

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 551.46(267.52)

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В АДЕНСКОМ ЗАЛИВЕ

В. В. Серый
АзчерНИРО

Во всех трех научно-поисковых экспедициях АзчерНИРО в северо-западную часть Индийского океана (октябрь 1961 г. — февраль 1962 г., июль — октябрь 1962 г., май 1963 г. — февраль 1964 г.) большое внимание было уделено океанографическим исследованиям. Наибольшее количество станций (около 300) выполнено в Аденом заливе, включая район о. Сокотра. Стандартные наблюдения над температурой и соленостью воды проводились на разрезах (см. рис. 2) до глубины 1500 м. В статье используются материалы третьей, наиболее продолжительной экспедиции. Пять океанографических съемок Аденом залива, проведенные этой экспедицией в мае — июне, августе, сентябре — октябре, ноябре — декабре 1963 г. и январе 1964 г., интересны прежде всего тем, что они последовательно охватывают в рамках одного года различные гидрологические сезоны, связанные с господством и сменой летнего и зимнего муссонов.

Гидрологический режим Аденом залива определяется в основном муссонным характером циркуляции атмосферы и интенсивным водообменом с Красным и Аравийским морями. Ввиду своего промежуточного положения между этими бассейнами, по структуре вод резко отличающимися между собой, Аденом залив характеризуется довольно сложной переслоенностью вод различного происхождения. Гидрологические параметры и глубины залегания основных водных масс залива приведены в таблице. Поскольку условия формирования этих вод были описаны ранее (В. В. Серый и В. А. Химица, 1963), ограничимся лишь некоторыми замечаниями относительно аномальных явлений в сезонном распределении основных характеристик типизированных вод Аденом залива. Эти аномалии являются следствием главным образом динамических факторов и прежде всего особенностей циркуляции вод в системе Красное море — Аденом залив — Аравийское море.

На рис. 1 представлены карты поверхностных течений Аденом залива для различных сезонов года, полученные путем обработки гидрологических данных динамическим методом. Вследствие сезонной смены муссонов (зимой — северо-восточный, летом — юго-западный) характер

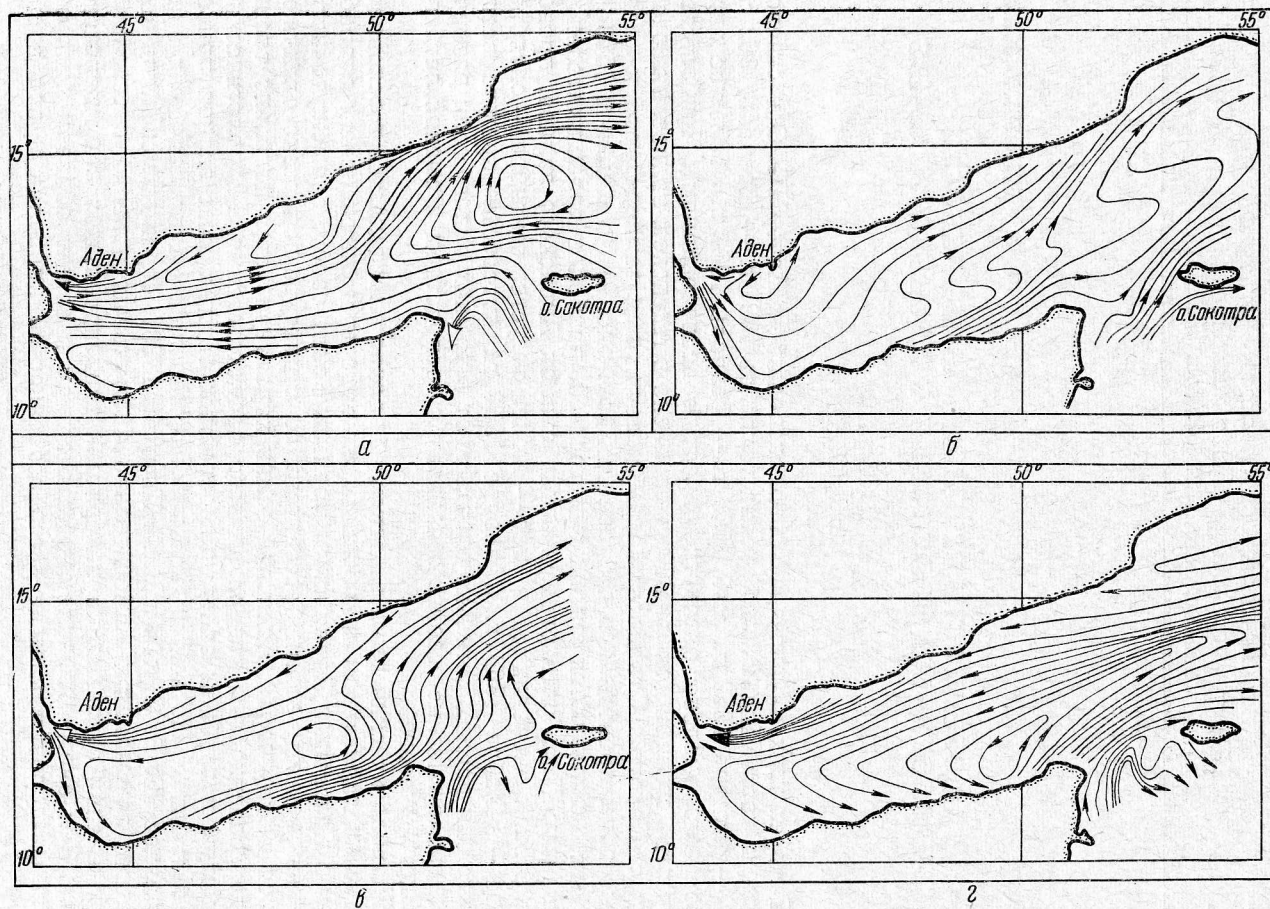


Рис. 1. Динамические карты течений на поверхности в Аденском заливе:
 а — май—июнь; б — август; в — сентябрь—октябрь; г — декабрь.

Характеристика типизированных вод Аденского залива

Граница	Западная часть (45° в. д.)			Восточная часть (49° в. д.)		
	глубина, м	t, °C	s, ‰	глубина, м	t, °C	s, ‰
Поверхностная аденская вода						
Верхняя	0	25—31,3	35,6—36,55	0	25—31,3	35,45—36,35
Нижняя	25—100	20—23,5	35,5—36,00	20—150	20—23,5	35,55—35,85
Промежуточная вода минимальной солености						
Ядро	75—230	14,4—17,2	35,3—35,68	65—300	12,8—17,0	35,26—35,55
Нижняя	230—400	13,0—15,3	35,5—36,00	200—420	12,8—14,8	35,55—35,85
Глубинная трансформированная красноморская вода						
Ядро	500—950	12,5—18,5	36,0—37,7	400—800	12,4—15,1	35,84—36,51
Нижняя	дно — 1000	10,5—11,5	35,7—36,0	1100—1250	8,4—9,0	35,50—35,60
Придонная вода						
Ядро	1200—1400 (во впадинах)	<8	<35,5	1750—2050	3,2—4,2	34,89—34,95

циркуляции вод в заливе также меняется от зимы к лету на противоположный. Если зимой наблюдается преимущественный приток вод из Аравийского моря, то летом преобладает вынос вод из залива в Аравийское море. Наиболее сложна картина течений в переходные периоды смены муссонов — в мае — июне и октябре. Характерной особенностью этих периодов является формирование на выходе из залива резко выраженных антициклонической (май — июнь) и циклонической областей (сентябрь — октябрь). Циклонический тип циркуляции вод в Аденском заливе сохраняется в основном и зимой с той лишь разницей, что центр круговорота несколько смещается в направлении запад — восток. Летом при общей направленности течений с запада на восток на выходе из залива наблюдается лишь искривление линий тока, особенно между о. Сокотра и Аравийским полуостровом, вызванное сильно пересеченным рельефом дна в этом месте. В Баб-эль-Мандебском проливе только в июне, июле и августе в поверхностных слоях наблюдается вынос вод из Красного моря в Аденский залив. В остальное время года преобладает течение в Красное море. Лишь в переходные периоды смены муссонов в проливе одновременно могут наблюдаться два потока: у аравийского берега — в Красное море, у африканского — из Красного моря.

Подобная сезонная смена циркуляции вод находит свое отражение в адвективном характере распределения солености воды (рис. 2). В июле — октябре соленость верхнего слоя воды Аденского залива значительно повышается, особенно в его юго-западной части, за счет притока очень соленых вод из Красного моря. Начиная с декабря соленость воды на поверхности понижается до 35,6‰; минимум ее наблюдается у северного побережья залива, где зимой проходит стрежень течения из Аравийского моря. Максимум солености верхнего слоя воды Аденского залива, образующийся в результате интенсивного испарения и наблюдающийся летом на поверхности, в это время уходит под слой менее соленой воды, распространяющейся из южной части Аравийского моря; соленость воды на глубине 25—90 м превышает соленость поверхностного слоя на 0,1—0,6‰.

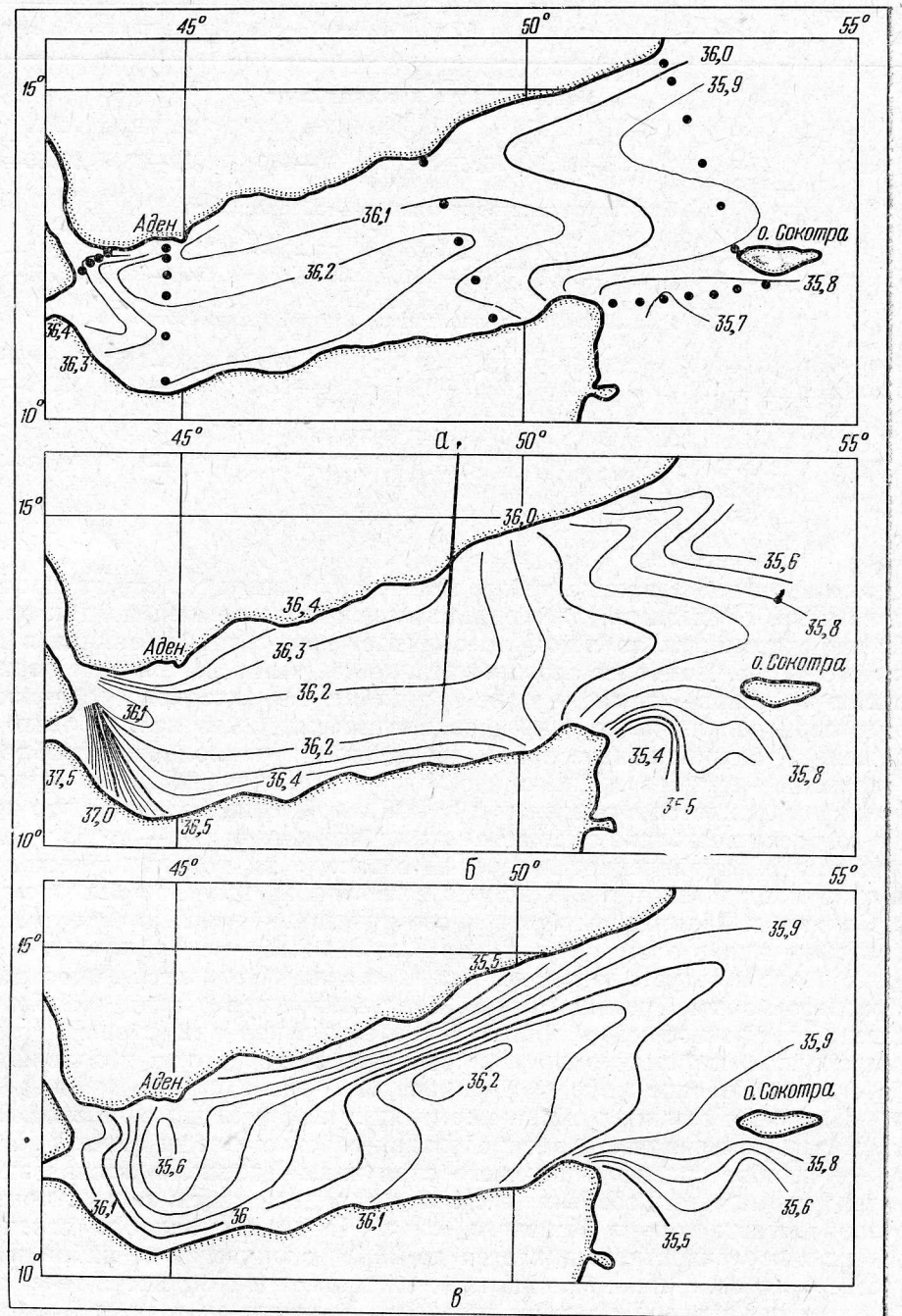


Рис. 2. Распределение солености воды на поверхности в Аденском заливе в 1963 г.:
 а — май—июнь; б — сентябрь—октябрь; в — декабрь.

Как видно из рис. 1, сезонный перенос поверхностных вод между Аденским заливом и Аравийским морем осуществляется между о. Сокотра и Аравийским полуостровом. В проходе же между Африкой и о. Сокотра отмечаются лишь завихрения ветви Сомалийского (летом) и Муссонного (зимой) течений. При существующем сгонно-нагонном характере циркуляции вод зимой в Аденском заливе должно наблюдаться повышение уровня вследствие интенсивного нагона воды из Аравийского моря. Летом же следует ожидать обратную картину — значительную убыль воды в заливе. У Адена, например, при северо-восточном муссоне уровень повышается до 104 мм против среднего, при юго-западном муссоне он понижается до 137 мм против среднего уровня; самый высокий уровень наблюдается в мае, самый низкий — в конце августа (Ю. М. Шокальский, 1959). Аналогичный годовой ход уровня наблюдается и в Красном море (см. рис. 4).

Некоторая компенсация вод Аденского залива, а также и Красного моря летом должна осуществляться промежуточным потоком вод низкой солености. О происхождении этой воды уже говорилось ранее (В. В. Серый и В. А. Химица, 1963). Слой воды пониженной солености, распространяющийся из района субтропического фронта, выклинивается у южной границы Аравийского моря на глубинах 200—400 м. По мере своего дальнейшего продвижения поток этих вод раздваивается: одна ветвь поворачивает и входит в Аденский залив между о. Сокотра и мыса Гвардафуй (рис. 3, 1), другая — следует прямо на север. Характеристики промежуточной малосоленой воды в Аденском заливе приведены в таблице. Внутригодовое же распределение промежуточного минимума солености свидетельствует о том, что летом и осенью поток этой воды значительно усиливается, что вызвано компенсационной потребностью Аденского залива в это время года. На подходе к Баб-эль-Мандебскому проливу слой воды с минимумом солености поднимается до 75—100 м; соленость в нем быстро повышается вследствие перемешивания с соленой водой Красного моря.

В самом проливе летом существует трехслойная модель течений, а зимой — двухслойная, так как глубинное стоковое из Красного моря и промежуточное компенсационное течения наблюдаются на протяжении всего года, а меняется только поверхностное дрейфовое течение (Серый, 1966). Однако интенсивность постоянных течений в проливе претерпевает резкие сезонные колебания. Глубинный сток красноморской воды зависит не только от плотностной составляющей, но и от ряда других факторов — сгонно-нагонных колебаний уровня моря и сезонного хода испарения в Красном море (рис. 4), малых глубин на выходе из пролива, определяющих аномалии во внутригодовом ходе водообмена между Красным морем и Аденским заливом. Зимой и весной глубинный сток соленых вод Красного моря через Баб-эль-Мандебский пролив наиболее устойчив и интенсивен. Летом, когда потребность в компенсации вод Красного моря достигает своего максимума, входящий промежуточный поток преобладает и почти полностью подавляет стоковое глубинное течение.

Термохалинные и гидрохимические параметры красноморской воды на выходе в Аденский залив изменяются в течение года пропорционально процессу ее трансформации над Баб-эль-Мандебским порогом. С ноября по май глубинная красноморская вода в предпроливной части Аденского залива сохраняет высокие температуры (20—23°С), соленость (38,5—39‰) и содержание растворенного кислорода (1,6—2,3 мл/л), в то время как в июле — октябре она значительно трансформируется уже в проливе: температура ее не превышает в это время 16—

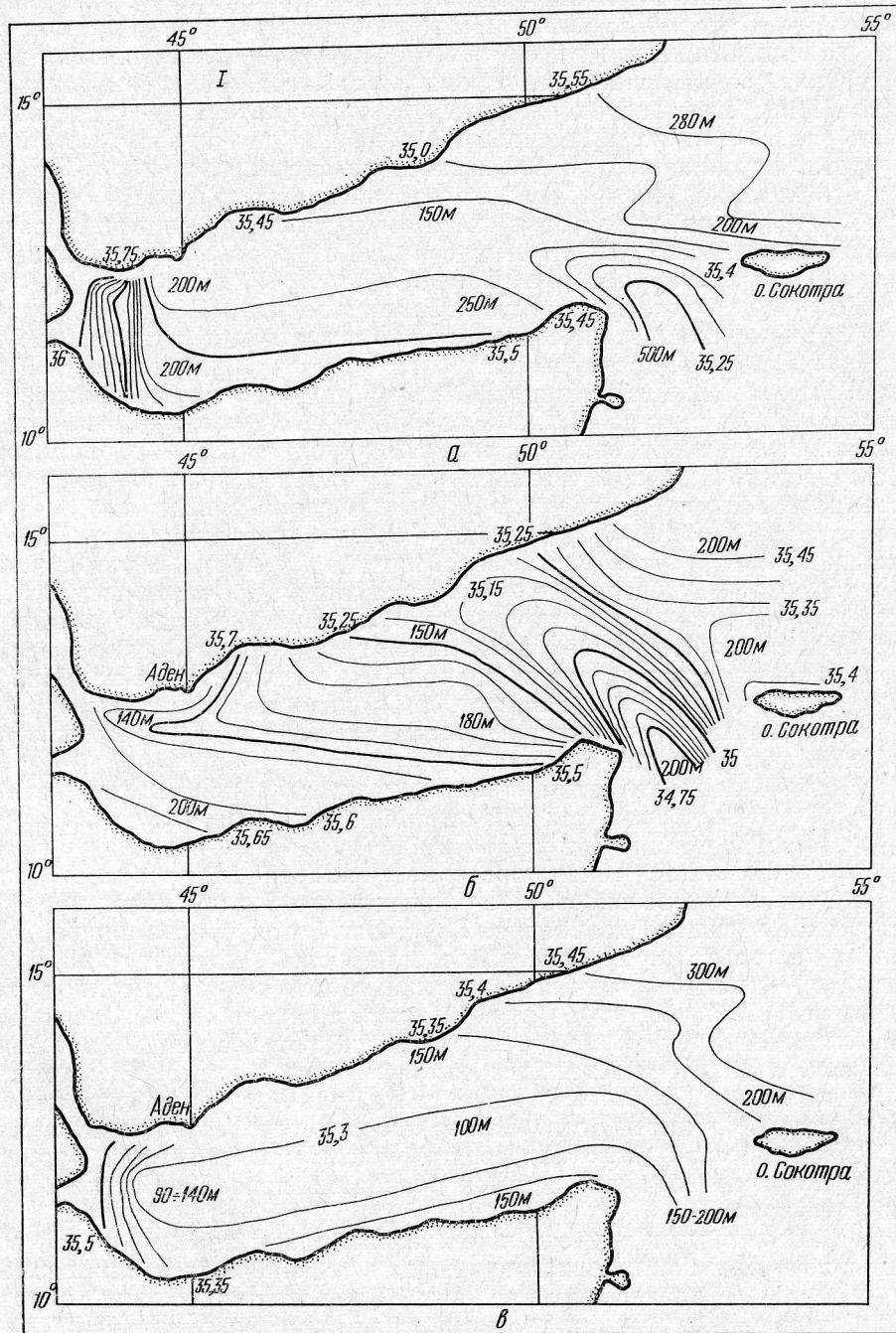
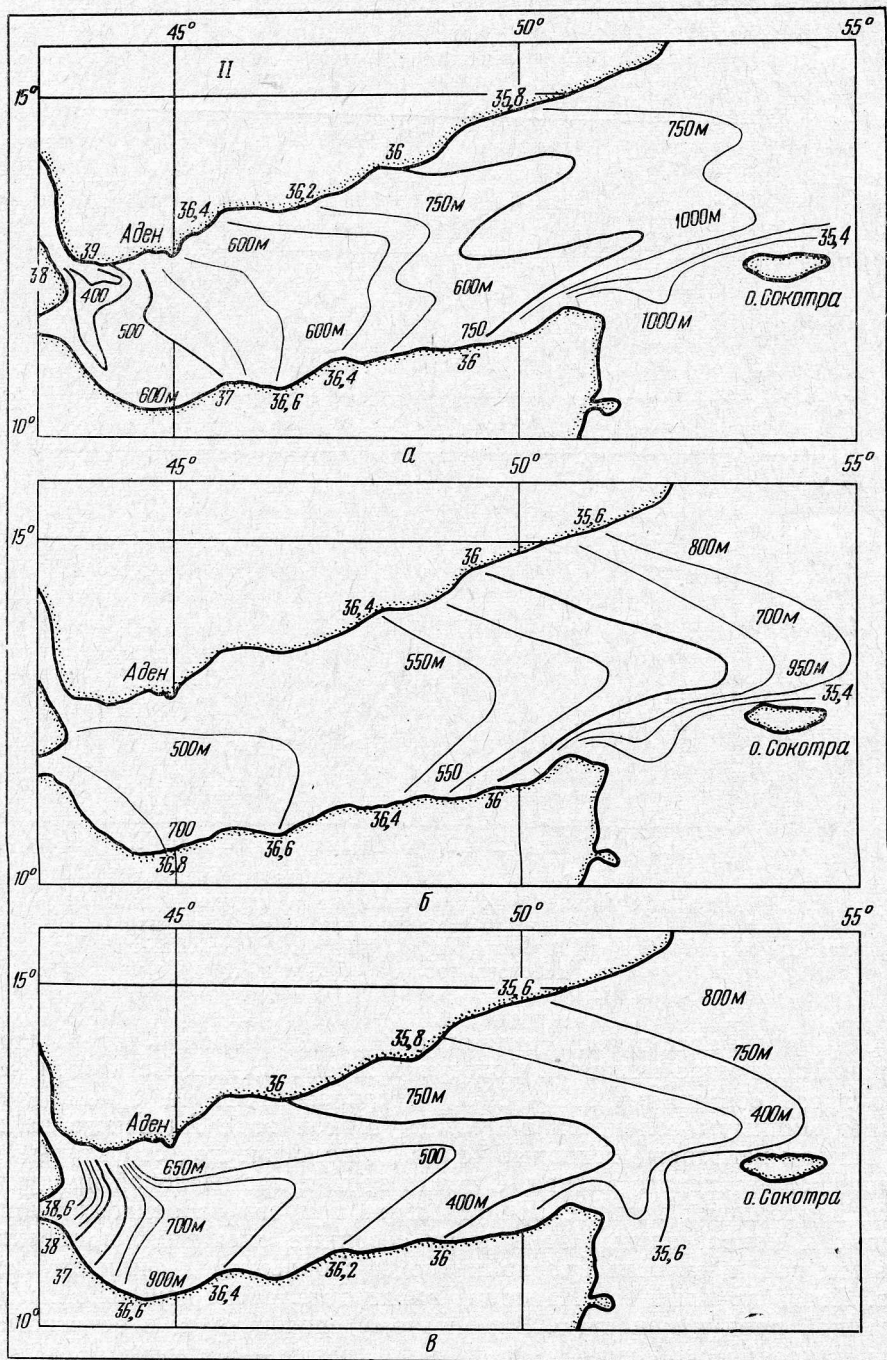


Рис. 3. Распределение солёности в Аденском заливе в 1963
 I — промежуточного минимума; II — глубинного максимума



г. (обозначения те же, что на рис. 2):
 (трансформированная красноморская вода).

17,5° С, соленость — 36—36,5‰, содержание кислорода — 0,4—0,9 мл/л (см. рис. 4). При своем дальнейшем продвижении в Аденском заливе глубинная красноморская вода более интенсивно расходует кислород; соленость ее также постепенно понижается к выходу из залива до 35,8—36,2‰ (рис. 3, II).

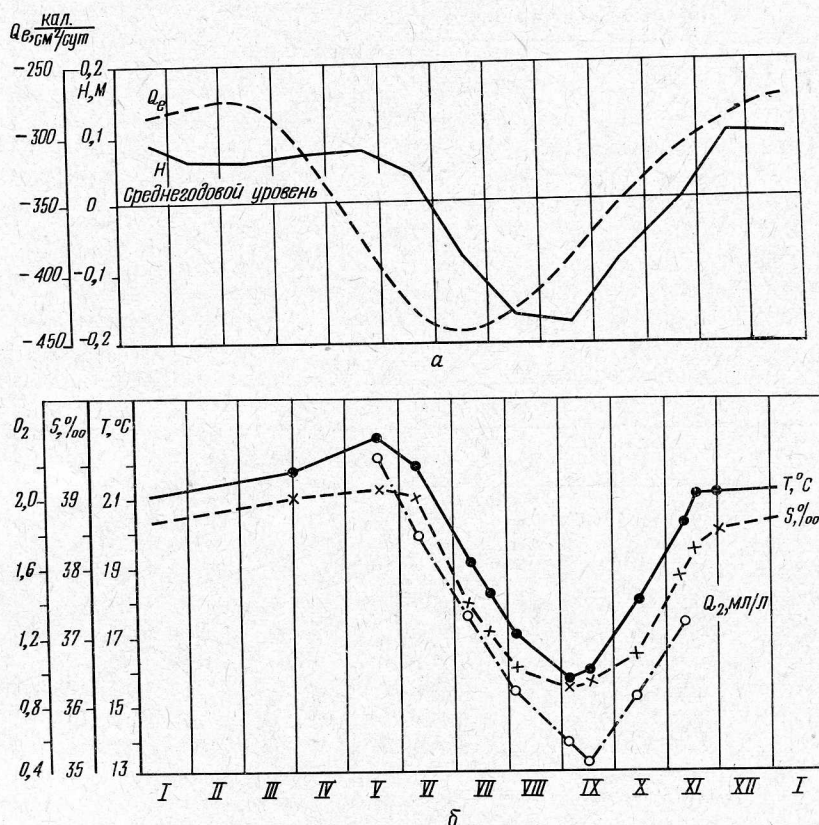


Рис. 4. Годовой ход уровня и потерь тепла на испарение в Красном море (а) по Н. И. Егорову и сезонные колебания температуры, солености и кислорода красноморских вод на выходе из Баб-эль-Мандебского пролива (б).

Основная масса трансформированной красноморской воды выходит в Аравийское море между о. Сокотра и Аравией; мощность слоя этой воды здесь составляет 800—900 м, а соленость ее на 0,5—1‰ превышает минимум солености в промежуточной воде Аденского залива.

Таковы некоторые основные черты гидрологической структуры и динамики вод Аденского залива. С точки зрения промысловой продуктивности наибольший интерес представляют три его особенности: дивергентные и конвергентные зоны и их сезонные смещения, прибрежные подъемы вод и наличие прослойки воды с большим дефицитом кислорода. Почти круглый год Аденский залив отличается довольно высокой первичной продуктивностью. Зимой этому способствует в основном система циклонической циркуляции вод, летом — подъемы глубинных вод у Аденского побережья в результате сгонной циркуляции. В том и другом случае создаются благоприятные условия для выноса питательных солей в верхние слои моря, что и определяет в свою очередь бурное развитие органической жизни.

Однако подъем глубинных вод в некоторых случаях может оказывать и отрицательное действие на условия существования рыб, препятствуя, в частности, образованию над шельфом промысловых скоплений. Это связано с наличием в структуре вод Аденского залива прослойки с большим дефицитом кислорода, которая в общих чертах совпадает с промежуточным минимумом солености и обнаруживается по следующим признакам: температура $14-19^{\circ}\text{C}$, соленость $35,3-35,7\text{‰}$ и содержание кислорода $0,35-0,50\text{ мл/л}$ ($4-10\%$ насыщения). Такие неблагоприятные условия складываются, например, летом в Аравийском море у побережья Омана (Аравия) и восточного побережья Сомали, где сгонный эффект и подъем глубинной воды наблюдаются в течение всего периода юго-западного муссона, и поэтому прибрежная зона постоянно занята холодной ($17-20^{\circ}\text{C}$) водой с большим дефицитом кислорода в придонных слоях. Возможности промысла здесь и особенно у восточного побережья Сомали и у о. Сокотра затруднены еще тем, что летний муссон обладает наибольшей силой и устойчивостью (у о. Сокотра, например, в июле — августе более 40% повторяемости приходится на штормовые ветры силой 7 баллов и выше).

Напротив, в прибрежной северо-западной части Аденского залива летний муссон крайне неустойчив, что вызывает чередование господства сгонного или нагонного ветра (рис. 5). Вследствие этого, гидрологические условия здесь подвержены резким непериодическим изменениям, сказывающимся непосредственно и на условиях обитания рыб. Амплитуда сгонно-нагонных колебаний температуры воды, например, достигает у побережья Адена $12-14^{\circ}\text{C}$, что в два с половиной раза превышает ее внутригодовые изменения. Выделяются два небольших района, где наиболее сильны сгонно-нагонные явления. Оба района находятся с тыловой стороны мысов — между Баб-эль-Мандебским проливом и Аденом (44° в. д.) и к востоку от п-ова Адена. К этим же участкам шельфа были приурочены в определенные периоды и основные концентрации ставриды и сардины (эти участки выделены на рис. 5 штриховкой).

В целом северная половина Аденского залива на протяжении всего лета остается более холодной, чем южная. В этом проявляются особенности летней циркуляции вод в заливе: северное побережье является дивергентной стороной течения, имеющего генеральное направление с запада на восток. Вследствие этого, здесь наблюдается постоянная тенденция вод к подъему, усиливающаяся на шельфе процессами ветровой сгонной циркуляции и возникающими при этом циклоническими вихрями с тыловой стороны мысов. На южной конвергентной стороне течения наблюдается в это время противоположный эффект — нагон и концентрация теплых вод у африканского берега залива. Поэтому с продвижением от южного берега к северному верхняя граница слоя температурного скачка поднимается с $80-50\text{ м}$ до $15-5$, а промежуточная холодная вода с дефицитом кислорода занимает на севере более высокое положение. Выходы ее на мелководье в периоды сгона воды у аденского берега при ветрах западной четверти (см. рис. 5) вынуждают рыбу уходить к самому побережью. По данным экспедиций АзчерНИРО, в периоды сгонных ветров основная масса сардин и ставрид распределена в очень узкой прибрежной зоне. Только временами при благоприятных условиях рыба образует более или менее устойчивые скопления на мористых участках шельфа. Летом 1962 г. такие условия создавались, например, в конце июля — начале августа и также после 20 августа, когда преобладали ветры южной и восточной четверти. При развивающейся в эти периоды нагонной циркуляции холодная подповерхностная вода с минимумом кис-

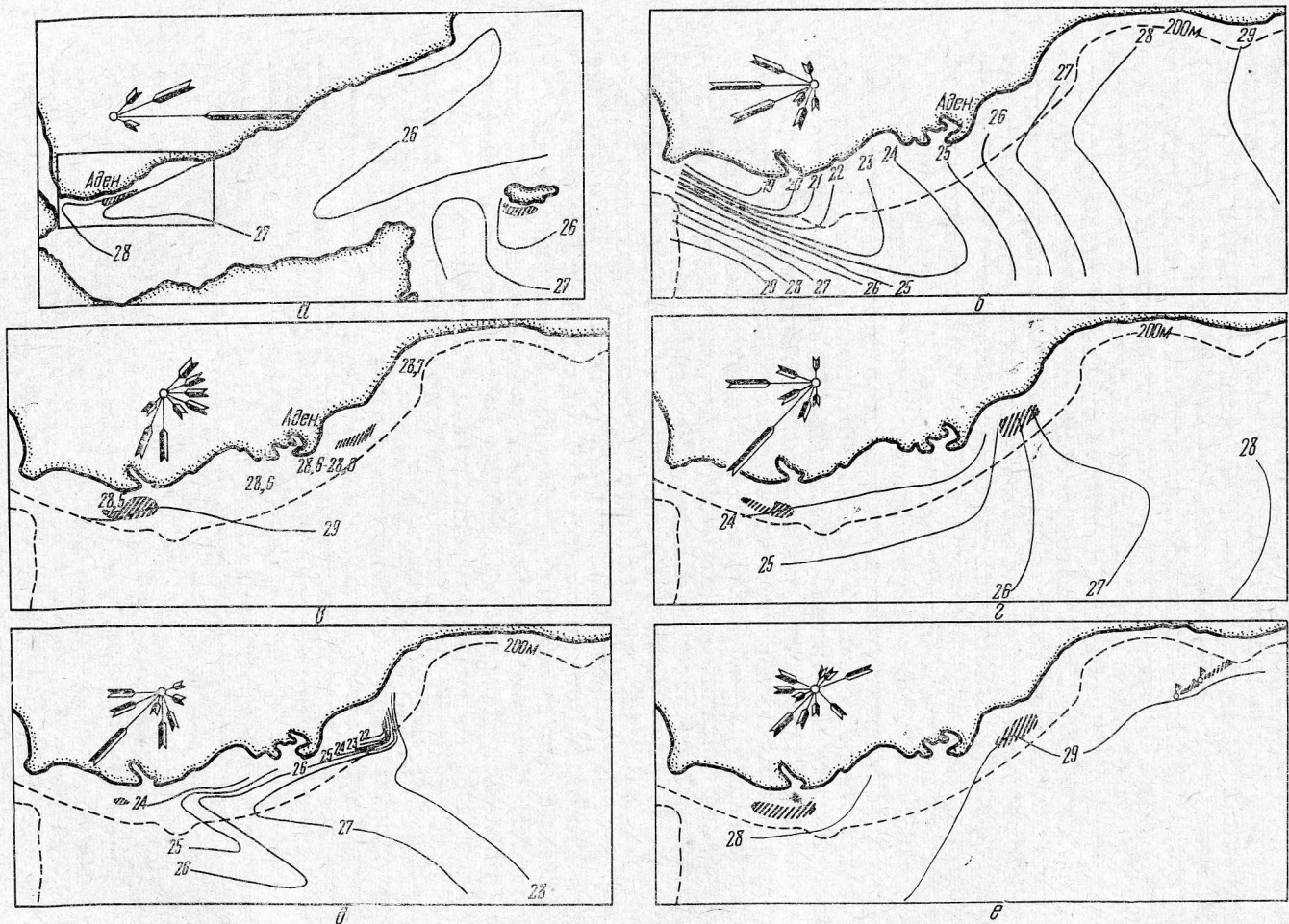


Рис. 5. Распределение температуры воды на поверхности в зависимости от сгонно-нагонной циркуляции у побережья Адена (розами показана повторяемость направлений ветра):
а — 10 ноября — 7 декабря 1961 г.; *б* — 15—21 июля 1962 г.; *в* — 27 июля — 3 августа 1962 г.; *г* — 4—10 августа 1962 г.; *д* — 12—18 августа 1962 г.; *е* — 23—29 августа.

лорода отстывает с мелководья, однако даже при нагонной ситуации промысловые виды рыб концентрировались и облавливались на глубинах, не превышающих 40 м (В. В. Некрасов, 1964), где температура воды не опускалась ниже 20° С.

Совершенно идентичные термические условия были летом 1963 г. (рис. 6), но в некоторых отношениях они оказались более неблагоприятными для обитателей моря.

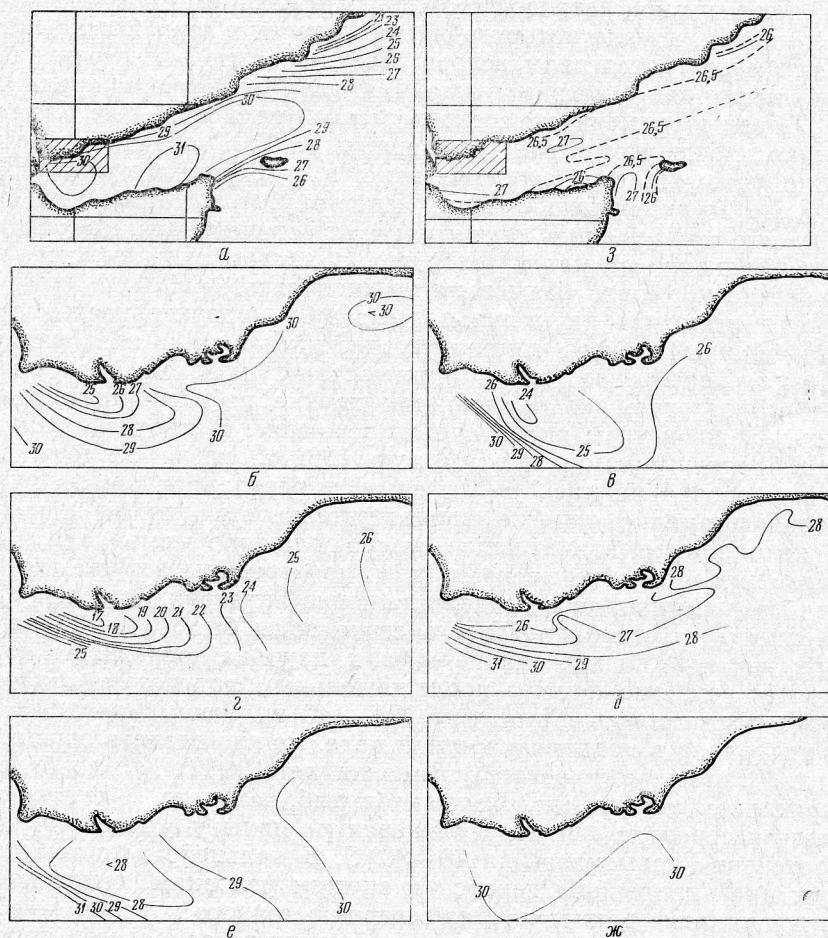


Рис. 6. Распределение температуры воды на поверхности у побережья Адена в 1963 г.:

а — 16 мая—25 июня; б — 1—23 июля; в — 24 июля—5 августа; г — 10—12 августа; д — 15—25 августа; е — 2—9 сентября; ж — 17 сентября—8 октября; з — 27 ноября—10 декабря.

В середине мая при преобладании слабых ветров восточного направления и еще сохранявшемся зимнем типе циркуляции вод в Аденском заливе (течение с востока на запад) характер распределения температуры воды у Адена оставался в общем зимним (гомотермия или очень слабое понижение ко дну). Вертикальный водообмен характеризовался нисходящими потоками, приводящими к хорошей аэрации придонного слоя воды, но затрудняющими вынос питательных солей с глубины на поверхность. Этим можно объяснить, в конечном итоге, и сравнительно невысокую биомассу планктона в это время. Уже в третьей

декаде мая произошла смена муссонов. Переход к летнему типу циркуляции вод в заливе очень быстро сказался на вертикальном распределении температуры воды. Над аденским шельфом стало заметно значительное падение ее с глубиной, но не ниже $23-24^{\circ}\text{C}$, а у дна на 50 м и 21°C — на 70 м. Подъем глубинных вод на дивергентной стороне течения повлек за собой обогащение верхних слоев воды питательными солями и повышение биомассы планктона, однако далеко не в такой степени, как в период ветровой сгонной циркуляции.

Этот период, начало которого можно отнести к первой декаде июля, характеризуется господством ветров северо-западной четверти на прибрежной акватории залива между Баб-эль-Мандебским проливом и Аденом. С этого времени отмечено и резкое увеличение как биомассы, так и численности планктона: по данным А. Г. Грובה*, биомасса планктона увеличилась к середине июля в 5—6 раз, а к сентябрю — в 10—14 раз по сравнению с маем. К востоку от предпроливной части залива также наблюдалось значительное увеличение биомассы и численности планктона от мая к сентябрю. В дальнейшем по всему заливу показатели кормовой базы заметно снизились.

Однако несмотря на довольно высокую продуктивность вод, до второй половины августа гидроакустический поиск и траления как «Владимира Воробьева», так и промысловых судов не дали положительных результатов, что объясняется крайне неблагоприятными термическими условиями и кислородным режимом. В противоположность гидрометеорологическим условиям лета 1962 г., когда периоды ветрового сгона ограничивались 6—7 днями и чередовались с периодами потепления примерно той же продолжительности (когда появлялась рыба), похолодание, захватившее северо-западную часть залива с начала июля, не только не прекращалось до середины августа, но и постепенно распространялось на значительную акваторию залива. «Кульминационным» моментом ветрового сгона воды было 10—13 августа, когда температура воды в районе 44° в. д. даже на поверхности понизилась до 17° (см. рис. 6). По предварительным подсчетам, вода к поверхности поднималась с глубины 120—140 м. Учитывая также недостаток кислорода в подповерхностной воде, можно сделать заключение, что в гидрометеорологическом отношении лето 1963 г. было более неблагоприятным для промысловых видов рыб, чем лето 1962 г.

Лишь к середине сентября температура воды у Аденоского побережья постепенно повысилась до $29-30^{\circ}\text{C}$. В дальнейшем в течение нескольких дней произошел переход к зимним условиям, чему способствовало неожиданно раннее начало северо-восточного муссона (4—5 баллов). Это вызвало смену направления течения на западное (нагонный эффект у побережья Адена), постепенное понижение температуры до $26-25^{\circ}\text{C}$ и выравнивание ее от поверхности до дна. Зимой как у южного, так и у северного берега залива слой температурного скачка залегает на 50—70 м, причем вертикальные градиенты температуры в это время значительно меньше, чем летом. Эти изменения в гидрологии вод имеют большое значение для промысла тунцов — наиболее перспективных рыб Аденоского залива, которых можно облавливать здесь в больших количествах. Благодаря более высокому положению слоя температурного скачка летом кошельковый лов тунца (по всей вероятности и ярусный) проходит успешнее, чем зимой. В мае — октябре стада тунцов можно обнаружить на всей акватории Аденоского залива в значительно больших количествах, чем зимой, но основные скопления их при-

* Статья опубликована в данном сборнике.

урочиваются к более динамичным участкам стыка теплых и холодных вод, как, например, в районе Баб-эль-Мандебского пролива и к востоку от Аденского полуострова.

Выводы

1. Вследствие сезонной смены муссонов характер циркуляции вод в Аденском заливе меняется в течение года: зимой преобладает перенос вод из Аравийского моря в залив, летом — из залива.

2. Особенности циркуляции вод определяют резко выраженные аномалии во внутрigoдовом ходе гидрологических характеристик Аденского залива, способствуя адвекции (перераспределению) тепла и солей как на поверхности, так и в глубинных слоях.

3. В течение всего года в заливе создаются благоприятные динамические условия для повышения первичной продукции верхнего слоя воды: зимой этому способствует система циклонической циркуляции вод, летом — подъем глубинных вод у Аденского побережья в результате сгонных явлений.

4. Вследствие интенсивной ветровой сгонно-нагонной циркуляции в прибрежной зоне между Баб-эль-Мандебским проливом и Аденом летом термические условия крайне неустойчивы и в некоторые годы могут быть неблагоприятными для обитания промысловых рыб.

ЛИТЕРАТУРА

Егоров Н. И. «Расчет теплового баланса Красного моря». «Метеорология и гидрология», № 3, 1950.

Некрасов В. В. Влияние внешних факторов среды на скопления ставриды в Аденском заливе. «Океанология», № 3, 1964.

Серый В. В. и Химица В. А. К гидрологии и гидрохимии Аденского залива и Аравийского моря. «Океанология», № 6, 1963.

Шокальский Ю. М. «Океанография». Л., 1959.