солености, отличаются относительно низким содержанием кислорода. В верхней, наиболее насыщенной кислородом толще содержание его на поверхности в период наблюдений 1963 г. колебалось в пределах 4,05 - 4,39 мл/л /91-101%/; в 1962 г. - от 4,37 до 4,62 /91-100%/. Слой с содержанием кислорода 4,0 мл/л и более ограничивался небольшой толщей. Нижняя граница изоксигены 4,0 в продольном направлении, как правило, заглублялась по мере продвижения с юга на север. В 1963г. изоксигена 4,0 в южной части Красного моря, на мелководном участке его, проходила на глубине 50-60 м, постепенно опускаясь до 100 - 150 м в северной части /рис. 2 а,б/. Такая же закономерность в пространственном распределении кислорода отмечена и в январе 1962 г., с тем лишь различием, что изоксигена 4,0 в северной части была заглублена до 200 м /рис.3 а,б/. В соответствии с распределением кислорода слой с насыщением 80% и выше /до 100%/ в 1963 г. в южной части моря ограничивался изобатой примерно 50 м, в северной - 125-150 м. Толщина слоя относительного насыщения 50% и более составляла в северной части моря порядка 300 - 350 м, в самой южной, мелководной - около 75 - 100 м. Эта толща на всем своем протяжении является слоем резкого изменения содержания кислорода /слоем максимальных градиентов/ как по вертикали, так и в горизонтальном направлении. При этом градиенты увеличивались в направлении с севера на юг.

По мере дальнейшего углубления содержание кислорода понижалось, образуя на некоторых промежуточных горизонтах слой "минимума". Понижение кислорода, как следует из указанных рисунков, происходило более резко в южной части, при продвижении на север вертикальные градиенты уменьшались. В период наших наблюдений слой с содержанием кислорода менее 1,0 мл/л по преимуществу располагался в толще между 200 и 500 м. В распределении изоксигены 1,0, оконтуривающей область минимальных значений кисло-

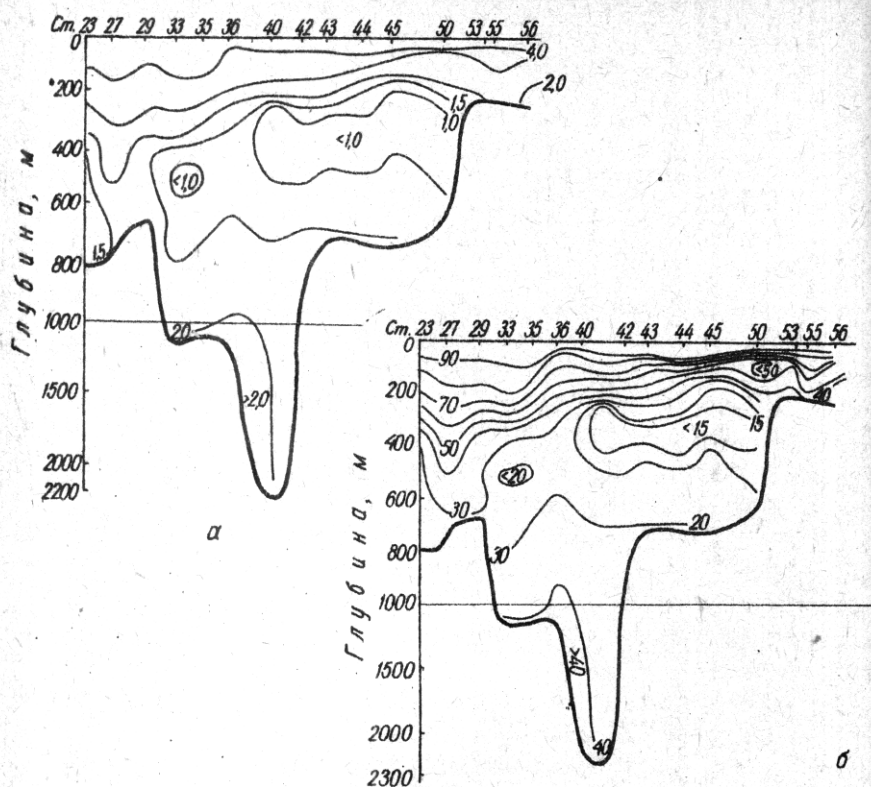


Рис.2. Распределение кислорода по продольному разрезу Красного моря. Октябрь 1968 г.:

а - O_2 , мл/л ; б - O_2 , % .

рода, отмечалась та же тенденция к некоторому заглублению по направлению с юга на север. В 1963 г. верхняя граница ее в южной части моря /ст.45/ была отмечена на глубине 190 м, на ст. 40, расположенной на северном конце слоя минимума, - на 240 м. В 1962 г. в южной части /ст.82/ она поднялась на глубину 150 м, в северной /ст.86/ опустилась на 350 м /экстремные величины/. Промежуточный слой с пониженным содержанием кислорода характерен и для северной части Красного моря. Различие лишь в том, что в этом районе моря в нем преобладают величины более 1,0 мл/л O_2 /до 1,5/. Исключение составляла небольшая обособленная область, в центре которой содержание кислорода понизилось до 0,8 мл/л.

В 1962 г. минимум кислорода в этой области превышал единицу - 1,3 мл/л.

После минимальных значений кислорода, с дальнейшим углублением содержание его неуклонно возрастало в приближении ко дну до 1,5 - 1,6 мл/л /до 30 - 35% насыщения/ в южной и центральной частях моря и до 2,0 мл/л /40%/ на глубине 1000-1100 м /1963 г./ и 800 - 900 м /1962 г./ в северной части. Закономерности горизонтального и вертикального распределения кислорода отражены на рис.2, 3 /а,б/.

По распределению изооксиген на поперечных разрезах северная, средняя и южная части Красного моря также различаются. Так, на поперечном разрезе северной части моря в октябре 1963 г. наблюдалось плавное заглубление изооксиген по направлению с востока на запад. Разность в глубине залегания изооксиген 4,0 и 2,0 между восточным и западным берегами достигала в этот период 200 м /рис. 4а/. В частности, изооксигена 4,0 у африканского берега опустилась на глубину 220 м /ст.28/, в то время как вблизи Аравийского берега /ст.26/ поднялась на глубину около 75 м. На разрезе, проходящем через среднюю часть Красного моря /рис.4б/, изооксигены располагались почти параллельными кривыми с небольшим равномерным заглублением в приближении к ст.39.

Разрез в южной части моря характеризовался более сложной схемой. Как следует из рис. 4 в, в распределении изоповерхностей кислорода в 1963 г. была отмечена некоторая слоистость.

В январе 1962 г. схема распределения кислорода на поперечных разрезах несколько отличалась от 1963 г. Например в северной части Красного моря в октябре 1963 г. резкое заглубление изооксиген наблюдалось у африканского берега /ст.28/, в январе 1962 г. изооксигены были заглублены у аравийского берега /ст.93/ рис. 5а/. Разность в глубине залегания изооксигены 4,0 между африканским и аравийским берегом в северной части моря в январе 1962 г. составила около 120 м, т.е. величину меньшую по сравнению с октябрём 1963 г. на 80 м. На поперечном разрезе средней части Красного моря изооксигены распределялись более плавно /рис.5б/. Некоторая тенденция к заглублению у аравийского берега отмечена лишь для изоповерхности 4,0 мл/л. Однако разность между западным и восточным берегом в глубине ее залегания на этом разрезе составляла всего лишь 15 - 20 м. По всей вертикали этого разреза в распределении изооксиген имел место куполообразный изгиб, характерный для циклонической системы течений, с вершиной на ст. 86, расположенной ближе к

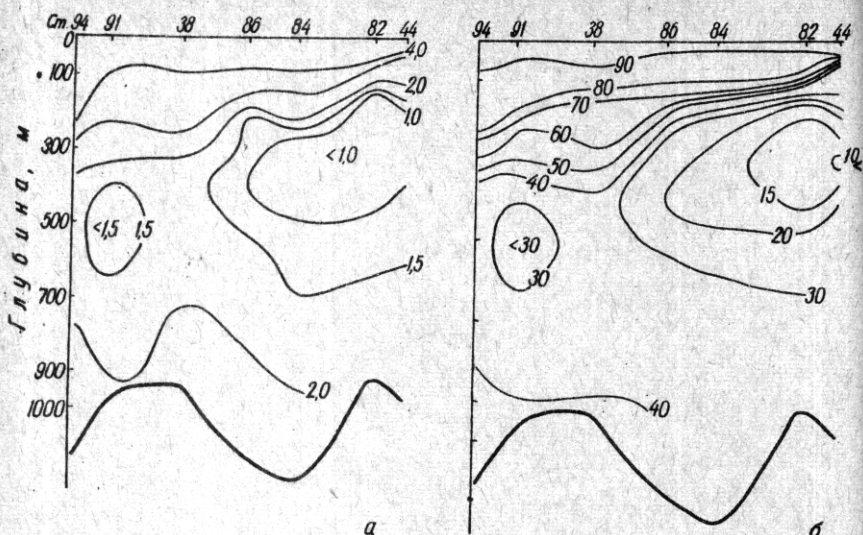


Рис.3. Распределение кислорода по продольному разрезу Красного моря. Январь 1962 г.:
а - O_2 , мл/л ; б - O_2 , %.

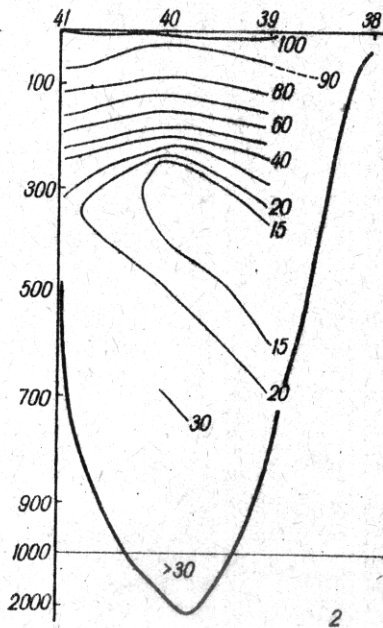
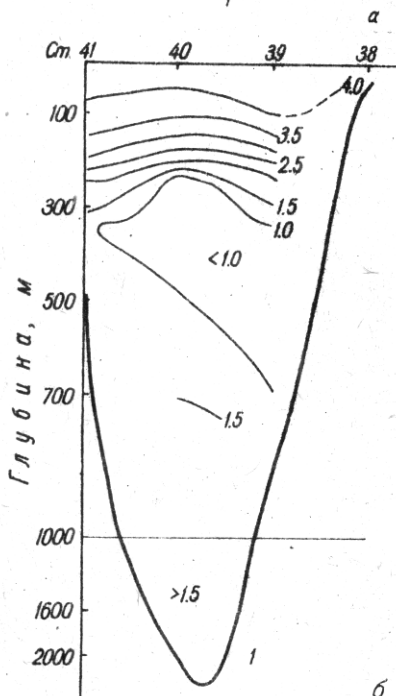
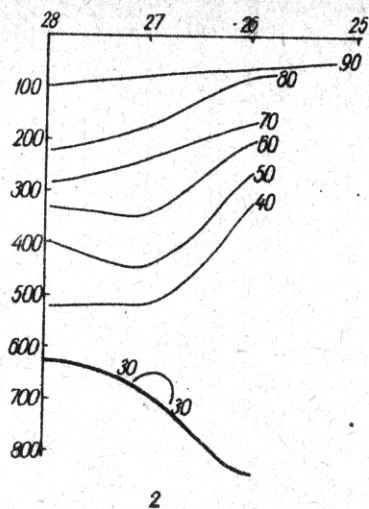
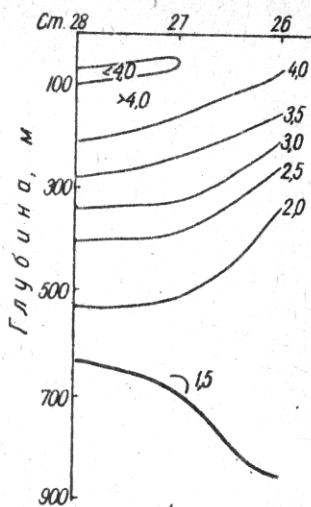
африканскому берегу. На поперечном разрезе в северной части моря изгиб был несколько смещен к востоку с вершиной на глубине примерно 450 м /рис.5в/. На южном разрезе, который в январе 1962 г. был расположен в 72 км от Баб-эль-Мандебского пролива/в октябре 1963 г. - в 44 км/, изооксигены у африканского берега расходились веерообразно, а у аравийского были более сгущены и располагались почти параллельно.

В январе 1962 г. южный разрез характеризовался высоким залеганием слоя минимума кислорода с содержанием менее 1,0 мл/л. Верхняя граница этого слоя проходила на глубинах 150 - 170 м. Слой минимума кислорода в данном случае простирался до глубины 400-450 м, после чего количество кислорода с углублением постепенно возрастало до 1,65 мл/л в приближении ко дну. Однако у берегов Африки /ст.80/ на этом разрезе промежуточный слой минимума кислорода отсутствовал, количество кислорода с глубиной постепенно понижалось до 1,17 мл/л на

300 м /рис.5, в/. В средней части моря верхняя граница с содержанием кислорода менее 1,0 мл/л на поперечном разрезе залегала более глубоко — на 300 м. В северной же части моря верхняя граница промежуточного слоя проходила на глубине около 400 м. При этом в отличие от более южных районов в северной части моря содержание кислорода в слое его минимума, как правило, превышало 1,0 мл/л. В данном случае наименьшая, наблюдаемая величина составляла 1,23 мл/л O_2 /ст.93, 500 м /.

В октябре 1963 г. в северной части Красного моря промежуточный минимум кислорода был выражен не отчетливо. По всей вертикали поперечного разреза содержание кислорода в приближении ко дну постепенно убывало. Исключение составила ст.26, расположенная вблизи аравийского берега, где на глубине 825 м количество кислорода возросло до 2,10 мл/л при минимуме его значений — 1,58 мл/л — на 500 м. Как отмечалось выше, для этого участка разреза в направлении к аравийскому берегу характерно резкое поднятие всех изоповерхностей кислорода. С продвижением к югу /на поперечном разрезе от ст.34 до ст.31/ промежуточный слой низкого содержания кислорода отмечен на всем разрезе в толще, примерно, от 450 до 600 м. В этом слое содержание кислорода составляло менее 1,0 мл/л /до 0,84 мл/л/. С дальнейшим углублением в этом районе моря количество кислорода постепенно повышалось и на ст.33 достигло 2,0 мл/л на 1100 м. В средней части моря, в районе станций 41 — 38 /рис.5, б/, верхняя граница низких значений кислорода поднялась очень высоко. Так, на ст.40 содержание кислорода на 250 м понизилось до 0,77 мл/л, на 300 м — до 0,57. При этом промежуточный слой с содержанием кислорода менее 1,0 мл/л у западных берегов был значительно тоньше /порядка 100 м/, чем у восточных. В восточном направлении нижняя граница его постепенно заглублялась и на ст.39 опустилась на глубину 700 м, соответственно чему толщина промежуточного слоя в этом участке моря возросла до 350 м /экстремные величины/.

Суммируя изложенное, можно отметить следующие общие закономерности в распределении промежуточного слоя с наиболее низким содержанием кислорода. А именно, по мере продвижения с севера на юг границы этого слоя расширяются. В этом же направлении поднимается верхняя граница промежуточного слоя



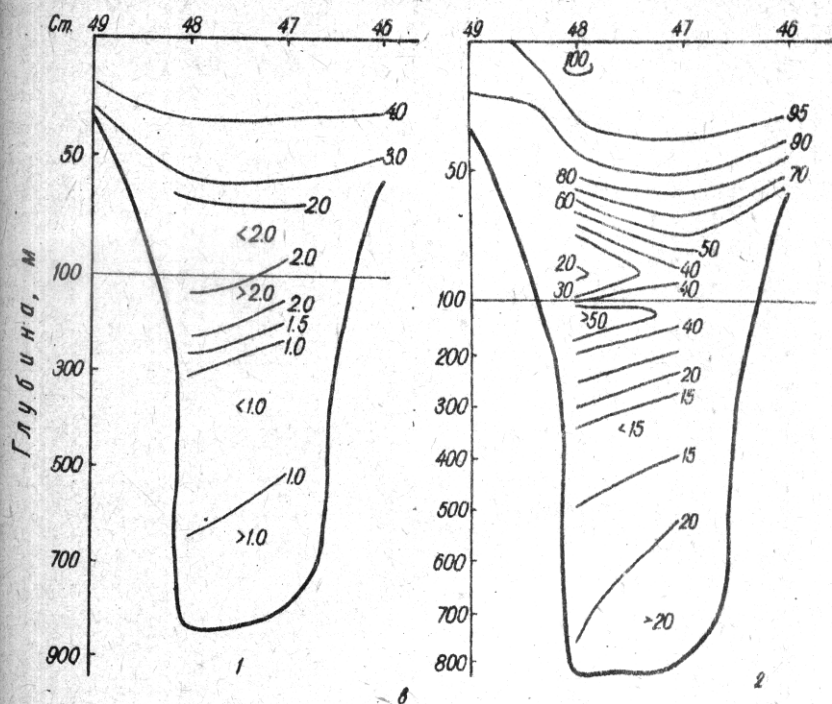


Рис. 4. Распределение кислорода на поперечных разрезах Красного моря. Октябрь 1963 г.:

а - северная часть /1 - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , %/;

б - средняя часть /1 - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , %/;

в - южная часть /1 - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , %/.

с 400 м /1962 г./ до 500 м /1963 г./ в северной части моря и со 150 м /1962 г./ до 250 м /1963 г./ в южной. Разность в глубине ее залегания между январем 1962 г. и октябрем 1963 г. составила порядка 100 м как в северной, так и в южной частях моря. В средней же части верхняя граница промежуточного слоя в 1962 и 1963 гг. проходила на глубине около 400 м. Соответственно распределялось и содержание кислорода в промежуточном слое. Наиболее высокие величины /более 1,0 мл/л/ характерны для северной части моря, более низкие /менее 1,0 мл/л/ для среднего и южного районов. В 1962 г. минимальное содержание кислорода на поперечных разрезах в северной части Красного моря составляло 1,23, в средней - 0,61 и в южной - 0,55 мл/л, в 1963 г. - 1,58, 0,57 и 0,57 мл/л соответственно. Как уже отмечалось, на мелководье, в районе ст. 54 - 52, промежуточный слой минимальных значений кислорода нами не наблюдался - с глубиной кислород закономерно понижался. Аналогичная закономерность в распределении кислорода в промежуточном слое отмечена А.М.Муромцевым. По его данным, содержание кислорода в промежуточном слое вблизи Баб-эль-Мандебского пролива составляло 0,54 - 0,70 мл/л, в северной части оно увеличилось до 0,80 - 1,34 мл/л. Приведенные им величины весьма близки к нашим.

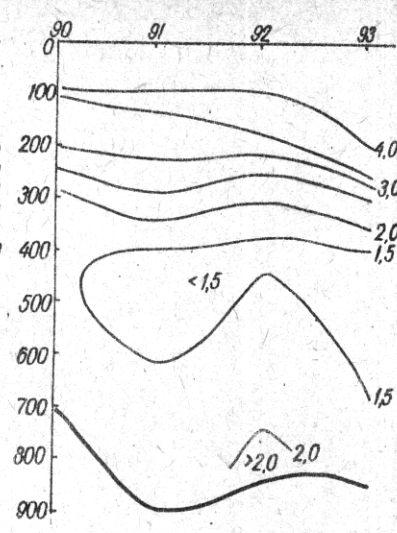
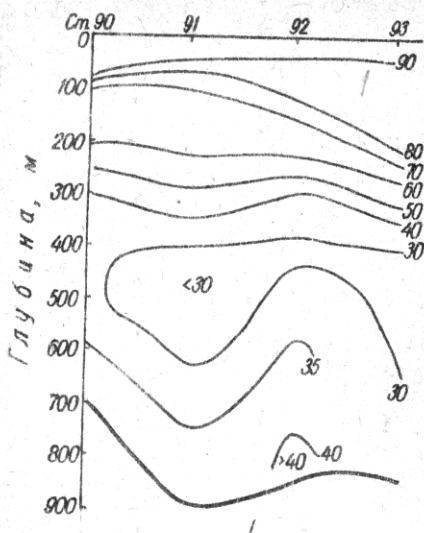
Наряду с этим, как следует из изложенного, пространственное распределение промежуточного слоя и содержание в нем кислорода, видимо, подвержены хотя и небольшим, но заметным отклонениям. Эти отклонения, по-видимому, в основном связаны с сезонными колебаниями в направлении течений.

Водообмен Красного моря с Аденским заливом лимитирован небольшой глубиной порога /125 м/. Воды Аденского залива подвержены большому влиянию вод Аравийского моря. Большие глубины Аденского залива у входа в Аравийское море обеспечивают интенсивный обмен вод между этими водоемами. Согласно А.К.Богдановой /1966/, В.В.Серый и В.А. Химица /1963/ и др., зимой при устойчивых северо-восточных и восточных ветрах в заливе устанавливается циклоническая система течений, которая характеризуется господствующим переносом вод из Аравийского моря в Аденский залив вдоль Аравийского побережья. Летом при за-

падном и юго-западном ветрах в Аденском заливе усиливается течение вдоль африканского берега и ослабевает у противоположного — аравийского. Такая система течений приводит к скоплению на юге залива поверхностных вод, у северо-западного побережья — к подъему глубинных. Поступающие в период зимнего муссона поверхностные воды северо-западного района Аравийского моря, несколько трансформируясь здесь, образуют поверхностный слой Аденского залива. Толщина этого слоя небольшая, и в зависимости от течений колеблется от 10 — 25 до 75 — 100 м /Богданова, 1966/. По данным А.К.Богдановой, в период наблюдений в Аденском заливе /ноябрь 1963г./ зимний ветровой режим еще не установился и в западной половине залива сохранилось летнее распределение характеристик.

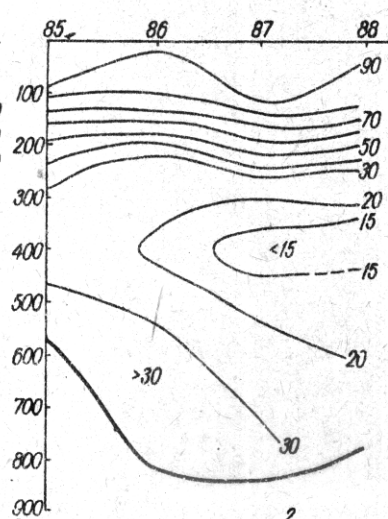
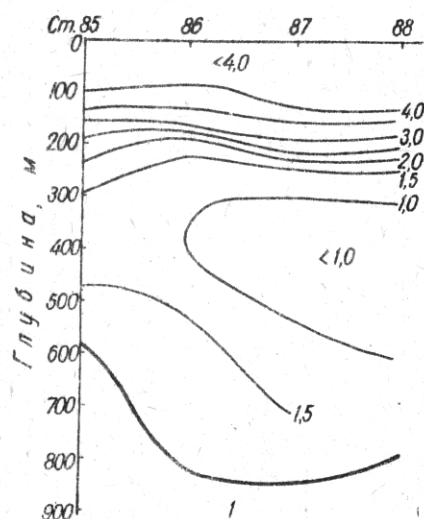
Распределение кислорода по оси Аденского залива в ноябре 1963 г. характеризовалось следующими чертами. Слой с содержанием кислорода 4,0 мл/л и более /90% и выше/ составлял очень незначительную толщу и был ограничен глубинами от 15 м /ст.65/ до 50 м /ст.58/. Также близко к поверхности подходила изооксигена 1,0. Наибольшее заглубление верхней границы /до 150 м/ наблюдалось у входа в Баб-эль-Мандебский пролив /ст.58/. У входа в Аравийское море она поднялась на глубину 60 м /ст.70/, а в средней части пролива — на 55 м /ст.65/, образовав в этой части залива характерный для "циклонического типа" /Добрянская, 1967/ распределения изоповерхностей подъем изооксиген. В соответствии с глубиной залегания изооксиген, толщина верхнего слоя с содержанием кислорода более 1,0 мл/л колебалась в пределах от 150 м вблизи Баб-эль-Мандебского пролива и до 60 м у Аравийского моря. Для верхней толщи Аденского залива характерны большие градиенты в распределении кислорода по вертикали. В пространственном же распределении изооксиген наблюдалась почти строгая параллельность.

Глубже, по всей вертикали основной толщи вод, содержание кислорода составляло менее 1,0 мл/л. Нижняя граница изооксигены 1,0 мл/л проходила на глубинах примерно 1300—1400 м. По мере дальнейшего углубления содержание кислорода весьма медленно возрастало и в наиболее глубоководной части залива превысило 2,0 мл/л, достигнув 2,30 мл/л /ст.67/ на глубине 2100 м.



a

2



б

2

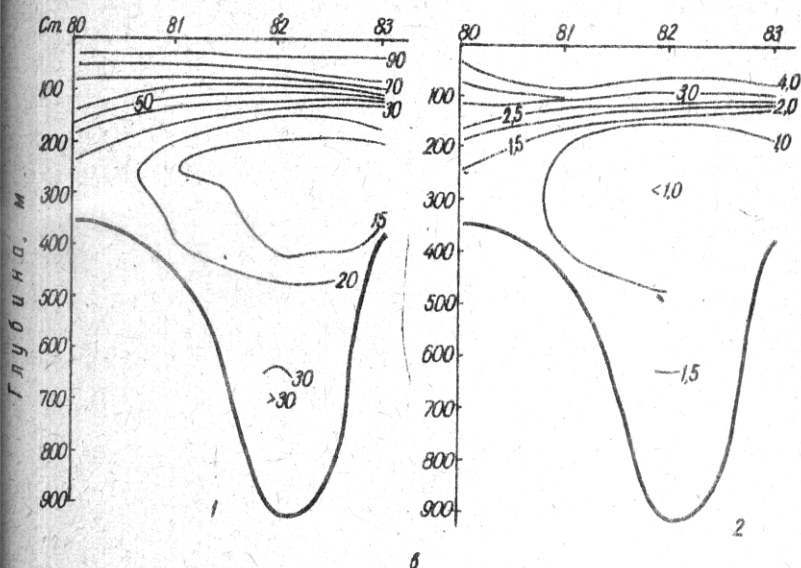


Рис.5. Распределение кислорода на поперечных разрезах Красного моря. Январь 1962 г.:

- а - северная часть /1 - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , % /;
- б - средняя часть /1 - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , % /;
- в - южная часть /1 - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , % /,

В глубинной толще отчетливо прослеживался слой с содержанием кислорода менее 0,5 мл/л — промежуточный слой минимума кислорода. Наименьшее значение кислорода в данном случае составило 0,34 мл/л на глубине 650 м/ст.65/, т.е. в районе циклонического подъема изоповерхностей. В отличие от Красного моря, в Аденском заливе слой минимума кислорода располагался значительно глубже. Нижняя граница его проходила на глубинах 1000–1200 м. Глубина залегания верхней границы его колебалась в значительно более широких пределах — от 600 до 1100 м — в зависимости от района моря /рис.6а,б/. Вместе с тем в пространственном распределении изооксиген по большой оси залива, в глубинной толще его, имела место тенденция к сохранению общего характера их распределения в верхнем слое.

Закономерности распределения кислорода на поперечных разрезах Аденского залива по меридианам 45 и 52 заметно различаются. Последний разрез характеризуется более сложной схемой. Как следует из рис.7а, в распределении кислорода по 45-му меридиану в верхнем 100-метровом слое наблюдалось куполообразное строение его изоповерхностей с подъемом в центральной части залива и заглублением вблизи берегов. Слой с содержанием кислорода 4,0 мл/л и более /с насыщением 90% и выше/ у западных и восточных берегов был ограничен глубинами 50 и 60 м соответственно, в центральной части — 25–30 м. В пределах же верхнего 100-метрового слоя в центральной части разреза проходила изооксигена 1,0 мл/л, которая располагалась на глубине 70 м. Вблизи берегов изоповерхность 1,0 мл/л O_2 заглублялась до 125 м у восточного берега и до 200 м у западного. По всей вертикали разреза содержание кислорода с глубиной весьма постепенно понижалось и вблизи дна, в самой глубоководной части разреза /ст.62/, снизилось до 0,52 мл/л O_2 на 1100 м. Лишь у Аравийского берега /ст.60/ вклинивался незначительный по протяженности слой несколько повышенного содержания кислорода. Однако это превышение составляло всего лишь около 0,2 мл/л O_2 . На этом участке, в слое от 700 до 800 м, количество кислорода возросло до 0,8 мл/л вместо 0,56 мл/л на глубине 600 м.

В распределении кислорода на поперечном разрезе у выхода в Аравийское море /по меридиану 52/, в центральной части залива, сохранялось куполообразное строение изоповерхностей

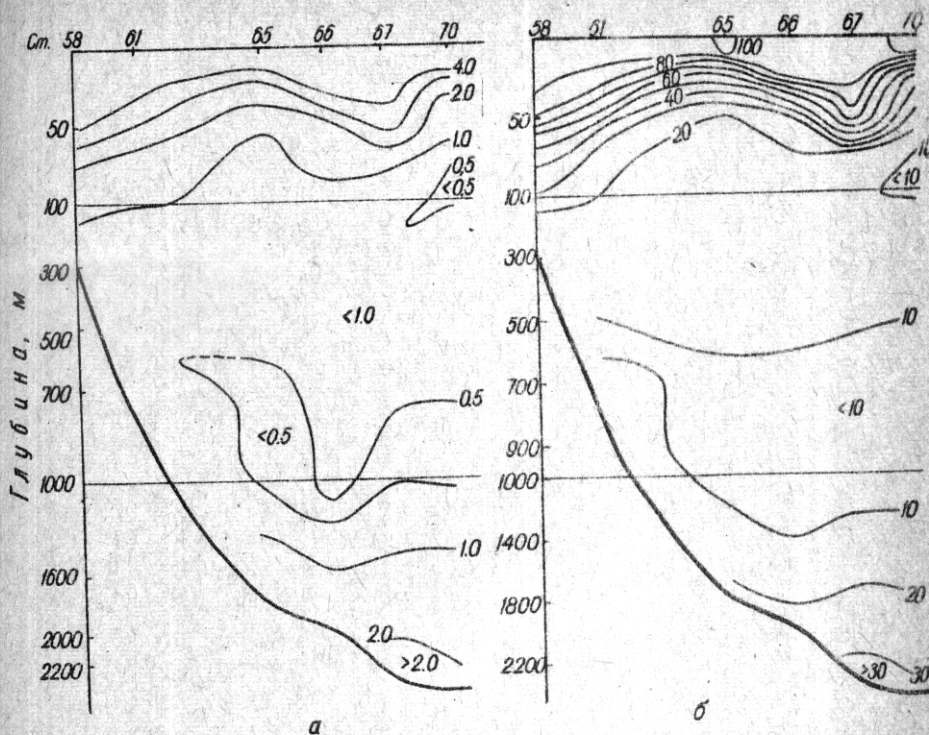


Рис.6. Распределение кислорода по продольному разрезу Аденского залива. Ноябрь 1963 г.:

а - O_2 , мл/л; б - O_2 , %.

/рис.7,б/. На вершине подъема изооксиген /ст.70/ содержание кислорода от 4,0 мл/л и более /с 90% насыщения и выше/ было отмечено лишь в самых верхних горизонтах - до глубины 15-20м. С приближением к африканским берегам, после небольшого заглубления /до 35 м и на ст.69/ этой изоповерхности, содержание кислорода резко понизилось. Вблизи берегов Африки /ст.68/ количество кислорода 4,0 мл/л и более было отмечено лишь в верхних 5 м, глубже, на 35 м /придонный слой/, содержание его понизилось до 2,0 мл/л. Вблизи Аравийского берега изооксигены 4,0 и 2,0 мл/л

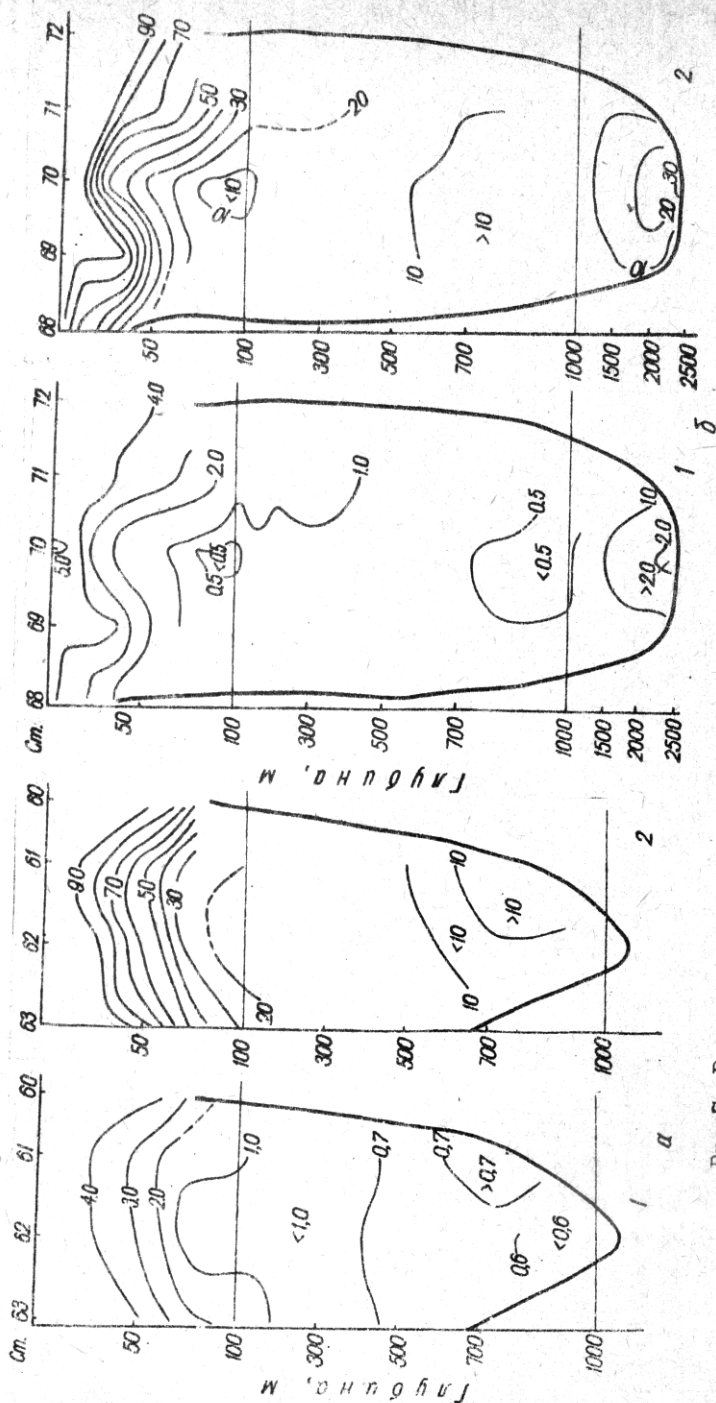


Рис. 7. Распределение кислорода на поперечных разрезах Апенского залива.
Ноябрь 1963 г.:

а - по 45-му меридиану / I - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , ‰;

б - по 51-му меридиану / I - O_2 , мл/л; 2 - O_2 , ‰.

заглублены до 50 и 90 м соответственно. Такая же закономерность сохраняется и в пространственном распределении изеокиген $1,0$ мл/л с тем лишь различием, что у берегов Африки слой с содержанием кислорода несколько более $1,0$ мл/л / в среднем до $1,3$ / опустился до 400 м. В глубинной толще этого разреза наблюдалась тенденция к сохранению параллельности в распределении изеокиген в верхнем слое. Вместе с тем в распределении кислорода в этом слое имелись свои особенности. В частности, в центральной части разреза /район ст.70/ было отмечено два небольших по протяженности слоя минимума кислорода, где содержание его составляло менее $0,5$ /мл/л. Один из них располагался на глубинах от 80 до 100 м, где на 100 м количество кислорода понизилось до $0,38$ мл/л. Второй слой, несколько более обширный, залегал на глубинах от 750 м до 1000 м. В данном случае минимальное значение кислорода составляло $0,43$ мл/л на 900 м /ст.70/. По мере дальнейшего углубления /ст.70/ содержание кислорода весьма постепенно возрастало, достигнув на 2350 м $2,32$ мл/л. На станциях, расположенных к западу /ст.69/ и к востоку /ст.71/ от ст. 70, повышение содержания кислорода с глубиной было незначительным. К тому же, во всей толще этого разреза с содержанием кислорода, примерно, от $0,5$ до $0,7$ мл/л, имел место некоторый разброс в величинах, не укладывающийся в графические закономерности. Различие между этими величинами обычно не превышало нескольких сотых.

Представленные закономерности распределения содержания кислорода распространяются и на распределение величин процента его насыщения.

Резюмируя изложенное, можно выделить следующие основные черты, характерные для распределения кислорода в Красном море и Аденском заливе. Основная масса вод этих водоемов отличается весьма низким содержанием кислорода. Толщина насыщенного кислородом слоя с содержанием в нем $4,0$ мл/л O_2 и более по большой оси Аденского залива колебалась всего лишь в пределах от 15 м у выхода в Аравийское море до 50 м в вершине залива. Содержание кислорода на поверхности Аденского залива составляло от $4,19$ /90%/ до $4,74$ мл/л /100%/ в 1963 г. и от $4,45$ /93%/ до $4,72$ мл/л /96%/ в 1962 г. Лишь на ст.70 количество кислорода в

1963 г. на 0 м достигло 5,05 мл/л /105%/. При переходе в Красное море слой с нормальным для вод верхнего слоя Мирового океана насыщением кислорода на большей части моря ограничивался изобатой 50 м. Только в северном районе Красного моря, примерно от 22° - 28° с.ш., изоксигена 4,0 мл/л опускается до 100-150 м. Глубже, как это следует из всех прилагаемых рисунков, количество кислорода резко убывает, причем с наибольшими вертикальными градиентами в верхнем 100-метровом слое в Аденском заливе и средней части Красного моря. Изоксигена 1,0 мл/л наиболее высоко проходила в Аденском заливе у выхода в Аравийское море - на 60 м, постепенно опускаясь до 150 м у Баб-эль-Мандебского пролива. В центральной части Красного моря верхняя граница слоя с содержанием кислорода менее 1,0 мл/л располагалась на 200-300 м. Нижняя граница его ограничена глубинами 400-500 м. К северу же, примерно от 23° северной широты, содержание кислорода в промежуточном слое минимальных значений обычно превышало 1,0.

В Аденском заливе слой с содержанием кислорода менее 1,0 мл/л распространялся на значительно большую толщу - до 1400-1600 м. Глубже содержание кислорода в заливе постепенно возрастало и вблизи дна /2000-2200 м/ составляло немногим более 2,0 мл/л. При этом в промежуточном слое низких значений кислорода отчетливо выделялся слой с величинами менее 0,5 мл/л O_2 .

Эти закономерности в распределении кислорода в Красном море и Аденском заливе в основных чертах распространялись и на январь 1962 г. с некоторыми локальными различиями, связанными с отклонениями в гидрологической характеристике этого периода. В частности, необходимо отметить, что в северной части моря глубинный слой с содержанием кислорода 2,0 мл/л в январе 1962 г. распространился на большую толщу, чем в октябре 1963 г. Верхняя граница его в 1962 г. поднялась на глубину 800 м, в 1963 г. она располагалась на 100 м. В январе 1962 г. также возросло в этом слое содержание кислорода до 2,1 мл/л, а вблизи Суэцкого канала - до 2,5 мл/л. В октябре же 1963 г. содержание кислорода в рассматриваемом слое не превышало 2,0 мл/л. Относительно большая насыщенность кислородом вод глубинных слоев северной части Красного моря в январе 1962 г. обусловлена, вероятно, интенсификацией конвекционного переме-

шивания, связанной с понижением температуры воды верхнего слоя.

Распределение кислорода в Красном море и Аденском заливе находится в тесной зависимости от их гидрологического режима. Водобмен между Красным морем и Аденским заливом, который, как отмечалось выше, является фактором первостепенной важности в формировании гидрохимического режима Красного моря, из-за малой глубины порога /125 м/, ограничен лишь верхними слоями. Глубинные воды Аденского залива с низкими температурой и соленостью в Красное море не проникают. Объем воды, вносимый через Суэцкий канал, относительно мал и, по мнению Х.Свердруп /Sverdrup a. all, 1946/, в этом отношении занимает подчиненное положение. Режим глубинных вод Красного моря определяется лишь условиями конвекционного перемешивания /Богданова, 1966/.

Зимой, поступающие через Баб-эль-Мандебский пролив менее соленые поверхностные воды Аденского залива, вследствие разности уровней, а также под воздействием зимнего муссона, постепенно перемещаются с юга на север. По пути следования воды Аденского залива трансформируются, смешиваясь с водами Красного моря, и в это время года образуют его поверхностный слой, который характеризуется большими вертикальными градиентами в своих показателях.

Поверхностные воды Аденского залива, в свою очередь, находятся под воздействием северо-аравийских вод и по своим характеристикам близки к ним. Последние отличаются низкими показателями температуры и солености, в том числе и весьма низким содержанием кислорода /Серый и Химица, 1963/.

По данным А.К.Богдановой /1966/, соленость воды поверхностного слоя Красного моря в период наших наблюдений уменьшалась по направлению с севера на юг от 40,48 /ст.27/ до 36,51‰ /Баб-эль-Мандебский пролив/. Толщина слоя распресненных вод в южной части Красного моря составляла порядка 100-125 м; в средней - 50-60 м. Содержание кислорода в Баб-эль-Мандебском проливе колебалось от немногим более 4,0 мл/л в верхних 40 м и до 2,0 мл/л на 125 м, что соответствует содержанию кислорода в районе Аденского залива /ст.58/, непосредственно примыкающему к Баб-эль-Мандебскому проливу. Большие вертикальные

градиенты кислорода, характерные для вод Аденского залива, с максимальными их значениями в слое, примерно, от 40 до 75 м, достигающими до 0,5-0,10 мл/л O_2 на 1 м /ст.56/, сохраняются по оси южной части Красного моря. При дальнейшем продвижении на север, с уменьшением толщины распресненного слоя вертикальные градиенты кислорода уменьшаются. Так, на ст.36 в слое от 40 до 100 м этот градиент составлял менее 0,01 мл/л O_2 . В северной части моря, в районе ограниченном поднятием дна, все изооксигены относительно резко заглубляются - изооксигена 4,0 мл/л проходит на 100-150 м. Вертикальные градиенты кислорода в верхнем 100-150-метровом слое близки к нулю. В слое наименьших значений кислорода, в данном случае от 150 до 500 м, его градиент составлял всего лишь порядка 0,004 мл/л на 1 м. Уменьшение градиентов кислорода по вертикали обусловлено следующими причинами. Поступающие аденские воды, как более легкие, распределяются по поверхности Красного моря с четко выраженной плоскостью раздела. Возникающий скачок плотности препятствует вертикальному обмену вод. По мере продвижения на север с трансформацией аденских вод градиент плотности уменьшается, что вызывает повышение кислорода в относительно большей толще верхнего слоя. В северной же части моря, поступающие через Суэцкий канал воды с высокой соленостью способствуют развитию конвекционного перемешивания. При этом существенным фактором является и то, что в этом районе моря на протяжении большей части года преобладают ветры северо-северо-западного направления, усиливающие поступление более тяжелых, с повышенным содержанием кислорода, вод в Красное море. По-видимому, им принадлежит не малая роль в аэрации глубинных вод Красного моря, несмотря на относительно малый их объем. Очевидно, эти воды, опускаясь непосредственно после своего выхода из канала в глубинные слои Красного моря, являются для последних основным фактором, обуславливающим поступление кислорода. Вместе с тем, вероятно, свободное распространение их в глубинной толще моря несколько ограничено большим поднятием дна /до 900 м/ на широте примерно $23^{\circ}30'$. Подъем дна в какой-то мере отделяет северный район Красного моря от остальной его части и, видимо, создает некоторую преграду в обмене его вод.

Следствием этих же причин является, вероятно, наблюдаемое в глубинной толще северной части Красного моря несколько повышенное количество кислорода по сравнению с содержанием его в глубинных слоях остальной части моря. Судя по показателям кислорода, в глубинные слои средней и южной частей Красного моря поступают воды с кислородной характеристикой промежуточного слоя северной части его, т.е. воды с несколько пониженным содержанием кислорода. Этими же особенностями, по-видимому, также определяется и наблюдаемый "абсолютный" минимум кислорода в промежуточном слое в средней и южной частях Красного моря, где количество его, как правило, составляет менее 1,0 мл/л /до 0,5 и ниже/. В условиях ограниченного обмена вод с верхней толщей, из-за большого вертикального градиента плотности, доступ "окислороженных" вод в эту толщу наиболее затруднен. Воды слоя "абсолютного" минимума кислорода по своим гидрохимическим характеристикам наиболее "старые". Косвенным свидетельством этому служат полученные в период указанных рейсов данные по распределению величин БПК₅. В рассматриваемом слое на некоторых глубинах его БПК₅ составляло всего лишь 0,06-0,00 мг/л при более высоких показателях на выше /0,4-0,3/ и ниже /0,2-0,1/ расположенных горизонтах. Столь низкие величины БПК₅ указывают на высокую минерализацию фракции легко доступного для окисления растворенного органического вещества и на ограниченную скорость ее обновления. Этой же толще соответствуют самые высокие величины фосфатов, что, в свою очередь, подтверждает замедленность обмена вод в данном слое.

Зависимость горизонтального и вертикального распределения кислорода от гидрологического режима в общих своих закономерностях сохраняется также на поперечных сечениях моря. Так, на поперечном разрезе северной части Красного моря, согласно данным А.К.Богдановой /1966/, воды относительно пониженной солености /40,0-40,2‰/ располагались у аравийского берега. В приближении к африканским берегам соленость несколько возросла /40,4‰/. Изогалина 40,4, как и 40,5, довольно резко заглублялась по направлению с востока на запад. Заглубление изогалин повышенной солености в этом районе повлекло за собой более глубокое проникновение насыщенных кислородом вод. На поперечном сечении средней части моря, по наблюдениям того же автора,

изогалины и изотермы располагались по всему сечению почти горизонтально со слабым заглублением к обоим берегам. Та же закономерность отмечена и для изооксиген верхнего 300-метрового слоя. Глубже изооксигена, очерчивающая слой минимума кислорода, сильно заглублялась по направлению к аравийскому берегу. У западного берега этот слой выражен слабо. В глубинной толще, которая характеризовалась более равномерным распределением температур и солености, распределение кислорода, видимо, является более тонким показателем движения водных масс. Как следует из рис. 4б, по кислороду хорошо прослеживается проникновение у африканских берегов относительно более окислороженных вод в глубинную толщу, где в придонном слое /2000 м/ содержание его достигало 1,95 мл/л. На поперечном разрезе южной части Красного моря в октябре 1963 г. наблюдалась значительная переслоенность вод по температуре и солености, что, по заключению А.К.Богдановой, указывает на довольно сложную систему течений в этом районе. Такая же переслоенность имела место и в распределении кислорода, характерную черту которого составляло образование двух слоев минимума O_2 /рис.4в/. Один из них с относительно высоким содержанием кислорода - от 1,4 до 2,0 мл/л - вклинивался в толщу между 60 и 100 м. По своим гидрологическим показателям этот слой отличался низкими для данного разреза температурой и соленостью, с минимальными их значениями $21,46^{\circ}$ и 36,92‰ на глубине 90 м. Последнее свидетельствует о проникновении на эти глубины более обедненных кислородом аденских вод. По мере дальнейшего углубления, после некоторого увеличения содержания кислорода, количество его вновь понижается, образуя второй слой минимума O_2 . Последний располагался в пределах толщи от 250 до 650 м /экстремальные величины/ и характеризовался значительно более низким содержанием кислорода - от 0,57 до 0,94 мл/л. При этом более низкие величины отмечались у аравийского берега /ст.47/.

Гидрохимические характеристики аденских вод формируются под влиянием водообмена с Красным морем, ограниченным небольшой глубиной порога, и Аравийским. По наблюдениям В.В.Серого и В.А. Химица /1968/, зимой в Аденском заливе устанавливается циклоническая система течений. В результате этого осуществляется интенсивный перенос вод северо-западного района Аравийского моря

вдоль аравийского побережья в Аденский залив. Эти воды под влиянием климатических особенностей и гидрологического режима здесь несколько трансформируются и образуют верхний слой Аденского залива. По данным А.К.Богдановой, толщина этого слоя колеблется от 10-25 м до 75 - 100 м в зависимости от течений.

Обусловленность гидрологическим режимом закономерностей распределения кислорода полностью приложима и к Аденскому заливу. Наличие циклонической системы течений отражено на поднятии изооксиген в этом районе как на продольном, так и на поперечном разрезах.

На продольном разрезе в верхнем слое все изооксигены наиболее высоко расположены в центральной части залива /ст.65/, т.е. в районе циклонического подъема вод /рис.6а,б/. Вблизи выхода в Аравийское море /ст.67/ все изооксигены заглублены.

Области циклонического и антициклонического течений отчетливо прослеживаются по распределению изооксиген и на поперечных разрезах. В частности, на поперечном разрезе по 51-му меридиану в районе ст.69 также все изооксигены были заглублены. По заключению А.К.Богдановой, в юго-восточном районе залива располагалась область антициклонического течения. Это заключение подтверждено распределением кислорода в этом районе. Последующий подъем изооксиген на ст.70 соответствует некоторому повышению здесь температур. Распределение кислорода по 45-му меридиану хорошо согласуется с распределением изотерм. В этой части залива отмечалось поднятие обеих названных изоповерхностей в районе ст.61 и заглубление их у аравийских берегов. То же относится и к воддам глубинной толщи Аденского залива, режим которых складывается под влиянием вод Красного моря и свободного обмена с океаном. Особенность вертикального распределения гидрологических характеристик в ноябре 1963 г. состояла в значительной переслоенности вод по температуре и солености. В отношении кислорода эта переслоенность наиболее отражена на разрезе по 52-му меридиану, где, как отмечалось выше, по вертикали выявлены два слоя минимума кислорода с последующим увеличением содержания его в самой глубинной части разреза. В глубинной толще залива распределение величин кислорода связано с распределением температур - минимальным значениям ее соответствует повышенное содержание

кислорода. В частности, на глубине 1500 - 2350 м при солености 34,8‰ температура снизилась с 5° на глубине 1500 м до 3° на 2350 м. Содержание же кислорода в этом слое возросло от 1,00 до 2,32 мл/л соответственно. В данном случае более наглядная согласованность вертикального распределения кислорода с распределением температур обусловлена большими вертикальными перепадами в ее показателях - от 26° на 0 м до 3° на глубине около 2300 м, в то время как для солености этот перепад составлял немногим более 1,0‰. При этом сложностью структуры изогалин отличался лишь верхний 800-метровый слой. Глубже они распределялись почти параллельно, с незначительным уменьшением их величин - от 35,0‰ на 800 м до 34,8‰ на глубине более 2000 м. По сравнению с температурой изменения в величинах солености мало показательны.

Необходимо отметить, что, несмотря на отчетливо выраженную зависимость распределения кислорода в рассматриваемых водоемах от их гидрологического режима, непосредственный источник обогащения кислородом глубинных вод Красного моря, в частности его северной части, не прослежен. Причина этого, по-видимому, кроется в недостаточно густой сети станций в районе выхода вод из Суэцкого канала. Исходя из ширины канала /130 м/, воды его поступают весьма узким потоком и основная струя обычно не улавливается. В этом районе необходимы исследования по почти непрерывной цепи станций по всей вертикали поперечных разрезов.

Л и т е р а т у р а

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" - Океанологические исследования, 15. "Наука", М., 1966.

Д о б р ж а н с к а я М.А. Влияние динамики водных масс на распределение гидрохимических показателей /на примере Черного моря/. - В кн.: Вопросы биоокеанографии, "Наукова думка", К., 1967.

М у р о м ц е в А.М. К гидрологии Красного моря.
- ДАН СССР, 134, 6, 1960.

М у р о м ц е в А.М. К гидрологии Суэцкого канала, Красного моря и Аденского залива. - Метеорология и гидрология, 2, Гидрометеиздат, М., 1962.

С е р н ы й В.В. и Х и м и ц а В.А. К гидрологии и гидрохимии Аденского залива и Аравийского моря.-Океанология, 3, 6, 1968.

Т h o m p s o n E.F. The general hydrography of the Red Sea. -John Murray Expedition 1933-1934, 2, 3, 1939a.

Т h o m s o n E.F. The exchange of water between the Red Sea and the Gulf of Aden over the "Sill". - John Murray Expedition 1933-1934, 2, 4, 1939b.

S v e r d r u p H., J o h n s t o n M., F l e m m i n g R. The oceans their physics, chemistry and general biology, N.Y.

ЧИСЛЕННОСТЬ И БИОМАССА БАКТЕРИАЛЬНОГО НАСЕЛЕНИЯ В АДЕНСКОМ ЗАЛИВЕ ОСЕНЬЮ 1963 ГОДА

М.Н.Лебедева и Г.В.Шумакова

Начало микробиологическим исследованиям в Аденском заливе положено во время рейсов э/с "Академик А.Ковалевский" Института биологии южных морей АН УССР в декабре-феврале 1961-62 гг. и октябре-ноябре 1963 г.

За указанный период были получены данные, касающиеся количественного развития гетеротрофных бактерий на различных глубинах водной толщи в Красном море и Аденском заливе /Анищенко, 1967; Лебедева и Анищенко, 1967/; изучена биохимическая активность и видовой состав гетеротрофной микрофлоры /Лебедева, Маркианович и Анищенко, 1965; Лебедева и Маркианович, 1965/. Одновременно собраны материалы с целью составить представление об общей численности и биомассе бактерий как