

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

УДК 551.46(267.5)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КРАСНОГО МОРЯ

М. С. Эдельман
ВНИРО

С июня 1963 г. по январь 1964 г. научно-исследовательское судно АзчерНИРО «Константин Болдырев» проводило комплексные исследования в южной части Красного моря. Основная часть научной группы была представлена сотрудниками АзчерНИРО, океанологические работы (гидрология и гидрохимия) выполнялись научными сотрудниками ВНИРО. Были обследованы воды от северной границы Республики Судан до Баб-эль-Мандебского пролива (рис. 1).

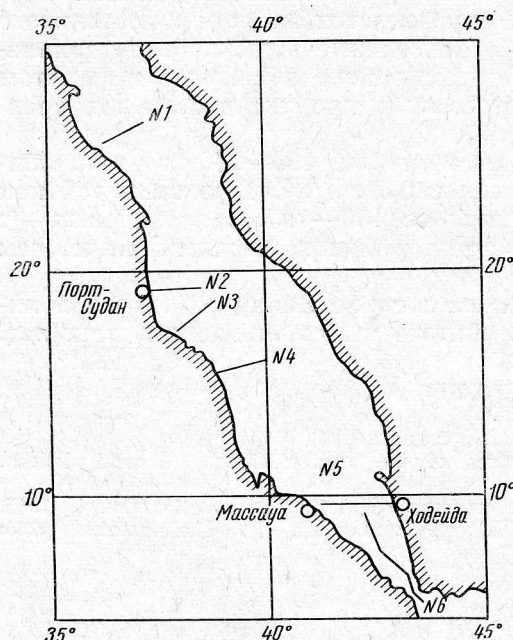


Рис. 1. Расположение разрезов.

Общие сведения. Особенности гидрологического режима Красного моря определяются главным образом его «внутри-материковым» характером, довольно слабой связью с океаном. Большое влияние на режим моря оказывают центрально-африканская область пониженного давления, область повышенного давления, расположенная над Северо-Западной Африкой, и сезонная смена центров повышенного давления (зимой) и пониженного давления (летом) над Центральной Азией. Взаимодействие перечисленных барических систем обуславливает преобладание в летний период года северных ветров по всей протяженности моря. Зимой в южной части моря от Баб-эль-Мандебского пролива примерно до 18° с. ш. господствуют южные ветры, а севернее сохраняются ветры северных направлений.

Такая система ветров создает своеобразную циркуляцию поверхностных вод. Летом по всему морю наблюдаются течения с преобладающим направлением на юго-восток. Благодаря этому возникает нагон поверхностных вод вдоль Африканского побережья и их опускание на глубину. Одновременно вдоль Аравийского побережья происходит отток поверхностных вод и компенсационный подъем глубинных вод к поверхности.

Действие этих двух вертикальных движений вод приводит к возникновению более или менее интенсивных и устойчивых «пересекающих» потоков на поверхности моря и в глубинных слоях. С другой стороны, имеются данные о наличии в восточной части моря прибрежного течения, направленного на северо-северо-запад и компенсирующего отток вод из северной части моря на юг.

В динамике вод Красного моря существенную роль играет зимняя вертикальная циркуляция, развивающаяся в наиболее северной части моря. Зимой температура поверхностных вод понижается настолько, что плотность, выраженная в единицах σ_t , увеличивается на 1,76, благодаря чему развивается интенсивная конвекция. Именно этот процесс формирует глубинные воды Красного моря.

Зимний период характеризуется также усилением западного течения, идущего вдоль Аравийского побережья, что связано с ветровым режимом над южной частью моря. Примерно в районе $22-25^\circ$ с. ш. зимой с равной вероятностью можно ожидать течений с юга, севера, востока и запада. В районе 20° с. ш. обнаруживается вертикальное движение вод, направленное от поверхности на глубину. Его, по-видимому, должен компенсировать восходящий поток непосредственно перед порогом Баб-эль-Мандебского пролива. Видимо, такое движение способствует подъему высокосоленных глубинных вод Красного моря и их переливу через порог в Аденский залив. Таким образом, можно считать, что наиболее интенсивен водообмен между Индийским океаном и Красным морем именно зимой.

Такова в общих чертах картина динамики вод Красного моря, основанная на материалах предшествующих исследований.

Метеорологические наблюдения, выполненные за время экспедиции, позволили выделить два периода — летний и зимний. Первый характеризовался господством ветров северных направлений (более 83% всех случаев наблюдений).

Преобладали слабые и умеренные ветры силой от 1 до 4 баллов. Свежие ветры (4—6 баллов) составляют лишь 6% всех наблюдений, штормовые ветры силой 8 баллов и более — менее 1%. Иногда при ветрах западных румбов и силой до 10—11 баллов наблюдались песчаные бури («хабуб»), во время которых частицы песка, движущиеся с большой скоростью, достигали центральных районов моря.

В сентябре ветровой режим изменился, а в октябре—ноябре над южной частью моря уже господствовали южные ветры, повторяемость которых достигла 80%. Преобладали свежие и штормовые ветры силой от 4 баллов и более. В северных районах моря сохранились северные ветры, но сила их значительно возросла.

В течение всего периода работ экспедиции в небольшом районе, ограниченном примерно $17-19^\circ$ с. ш., наблюдались слабые ветры и штили.

Летний период характеризовался ясной безоблачной погодой, хотя видимость из-за испарения была невелика. Зимой довольно часто наблюдались перистые и перисто-кучевые облака, а у побережья —

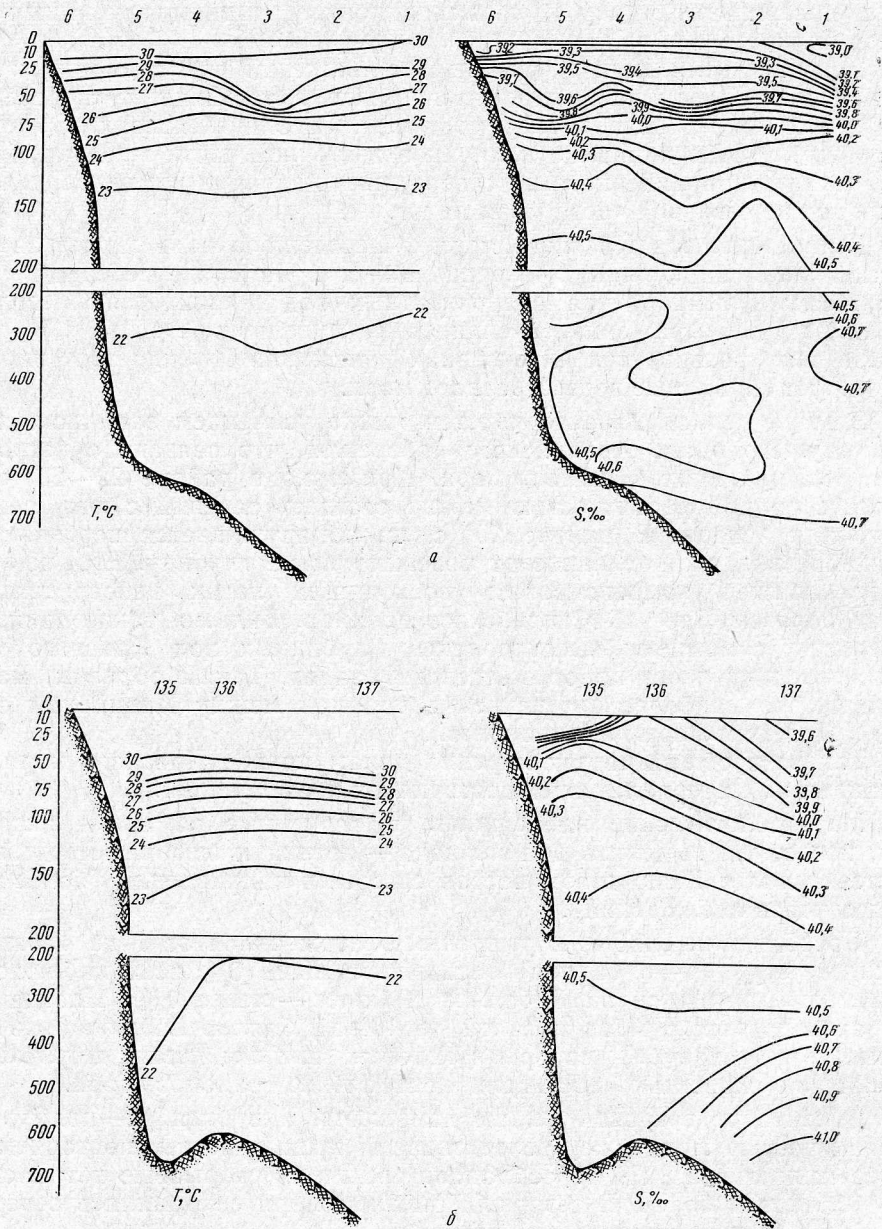


Рис. 2. Распределение температуры и солёности на разрезе 1:
 а — летом; б — осенью.

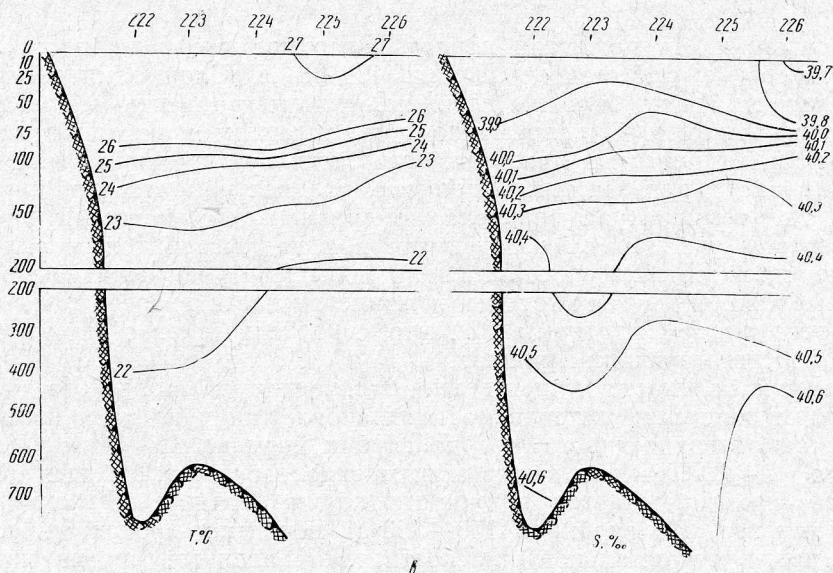


Рис. 2в. Распределение температуры и солености на разрезе № 1 зимой.

кучево-грозовые. Осадки выпадали главным образом около берегов, причем их общее количество было незначительным.

Максимальные температуры воды и воздуха наблюдались в июле и августе. Начиная с сентября температура понижалась, причем наиболее значительно в ноябре и декабре. Такова же закономерность изменения разности температур вода—воздух; уменьшение происходит от лета к зиме. На протяжении всего периода наблюдений вода была холоднее воздуха.

Гидрологические наблюдения. Разрез № 1 (рис. 2) располагался в районе мыса Абу-Дара. Летом температура воды на поверхности в этом районе превышала 30° . Такие значения сохранялись до глубины около 10 м. По мере увеличения глубины температура понижалась, причем наиболее резкие изменения наблюдались на глубинах 25—45 м. Далее следовало медленное понижение температуры, так что на глубине 100 м она равнялась примерно 24° , а на 300 м — 22° . На больших глубинах температура оставалась в среднем выше $21,5^{\circ}$. Изотермы на всех глубинах обнаруживают слабый наклон в сторону Африканского побережья, но в общем имеют довольно спокойный ход. Гораздо сложнее выглядит график солености, на котором отчетливо проявляется значительная переслоенность вод. В поверхностных слоях соленость достигала $39,2\text{‰}$, а на глубине 65—70 м — 40‰ , причем наиболее резко соленость увеличивается на глубинах 45—65 м. На глубинах больше 170 м почти повсюду наблюдалась соленость выше $40,5\text{‰}$. В наиболее глубоководной части разреза были обнаружены очень соленые воды до $40,6\text{—}40,7\text{‰}$. Характерные изгибы изохалин в непосредственной близости к материковому склону указывают на наличие круговорота высокосоленых вод с горизонтальной осью, направленной вдоль желоба моря. Такой круговорот, видимо, является следствием встречи пересекающихся потоков с материковым склоном.

На этом же разрезе осенью температурные условия изменились. Почти параллельный ход изотерм свидетельствует о хорошо развитой

стратификации. За истекший период поверхностные воды прогрелись; изотерма 30° опустилась до глубин 40—55 м. Слой температурного скачка опустился на большие глубины, причем градиенты температуры в нем увеличились. Одновременно с потеплением поверхностных вод повысилась температура нижележащих слоев до глубин 150 м. В прибрежной части разреза этот процесс распространился до глубины 400 м, где температура возросла по сравнению с июльской на $0,5^{\circ}$. Ход изотерм указывает на опускание вод над материковым склоном, которое, по-видимому, способствовало повышению температуры в глубинных слоях. С другой стороны, в мористой части разреза отмечается некоторый подъем изотермы 22° , что свидетельствует о похолодании вод на соответствующих глубинах.

График солености существенно отличается от июльского как по величинам солености в поверхностных слоях, так и по ходу изохалин. Соленость поверхностных слоев до глубин порядка 40—60 м увеличилась на $0,4—0,6\text{‰}$. Над материковым склоном, как и на температурном графике, отмечается наклон изохалин, свидетельствующий об опускании вод. На глубинах 150—300 м, вероятно, происходит круговорот вод в вертикальной плоскости, направленный против часовой стрелки. Если такой круговорот существует, то под его влиянием и создается наклон изохалин, указывающий на подъем вод с глубин в поверхностные и подповерхностные слои на некотором удалении от берега. В мористой части разреза на глубинах 350 м и более располагается высокосоленая вода — от $40,6$ до 41‰ . Такой соленостью характеризуется глубинная водная масса Красного моря.

К декабрю температура на разрезе № 1 изменилась. Поверхностные воды до глубины 75 м сильно охладились (на $4—2^{\circ}$) и приобрели большую однородность, что, вероятно, связано с развитием конвекции и ветрового перемешивания. Отчетливо проявляется наклон изотерм в сторону берега, указывающий на опускание вод над материковым склоном. Глубинные воды практически не изменили своих температурных характеристик.

На графике распределения солености обнаруживается некоторое повышение солености поверхностных вод. Здесь, так же как и на температурном графике, прослеживается отчетливый наклон изолиний в сторону побережья, который свидетельствует об опускании вод. Глубинная красноморская вода, характеризующаяся соленостью более $40,6\text{‰}$, как и в предшествующие сезоны, располагалась на глубинах, превышающих 400 м в мористой части разреза.

Разрез № 2 (рис. 3) выполнялся один раз — в конце июля. Температура и соленость поверхностных вод на этом разрезе несколько отличаются от наблюдавшихся на разрезе № 1. Так, на глубинах до 75 м температура воды была выше, чем на разрезе № 1 на $1—2^{\circ}$. Что касается солености, то она отличалась еще больше и повсюду была ниже, чем на разрезе № 1. Следует отметить, что график солености показывает куполообразное скопление глубинных высокосоленых вод (соленостью до $40,7\text{‰}$) значительно ближе к побережью, чем на разрезе № 1.

Разрез № 3 (рис. 4) в первый раз выполнялся летом. Вертикальная структура вод в этот сезон оказалась близкой к той, что наблюдалась на разрезе № 2. Особенно это заметно на графике солености. Однако здесь куполообразный характер изохалин прослеживается до самой поверхности. Величина же солености поверхностных слоев на третьем разрезе оказалась несколько выше, чем на втором. График солености показывает общее опускание вод над материковым склоном,

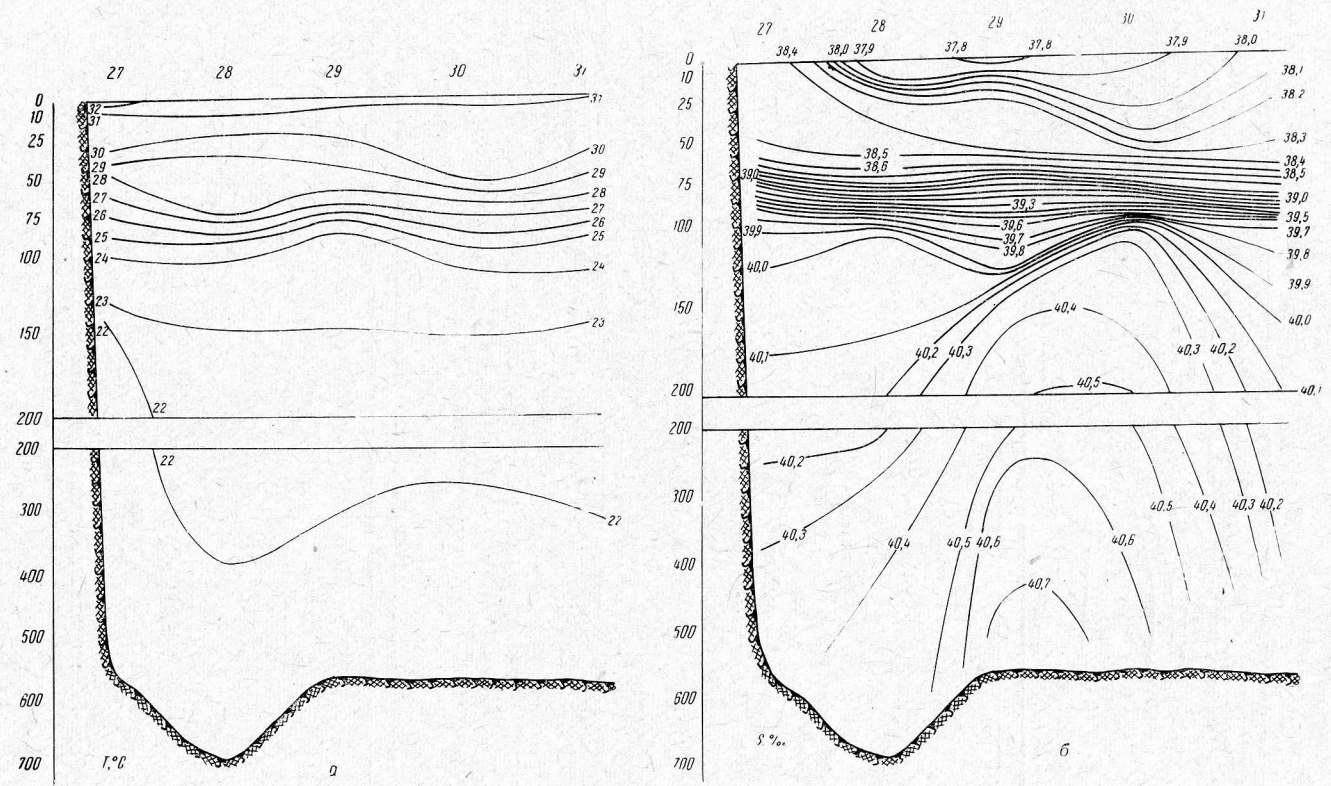


Рис. 3. Распределение температуры (а) и солености (б) на разрезе № 2.

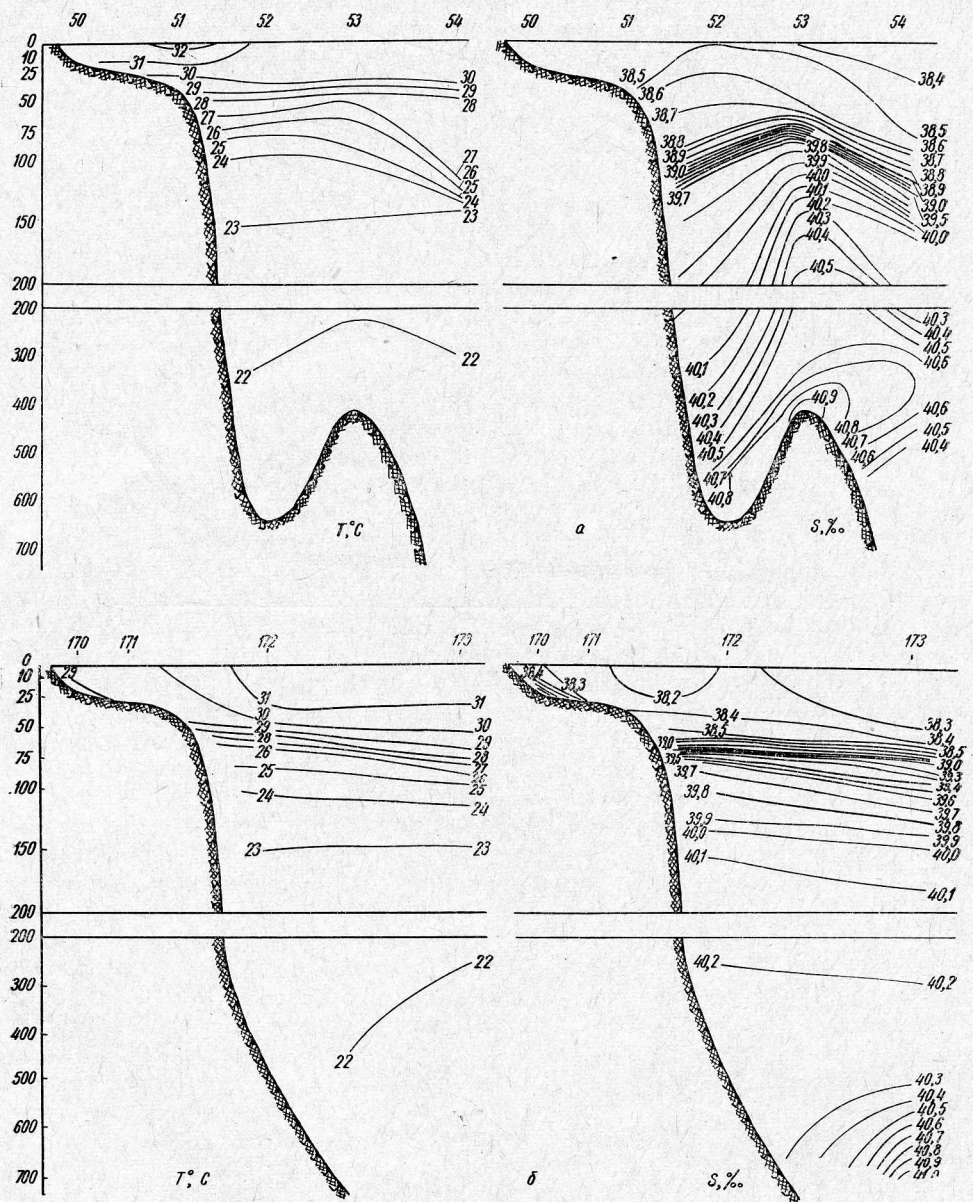


Рис. 4. Распределение температуры и солености на разрезе № 3:
 а — летом; б — осенью.

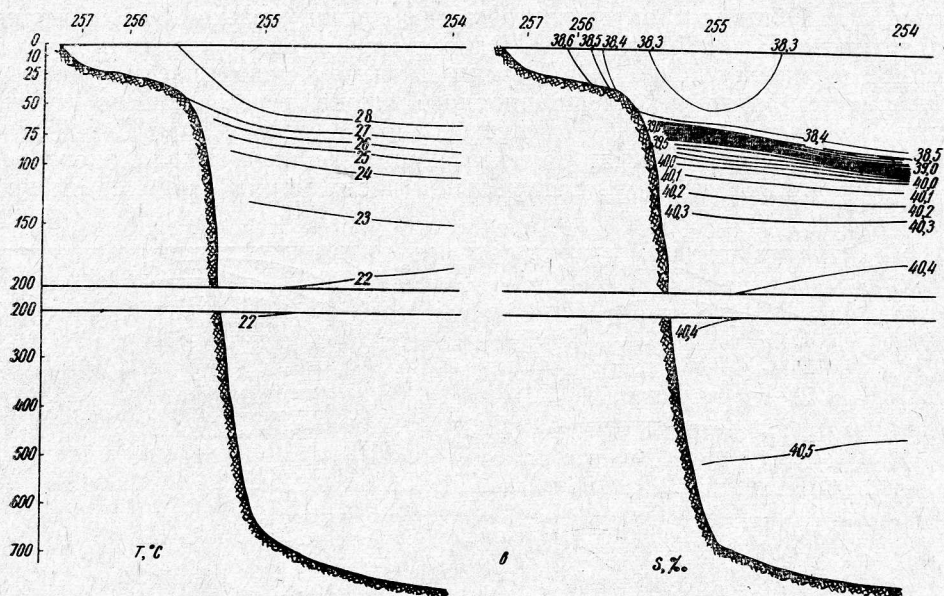


Рис. 4в. Распределение температуры и солёности на разрезе № 3 зимой.

как и на предшествующих разрезах. В центральной части разреза располагается обычное ядро глубинной высокосолёной воды. Максимум солёности достигал $40,9\text{‰}$. Отчетливо выраженный слой скачка солёности разделяет глубинные и поверхностные воды.

Осенью в этом районе наблюдались более высокие температуры и более низкие значения солёности в поверхностных слоях. Слои резкого изменения температуры и солёности значительно обострились. Причем на графике солёности в этом слое изохалины располагаются почти горизонтально; выше и ниже его изохалины имеют наклон, свидетельствующий о некотором подъеме вод по мере продвижения к Африканскому побережью. Можно предполагать, что это является следствием возникшего в этот период года «пересекающего» течения. В наиболее глубоководной части разреза расположен, как обычно, купол высокосолёных вод. Максимум солёности достигал 41‰ .

Зимой на этом разрезе температура поверхностных слоев понизилась: на глубине 40 м — почти на 3° , а на глубине 60 м — на 1° .

На 150-метровой глубине температура не изменилась, зато изотерма 22° поднялась выше 200-метрового горизонта, что привело к некоторому охлаждению слоя между 200—300 м. В поверхностных слоях солёность не изменилась, но в прибрежной зоне на глубинах более 75 м она несколько возросла. Так, если осенью на глубинах около 100 м солёность равнялась примерно $39,8\text{‰}$, то зимой на этой же глубине она превышала 40‰ . В этот сезон вода солёностью более $40,5\text{‰}$ не была обнаружена. Однако изотермы и изохалины в глубинных слоях сохранили конфигурацию, близкую к куполообразной.

Разрез № 4 (рис. 5) был выполнен один раз (летом) в те же сроки, что и разрез № 3. Изотермы этих двух разрезов в общем сходны в верхних слоях, хотя на разрезе № 4 значения температуры несколько выше. В наиболее западной части разреза на поверхности температура достигала 33° , а изотерма 30° в прибрежной части располагалась на глу-

бине 70 м. Общий характер изотерм и изохалин указывает на опускание поверхностных вод на глубину. Однако ниже 100 м изохалины имеют наклон в сторону центральной части моря, что может рассматриваться как признак наличия компенсационного потока, пересекающего Красное море с запада на восток. Примечательно отсутствие ядра высокосоленных глубинных вод, обычно располагающихся в виде купола, околуренного изохалиной 40,6‰ в центральной части моря. Наиболее высокой

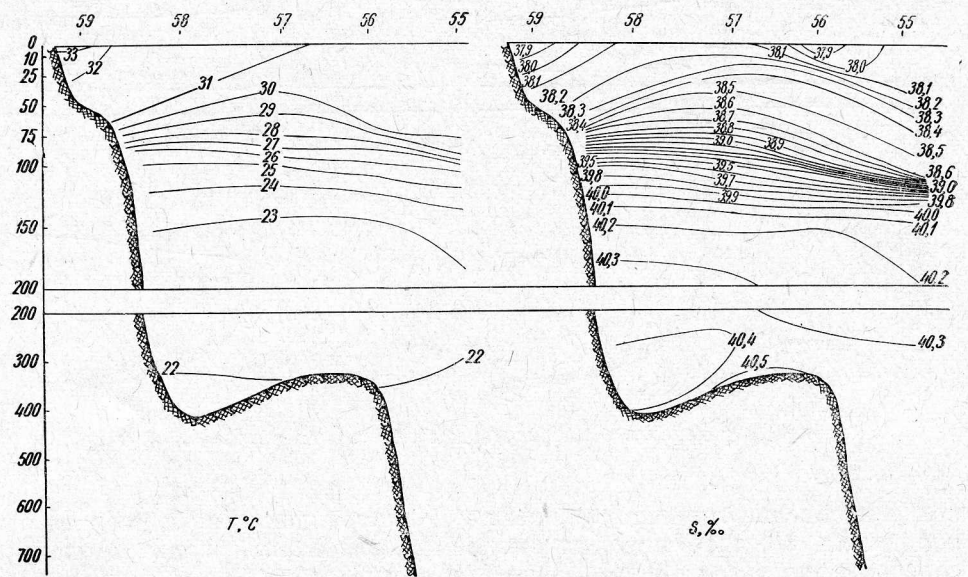


Рис. 5. Распределение температуры и солености на разрезе № 4.

соленостью на разрезе была 40,5‰, но эта изохалина отмечает лишь небольшое пятно воды в непосредственной близости ко дну в западной части разреза.

Очень интересны наблюдения, выполненные в южной части моря от его западного побережья до восточного. Первый раз разрез (рис. 6) был выполнен в середине августа и может характеризовать летние условия.

В поверхностных слоях на разрезе наблюдались очень высокие температуры воды, причем на африканском шельфе — более высокие, чем на аравийском. В верхнем 10-метровом слое температура достигала 33°, а на глубинах 25—30 м — 32°. Непосредственно у дна в прибрежной части моря температура воды достигала 30°. По мере продвижения к внешнему краю шельфа придонная температура понижалась и непосредственно над краем равнялась 26—25°. На йеменском шельфе поверхностная температура была близка к 31°, а у дна изменялась от 29° в прибрежной части до 20° — у края шельфа. Общий наклон изотерм указывает на обычное опускание поверхностных и подповерхностных вод у Африканского побережья и подъем — у Аравийского. Ниже слоя скачка был обнаружен холодный промежуточный слой, околуренный изотермой 22°. Минимум температуры этого слоя достигал 18°, что необычно для Красного моря, поскольку даже в придонных слоях нигде не наблюдались температуры ниже 21°. Верхняя граница холодного промежуточного слоя располагалась в восточной части моря на глубине около 30 м, а в западной — на глубине 100 м; нижняя граница — соответственно на 140 и 170 м. Таким образом, воды этого слоя влияют на

термику шельфовой области у Аравийского полуострова и не влияют на термику африканского шельфа.

На графике распределения солёности этот слой характеризуется значительной распресненностью. Минимум солёности достигает 36,2‰. Вообще, поверхностные воды на этом разрезе менее солёные, чем на предыдущих разрезах: на глубинах до 50 м солёность по всему разрезу меньше 38‰. Как и на графике распределения температуры воды, здесь легко обнаруживается опускание вод над эфиопским шельфом и подъем с глубин около 200 м у Аравийского побережья. Ядро холодного распресненного слоя сильно смещено к восточной периферии разреза, что особенно хорошо заметно на графике солёности. Можно предполагать, что воды этого слоя характеризуются кругообразным движением в вертикальной плоскости.

Глубоководная часть разреза как обычно заполнена глубинной водой солёностью выше 40,5‰, причем наиболее солёные воды прижаты к Африканскому побережью. Чтобы объяснить причины таких необычных для других районов Красного моря гидрологических условий, рассмотрим данные разреза № 6 (рис. 7), выполненного в конце лета. Графики температуры и солёности этого разреза хорошо согласуются друг с другом и показывают движение теплых поверхностных вод солёностью выше 37,5‰ из Красного моря в Аденский залив. Ниже глубины 50 м ярко выражено движение вод из Аденского залива в Красное море. Эти воды заполняют всю толщу Баб-эль-Мандебского пролива до дна и, постепенно выклиниваясь, распространяются далеко на север. Несколько дополнительных станций, выполненных примерно через десять дней после окончания разреза № 6 (а), обнаружили холодный распресненный промежуточный слой вплоть до 17° с. ш. С другой стороны оба графика не обнаруживают перелива солёных красноморских вод через порог Баб-эль-Мандебского пролива в Индийский океан. Эти наблюдения полностью совпали с нашими исследованиями 1962 г. (М. С. Эдельман, 1965) и подтвердили сделанные ранее выводы о том, что летом перелив красноморских вод в Индийский океан затухает или, возможно, почти прекращается. Существование же холодного распресненного слоя на умеренных глубинах в южной части Красного моря объясняется проникновением через Баб-эль-Мандебский пролив вод Аденского залива, резко отличающихся от красноморских вод по всем характеристикам. При своем движении на север, подчиняясь общим закономерностям теории течений, эти воды прижимаются к Аравийскому побережью и, вовлекаясь в поперечную циркуляцию Красного моря, поднимаются с промежуточных глубин к поверхности в районе йеменского шельфа. Можно предполагать, что в своем движении на север эти воды приобретают вращательное движение в вертикальной плоскости против часовой стрелки. Возникновение такого течения из Аденского залива в Красное море объясняется тем, что со всей площади Красного моря ежегодно испаряется слой воды, равный примерно 3,5 м, и никаких других источников компенсации, кроме Аденского залива, не существует. Можно предполагать также, что взаимное перемешивание поверхностных вод Красного моря и промежуточных вод Аденского залива играет существенную роль в формировании глубинных водных масс Красного моря и Аденского залива.

Разрезы № 5 и 6 были повторно выполнены в осенне-зимний период. На обоих разрезах исчез холодный распресненный промежуточный слой. Кроме того, было отмечено охлаждение поверхностных вод. На шестом разрезе, выполненном на месяц раньше, чем пятый, в слое 0—75 м (в северной части разреза, близко примыкающей к линии раз-

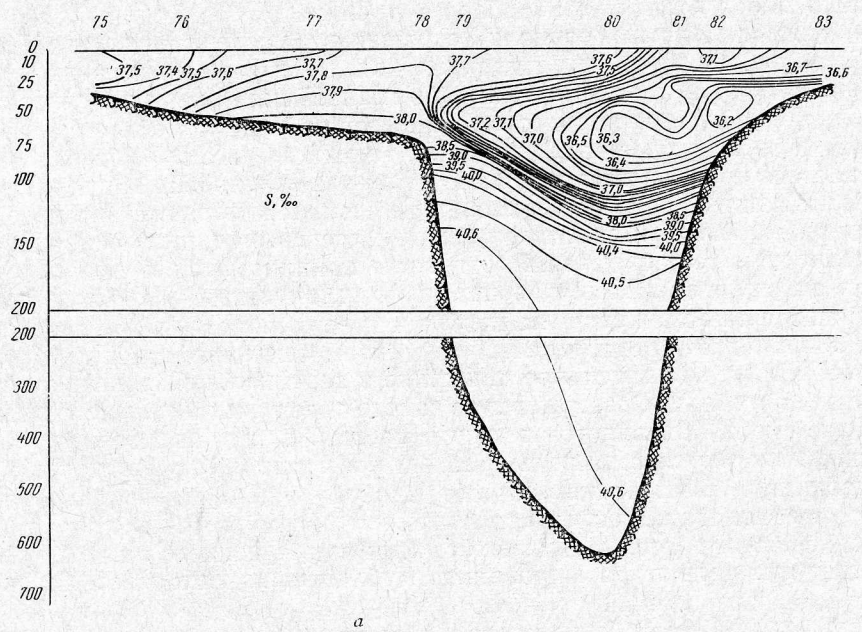
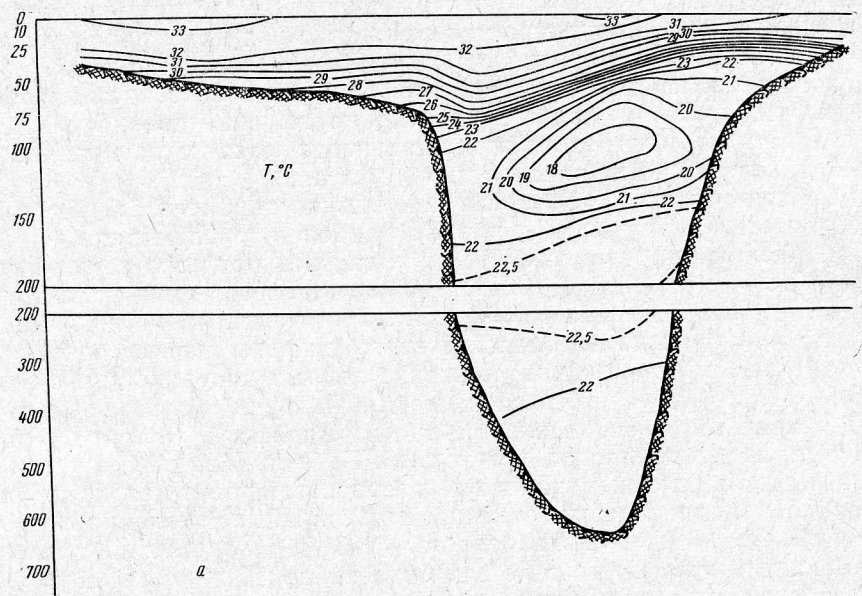
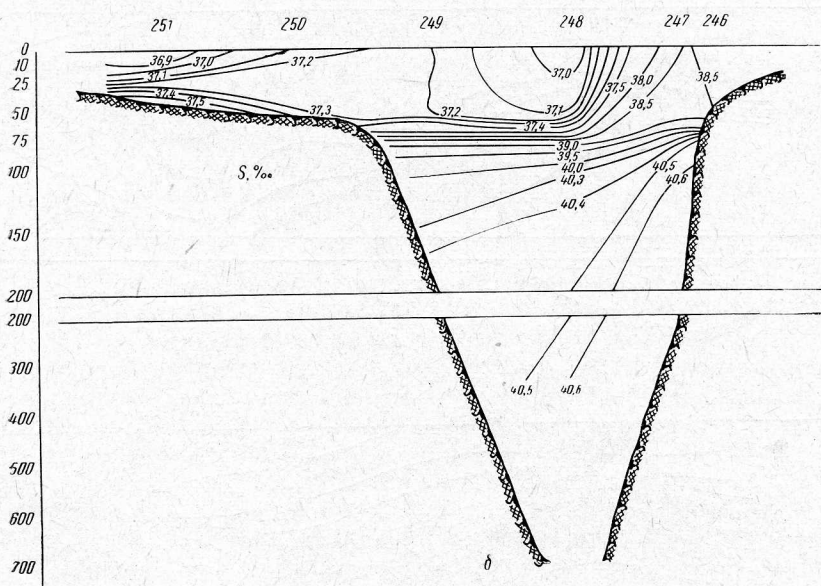
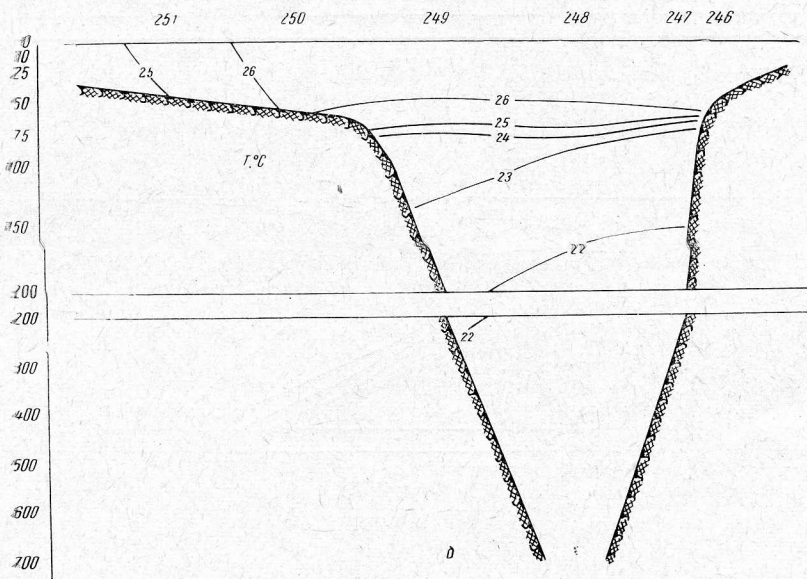


Рис. 6. Распределение температуры
a — летом;



и солёности на разрезе № 5:
б — зимой.

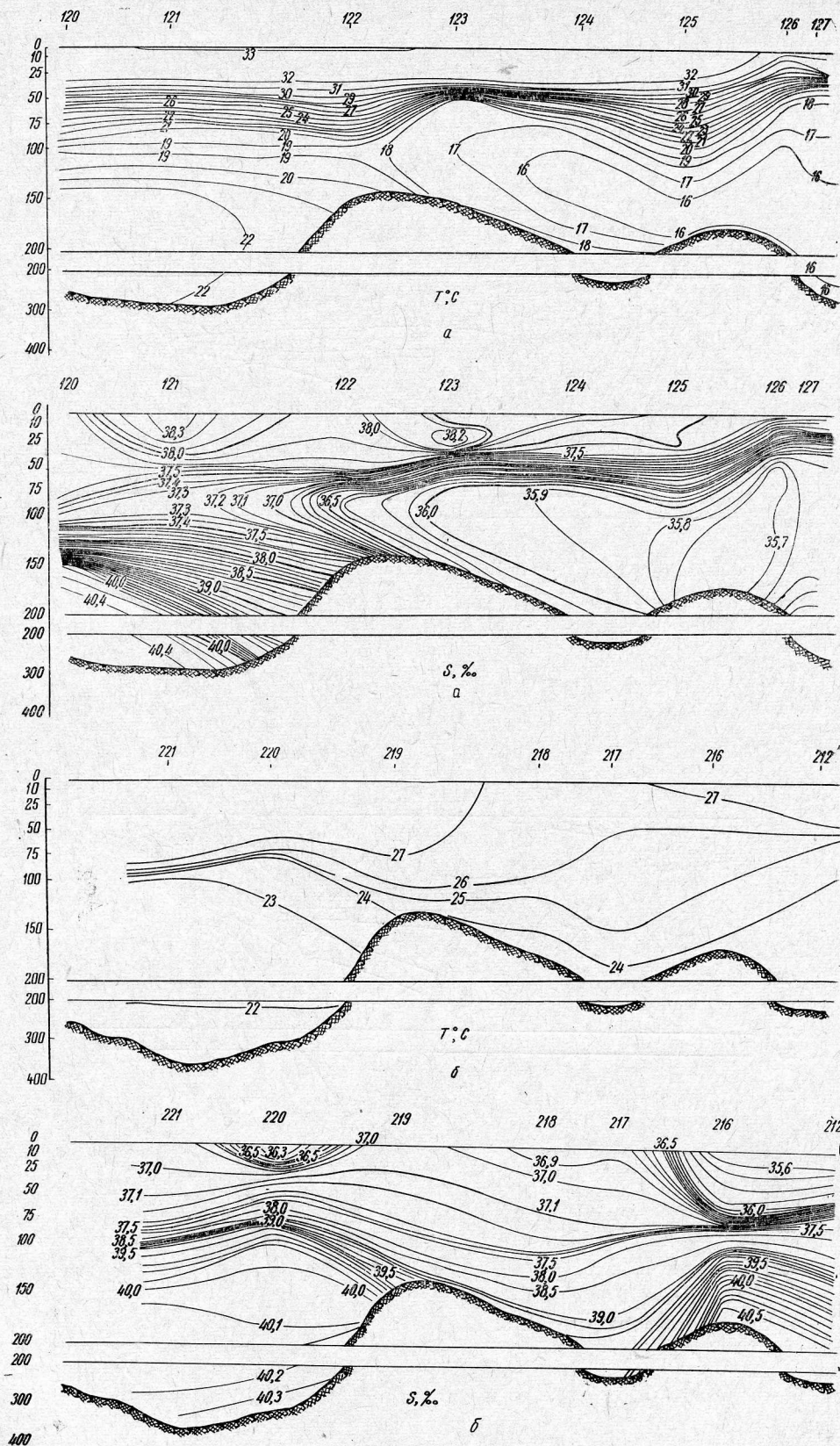


Рис. 7. Распределение температуры и солености на разрезе № 6:
 а — в конце лета; б — в начале зимы.

реза № 5) наблюдалась температура около 27° С. В течение месяца температура воды в этом районе понизилась до 26—25° С. Таким образом, сравнение первого, второго и пятого разрезов показывает, что разница температур между летом и зимой в поверхностных водах достигает 6° С. При этом в слое до 50 м развивается гомотермия. Вообще для зимнего периода в Красном море, видимо, характерна большая однородность термической структуры вод. На вторичном разрезе № 5, например, по всему сечению (глубина разреза превышает 700 м), располагается всего пять изотерм. Наклон изотерм и изохалин на этом разрезе свидетельствует о движении глубинных вод в направлении на юг с опусканием их вдоль африканского материкового склона и подъемом — вдоль йеменского. При этом обращает на себя внимание тот факт, что наиболее соленые воды, представляющие собой глубинную водную массу (вода с соленостью более 40,5‰), в этот период года прижимаются к Аравийскому побережью и поднимаются со значительных глубин до 80—100 м.

Разрез № 6, сделанный зимой, также сильно отличается от летнего как по солености, так и по температуре. Как известно, зимой господствуют южные ветры, под влиянием которых изменяются направления поверхностных течений. Ход изотерм и изохалин, однако, не выявляет сколько-нибудь заметного движения поверхностных вод из Аденского залива в Красное море. Воды, идущие нижним потоком в противоположном направлении, в значительной степени трансформируются в зоне порога и, опустившись на глубину, возможно, частично возвращаются на север медленным течением. Другая часть этих вод распространяется на юг и проникает в Аденский залив, о чем свидетельствуют воды соленостью выше 40‰ в южной части разреза, т. е. в пределах Аденского залива.

Выводы

1. Поверхностные воды Красного моря имеют летом очень высокие температуры (до 33° С). Зимой температура понижается на 2—6° С в соответствии с местными условиями.

2. Соленость поверхностных вод колеблется довольно сильно (2—2,5‰) в зависимости от местных условий; отмечается повышение солености зимой.

3. Глубинные воды характеризуются довольно высокими температурами (около 22° С) и очень высокими значениями солености (более 40‰).

4. Летом наблюдается общий поток вод с севера на юг, сопровождаемый подъемом вод у Аравийского побережья и их опусканием у берегов Африки. Благодаря компенсационным «пересекающим» потокам эта картина в некоторых районах может меняться на обратную.

5. В результате интенсивного испарения с поверхности моря летом возникает компенсационный поток вод из Аденского залива в Красное море, заполняющий толщу Баб-эль-Мандебского пролива и создающий в южной части моря холодный, распресненный промежуточный слой.

6. Отсутствие речного стока, чрезвычайно высокие температуры, слабое перемешивание — основные причины бедности сырьевой базы.

7. В зоне действия вод Аденского залива (более холодных, менее соленых и более богатых биогенами) — в районах эфиопского и, главным образом, йеменского шельфов — условия наиболее благоприятны для обитания промысловых рыб.

Для суждения о возможностях промысла в этих районах и для оценки влияния факторов внешней среды на состояние сырьевой базы необходимо специально исследовать закономерности водообмена Красного моря с Аденским заливом.

ЛИТЕРАТУРА

Эдельман М. С. Краткая характеристика водных масс Аденского залива и северной части Аравийского моря. Труды ВНИРО. Т. 57. Вып. 2, 1965.

Thompson E. F. Chemical and physical investigations. The general hydrography of the Red Sea. John Murray Exp. 1933—1934, Sci Rep. V. 2, 1939.

Thompson E. Chemical and physical investigations. The exchange of water between the Red Sea and Gulf of Aden over the «Sill». John Murray Exp. 1933—1934, Sci. Rep. V. 2, 1939.