

26.221
Б 73

Д. В. БОГДАНОВ
ТРОПИЧЕСКИЙ
ОКЕАН



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

Annotation

Изучение тропической зоны Мирового океана имеет существенное научное и прикладное значение. Здесь можно наблюдать такие явления и процессы, которых не бывает в высоких широтах. В книге рассматривается природа пока еще малоисследованной тропической зоны Мирового океана, анализируются ее специфические особенности, говорится о том большом вкладе, который внесли в изучение тропического океана советские ученые.

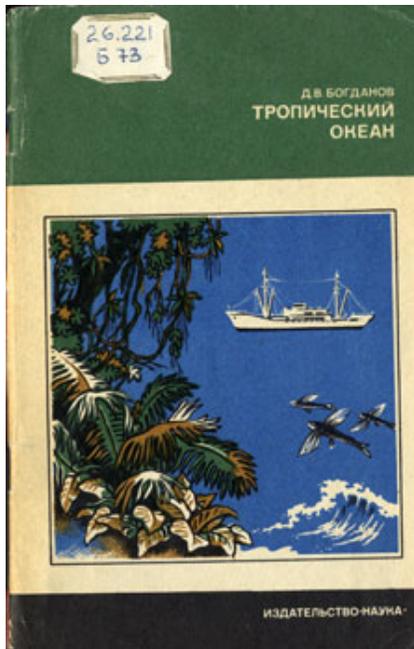
- [ВВЕДЕНИЕ](#)
 - [О ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ОКЕАНА](#)
 - [ПОГОДА, КЛИМАТ](#)
 - [ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ](#)
 - [ВЕЧНО ТЕПЛЫЕ ВОДЫ](#)
 - [КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ](#)
 - [ЖИЗНЬ В ТРОПИЧЕСКИХ ВОДАХ](#)
 - [ДНО, БЕРЕГА, ОСТРОВА](#)
 - [ТИХООКЕАНСКИЕ ТРОПИКИ](#)
 - [АТЛАНТИЧЕСКИЕ ТРОПИКИ](#)
 - [«ОКЕАН МУССОНОВ»](#)
 - [ЛИТЕРАТУРА](#)
-

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Настоящее и будущее Земли и человечества»

Д. В. БОГДАНОВ

ТРОПИЧЕСКИЙ ОКЕАН



Даниил Васильевич Богданов - Тропический океан

Изучение тропической зоны Мирового океана имеет существенное научное и прикладное значение. Здесь можно наблюдать такие явления и процессы, которых не бывает в высоких широтах.

В книге рассматривается природа пока еще малоисследованной тропической зоны Мирового океана, анализируются ее специфические особенности, говорится о том большом вкладе, который внесли в изучение тропического океана советские ученые.

Ответственный редактор доктор географических наук А. А. АКСЕНОВ

Издательство «Наука», 1975 г

ВВЕДЕНИЕ

В книге рассматривается природа тропического пояса Мирового океана. Если за границы пояса принять тропики Рака и Козерога, то он протягивается с севера на юг приблизительно по 47° , или 2820 морских миль (5220 км). Пояс охватывает широкой полосой весь земной шар, прерываясь лишь материками. Площадь океана в его пределах составляет 153 млн. км². Это больше площади всех материков (включая Антарктиду) и островов, вместе взятых. Обычно на географических картах Мировой океан изображается в проекции Меркатора. Эта проекция не равновеликая, размеры всех объектов в низких широтах сильно уменьшены. Правильное соотношение площадей сохраняется лишь на глобусе и на картах равновеликих проекций.

Воды тропического пояса разделены материками на три части, входящие в Атлантический, Индийский и Тихий океаны. Сюда полностью или частично входят моря: Индонезии, Карибское и Мексиканский залив, Красное. Расчлененность акватории при большой протяженности береговой линии и сложности географии прилегающей суши обуславливает разнообразие природы тропического пояса. Органический мир тропиков самый древний. Здесь на протяжении многих геологических периодов не было существенных изменений климатических условий. Природа развивалась в течение десятков миллионов лет без перерывов и катастроф.

В тропическом поясе океана наблюдается множество природных «ландшафтов». Здесь - бескрайние пространства теплых синих вод и открытые берега, где гигантские валы океанской зыби накатываются на песчаные пляжи под зелеными кронами пальм; густые непроходимые заросли мангров, где исчезает граница моря и земной тверди; порожденные морем острова - атоллы и коралловые рифы с их удивительной, неповторимой жизнью; прохладные, зеленые, изобилующие рыбой воды у пустынных берегов

Перу; удушливо жаркое, необычайно соленое Красное море - все это части великого тропического пояса Мирового океана.

Природа тропиков дает колоссальный материал для исследований. В тропическом поясе океана отмечаются такие явления, которые невозможно наблюдать в водах высоких широт, - пассатная циркуляция, развитие и прохождение тропических ураганов, экваториальные поверхностные и подповерхностные противотечения, муссоны и вызываемая ими сезонная перестройка течений в океане, массовое органическое осадконакопление, коралловые рифы и атоллы, исключительное разнообразие органического мира. Изучение этих процессов имеет большое значение для познания не только тропической зоны, но и всего Мирового океана, а также для решения многих вопросов географии, геохимии, геологии и биологии Земли.

Природа тропического пояса океана и его ресурсы исследованы еще очень слабо. Хуже, чем северная, известна тропическая фауна и флора. Основные пособия и монографии по океанологии основаны в значительной мере на материалах умеренных и высоких широт. Природа тропической суши прекрасно описана еще в прошлом веке в классических трудах А. Гумбольдта, А. Уоллеса и др. Широкий размах разносторонних исследований тропических вод в последнее время позволяет надеяться, что в ближайшие годы возможна разработка основ и тропической океанологии.

Интерес к этой проблеме возрос еще и потому, что, по данным Организации Объединенных Наций, половина человечества испытывает недостаток в пищевых белках животного происхождения (в основном в странах тропического пояса). Не хватает мяса, рыбы, молока. В то же время океан может дать значительные количества высококачественных белков, содержащихся в рыбе, моллюсках, ракообразных и др. Значительная часть биологических ресурсов тропического пояса явно

недоиспользуется. Одна из причин этого - относительно слабое знание тропических вод и их ресурсов.

Границы тропического пояса было бы правильнее не вести по тропикам Рака и Козерога, а взять в качестве таковых изотермы $+20^{\circ}\text{C}$ на поверхности воды для самого холодного месяца (в северном полушарии - февраль, в южном - август). Дело в том, что эти изотермы - естественный рубеж распространения многих теплолюбивых организмов, в том числе рифообразующих коралловых полипов. В тропическом поясе совершенно особый состав фауны, иные экологические условия, нежели за его пределами. Здесь по-иному идет осадконакопление и развиваются береговые процессы, особое геологическое строение дна в мелководных районах.

Тропический пояс океана оказывает большое влияние на природу умеренных и высоких широт обоих полушарий Земли. Оно осуществляется двумя путями - океанскими течениями и атмосферной циркуляцией. В тропических водах аккумулируются огромные запасы тепла. Океанские течения, идущие из низких широт в более высокие (система Гольфстрима в Атлантическом океане и Курошио в Тихом, аналогичные течения в южном полушарии), переносят огромные количества тепла. Те районы океана, куда проникают их воды, оказываются значительно теплее, чем обычно воды на этих широтах. Известно, что, несмотря на высокие широты, порты Норвегии, а также Мурманский не замерзают, в то время как расположенный значительно южнее порт Одесса часто покрывается льдом. Климатическое влияние вод Гольфстрима, получивших тепло в низких широтах, распространяется на обширную площадь Западной, Северной и Восточной Европы.

Вынос тропического воздуха в высокие широты в разные годы имеет различную интенсивность, в зависимости от степени развития меридиональной циркуляции в атмосфере. Он определяет интенсивность поступления в умеренные широты полярного и арктического воздуха. С большим основанием можно говорить, что настоящая теплая «кухня погоды» всей планеты - это тропический

океан, так как он главный аккумулятор солнечного тепла на Земле.

В последние два десятилетия существенно увеличился интерес к изучению тропических вод и их ресурсов. Усилилось международное сотрудничество в изучении океана. В 60-х годах экспедиции работали в Индийском, в экваториальной части Атлантического и в Тихом океанах. В них приняли участие суда США, Великобритании, Франции, ФРГ, Японии, Австралии и других стран. Большой вклад в исследование тропических вод внесли советские экспедиции на судах «Витязь», «Михаил Ломоносов», «Академик Курчатов», «Академик Ковалевский». Изучены многие особенности циркуляции вод в низких широтах, в частности в Атлантическом океане открыты подповерхностное экваториальное противотечение Ломоносова, поверхностное Антильско-Гвианское противотечение, циклонические круговороты вод; выявлены районы высокой биологической продуктивности. Советскими учеными разработана теория экваториальных поверхностных и подповерхностных противотечений.

Особо следует сказать о советских рыбохозяйственных экспедициях. Они начались в 1957-1958 гг. с рейсов к берегам Западной Африки, а затем охватили многие районы Атлантического, Тихого и Индийского океанов.

Наши научные исследования в тропических водах проводятся в основном в трех направлениях: 1) всестороннее изучение природы тропических вод в плане общего изучения океана; 2) освоение новых районов и объектов рыболовства; 3) помощь развивающимся странам в изучении и освоении их морских биологических ресурсов.

О ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ОКЕАНА

Прежде чем перейти к характеристике тропического пояса, необходимо определить место его вод в Мировом океане и дать общее представление о природной, или физико-географической, зональности (поясности) океана. Это в значительной мере поможет выявлению специфических отличий тропических вод от вод других широт.

Известно, что на суше в меридиональном направлении сменяются природные пояса: полярный, субполярный, умеренный, субтропический, тропический, экваториальный и т. д. То же наблюдается при движении по океану. В низких широтах Тихого океана основные зоны были изучены и описаны советским ученым В. Г. Богоровым. В Мировом океане обычно выделяются следующие зоны или, правильнее, пояса. В северном полушарии - северный полярный (или арктический), субполярный (субарктический), умеренный, субтропический и тропический. Близ экватора находится экваториальный. В южном полушарии прослеживаются аналогичные пояса, но в обратном порядке (рис. 1): южный тропический, субтропический, умеренный, субполярный (субантарктический) и полярный (антарктический). Пояса северный тропический, экваториальный и южный тропический вместе составляют тропический пояс Мирового океана, который и рассматривается в этой работе.

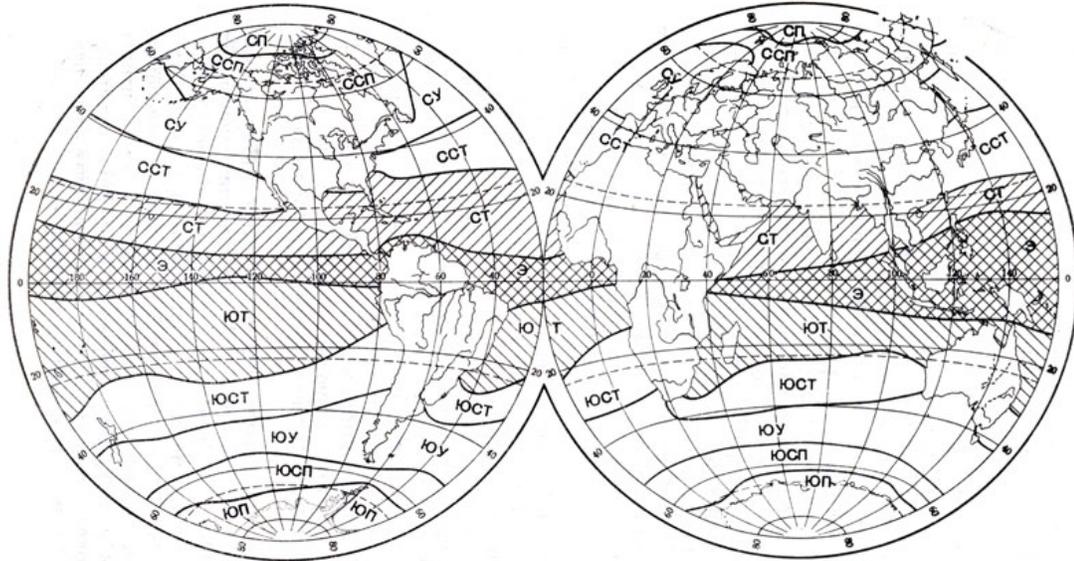


Рис. 1. Физико-географические пояса океана: СП - северный полярный; ССП - северный субполярный; СУ - северный умеренный; ССТ - северный субтропический; СТ - северный тропический; Э - экваториальный; ЮТ - южный тропический; ЮСТ - южный субтропический; ЮУ - южный умеренный; ЮСП - южный субполярный; ЮП - южный полярный.

Таким образом, океан по природным условиям симметричен относительно плоскости термического экватора и каждому поясу северного полушария соответствует пояс в южном. Рассмотрим кратко основные особенности природы различных поясов начиная с полярных.

Полярные пояса, т. е. арктический и антарктический, представляют собой области холодных вод, практически круглый год покрытых льдами. Здесь постоянный холод, отсутствие солнечного света зимой. В северном полушарии этот пояс совпадает с Центральным полярным бассейном, охватывающим среднюю часть Северного Ледовитого океана. За осень и зиму образуется мощный ледовый покров. Летом несколько месяцев солнце не заходит за горизонт, часть льда тает, но большая часть акватории остается покрытой льдом. Сюда в виде глубинного потока проникают теплые воды системы Гольфстрима, несколько смягчая суровый климат.

Условия для развития жизни малоблагоприятны. Но летом, за 1-2 месяца развивается фито- и зоопланктон. Здесь обитают рыбы, морские звери, птицы.

На суше в этих широтах находятся зоны ледяной пустыни и высокоарктической тундры (например, Гренландия).

В южном полушарии Северному Ледовитому океану по широтам соответствуют Антарктический континент с его мощным безжизненным ледяным покровом и прилегающие воды с морскими и шельфовыми льдами. Воды населяют различные животные - планктон, ракообразные, рыбы, ластоногие; здесь же находят пищу птицы (пингвины и др.). Таким образом, в крайних полярных условиях океан несравненно более благоприятен для развития жизни, нежели покрытая льдом суша.

Субполярные пояса (субарктический и субантарктический) - это преимущественно области ледовой кромки. Они покрыты льдом зимой и свободны от него летом. В результате охлаждения и осолонения вод (при льдообразовании) развивается вертикальная циркуляция. Каждый год вода хорошо промешивается до больших глубин и обогащается кислородом и питательными солями, Летом в сравнительно теплой ($0 + 5^{\circ}$) воде при обилии солнечного света, кислорода и питательных солей развивается масса планктона. Ведется интенсивный промысел рыбы и морских зверей. На суше в этих широтах находится тундра.

В южном полушарии соответствующий пояс расположен между $52-58$ и 66° ю. ш. В течение короткого субантарктического лета здесь развивается масса планктона. В зоопланктоне особенно важен крупный рачок *Euphausia superba*, или криль, длиной до 6 см. Им питаются различные рыбы, птицы, ластоногие, киты. В последние годы Советский Союз начал промысел криля для получения из него пищевых продуктов.

В высоких широтах обоих полушарий формируются холодные воды, которые погружаются и распространяются в сторону экватора. Они подстилают теплые тропические и экваториальные воды, формируя холодные промежуточные

и глубинные слои. Холодные воды обнаруживаются всюду в низких широтах на глубине нескольких сотен метров. Во многих районах они близко подходят к поверхности и влияют на океанографические условия поверхностных слоев, а местами даже выходят на поверхность.

Умеренные пояса. Воды умеренных широт в обоих полушариях испытывают очень существенные годовые (сезонные) и межгодовые (многолетние) изменения температуры. Летом верхние слои воды прогреваются до 15° и больше. Между теплой, поверхностной и более холодной подповерхностной водой образуется более или менее резкий слой скачка температуры. Зимнее охлаждение поверхностных вод создает вертикальную циркуляцию, конвективную по своей природе. Вода перемешивается до значительной глубины, слой скачка исчезает. В результате поверхностные слои обогащаются питательными солями, а кислород проникает в глубину. В итоге в пределах умеренных широт и на границе умеренных и субполярных вод создаются благоприятные условия для развития планктона и образования скоплений рыб. Воды этого пояса относятся к числу богатых рыбой (сельдь, лососевые, анчоус, треска, камбала и т. д.).

В умеренных широтах преобладают западные ветры и развивается интенсивная атмосферная циклоническая деятельность. Поэтому здесь часты штормы, особенно в зимнюю половину года. Западные ветры вызывают поток поверхностных вод на восток. Это Северо-Атлантическое и Северо-Тихоокеанское течения в северном полушарии и Антарктическое циркумполярное - в южном. На суше в умеренном поясе распространены леса и степи.

Между умеренными и тропическими находятся **субтропические пояса** северного и южного полушарий - с высоким атмосферным давлением, малым количеством осадков, слабыми переменными ветрами, высокой температурой воздуха. Здесь слабая горизонтальная циркуляция вод, относительно высокая температура поверхностных слоев, самая высокая для открытого океана соленость. Теплые, сравнительно легкие воды устойчиво

занимают верхний слой. Перемешивание вод слабое, воды малопродуктивны. На единицу объема воды здесь очень мало планктонных организмов и рыб. Поэтому вода прозрачна.

В пределах северного субтропического пояса находится Саргассово море - гигантский круговорот вод (по часовой стрелке) с преобладанием погружения их в средней части, образованный кольцом течений. В центре скапливаются плавающие саргассовые водоросли.

На суше на этих широтах распространены субтропические ландшафты и северные части тропических пустынь.

Ближе к экватору располагается тропический пояс в широком смысле, который ниже будет рассмотрен подробнее.

ПОГОДА, КЛИМАТ

Тропический пояс на поверхности океана получает максимальное на Земле количество солнечной радиации - около 160 ккал/см² в год. Часть тепла расходуется на испарение воды, другая - на нагревание поверхностного слоя. Длинноволновая радиация полностью поглощается в верхних сантиметрах воды. В условиях ясного неба и спокойного моря такой приток тепла вызывает повышение температуры поверхностного слоя до 28-30°. От теплой поверхности океана и суши путем длинноволнового лучеиспускания и конвекции прогревается нижний слой атмосферы.

У экватора количество приходящего тепла и температура воды и воздуха мало меняются на протяжении года и за ряд лет. Близ тропиков количество радиации несколько варьирует в течение года. Оно велико летом, но зимой из-за меньшей высоты солнца над горизонтом и меньшей продолжительности дня несколько сокращается. В результате температура воздуха и поверхностного слоя воды зимой понижается на 4-5°.

Главный ветер тропической зоны - пассат (северо-восточный в северном полушарии, юго-восточный в южном). В тропических широтах над океаном он всегда дует из восточной части горизонта под углом к экватору. В течение года северная и южная границы пассата сдвигаются; зимой - к экватору, летом - в более высокие широты. При этом пассаты южного полушария в Атлантическом и Тихом океанах распространяются несколько севернее экватора.

Там, где встречаются и затихают пассаты северного и южного полушарий, находится экваториальная зона затишья и штилей. Здесь максимально нагревается поверхность океана. От нее теплеет воздух. Он поднимается, увлекая за собой пары воды, охлаждается на высоте, а атмосферное давление у океана падает. Это вызывает компенсационный приток воздуха извне, каковым и являются пассаты. Влага воздуха превращается в мощные

облака. Нагрев и подъем воздуха особенно интенсивны днем, в послеполуденные часы. Именно в это время над штилевым океаном вырастают облака. Струи восходящих потоков воздуха прослеживаются в виде быстро растущих кучевых облаков вертикального развития. Иногда плотные серые слоистые облака покрывают все экваториальное небо, и по многу дней идет несильный дождь. Но более типичны яркие краски неба. Утром над тихим и светлым океаном восходит ясное оранжевое солнце. Оно отвесно и быстро поднимается над горизонтом и начинает свой путь к зениту. Поэтому зори на экваторе короткие. Над водой - лишь рваные облака, оставшиеся после ночного ливня. К полудню воздух становится жарким, он уже насыщен влагой и неподвижен. От обилия влаги в воздухе даль становится туманной, небо - белесым. Океан тоже становится светло-голубым. Над ним растут высокие белые массы кучевых облаков - гигантские колонны, замки, башни. Достигнув на высоте нескольких километров зоны обледенения, вершины их закругляются, превращаются в «наковальни». Температура воздуха и воды 28-30° тепла, влажность воздуха 90% и больше.

По вечерам заходящее солнце рассеивает свои лучи в насыщенной водяными парами атмосфере и создает яркие и сочные закатные краски - красную, вишневую. Небо покрыто розовыми полупрозрачными облаками верхнего яруса, ярко освещены нагромождения высоких кучевых облаков, а нижние, разорванные, плывут темными фиолетовыми тенями над потемневшим океаном.

Вечером и ночью часты сильные ливни с грозой. Становится прохладно, хотя температура падает лишь до 25-24°. Иногда в пределах видимости наблюдается несколько дождевых очагов.

Поднявшийся воздух, отдав океану избыток влаги в виде дождей, растекается в верхних слоях атмосферы от экватора к северу и югу. Постепенно под влиянием вращения Земли он поворачивает к востоку и около 30° северной и южной широт на высоте нескольких километров образует широтные воздушные потоки на восток.

В результате создается избыток воздуха и высокое давление. Воздух опускается к поверхности океана со скоростью нескольких сотен метров в сутки, нагревается и становится очень сухим. На суше в этих широтах находятся великие пустыни - Юго-Западной Азии, Северной Америки, Австралии, Северной и Юго-Западной Африки и т. д.

Так над океаном в зоне высокого давления зарождаются пассаты. Они несут избыток воздуха над поверхностью океана к экваториальной зоне низкого давления. (Часть избыточного воздуха уходит в умеренные широты.) Вращение Земли отклоняет воздушные потоки, движущиеся к экватору, вследствие чего образуются северо-восточный и юго-восточный пассаты. Поток воздуха на высоте от экватора к тропикам получил название антипассата. Так замыкается тропический атмосферный круговорот: подъем у экватора, движение поверху к тропикам, опускание к поверхности близ 30° широты, движение пассата над поверхностью океана к экватору и т. д. Получается своеобразная тепловая машина, описанная академиком В. В. Шулейкиным.

Поскольку интенсивный прогрев экваториальной полосы происходит весь год, то в течение этого времени поддерживается разность давления между экватором и тропиками и дуют пассаты. Недавно были выявлены новые детали процесса - колебания напряженности пассатной циркуляции, развитие западных ветров в экваториальной полосе затухания пассатов.

Сила пассата обычно колеблется. Несколько дней дует слабый ветер, 2-3 балла. Затем он постепенно усиливается, и через несколько дней уже достигает 6-8 баллов (максимальную силу пассат имеет в низких широтах, недалеко от экватора, особенно зимой). Затем сила его вновь начинает уменьшаться.

Вместе с границами пассатов смещается в течение года зона экваториального затишья: в июне-августе - к северу, в декабре-феврале - к югу. Изменяется и ее ширина. То пассат северного полушария почти соприкасается с пассатом южного, и зона затишья практически исчезает, то пассаты

не доходят друг до друга, и между ними остается широкая, в 300 миль, штилевая полоса.

Пассаты в зонах их господства создают мощные и устойчивые поверхностные течения на запад - пассатные, или экваториальные. Осадки у экватора обильны, в год выпадает обычно 2-4 м. Особенно дождливы весна и осень, когда солнце проходит через зенит. Это так называемые зенитальные дожди. По обе стороны от экватора количество осадков уменьшается, два дождливых сезона сближаются и близ тропиков сливаются в один дождливый летний сезон. Зима - относительно, а иногда и очень сухое время года. У тропиков выпадает обычно 500-1000 мм осадков в год.

Испарение максимально в сухом воздухе близ тропиков, в зоне зарождения пассатов. У экватора во влажном воздухе оно меньше. Соотношение количества осадков и величины испарения определяет соленость поверхностных слоев воды.

Таким образом, наблюдаются существенные климатические различия между экватором и тропиками: у экватора преобладают маловетрие, постоянно высокая температура воздуха, значительная влажность и облачность, обильные осадки. У тропиков господствуют устойчивые пассатные ветры, более сухой воздух, летние дожди, заметные колебания температуры воздуха в течение года. Морской тропический воздух - теплый и сравнительно сухой - при движении в пассатном потоке к экватору прогревается, насыщается влагой и постепенно трансформируется в экваториальный - очень теплый (27 - 30°) и влажный.

Обычно атмосферные процессы в тропиках отличаются исключительной правильностью. Это определяет относительно малую изменчивость условий в океане. Лишь тропические ураганы нарушают регулярный ход событий.

Климат экваториальной зоны, фактически без засух, формирует на суше природный ландшафт густого и влажного вечнозеленого экваториального леса (в Центральной Африке, Амазонии и Юго-Восточной Азии).

Собственно тропический климат с дождливым летом создает ландшафт саванны - тропической степи с редкими деревьями и небольшими рощами. Таковы ландшафты во многих районах Южной Азии, Южной Америки, на Кубе, но самые классические саванны - в Африке. В умеренном поясе два главных сезона года - холодная зима и более или менее теплое лето. Два основных сезона и в тропиках. Они оба теплые, но зима сухая, а лето влажное. В сухое зимнее время года трава желтеет и выгорает, опадают листья с деревьев, сухой ветер несет горячий воздух из пустынь, высыхают реки, иссякают источники. Пыльная дымка висит над землей. Стада антилоп и других животных преодолевают огромные расстояния в поисках воды и корма. В середине лета со стороны экватора приходят темные тучи, на землю обрушиваются потоки воды. Ливни сопровождаются сильнейшими грозами. Руслу рек превращаются в бурные потоки. На равнинах они разливаются на десятки километров в ширину. Животные ищут убежища на холмах. Самое прекрасное время в саванне - после сезона дождей, когда нет ни жары, ни сухости, ни чрезмерной влажности.

Иной характер имеет муссонная циркуляция. Как известно, муссоны развиваются в результате годовой (сезонной) неравномерности нагрева суши и океана. Весной и летом суша нагревается быстрее. Осенью и зимой она быстрее охлаждается. Наоборот, океан из-за большей теплоемкости воды и проникновения значительных количеств тепла в глубину (до нескольких десятков метров) вследствие ветрового перемешивания нагревается значительно медленнее и редко до температуры выше 30°, но сохраняет тепло значительно дольше. В итоге создаются значительные термические различия между сушей и океаном, а следовательно, и разность атмосферного давления. Особенно велика разность атмосферного давления над Азией, с одной стороны, и над Индийским и Тихим океанами - с другой. Поэтому муссонные явления наиболее развиты на южных и восточных окраинах Азии. В Южной Азии весной и летом устанавливается очень высокая

температура и необычайно низкое давление. Над Индийским океаном давление сравнительно высокое. Поэтому с июня или июля возникает устойчивый поток воздуха с океана на сушу - летний муссон с юго-запада. Его обычная сила 4-7 баллов. Летний муссон приносит влажный воздух, большую облачность, обильные дожди. Он продолжается до сентября.

Зимой в результате выхолаживания суши над Азией устанавливается высокое давление (порядка 1035 мб). Над теплыми водами океана давление ниже. Разность давлений создает устойчивый, но несильный (2- 4 балла) поток воздуха с континента на океан с северо-востока на юго-запад. По некоторым свойствам он сходен с пассатом. Смена ветра определенным образом влияет на направление течений в северной части Индийского океана, а также на температуру, осадки, испарение, соленость. Аналогичная циркуляция - между Юго-Восточной Азией и Тихим океаном.

Муссонная циркуляция развивается (но слабее) и в некоторых других районах, например к юго-востоку от Северной Америки.

Таким образом, основной процесс в тропиках - интенсивный прогрев поверхности океана и передача тепла в атмосферу. Океан отдает здесь атмосфере тепло, а получает от нее количество движения, порождающее волны и течения.

Тропические циклоны. В тропических широтах возникают, развиваются и движутся чрезвычайно опасные метеорологические образования - тропические циклоны. Они распространены в основном в западных, теплых частях океанов. В Атлантическом они называются вест-индскими ураганами, в западной части Тихого - тайфунами. В связи с особенностями циркуляции атмосферы и вод западные части океанов в низких широтах существенно теплее восточных. Особенно сильно, до 30°, эти воды нагреты во второй половине лета и в начале осени. От теплой поверхности воды нагревается воздух. Нагрев вызывает мощные восходящие движения воздуха, происходит сильное испарение, атмосферное давление резко падает. При

конденсации влаги выделяется скрытая тепловая энергия, которая нагревает воздух и еще более усиливает восходящие потоки влажного воздуха. В образовавшуюся область пониженного атмосферного давления с разных сторон устремляется, засасывается воздух. Из-за суточного вращения Земли потоки воздуха отклоняются (в северном полушарии против часовой стрелки). Создается воздушный вихрь диаметром в сотни километров, с очень низким давлением в середине (рис. 2). Направленные к его средней части (под некоторым углом) воздушные потоки имеют очень большую скорость и часто (но не всегда) достигают силы урагана, т. е. 12 баллов, или приблизительно 30 и даже 100 м/сек (для такой скорости ветра нет градаций в шкале Бофорта). С возрастанием скорости ветра растет его разрушительная сила как на море, так и на суше. Одновременно с вращательным движением тропический циклон имеет поступательное - он перемещается над теплой водой обычно со скоростью 15-20 км/час и следует приблизительно вдоль оси теплых течений. Теплая поверхность вод поддерживает силу этого вихря, и вдоль течений он проходит большие расстояния, проникая до умеренных широт (Ньюфаундленд, Англия, Япония, Камчатка). Над холодными водами циклон постепенно теряет силу. В северном полушарии ураганы особенно сильны с июля по октябрь. Они сопровождаются сильнейшими ветрами, мощной облачностью, спускающейся до самой поверхности океана, ливневыми дождями. За 1-2 дня выпадают сотни миллионов и миллиарды тонн воды.

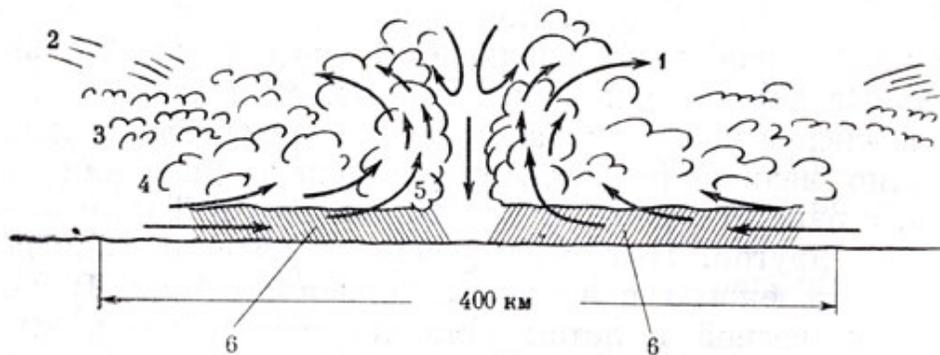


Рис.

2. Схема циркуляции потоков воздуха в тропическом циклоне. 1 - направление потоков воздуха. Облака: 2 - перистые; 3 - высокие кучевые; 4 - слоистые дождевые; 5 - кучевые дождевые; 6 - зона дождей

Циклоны Атлантического океана возникают в его тропическом поясе или над Карибским морем. Отсюда они движутся в Мексиканский залив, а затем - на сильно нагретую летом территорию США или Мексики либо идут восточнее, вдоль Гольфстрима. Иногда они меняют направление движения, задерживаются на 1-2 дня на одном месте. Живет циклон несколько дней. По традиции каждому присваивают женское имя. В последние годы одним из наиболее разрушительных был циклон «Флора». Его обнаружили с помощью искусственного спутника 26 сентября 1963 г. к западу от берегов Африки. Через несколько дней он приблизился к Малым Антильским островам, пересек их гряду и достиг острова Гаити. Число жертв на острове достигло 5000 человек. От Гаити «Флора» направилась к Восточной Кубе. Здесь ураган бушевал несколько дней, так как центр его описал сложную траекторию и несколько задержался южнее острова. Ветер и наводнение, вызванное небывалыми по интенсивности дождями, произвели большие разрушения. За 4 дня выпало 2800 мм осадков, т. е. более двух годовых норм, твердый сток рек был в сотни раз больше обычного. Погибло много посевов, скота. Была смыта почва, вырвано с корнем и унесено в море множество деревьев. Число человеческих жертв на Кубе достигло 1200 человек. Циклон вышел в океан севернее Кубы и постепенно утратил разрушительную

силу. Много дней спустя встречались в море странные, плывущие пальмовые рощи: деревья были вырваны с корнем, легкие стволы пальм удерживали их на плаву, а сохранившиеся между корнями грунт и камни обеспечивали вертикальное положение деревьев.

Механику и термодинамику урагана изучили лишь в самое недавнее время (академик В. В. Шулейкин и другие исследователи). При анализе использовались фотографии, сделанные с искусственных спутников Земли, и другие материалы. Было определено количество пара, который поднимается до уровня конденсации, выделяющееся при этом тепло и энергия, получаемая ураганом в секунду при обычной летней температуре на поверхности воды $+28^{\circ}$. Была вычислена мощность, поглощаемая трением воздуха о поверхность воды.

Мощность атлантического урагана обычно составляет 200 млрд. квт, механическая - лишь 7 млрд. квт, а в редких случаях, когда поверхность воды нагрета почти до 32° , достигает 12 млрд. квт. Величины такого порядка отмечались в августе 1969 г., когда над Карибским морем и Мексиканским заливом проходил циклон «Камилла». Общая энергия среднего циклона эквивалентна силе взрыва нескольких водородных бомб.

* * *

Таковы основные особенности климата и погоды в тропических и экваториальных широтах океана, которые определяют все главные черты природы океана до глубины нескольких сотен метров - течения, температуру и другие свойства вод, органический мир, особенности геологии и гидрохимии.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ

Известно, что один из самых сложных вопросов океанографии - циркуляция В074 океана, т. е. горизонтальные поверхностные и подповерхностные непериодические течения и вертикальные движения вод. Исследования последних двух десятилетий Института океанологии АН СССР, Морского гидрофизического института АН УССР, американских и других ученых существенно обогатили, изменили и усложнили наши знания о течениях в тропическом поясе океана. Оказалось, что схема течений значительно сложнее, чем полагали раньше.

В целом поверхностные течения в тропическом поясе определяются пассатными ветрами, плотностью воды и разностью уровней. Пассаты создают соответственно достаточно устойчивые пассатные, или экваториальные, течения. Направление течения под влиянием вращения Земли несколько отклоняется от направления вызвавшего его ветра: в северном полушарии - вправо, в южном - влево. Поэтому северо-восточный и юго-восточный пассаты вызывают течения, направленные практически на запад, от восточных окраин океанов к западным.

Известно, что термический экватор в Атлантическом и Тихом океанах смещен на север относительно географического. Смещены на север и зоны пассатов. В результате пассатные течения несколько асимметричны относительно экватора. Северное пассатное течение в Атлантическом океане расположено между 12 и 25° с. ш., в Тихом - между 5 и 25° с. ш., Южное - соответственно между 4° с. ш. и 10° ю. ш. и 4° с. ш. и 20° ю. ш.

В восточных частях океанов пассатное течение имеет глубину порядка 50 м. Западнее она увеличивается до 100 - 150 м, иногда до 200 м. В результате создается продольный наклон нижней границы течения.

Обычная скорость пассатного течения около 1 мили в час (1 узел). Оно наблюдается приблизительно в 80 случаях из 100. В этом случае говорят, что его устойчивость (или повторяемость) составляет около 80%. Недавно обнаружено, что структура пассатных течений сложная: в них чередуются отдельные струи сильных потоков, полосы слабых течений и даже противотечения. При детальном инструментальном исследовании в зоне Северного пассатного течения Атлантического океана, проведенных академиком Л. М. Брежневским, К. Н. Федоровым и другими учеными, было обнаружено, что это течение не очень устойчиво. В точке с координатами 16°30' с. ш., 33°30' з. д. оно иногда резко меняло направление, даже на обратное. Периоды устойчивого одинакового направления длились 1-6 недель. Результирующий перенос на большинстве глубин был на запад. Траектории частиц воды оказались очень сложными, петлеобразными. Очевидно, это связано с крупномасштабными вихрями, поперечником 200-400 км, которые сравнительно медленно движутся с востока на запад.

Исследования этого вопроса продолжаются. Однако полученные данные о сложном характере движения воды в пределах пассатных течений ни в коем случае не опровергают давно сложившееся представление о большой в общем устойчивости этих потоков. Плавание плотов «Кон-Тики» и других, а также экспедиция судна «Ра» вновь подтвердили исключительную надежность этих течений.

Пассатные течения создают нагон поверхностных вод в западных частях океанов в низких широтах. В Атлантическом океане продольная разность уровней между восточной и западной частями океана составляет около 20 см, в Тихом - 50 см.

Разность уровней порождает стоковые по своей природе течения в более высокие широты - Гольфстрим, Куроисио и др.

Дело не только в пассатном нагоне вод. Как определил английский океанограф Праудмен, происходит общее медленное смещение к экватору вод антициклонических

круговоротов, создающее избыток воды в тропиках, особенно у западных берегов океанов. Поэтому возникает усиленный отток воды из западных тропиков океанов в более высокие широты в сильных и узких течениях - Гольфстриме и др. Мощность этих течений больше, чем потоков у восточных окраин океана к экватору.

Из-за поперечной (т. е. в направлении север - юг) неравномерности поля ветра в экваториальной полосе затишья, где подпор, создаваемый пассатом, невелик или равен нулю, согласно теории советского ученого В. Б. Штокмана (1950), образуется стоковое по своей природе поверхностное Экваториальное противотечение. Возможно, в его формировании некоторое участие принимают западные ветры, имеющие у экватора значительную повторяемость.

В последние два десятилетия был обнаружен мощный перенос вод из западных частей океанов в восточные. Он, так же как и поверхностное Экваториальное противотечение, является компенсационным и осуществляется в подповерхностном слое точно под экватором (течения Кромвелла в Тихом океане, Ломоносова в Атлантическом, а также мощные подповерхностные и частично поверхностные струи слева и справа от этих течений). Советский океанограф Н. К. Ханайченко (1966) пришел к выводу о существовании целой системы подповерхностных и частично поверхностных течений на восток в тропическом поясе. Система состоит из трех ветвей. Центральная ветвь - это подповерхностные экваториальные течения (Кромвелла и Ломоносова), идущие точно под экватором. Северная (левая) ветвь частично совпадает с поверхностными экваториальными противотечениями. Южная (правая) ветвь обнаружена недавно южнее экватора; это в основном подповерхностный поток (местами он достигает поверхности океана).

Поверхность раздела между пассатными течениями на запад и противотечениями на восток очень сложная. Местами она выходит на поверхность океана, а в зоне пассатных течений погружается на глубину. Опускающиеся

в западных частях океанов высокосолёные воды питают подповерхностные потоки на восток.

В целом подповерхностное экваториальное течение - это очень мощный и устойчивый поток, сопоставимый и соизмеримый по скорости и объёму переносимой в единицу времени воды с самыми мощными и устойчивыми поверхностными океанскими течениями. Как недавно определил советский исследователь А. С. Полосин, в потоке происходит постоянное обновление вод: поступление высокосолёных вод из тропических областей погружения, перенос на восток и выход там к поверхности. Ось этого потока постепенно, по мере приближения к восточным окраинам океана, поднимается к поверхности приблизительно со 150 до 50 м.

В низких широтах в последние годы выявлена многослойная по вертикали структура течений. Иногда в одной точке можно обнаружить до 4-5 разнонаправленных потоков. Нечто аналогичное обнаружено и в атмосферной циркуляции в тропиках.

Тёплые стоковые течения, зарождающиеся в западных районах океанов (Гольфстрим, Бразильское и др.), выходят за пределы тропической зоны, и их продолжения (Северо-Атлантическое и др.) переносят воды на восток. Вдоль восточных границ океанов идут к экватору холодные течения - Канарское, Калифорнийское, Бенгельское, Перуанское. Они тоже частично компенсируют дефицит вод на востоке океанов, создаваемый пассатными течениями. Следовательно, замыкаются круговороты вод в низких широтах океанов.

В Северной Атлантике полный круговорот вод завершается за 14 месяцев.

Таким образом, уход вод на запад с пассатными течениями компенсируется в основном системой экваториальных противотечений и холодными течениями из более высоких широт. На протяжении года в связи с сезонным смещением зон действия пассатов смещаются границы течений. Поэтому летняя карта течений несколько отличается от зимней.

Каждое океанское течение не ограничивается лишь поступательным движением воды в горизонтальном направлении. Под влиянием силы, возникающей от вращения Земли, в нем одновременно происходит перемещение воды вдоль поверхности поперек потока. В северном полушарии поверхностная вода перемещается вправо (если смотреть вниз по направлению течения), в южном - влево. Это часть так называемой поперечной циркуляции в потоке. В результате воды двух противоположно направленных течений в полосе их взаимного соприкосновения имеют тенденцию либо сближаться на поверхности, либо расходиться. В первом случае создается зона конвергенции с погружением избыточных поверхностных вод, во втором - зона дивергенции с уходом вод в обе стороны, и возникает компенсационный подъем вод с глубины к поверхности.

Рассмотрим поперечную составляющую в основных течениях тропического пояса (в основном по работам В. Н. Степанова).

В Северном пассатном течении происходит смещение части воды вправо, т. е. от экватора. В Экваториальном противотечении, тоже находящемся в северном полушарии, но несущем воды в противоположном направлении, поверхностные воды смещаются также вправо, но уже на юг, к экватору. В результате между Северным пассатным течением и Экваториальным противотечением на поверхности образуется зона дивергенции. В Атлантическом и Тихом океанах около $5-8^{\circ}$ с. ш. создаются устойчивые зоны дивергенции.

Так как поперечная составляющая в разных полушариях направлена в разные стороны, то зона дивергенции образуется и вдоль самого экватора в пределах Южного пассатного течения Тихого океана. Наоборот, на границе Южного пассатного течения и Экваториального противотечения возникает зона конвергенции вод.

С поверхностными течениями связаны подповерхностные и частично глубинные течения, а также вертикальные движения вод. С точки зрения условий

развития жизни, особый интерес представляют вертикальные движения, особенно подъем вод. Поэтому в последние два десятилетия делается очень много для изучения вертикальной циркуляции вод. Вертикальные движения исследованы еще недостаточно, в значительной мере из-за трудностей наблюдения этого явления. Имеющиеся оценки скорости движений получены теоретическим путем.

В последнее время в мировую научную литературу вошел термин «апвеллинг» (upwelling). Этим термином называют устойчивый подъем глубинных и подповерхностных вод в океане со скоростью не менее нескольких десятков сантиметров в сутки. Кратковременный подъем вод под влиянием сгонных ветров наблюдается во многих местах, например у Южного берега Крыма, западного берега Каспийского моря, у северных берегов Средиземного. Он проявляется как резкое понижение температуры воды, иногда летом до 10-12°. Ветер отгоняет теплую поверхностную воду в открытое море, а с глубины поднимается холодная вода.

В океане апвеллинг наблюдается либо постоянно, круглый год, либо в определенные сезоны. Одна из причин его - действие сгонных ветров. Другая причина - поперечная циркуляция в потоке, о которой говорилось выше. Поперечная циркуляция иногда оказывается более мощным фактором подъема вод, нежели непосредственное воздействие сгонного ветра.

Самый мощный постоянный апвеллинг наблюдается у восточных окраин Тихого и Атлантического океанов - у берегов Калифорнии и Перу, Северо-Западной и Юго-Западной Африки. Там всюду холодные течения идут к экватору. В каждом из них пассаты и поперечная циркуляция вызывают подъем вод с глубин 100-300 м к поверхности. Скорость подъема обычно превышает 1 м в сутки. Апвеллинг в низких широтах наблюдается также у западных окраин океанов, где берег находится слева от течения в северном полушарии или справа от потока - в южном. Например, вдоль северного берега Южной Америки

(в северном полушарии) проходит Гвианское течение. Там в результате поперечной циркуляции (и действия пассата) поверхностные воды увлекаются в открытое море, а вдоль дна склона и шельфа развивается компенсационный подъем вод к поверхности, особенно сильный у берегов Венесуэлы и Тринидада. Еще более сильный подъем - у южного берега Мексиканского залива.

Подъем вод происходит также в циклонических круговоротах, т. е. в северном полушарии при круговом движении вод против часовой стрелки, в южном - по часовой стрелке. В этом случае поперечная циркуляция относит поверхностную воду к периферии водоворота, а в его средней части возникает компенсационный подъем вод. Наоборот, в системах с обратным направлением вращения, т. е. в антициклонических, происходит накопление и погружение вод в их средних частях и подъем на периферии.

Известно, что обширные антициклонические круговороты располагаются близ тропиков. Средние части их являются областями конвергенции. Классический пример этого - уже упоминавшееся Саргассово море.

На океанографических разрезах, изображающих распределение температуры и других характеристик от поверхности до больших глубин или до дна, области погружения и подъема вод легко выявляются по ходу изотерм (часто и других изолиний). Отклонение изотерм к большим глубинам соответствует областям погружения вод. Наоборот, подъем изолиний к поверхности связан с подъемом вод. На рис. 3 в качестве примера приведен меридиональный разрез Мексиканского залива, на котором хорошо видны области подъема и погружения вод.

Следует различать разные формы подъема вод. В одном случае это куполообразное поднятие в открытом океане, при котором поднимающаяся с глубины вода наподобие купола внедряется в подповерхностные слои, но не достигает до поверхности и поэтому не влияет непосредственно на температуру поверхностного слоя. Примеры такого куполообразного подъема известны в Тихом океане к юго-

западу от берегов Коста-Рики. В окружающих районах граница между поверхностными теплыми и подповерхностными холодными водами лежит на глубине 75-125 м, а в вершинной части купола - всего лишь на 10-50 м.

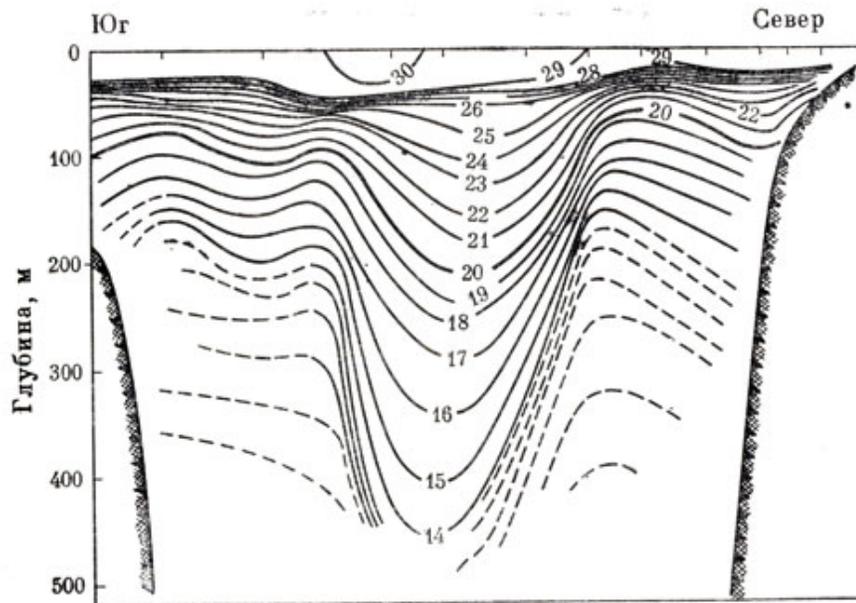


Рис. 3.

Океанографический разрез Мексиканского залива (цифры - летняя температура)

Куполообразное поднятие может достигнуть поверхности, как, например, против берегов Перу и Эквадора. В этом случае на поверхности появляются пятна холодной воды, а на карте поверхностных изотерм - замкнутые области низкой температуры, например пятно с температурой 17-18°, окруженное водами 22-23°.

Иногда вода с глубины поднимается по континентальному склону и входит на внешний, обращенный к океану (мористый) край шельфа, существенно влияя на условия в придонных слоях. Такого рода подъемы широко распространены у западных берегов Африки, в Мексиканском заливе, у берегов Индии и Аравии. При этом прибрежное мелководье и поверхностный слой не подвергаются непосредственному воздействию поднявшихся вод.

В других случаях поднимающаяся по шельфу вода достигает поверхности либо в прибрежном мелководье, либо над глубокой частью шельфа. При этом резко понижается температура на поверхности, достигая совершенно не свойственных тропической зоне значений. Пример такого подъема воды и падения температуры - южная часть банки Кампече, где летом на поверхности бывает лишь 24-23°, а за пределами зоны подъема 29°. Еще более резкое понижение наблюдается летом северного полушария при юго-западном муссоне у берегов Сомали, под самым экватором, - до 18°, а иногда до 13-14°. В этом случае слой скачка температуры выходит на поверхность.

Когда океанское течение на пути своего движения встречает остров или подводную возвышенность, вода часто поднимается по склону, обращенному навстречу потоку. Этот подъем усиливает обмен водами в вертикальном направлении и изменяет океанографическую обстановку в районе острова и на некотором расстоянии вниз по течению.

В последние годы были выявлены циклонические круговороты с подъемом вод в восточных районах Атлантического океана (близ островов Зеленого Мыса и против берега Анголы). Очевидно, они являются обычными элементами циркуляции вод в тропиках.

Знание районов подъема вод, устойчивости и интенсивности этого явления имеет в тропиках порой решающее значение для оценки общей биологической и рыбопромысловой продуктивности различных районов. Дело в том, что эти медленные, малозаметные движения воды к поверхности приносят с глубины питательные вещества и делают верхние слои необычайно плодородными. Поэтому воды в районах апвеллинга имеют очень высокую биологическую продуктивность. В результате относительно небольшие районы подъема вод являются местами исключительно интенсивного, наиболее продуктивного в мире рыбного промысла. Поскольку конвективное вертикальное перемешивание в тропиках развито очень слабо, высокая биологическая и рыбопромысловая продуктивность тропических вод зависит в основном от

подъема глубинных и подповерхностных вод в верхние, освещенные солнцем слои. Изучение районов подъема вод в тропиках имеет особое значение, так как помогает выявить районы, перспективные для развития рыболовства.

Таким образом, циркуляция вод в верхних слоях в низких широтах включает: пассатные (экваториальные) течения; систему поверхностных и подповерхностных экваториальных противотечений; мощные стоковые теплые течения у западных окраин океана и компенсационные холодные течения из более высоких широт у восточных окраин (с теплыми противотечениями); погружение вод близ тропиков и в некоторых районах экваториальной полосы, особенно у западных окраин океана; подъем вод в двух зонах дивергенций у экватора, в обширных областях у восточных окраин океанов и местами на западе.

ВЕЧНО ТЕПЛЫЕ ВОДЫ

Одно из главных свойств тропических вод - постоянно высокая температура верхних слоев, как правило, выше 20°. Это определяет многие особенности природы этого пояса - физическую океанографию, гидрохимию, биологию и геологию. Общее распределение температуры воды на поверхности океана изучено давно и изображено на картах немецкого океанографа Г. Шотта и советского Морского атласа. Близ экватора она обычно равна 27-29° и очень незначительно, на 1-2°, изменяется по сезонам, так как высота солнца в полдень и продолжительность дня варьируют мало. Еще меньше, на доли градуса, она меняется в течение суток. Ближе к тропикам Рака и Козерога годовые изменения высоты солнца в полдень увеличиваются, продолжительность дня также изменяется существенно, и температура колеблется от 22-24° зимой до 28-30° летом. Полоса теплых вод в восточных частях океанов уже, в западных - шире. Это связано с переносом больших масс теплой воды пассатными течениями на запад, холодные течения восточных окраин понижают температуру там до 20-23°. Еще более резкое понижение температуры, но в более ограниченных районах происходит в результате интенсивного подъема холодных вод с глубины, о котором говорилось выше.

Сильное охлаждение поверхности зимой у берегов Западной Африки и во многих других районах связано с сезонной интенсификацией пассата и апвеллинга. Таковы общие черты распределения температуры на поверхности.

Под теплой поверхностной водой на глубине нескольких сотен метров находятся холодные воды, приходящие из высоких широт. Поэтому в целом для тропических широт характерно трехслойное распределение температуры по вертикали в верхних слоях: 1) теплый поверхностный слой; 2) слой скачка температуры, или термоклин, где температура более или менее резко понижается с

увеличением глубины; 3) относительно холодная вода на глубине.

Толщина поверхностного теплого слоя зависит от интенсивности прогрева воды, от силы ветрового перемешивания, от вертикальных и горизонтальных движений вод. При хорошем перемешивании температура в нем может быть практически одинаковой. Чаще наблюдается некоторое понижение с увеличением глубины (Атлас Фуглистера, 1960). Обычная толщина слоя - несколько десятков метров. В восточных частях океана он обычно тонкий - 25-30, реже 50 м. К западу его толщина в общем увеличивается. Это связано с постепенным прогревом и перемешиванием вод в пассатных течениях. На всем пути от восточных границ океана к западным их воды получают большие количества тепла, а ветер и турбулентные движения перемешивают воду до значительной глубины. Теплосодержание вод существенно повышается, и мощность поверхностного теплого слоя увеличивается до 75-150 м. Наоборот, приток холодных вод из высоких широт и с глубины к восточным окраинам океана обуславливает малую толщину теплого слоя на востоке. Вода здесь все время относится на запад и не успевает глубоко прогреться. В результате вертикальное распределение температуры оказывается различным (таблица).

В некоторых случаях теплый слой отсутствует полностью и на поверхность выходят холодные воды.

В связи с различной толщиной поверхностного слоя термоклин располагается на разной глубине. Из таблицы видно, что он наклонен с востока на запад. В отдельных местах в области подъема он начинается уже ниже 10 м, на западе, в зоне погружения вод, иногда глубже 100- 150 м. Положение слоя скачка температуры представляет значительный интерес, так как оно определяет перемешивание вод, а также условия обитания организмов. Многие животные живут либо ниже слоя скачка, либо выше его или, наконец, держатся в самом слое термоклина. Одни животные легко его преодолевают во время вертикальных миграций, для других же он является непреодолимой

преградой. Кроме глубины слой скачка температуры характеризуется еще вертикальным градиентом (изменением температуры на единицу расстояния по вертикали). Эта величина иногда очень значительна, особенно там, где поверхность сильно нагревается солнечными лучами, а снизу поступают холодные воды. Так, летом 1969 г. над банкой Кампече наблюдался вертикальный градиент около 2° на глубину 1 м. Обычно же в слое скачка он равен нескольким десятым градуса на метр. Это тоже означает резкую стратификацию вод по температуре. При маловетрии и штиле, главным образом летом, в тропиках тонкий поверхностный слой воды толщиной около 1 м прогревается до 30° и более, и непосредственно под ним создается вторичный, поверхностный слой скачка. При усилении ветра вода перемешивается, и слой скачка исчезает. (Рис. 4. Сложный характер распределения температуры и солености по вертикали в слое скачка (по Л. М. Бреховских и К. Н. Федорову, 1971))

Распределение температуры воды по вертикали в некоторых районах тропической части Атлантического океана (по Атласу Фуглистика)				
Глубина, м	Гвианское течение	Антильское течение	Бенгальское течение	
	3°04' с. ш.	22° 24' с. ш.	8°56' ю. ш.	22°01,5' ю. ш.
-	47°38' з. д.	89°52' з. д.	8°51' з. д.	12°13' в. д.
0	28,2	28,6	27,2	16,0
10	27,8	28,6	27,0	16,0
25	27,6	28,6	17,0	15,8
50	26,8	28,0	15,2	14,5
60	26,4	-	-	-
75	26,4	25,0	14,8	13,6
100	26,4	23,3	14,3	12,8
150	26,1	21,0	13,7	11,2
170	21,0	-	-	-
180	18,1	-	-	-
200	18,0	19,3	12,9	10,2
230	17,5	-	-	-
240	12,0	-	-	-

В последнее время с помощью приборов непрерывной записи температуры (батитермограф, термозонд) обнаружены случаи существования двух и трех слоев скачка, каждый из которых связан с определенными условиями перемешивания. Своеобразный «ступенчатый» рисунок слоя скачка наблюдался в некоторых течениях, несущих различные воды.

На глубинах 100-700 м, т. е. в слое скачка, прибором непрерывного действия обнаружены многочисленные слабые инверсии температуры (до 0,2-0,5°), резкие микроскачки и серии микроскачков в распределении температуры (и солености). Общая устойчивость структуры невелика, она быстро изменяется. Слои с одинаковой температурой, т. е. прослойки и «ступеньки» второстепенных микроскачков, появляются и исчезают. Толщина микрослоев 3-25 м, а горизонтальные размеры структурных элементов 5-15 км. Часто на расстоянии двух миль - уже другая микроструктура (рис. 4). Очевидно, это связано со сложной динамикой слоев, с чередованием их и прослоек воды разных свойств.

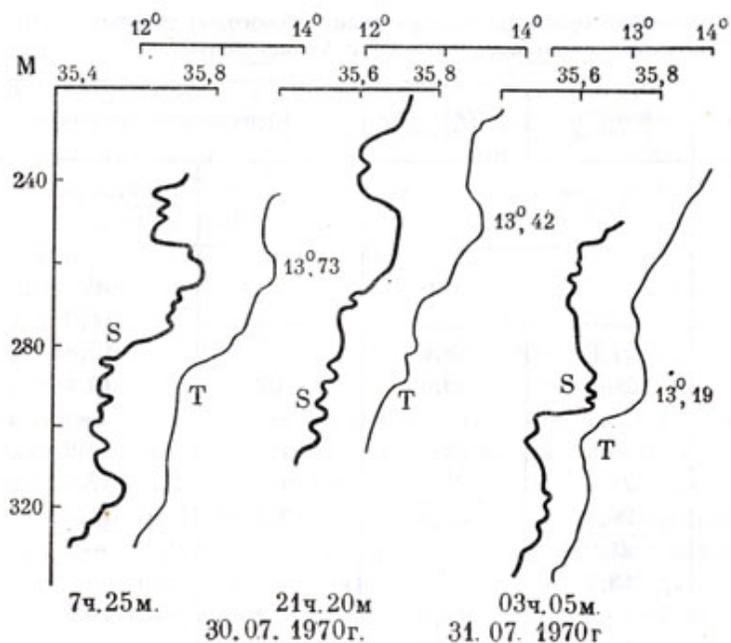


Рис. 4. Сложный

характер распределения температуры и солености по вертикали в слое скачка (по Л. М. Бреховских и К. Н. Федорову, 1971)

В областях погружения прогревшиеся на поверхности теплые воды проникают на значительную глубину. Под их напором слой скачка температуры опускается, сильно ослабляется или разрушается совсем. Кривая распределения температуры по вертикали приближается к наклонной прямой. Характер распределения температуры по вертикали позволяет приближенно судить о направлении вертикальных движений вод.

Следует также учитывать короткопериодные изменения температуры, связанные с внутренними волнами. Они возникают на границе между поверхностной и подповерхностной водами. В последние годы обнаружено, что внутренние волны имеют очень сложный спектр. Наряду с колебаниями приливной периодичности обнаружены внутренние волны с периодичностью в несколько минут. В Атлантическом океане на глубине 100 м были отмечены внутренние волны длиной 480 м, с фазовой скоростью 43 м/сек и амплитудой около 15 м. Сходные внутренние волны обнаружены и в других местах.

Обычно на картах и в атласах приводится распределение температуры на поверхности. Поверхностная температура очень важна для изучения взаимодействия океана и атмосферы. Для исследования жизни океана важнее карты горизонтального распределения температуры на глубинах 50, 100, 200, 300 м. Эти карты отражают в основном вертикальные составляющие циркуляции вод и могут служить ориентирами для поиска перспективных в промышленном отношении районов. Обширные районы высоких температур на глубинах 100-300 м соответствуют погружению вод. Районы низких (ниже 20°) температур на глубине 100 и тем более 50 м - это районы интенсивного подъема вод.

Третий слой вод характеризуется относительно холодными водами, приходящими в основном из Субантарктики. Они проникают в промежуточные и глубинные слои в Карибское море и Мексиканский залив, в Аравийское море. В местах подъема они приближаются, а местами выходят на поверхность. В пределах этих вод температура равномерно понижается с увеличением глубины.

Большие различия температуры по вертикали использованы в тропиках для выработки электроэнергии на единственной в мире мареотермической электростанции в городе Абиджане (Берег Слоновой Кости). На поверхности температура воды 28-30°, в лагунах - еще выше, а в подводном каньоне здесь же рядом, но на глубине 400-500 м - 8-10°. Холодная вода перекачивается по трубам на электростанцию и используется в качестве холодильника. Теплая поверхностная вода помещается под очень низкое атмосферное давление, в 100 раз ниже нормального, закипает при температуре около 30° и испаряется. Пар вращает турбины, а затем поступает в холодильник, охлаждаемый глубинной водой. На станции установлены два турбогенератора по 7 тыс. квт. Перепад температуры составляет 20°.

Соленость воды верхнего слоя определяется в основном соотношением количества осадков и величины испарения, а

в нижних слоях - поступлением вод из других районов. В связи с этим в субтропических и тропических широтах происходит осолонение до 36‰ и более (‰ - промилле - одна десятая процента). У экватора, наоборот, вода несколько опресняется. Там соленость равна 34-35‰. Обширные области низкой солености в трех океанах связаны с локальным увеличением количества осадков и большим речным стоком. Это угол Гвинейского залива, северная часть Бенгальского залива и район Тихого океана близ Панамы.

В западных частях океана из-за испарения соленость поверхностного слоя в целом выше, чем на востоке. Слой высокосоленых вод здесь больше (более 36‰). На 100- 200 м соленость нередко достигает и даже превышает 37‰/00. В восточных районах в результате подъема промежуточных субантарктических вод низкой солености в подповерхностных слоях соленость ниже, чем на западе.

Высокосоленые воды, погружающиеся близ тропиков, в подповерхностном слое распространяются в сторону экватора на той глубине, которая соответствует их плотности, т. е. глубже теплой экваториальной воды, но выше воды субантарктического происхождения. Экваториальная вода, очень легкая из-за высокой температуры и относительно низкой солености, остается в поверхностном слое. В результате на значительном протяжении акватории тропического пояса наблюдается характерная стратификация вод по солености: в подповерхностном слое на глубинах 100-200 м находится вода максимальной солености (36-37‰), пришедшая сюда из широт 25- 30° с. ш. и 10-25° ю. ш. От этого слоя соленость понижается к поверхности вследствие дождевого опреснения у экватора, а также на больших глубинах из-за перемешивания с промежуточными субантарктическими водами. Близ тропиков, в областях осолонения, максимальная соленость наблюдается непосредственно на поверхности. Ближе к экватору слой максимальной солености постепенно погружается из-за увеличения слоя поверхностных опресненных вод. Обычно слой

максимальной солености совпадает по глубине со слоем скачка температуры. В районах интенсивного подъема вод они приближаются к поверхности до глубины 50 м и меньше. Наоборот, в местах погружения вод опускаются до 200 м и больше.

Как обнаружено в последние годы, оси, или стрежни, течений Ломоносова и Кромвелла довольно точно совпадают со слоем максимальной солености и слоем скачка температуры. Таким образом, этот подповерхностный слой представляет большой интерес с океанографической и гидродинамической точек зрения. Это относительно тонкий слой мощного течения, несущего воду высокой солености из западных районов океана в восточные. Одновременно в этом слое происходит значительное понижение температуры сверху вниз. В верхней части потока относительно медленно движется вода, постоянно смешивающаяся с теплой поверхностной. Ниже, в струе с максимальной скоростью - «чистая» центральная тропическая (или субтропическая) вода максимальной солености, а еще ниже, в струе с меньшей скоростью - вода, смешивающаяся с более холодной и менее соленой субантарктической. Такое движение на большие расстояния без существенного перемешивания возможно только внутри резкого слоя скачка плотности. Характеристики вод в подповерхностном противотечении постепенно изменяются: сам поток приближается к поверхности, соленость понижается вниз по течению.

По результатам новейших исследований советского океанографа В. Н. Степанова, из-за различий температуры и солености в меридиональном направлении вертикальная структура вод по этим основным характеристикам в тропических широтах и на экваторе несколько различна. В тропиках - верхний слой теплой (24-28°) высокосоленой (35-37‰) воды, под ним - слой максимальной солености с более низкой, постоянно понижающейся с глубиной температурой. У экватора - очень высокая температура (27-29°) и несколько пониженная соленость (34-35‰) на поверхности, ниже - существенное, часто резкое понижение

температуры, совпадающее со слоем максимальной солености.

По вертикали толща воды разделяется, особенно у экватора, на легкую поверхностную и значительно более плотную воду ниже слоя скачка температуры. В результате воды очень устойчивы по вертикали. Чтобы перемешать воду до значительной глубины, необходимо приложить большое дополнительное усилие. Ветровое волнение, обычно слабое в низких широтах, перемешивает воду до слоя скачка плотности или еще меньше. Конвекция здесь невелика. Слабое перемешивание верхних слоев океана по вертикали - одна из существенных особенностей природы тропических вод, имеющая большое значение для развития жизни.

Сезоны в тропических водах. Известно, что на тропической суше смена времен года выражается в основном в чередовании сухого зимнего и влажного летнего сезонов и в значительно меньшей мере - в изменениях температуры воздуха. О сезонной цикличности океанографических явлений в низких широтах известно очень мало. Сезонность явлений в тропических водах определяется следующими основными факторами.

1. В течение года изменяется высота солнца, продолжительность светлого времени суток и в связи с этим - величина солнечной радиации. Высота солнца в полдень на разных широтах:

Широта	Высота	Солнца
0°	90°	66° 30'
15°	90°	51° 30'
23°	90°	43°

Как видно, различия достаточно значительны. Продолжительность светлого времени суток на экваторе равна 12 час., на тропиках - от 10 час. 20 мин. до 13 час. 40 мин. Таким образом, в периферийных частях тропического пояса условия нагрева существенно меняются.

2. В течение года изменяется характер атмосферной циркуляции, в частности на 5-10° по меридиану смещаются границы действия пассатов. В результате на обширной субэкваториальной акватории происходит сезонная смена господствующих ветров: летом - несильный экваториальный муссон, зимой - устойчивый и сильный пассат. В связи с этим изменяются границы пассатных течений и экваториального противотечения: летом северного полушария - на север, зимой - на юг; смещаются зоны конвергенции и дивергенции, изменяется скорость течений. В некоторых районах происходит сезонная смена нагонных и сгонных ветров. Еще более существенны изменения циркуляции воздуха и вод в Индийском океане.

3. Изменения атмосферной циркуляции вызывают чередование сухого и влажного сезонов, количества осадков и величины испарения.

В результате по сезонам изменяются температура (до 5-6°) и соленость воды верхнего слоя, поверхностные течения, вертикальные движения вод. Особенно значительны изменения в местах сезонного развития апвеллинга. Очень резкие изменения солености происходят в приустьевых районах, где летом она падает на несколько промилле. При этом изменяются цвет и прозрачность воды.

Таким образом, зима - обычно время пониженной температуры и высокой солености; лето - время высокой температуры и сравнительно низкой солености воды.

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ

Гидрохимические особенности тропических вод представляют интерес в двух отношениях: как основа биологической и рыбопромысловой продуктивности, а также как основа осадконакопления.

Известно, что в верхних слоях океана вследствие отмирания и разложения организмов и продуктов их жизнедеятельности образуются различные органомогенные вещества - фосфаты, нитраты, нитриты, аммиак, силикаты и др., которые совершенно необходимы (наряду со светом, кислородом и углеродом) для развития жизни. Фосфор и азот входят в состав протоплазмы живых клеток. Силикаты необходимы для построения твердых скелетных частей многих организмов. Под действием силы тяжести органомогенные вещества медленно погружаются на большие глубины. При этом они окисляются и минерализуются. Накапливаются вещества на глубинах 500- 1000 м и больше. Из поверхностных слоев они медленно, но постоянно выводятся. Таким образом, складывается необычная обстановка: у поверхности, где наблюдается обилие солнечного света, тепла, кислорода и углекислого газа и имеются, кажется, благоприятные условия для развития жизни, резко недостает питательных солей. Например, содержание фосфатов в тропиках у поверхности редко превышает 5 мг/м³. Наоборот, на больших глубинах, где практически нет солнечного света и мало кислорода, обычно обилие питательных солей (фосфатов 40- 80 мг/м³). Количество света в тропической зоне в среднем близко к оптимальному, иногда на поверхности повышенное. Поэтому лимитирующим фактором для фотосинтетической деятельности являются питательные соли - фосфаты и нитраты. Советский исследователь В. В. Волковинский определил, что содержание фосфатов ниже 10 мг/м³ существенно задерживает фотосинтез. Углерод (в виде углекислого газа) не лимитирует этот процесс, его в воде в несколько раз больше, чем необходимо.

Как сказано выше, постоянно устойчивая стратификация вод чрезвычайно затрудняет глубокое вертикальное перемешивание и вынос питательных веществ в поверхностный, освещенный солнцем (фотический) слой. Питательные вещества остаются на больших глубинах, лишенных света. Это настоящая «трагедия» тропических вод. Напомним, что в высоких и умеренных широтах океана вследствие зимнего охлаждения поверхностных слоев развивается мощная конвективная вертикальная циркуляция, выносящая питательные соли к поверхности.

Кроме того, в тропиках фотосинтез совершается круглый год, питательные соли потребляются круглогодично, и нет периода, когда могло бы произойти накопление питательных веществ, как это случается зимой в водах высоких широт. В результате, по данным В. Г. Богорова и П. С. Хромова, в тропических водах обычно содержится очень небольшая масса планктона - десятки миллиграммов на кубический метр, относительно мало рыбы (около 1 мг/м³) и других животных. Одно из следствий малого количества планктона - большая прозрачность воды, до 30-40 м, и чистый голубой или синий цвет.

В связи с этим понятен тот интерес, который в последнее время проявляется к имеющимся в тропических широтах районам подъема вод. Там к поверхности выносятся вода с большим содержанием фосфатов, азотистых и других веществ. В общем можно сказать, что у поверхности мало питательных веществ, на глубине 500-1000 м - много. На подповерхностных глубинах 50-200 м содержание их меняется в очень широких пределах, от нуля до многих десятков миллиграммов на кубический метр (по фосфатам). Этим определяется плодородие вод. Там, где происходит подъем вод, уже на глубине 200 м количество фосфатов существенно повышается. Если подъем интенсивен, то резкое увеличение их количества отмечается на 100, 50 и иногда даже на 25 м, т. е. в хорошо освещаемой солнцем зоне фотосинтеза. В районах апвеллинга в поверхностном слое соединяется обилие солнечных лучей, питательных веществ, кислорода и углекислого газа. Все

это приводит к интенсивному развитию фотосинтетической деятельности фитопланктона, к резкому повышению биологической продуктивности.

По мере подъема плодородных вод в хорошо освещенную солнцем зону питательные соли из нее поглощаются в процессе фотосинтеза. Устанавливается своеобразное подвижное гидрохимическое равновесие: снизу питательные соли поступают в освещенный слой, а в пределах этого слоя, особенно в верхней его части, они поглощаются (дном). Для восточной части экваториальной Атлантики советский океанолог В. П. Сухорук определил скорость поступления фосфатов в зону фотосинтеза - около 3,75 мг фосфора под квадратным метром в сутки. Если скорость поступления солей превышает скорость потребления, высокое содержание их отмечается и на поверхности, например на окраинах банки Кампече до 18 мг P/м³ в 1965 г. Если же темп потребления выше скорости подъема, то содержание этих солей в поверхностных слоях остается невысоким. Так, в 1970 г. у северо-западного берега Африки наблюдалась холодная поднявшаяся вода с очень малым содержанием фосфатов: питательные соли были уже усвоены фитопланктоном, а вода еще не успела прогреться. Так что сама по себе малая величина содержания фосфатов и других солей может быть связана как с малым поступлением их в верхние слои, так и с высоким темпом их биологического потребления.

Для фотосинтеза необходим некоторый оптимум количества света. Если количество света на поверхности превышает эту величину, то максимум фотосинтеза, как определил В. В. Волковинский, смещается с поверхности на глубину 25-50 м. Это характерно для тропических широт. Световой оптимум для тропической Атлантики определен в 60-80 ккал/см² в день.

В результате локальных подъемов вод на общем фоне малой биологической продуктивности тропических вод резко выделяются районы высокой продуктивности. Первичная продукция здесь достигает очень большой величины, до 1 г и более против обычных 0,05- 0,01 г C/м²/

сутки. За пределами зон подъема снабжение поверхностных слоев питательными солями происходит в основном вследствие медленно идущего турбулентного перемешивания.

Кислород в воду поступает из атмосферы и образуется в воде в процессе фотосинтетической деятельности фитопланктона. Максимум активности фитопланктона и соответственно максимум содержания кислорода обычно наблюдается на 25-50 м. Там вода часто перенасыщена кислородом. Но абсолютное содержание невелико, 4- 5 мл/л, из-за малой растворимости кислорода (и других газов) в теплой воде. Глубже содержание кислорода понижается, и на нескольких сотнях метров в тропиках находится слой минимума кислорода (1-3 мл/л). На большей глубине количество его опять повышается. В зонах апвеллинга в верхние слои, часто на шельф, выходят воды, содержащие мало кислорода, и это во многих местах влияет на распределение бентоса и рыб.

Когда глубинная вода выходит в верхние слои, она обычно богата питательными солями. Затем в результате биохимического потребления их содержание уменьшается. Вода постепенно из «молодой», только что поднявшейся, становится «зрелой», с малым количеством питательных веществ и обилием фитопланктона. Затем происходит массовое развитие зоопланктона, который выедает микроскопически малые растения фитопланктона. Когда в воде много зоопланктона, а фитопланктона уже мало, то говорят, что вода стала «старой».

В итоге иногда наблюдается чередование разных вод: в области апвеллинга - «молодой» воды с солями, но почти без планктона; вниз по течению - «зрелой» воды с множеством фитопланктона; еще ниже - «старой» воды, обычно уже теплой, с большим количеством зоопланктона.

Очень сложен вопрос о влиянии речного стока на биологическую продуктивность вод океана. Часто биохимическое влияние стоковых вод прослеживается очень далеко от устья реки, там, где незаметно даже опреснение. Французский исследователь М. Анго считает, что реки очень

повышают продуктивность прибрежных вод. Но, очевидно, это происходит не всюду. Так, есть данные о том, что воды Амазонки не повышают плодородия океанских вод близ устья. По-видимому, это зависит от химического состава речного стока. Реки тропического пояса часто выносят много силикатов и гуминовых веществ, но мало фосфатов и нитратов. Увеличение мутности воды у устья приводит к тому, что резко уменьшается толщина слоя фотосинтеза. Повышенное количество силикатов вызывает бурное развитие диатомовых водорослей, и это еще более понижает прозрачность воды и уменьшает толщину слоя фотосинтеза.

Объемы вод океана и речного стока несоизмеримы, и влияние реки ограничивается очень небольшим районом, шириной максимум в несколько десятков миль. Даже влияние величайшей по водоносности реки мира Амазонки прослеживается в сравнительно узкой зоне.

Второй важнейший аспект гидрохимии тропических вод касается вопросов образования осадков - геологии и геохимии. В океанской воде в отличие от речной содержится очень немного углекислого кальция (CaCO_3), причем в виде диссоциированных ионов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. При высокой температуре воды растворимость газов понижается, и углекислый газ, увеличивающий растворимость углекислого кальция, выделяется из воды. Теплая вода оказывается пересыщенной этой солью, по определениям Ваттенберга - до 300 % .

В результате в поверхностных теплых водах CaCO_3 имеет тенденцию выпадать в осадок, подобно накипи в чайнике или котле при нагревании воды. Наоборот, на глубинах холодная вода оказывается не насыщенной углекислым кальцием, и там вода растворяет известковые скелеты организмов. Из теплой воды углекислый кальций или составляющие его ионы с легкостью извлекаются животными и растительными организмами бентоса и планктона и используются ими для построения внутреннего и внешнего скелета, раковин и т. д. Эта соль - прекрасный строительный материал, ее много в воде, и, будучи

сцементирована органическим веществом, она практически не растворяется. Скорость органогенного осадконакопления на коралловых рифах доходит до нескольких килограммов на 1 м² площади рифа в год. После отмирания организмов огромные количества органогенного углекислого кальция скапливаются в мелководных районах теплых морей и постепенно, в течение долгого времени, образуют толщи мела и известняка.

Многие сотни коралловых островов, в том числе все атоллы, обязаны своим существованием органогенному осадконакоплению углекислого кальция. Более того, многие гористые вулканические острова тропической зоны были бы уничтожены волнами, если бы их не защищали коралловые рифы.

В некоторых районах (например, на Большой Багамской банке) происходит химическое осаждение углекислого кальция без участия организмов. Там осаждаются кристаллические разновидности - кальцит и арагонит.

Те остатки организмов, которые попадают на большие глубины, в значительной мере растворяются, и глубже 4000 м карбонатные осадки не формируются. Но на глубинах менее 4000 м в низких широтах за пределами шельфов из остатков организмов образуются карбонатные илы - глобигериновый и птероподовый. Их много в Тихом океане. Таким образом, широкое распространение карбонатных осадков - это вообще характерная особенность тропических и экваториальных широт.

Известняки, мел и другие подобные отложения распространены во многих внетропических районах земного шара, и в частности в отложениях каменноугольного периода палеозоя под Москвой. В этих случаях они являются показателями существования там в отдаленные геологические эпохи условий теплого мелководного моря.

Таким образом, выявляется своеобразная геохимическая роль тропических вод. Углекислый кальций вымывается из горных пород суши, вносится в океан реками всех зон. В океане он перераспределяется: из высоких и умеренных широт, где почти не используется организмами и не

отлагается, перемещается в низкие широты и осаждается здесь при деятельном участии организмов, превращаясь в толщи карбонатов.

Образование карбонатных осадков, известняковых рифов, островов и архипелагов определяется в первую очередь не географическим распространением шестилучевых коралловых полипов и других рифообразующих организмов, а пересыщенностью теплых тропических и экваториальных вод углекислым кальцием.

ЖИЗНЬ В ТРОПИЧЕСКИХ ВОДАХ

Общие особенности. В последние годы получено много новых данных о жизни животных и растений в тропическом поясе - их распределении, видовом составе, биомассе. Определена величина первичной продукции и опубликованы соответствующие карты для всех океанов. Величина первичной продукции, т. е. количество органического вещества, вырабатываемого растениями (в основном фитопланктоном) в единицу времени на единицу площади океана, различна в разных районах: около 100 г С/м² в день у тропиков в открытом океане и до 1500 г С/м² и больше в высокопродуктивных районах подъема вод (на северо-западе Индийского океана, у западных берегов Африки и Америки).

В соответствии с этим очень различно и количество планктона: десятки миллиграммов на кубический метр в открытых тропических водах (значительно меньше, чем в высоких широтах) и несколько граммов в зонах апвс-линга. Биологическая продуктивность тропических вод по рыбам в общем мала - их биомасса около 1 мг/м³ вдали от берега. Таким образом, одна из особенностей тропических вод - малая биомасса.

Другая особенность - очень большое количество, до десятков тысяч, видов животных (в Индо-Вест-Пацифике). В водах высоких широт обычно наблюдаются большие скопления животных (рыб и др.), по видовое разнообразие очень невелико. Трал в северных водах (и в Субантарктике) приносит обильные уловы (до 10-20 т) почти одного вида рыб (сельдь, треска, морской окунь, нототения). В низких широтах, наоборот, наблюдаются относительно немногочисленные (из-за малого количества пищи) скопления организмов при исключительном видовом разнообразии. Здесь, как правило, уловы небольшие.

Следующая особенность - большая воспроизводимость органических ресурсов в низких широтах - связана с постоянно высокой температурой. Нерест здесь нередко

продолжается круглый год. Многие виды рыб (анчоус, сардинелла) и беспозвоночных достигают половой зрелости в 1-2 года.

В связи с большим разнообразием условий среды в тропическом океане живые организмы распределены очень неравномерно. На протяжении многих сотен миль в океане можно почти не встретить признаков жизни и совершенно неожиданно натолкнуться на необычайно большие и плотные скопления разнообразных животных - планктона, мелких и крупных рыб, дельфинов и птиц.

Советский ученый Н. В. Парин исследовал и описал всю совокупность животного мира верхних слоев пелагической зоны океана, пищевые и другие взаимоотношения всех обитающих там организмов. В самое последнее время в Институте океанологии АН СССР под руководством М. Е. Виноградова начата разработка схемы-модели пелагиали тропического пояса до глубины 100-150 м. Определяется количество солнечной энергии, используемой фитопланктоном, который на основе биогенных элементов создает органическое вещество. Изучается превращение энергии и веществ по звеньям пищевой цепи фитопланктон - растительноядный зоопланктон - хищный зоопланктон - рыбы.

В настоящее время еще не все составные части баланса этой экологической системы изучены и выражены количественно. В Институте океанологии АН СССР разработана математическая модель экосистемы (сообщества организмов + среда) верхних слоев тропической пелагиали. В ней учтены: приход энергии, баланс фосфатов и солей азота, фотосинтез, выедание фитопланктона зоопланктоном, размножение зоопланктона и т. д. Слои максимальной концентрации планктона оказались на глубинах 25- 40 и 70-90 м. Их обычная толщина 5-10 м. Близ зон подъема вод происходит накопление энергии, а «ниже по течению» - ее расходование (рис. 5).

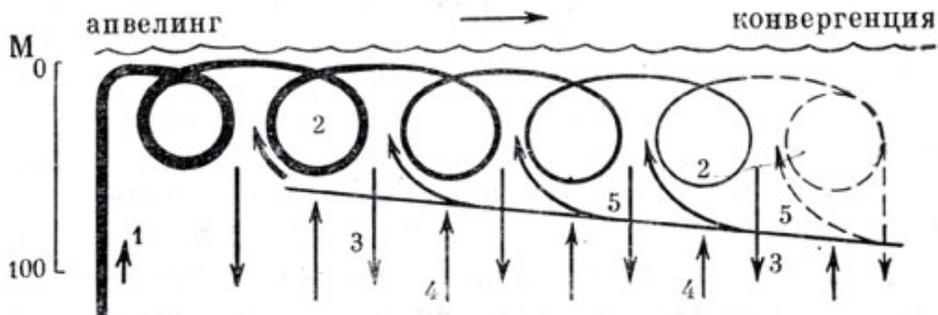


Рис. 5.

Схема круговорота биогенных элементов и органического вещества в пелагическом сообществе тропических вод (по М. Е. Виноградову, 1971) 1 - подъем в зоне апвеллинга; 2 - многократное использование; 3 - погружение на глубину; 4 - турбулентный подъем; 5 - включение поднявшихся веществ в циклы поверхностного сообщества

Одна из наиболее примечательных рыб - летучая стала символом тропических вод. Как и другие рыбы пелагиали, она темно-синяя со спины и серебристая снизу. Поэтому ее трудно заметить сверху, на фоне океанской синевы, и снизу, когда серебристое брюшко сливается со светлой, мерцающей поверхностью воды. Перед скачком в воздух она разгоняется в воде, выходит на поверхность. Затем отрывается от воды и планирует над поверхностью, иногда касаясь воды хвостом и получая дополнительный разгон. Полет длится около 10 сек. на расстояние до 200-300 м. В экваториальной зоне часто встречаются значительные стайки летучих рыб. Основные враги их - золотистая макрель (корифена) и кальмары. Летучая рыба охотно идет на свет. Поэтому нередко залетает ночью на палубы и даже в открытые иллюминаторы судов.

Рис. 5. Схема круговорота биогенных элементов и органического вещества в пелагическом сообществе тропических вод (по М. Е. Виноградову, 1971) 1 - подъем в зоне апвеллинга; 2 - многократное использование; 3 - погружение на глубину; 4 - турбулентный подъем; 5 - включение поднявшихся веществ в циклы поверхностного сообщества

Другая характерная рыба пелагиали - тунец. Это красивая крупная или среднего размера хищная рыба.

Тунцов несколько видов и даже родов. Чтобы обеспечить себя пищей в довольно-таки пустынном тропическом океане, тунец должен все время искать. Эти рыбы - отличные пловцы, с идеально обтекаемым мощным, мускулистым телом. Они постоянно в движении. Поэтому расход энергии очень велик, и температура их тела на несколько градусов выше, чем воды.

Мелкие виды тунцов (полосатый, малый, пятнистый) и молодь крупных плавают стаями в поверхностных теплых (водах, часто выпрыгивая из воды. Крупные тунцы - синий, до 3 м длины, весом 375 кг, желтоперый, длинноперый и большеглазый (более метра длиной, по несколько десятков килограммов веса) - держатся поодиночке или очень небольшими группами и ищут пищу близ слоя скачка температуры, в нем самом и даже несколько ниже. Соответственно они могут обитать в более глубоких слоях воды (100-200 м), при температуре 20° и даже ниже. Все тунцы питаются различными рыбами и кальмарами. Нерестятся в основном в экваториальных водах, но летом уходят довольно далеко от экватора, особенно синий тунец.

Приблизительно в сходных условиях обитают еще более эффективные хищники: меч-рыба с очень длинной верхней челюстью, похожей на меч; рыба-парусник, с более коротким «копьем», но зато с огромным спинным парусообразным плавником; марлины (несколько видов) - очень крупные, до 5 м длины и 700 кг веса (уничтожают даже тунцов). Эти рыбы (как и тунцы) обладают превосходными гидродинамическими данными, имеют серповидный хвост, могут развивать огромную скорость - до 130 км/час. Меч-рыба иногда нападает на корабли и шлюпки, причем обшивку деревянных судов пробивает насквозь. «Копье» или «меч», видимо, существенно уменьшает лобовое сопротивление воды при быстром движении. Эти рыбы больших скоплений, естественно, не образуют. Их промысляют у берегов Флориды, Кубы, Калифорнии, Австралии, у островов Тихого океана.

Здесь же в пелагиали обитают многие виды акул - одного из древнейших животных на Земле. Акулы

существуют более 300 млн. лет и дожили до наших дней без каких-либо признаков дегенерации. Они могут много дней (до одного месяца) обходиться без пищи, плавают обычно спокойно. Завидев добычу, решительная акула совершает молниеносный бросок, менее решительная начинает делать вокруг добычи круги.

Распределение промысловых рыб. В связи с развитием советской рыбной промышленности в тропических водах непосредственное практическое значение приобрел вопрос о распределении промысловых рыб и других животных в этих водах, о методах их поиска, об океанографических ориентирах, по которым можно найти промысловые скопления рыб. В общей форме распределение рыб определяется их требованиями к условиям среды (температура, соленость, глубина), а их обилие в том или ином районе - количеством пищи и биологическим состоянием. В последние годы многочисленные экспедиции судов рыбной промышленности изучили общие черты распределения рыб. Естественно, даже самые надежные ориентиры не дают точной информации о местонахождении рыб в данный момент, а лишь говорят о высокой степени вероятности их обнаружения в данном районе.

Как указывалось, количество рыб в разных районах тропической акватории крайне различно. Существуют обширные «океанские пустыни» и сравнительно небольшие пятна, изобилующие жизнью. Многие рыбы связаны с определенными водными массами, течениями, их границами, с подъемами вод, тем или иным природным комплексом. Главные промысловые рыбы тропической пелагиали - крупные тунцы разных видов, марлины, парусник, крупные макрели. Они чаще встречаются в более продуктивном экваториальном поясе и на его границах, чем в пассатных течениях, держатся в теплой воде нормальной или повышенной солености. Желтоперые тунцы, марлины и др. двигаются в нижней части теплого поверхностного слоя на глубине 50-100 м при температуре 20-23° (в восточных холодных районах при 17-19°), а длинноперые и большеглазые - в верхней части слоя скачка на глубине 100-

200 м при 17-18°. Данные глубины и температуры являются примерными ориентирами для поиска рыб.

В целом эти рыбы держатся неподалеку от зон подъема холодных вод, где формируется для них пища в виде мелких рыб. Летом многие из них уходят далеко от экватора.

Промысловая фауна шельфовых вод обильнее и разнообразнее пелагической. Здесь водятся сельдевые, карангиды, спаровые, каменные окуни, лутяны, горбылевые, а также беспозвоночные - креветки, лангусты, моллюски. Одни рыбы живут у дна и на дне, другие - в верхнем слое, третьи (анчоусы, сардины) совершают регулярные миграции между придонными и поверхностными слоями. Большие скопления рыб образуются там, куда поднимаются плодородные холодные воды, - у западных берегов Африки, Америки, Индии. Придонная фауна распределяется неравномерно, в зависимости от глубины, рельефа дна, характера грунта и т. д.

Сардины, скумбрия, ставриды днем обычно держатся над дном шельфа на глубинах 50-100 м и больше, ночью поднимаются и рассеиваются в верхних слоях. Огромны скопления рыб в районах интенсивного апвеллинга - у Перу, Калифорнии, Юго-Западной и Северо-Западной Африки.

Особенно большой численности достигают рыбы, питающиеся непосредственно фитопланктоном. Это анчоус - у берегов Перу, сардинос - у Юго-Западной Африки, сардинелла.

Не столь тесно связаны с районами подъема вод скумбрия и ставрида, питающиеся зоопланктоном. Скопления их несколько меньше, чем фитофагов. Для них важно близкое соседство теплых и холодных вод.

У дна живут менее подвижные придонные и донные рыбы. У берега видовой состав обычно более разнообразный. Глубже 50 и 100 м число видов значительно меньше. Но наибольшие скопления рыб часто глубже 50 м.

Следовательно, один из главных ориентиров для поиска промысловых рыб в тропиках - районы подъема вод, их периферийные части, выявляемые в первую очередь но

распределению температуры; затем - области соприкосновения теплых и более холодных вод, зоны встречи разных течений, переход от шельфа к склону. Далее ориентиром часто служит температура, соленость, содержание кислорода и фосфатов в воде. В настоящее время начинается исследование и освоение рыбных ресурсов верхней части континентального склона, до 2000-2500 м. Однако материалов об условиях и ресурсах этой зоны очень мало.

Рыболовство в тропических водах. Лов рыбы, моллюсков, ракообразных и других животных в тропиках начался очень давно, но совершенствовался медленно в связи с общим замедленным экономическим, техническим и культурным развитием многих стран. Это рыболовство можно условно назвать местным. Оно основывается на биологических ресурсах прибрежной зоны океана до нескольких десятков миль от берега. Промысел использует разносторонние, повседневно проверяемые опытом знания природы района и объектов лова (места скопления, повадки). Жители тропиков употребляют в пищу многих морских животных, которых в других странах считают несъедобными или малосъедобными (акул, брюхоногих моллюсков, иглокожих, червей). Местный промысел учитывает особенности поведения рыб, их реакцию на орудия лова. Последние чрезвычайно хорошо приспособлены к местным условиям и дифференцированы в зависимости от объекта лова, его повадок, глубины и прозрачности воды и т. д. Широко применяются различные пассивные орудия типа ловушек. Производительность промысла на одного рыбака невелика, хотя иногда бывают хорошие уловы.

Модернизация местного рыболовства идет в основном по пути оснащения местных традиционных лодок двигателями внутреннего сгорания. Это дает возможность осваивать несколько более удаленные от берега районы.

Судовая рефрижераторная техника в последние десятилетия позволила многим странам северной умеренной зоны (СССР, Японии, США, Франции, Испании и

др.) начать промысел в тропических водах. С одной стороны, ведется промысел тунца и других рыб в открытом океане, с другой - лов рыб шельфа донным тралом. В последнее время особенно большое значение получил ярусный лов тунцов вдали от берега. Ярус представляет собой крючковую снасть, которая растягивается в горизонтальном направлении под поверхностью воды. Основной канат (хребтина) тянется на десятки километров (до 100- 120 км). Он поддерживается на плаву поплавками. Вниз от хребтины идут короткие поводки с крючками и наживкой - мелкой рыбой, кальмарами. Ярусный лов берет крупных тунцов, марлинов, парусников. Тунцов, в основном мелких, ловят также кошельковыми сетями, обметывая ими косяки рыбы, а также удочками.

При промысловом освоении тропических районов возникла проблема разработки новых методов и орудий лова для работы в тропиках, особенно там, где невозможно или затруднительно применение донных тралов. Орудия лова должны учитывать особенности рельефа дна и грунта, видовой и размерный состав рыб, их поведение в естественных условиях и вблизи орудий лова, реакцию на свет и т. д. В связи с разнообразием видового состава тропических рыб траловые уловы обычно содержат много видов из разных семейств. Каждый вид требует особой обработки - соления, консервирования и т. д. Из-за высокой температуры улов должен быть разобран и обработан максимально быстро. Технохимический состав тропических рыб несколько иной, чем северных: они содержат меньше жира и больше белков. Это вызывает необходимость изменения технологии обработки.

Несмотря на определенный перелом в некоторых районах, в тропическом поясе до сих пор есть много объектов, совершенно не используемых промыслом, - на континентальном склоне и в пелагиали. Почти не используются значительные ресурсы Индийского океана и некоторых районов Тихого. Несомненно, еще не все промысловые объекты тропиков выявлены.

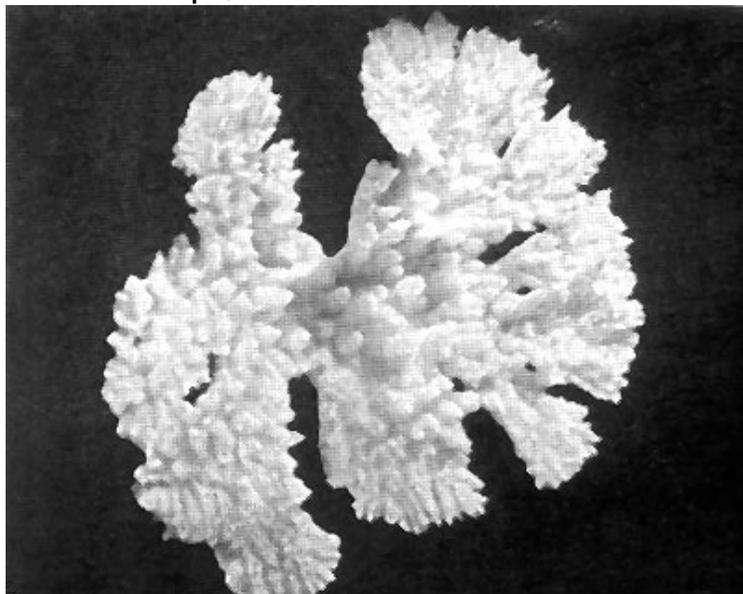
В результате рыбохозяйственных исследований с 1957 г. наша рыбная промышленность освоила биологические ресурсы многих тропических районов, и сейчас советские промысловики ведут лов рыбы и других животных против западных берегов Африки, в Мексиканском заливе, в открытых районах Атлантики, в некоторых районах Индийского и Тихого океанов. Промышляются сардина, анчоус, ставрида, скумбрия, тунцы, спаровые, горбылевые, а также креветки, лангусты.

Коралловые рифы. Одно из чудес тропических морей - коралловые рифы. Они создаются живыми организмами - коралловыми полипами.

Присмотримся повнимательнее к одной из колоний, образующих коралловый риф. Перед нами похожая на оленьи рога зеленоватая ветвь «куста» коралла *Acropora cervicornis*, т. е. «оленерогая». Каждая отдельная ветвь, толщиной с палец, покрыта множеством небольших бугорков с отверстием на вершине. Диаметр отверстия 1 - 2 мм. В каждом отверстии живет, частично из него высунувшись, коралловый полип. Это крошечное кишечнополостное существо, родственное актинии. Тело полипа обычно цилиндрической формы. Щупальца расположены наверху, венчиком вокруг ротового отверстия. Мягкие ткани животного похожи на полупрозрачную пленку. По мере роста оно окружает себя известковым внешним скелетом, и образуется миниатюрная каменная «чашечка» или трубочка с тончайшими пористыми стенками. Материал для ее создания полип сам извлекает из воды: тот самый углекислый кальций, которым насыщены тропические воды. Размножаются полипы преимущественно не доведенным до конца делением. От материнского организма, который находится на растущем конце ветви, отделяются симметрично во все стороны путем моноподиального деления дочерние полипы, образующие многочисленные отростки. Так, в течение многих лет разрастается ветвистая колония. Скорость роста ветвистых кораллов достигает 10-15 и даже 20-30 см в год. Сходным образом формируются колонии и других видов и родов кораллов: лапчатая, или

плоская, Асгорога *palmata*, веерообразная *Agaricia*, похожие на букеты каменных цветов *Eusmilia fastigiata* и *Mussa angulosa*, различные «мозговики», т. е. колонии кораллов (различных родов), внешне похожие на мозг человека и др. (рис. 6). Большая часть рифообразующих кораллов относится к шестилучевым. Особенно многочисленны и важны мадрепоровые кораллы. Их около 2500 видов. Основу колонии образуют слившиеся известковые скелеты. Коралловым рифом называют массовые мелководные поселения коралловых полипов и других морских организмов с твердым известковым скелетом. Кроме кораллов здесь обитают моллюски, мшанки, черви, а также водоросли и т. д.

1 - Асгорога *palmata*; 2 - Асгорога sp., *Eusmilia fastigiata*, Асгорога *palmata*, *Agaricia fragilis*; 5 - *Fungia* sp., *Mussa angulosa*, *Diploria labyrinthiformis*, Асгорога *cervicornis*; 4 - *Oculina* sp.; 5 - Асгорога *cervicornis*; 6 - *Mycetofillia* sp., *Diploria* sp., *Stellaria* sp., *Agaricia agaricites*; 7 - *Agaricia agaricites*, *Dichocoenia* sp., *Meandrina meandrites*



palmata

Рис. 6 (1). *acropora*

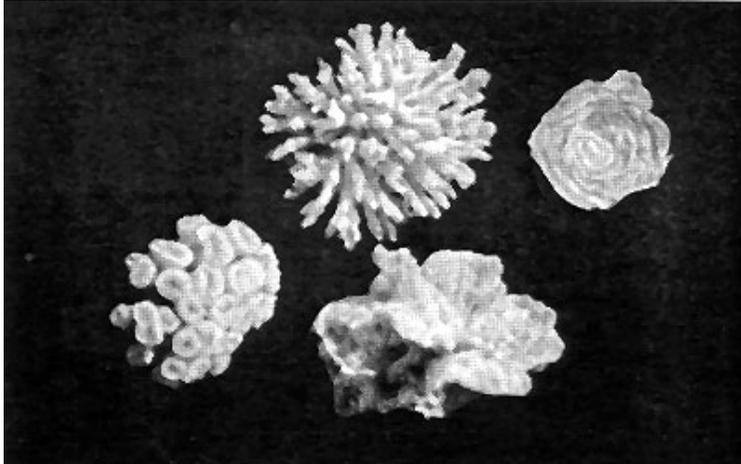


Рис. 6 (2). *Acropora* sp., *Eusmilia fastigiata*, *Acropora palmata*, *Agaricia fragilis*

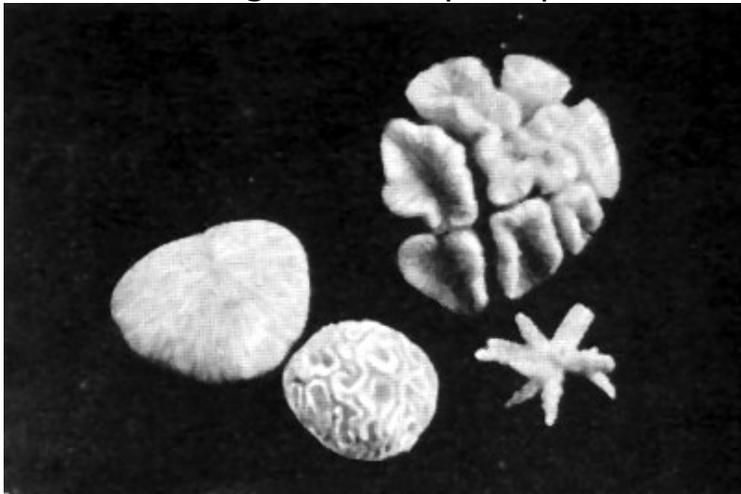


Рис. 6 (3). *fungia* sp., *Mussa angulosa*, *Diploria labyrinthiformis*, *Acropora cervicornis*

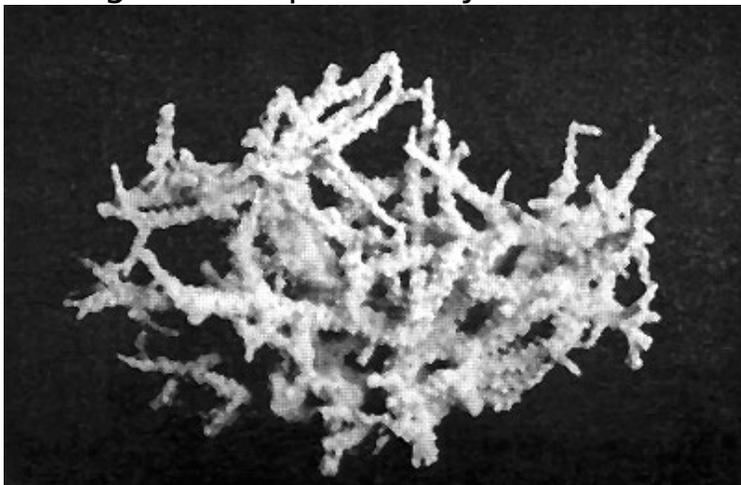


Рис. 6 (4) *Oculina* sp.

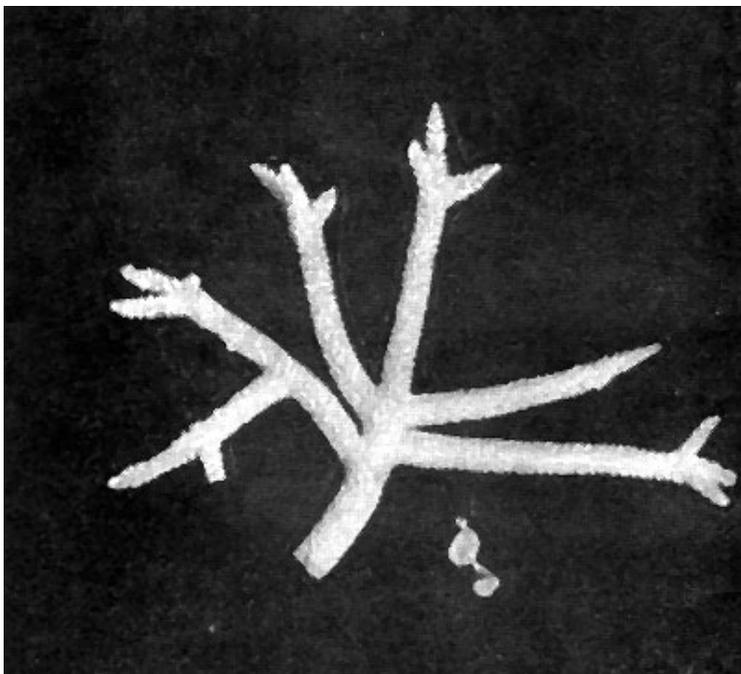


Рис. 6 (5). *Acroporia*

cervicornis

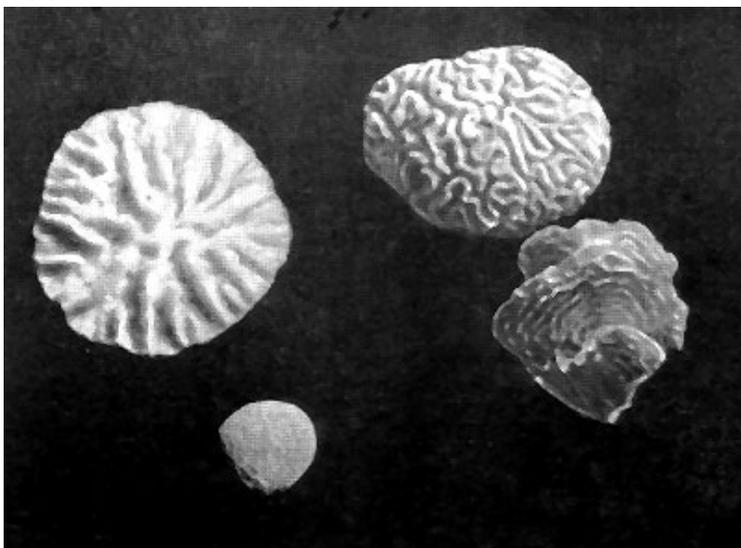


Рис. 6 (6). *Мусетофилия*

sp., *Diploria sp.*, *Agaricia agaricites*

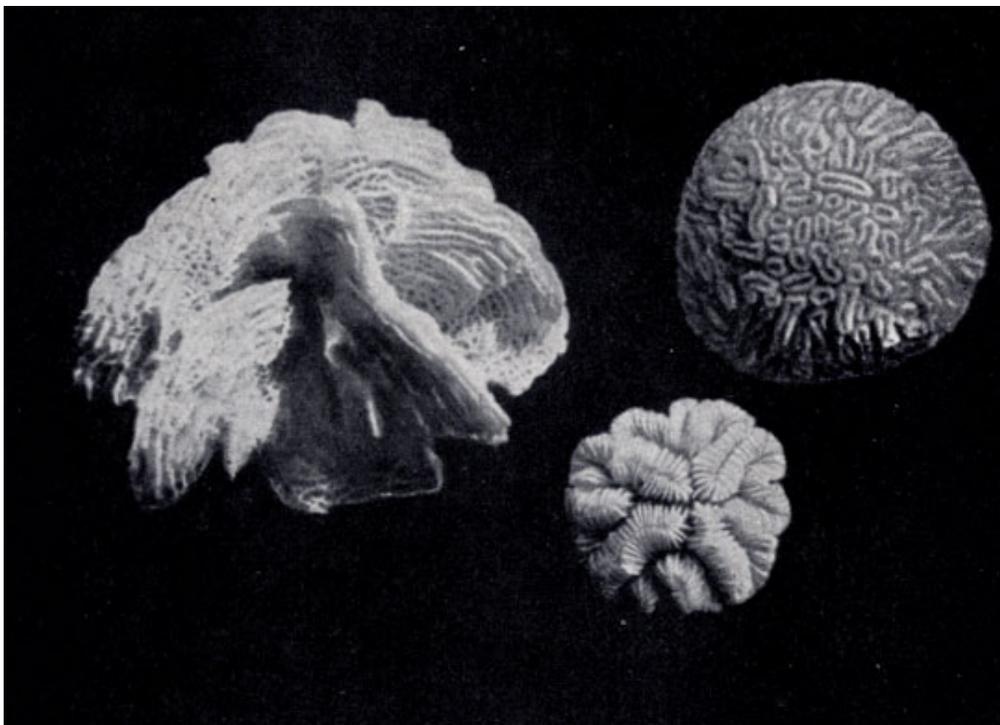


Рис. 6

(7). *Agaricia agaricites*, *Dichocoenna* sp., *Meandrina meandrites*

Известно, что для развития кораллов необходима морская вода соленостью 27-40‰ и температурой не менее 20°. Кроме того, полипы живут в симбиозе с микроскопическими одноклеточными жгутиковыми растениями - зооксантеллами. Они поселяются в теле коралла и придают ему зеленый цвет.

Зооксантеллы получают от кораллов углекислый газ, фосфаты и другие вещества, а кораллы берут от них кислород. Зооксантеллам для фотосинтеза необходим солнечный свет. Поэтому кораллы живут лишь в верхнем 50-метровом слое. Вода должна быть чистой.

В тихих водах лагуны кораллы образуют очень тонкие ветви, слагающиеся в кусты и другие конструкции. Те же виды кораллов с внешней стороны атолла создают более массивные колонии. Обычно основу каждого рифа составляют 2-4 вида кораллов. Остальные играют второстепенную роль. Во многих районах таким ведущим видом оказывается *Acropora palmata* или *A. cervicornis*, в прибрежных водах - сравнительно неприхотливые *Porites* или гидрокоралл *Millepora*. Кораллы часто образуют сплошные заросли.

Биологическая продуктивность экологического сообщества коралловых рифов очень высока. Она в десятки раз выше таковой открытых тропических вод и в несколько раз выше, чем в морях умеренной зоны.

Судя по результатам новейших исследований, в формировании необычайно большой биологической продуктивности рифов и атоллов большое значение имеют растительные микроорганизмы. Они поглощают биогенные вещества из проходящих над рифом вод океана. С другой стороны, организмы - фильтраторы рифа захватывают и удерживают в коралловом биоценозе значительную часть бактериального планктона, приходящего с водой в район рифа. Кроме того, очень большое значение имеет внутренний кругооборот веществ в пределах рифа и лагуны. Почти все продукты жизнедеятельности и распада (трупы, выделения и т. д.) используются здесь же другими организмами и дают начало другим формам жизни.

Экологическое сообщество коралловых рифов и лагун атоллов достаточно устойчиво при естественных условиях, но вмешательство человека может легко нарушить все равновесие системы. Так, например, происходит при загрязнении воды лагуны сточными водами или нефтепродуктами, при интенсивном промысле каких-либо рыб или моллюсков. В мутной, загрязненной воде кораллы гибнут. В последние годы во многих районах Тихого океана широко распространилась крупная хищная морская звезда «терновый венец». Она питается коралловыми полипами. Хищница обволакивает живую колонию и съедает всю органику.

После нападения этих звезд риф остается безжизненным в течение многих лет. За 10 лет они уничтожили около 10% Большого Барьерного рифа. Причина массового распространения этой звезды - нарушение естественного равновесия в жизни рифов.

В создании коралловых рифов и островов участвуют многие организмы, которые, как и полипы, поглощают углекислый кальций из воды и строят известковый скелет. Это некоторые морские водоросли, например литотамнии,

мшанки, одноклеточные животные фораминиферы. В риф включаются массивные раковины брюхоногих и двустворчатых моллюсков, скелеты губок, морских ежей, звезд, известковые трубки червей, а также восьмилучевые кораллы с роговым скелетом.

Разрушают риф некоторые рыбы, обкусывающие и поедающие края кораллов, сверлящие моллюски, водоросли и др. Но в целом рост кораллового массива идет обычно быстрее, чем его разрушение.

Красота коралловых рифов описывалась много раз, но все же впечатление от непосредственного знакомства с живым рифом превосходит всякие ожидания.

С рифом связана особая ихтиофауна, очень своеобразная, совершенно не похожая на ихтиофауну пелагиали океана. Рыбы коралловых рифов окрашены ярко и пестро - красные, золотистые, синие, зеленые, желто-черные. Некоторые из них имеют мощные челюсти. Они неторопливо обкусывают тонкие ветви кораллов. Органическое вещество они усваивают, а минеральные частицы размельчают и превращают в ил. Все рыбы рифов плохие пловцы. Им не приходится проплывать большие расстояния в поисках пищи или спасаясь от врагов. Форма тела у них иная, чем у неутомимых пловцов открытого океана. Они высокие, сжатые с боков, со слабыми плавниками. Таковы рыба-бабочка, рыба-попугай, тетрадоны, рыба-ангел и др.

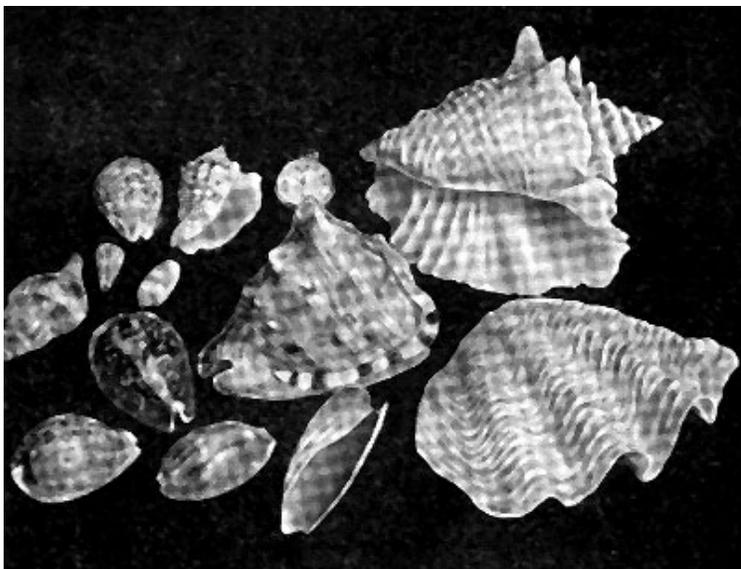


Рис. 7. Раковины

некоторых тропических моллюсков

Большая группа коралловых рыб живет оседло, в определенном месте рифа. Они имеют жилище под коралловым кустом или в пещере, трещине. Обычно здесь обитают некрупные рыбы - рыба-бабочка, рыба-белка и др. Оседло живут и мурены. Другие рыбы, например рыбы-хирурги, спинороги, не имеют постоянных убежищ, но живут на рифе, образуя значительные стаи.

Рыбы третьей группы - карангиды, акулы, барракуды - лишь временами заходят на риф.

На рифе обитают многочисленные и разнообразные моллюски. Многие из них имеют массивные и красивые по форме и окраске раковины: из двустворчатых - жемчужницы, тридакны, из брюхоногих - стромбусы, ципреи (или каури), конусы, турбо и др. (рис. 7). Рис. 7. Раковины некоторых тропических моллюсков

Мангры. В тропических и экваториальных широтах по берегам морей и океанов широко распространен еще один своеобразный ландшафт - мангры. Мангры - это заболоченные заросли древесной и кустарниковой растительности в приливной полосе, где берег защищен от волн, особенно в устьях рек. При отливе обнажается обширное пространство топких, нередко зловонных илистых берегов. На полосе зыбкого илистого грунта, то осушающегося, то заливаемого морскими или речными

водами, развивается мангровая растительность и связанная с ней фауна. Обычно это невысокие деревья с вечнозеленой блестящей листвой. У самой воды растет ризофора. Крона ее всегда на воздухе, корни во время прилива заливаются водой. Чтобы удержаться в полужидком грунте, на сильных течениях от ствола и ветвей отходит много дополнительных корней-подпорок. Семена ризофоры прорастают на материнском дереве, а затем массивный проросток падает в ил тяжелым корнем вниз и укрепляется в нем. Несколько дальше от воды, на более сухом грунте растет авиценния. Растения мангров хорошо приспособились к жизни в соленой или солоноватой воде, переносят большие колебания солености и периодические приливы и отливы. Река и океан приносят сюда много питательных веществ, здесь всегда много гниющих растительных остатков. Поэтому тут довольно богатая фауна. Корни растений покрыты крепко прицепившимися к ним моллюсками. Во время прилива они фильтруют воду, улавливая из нее мелкие организмы, а во время отлива остаются в воздухе. Они сохраняют в раковинах воду, плотно закрывая створки. По илистому грунту и корням передвигается много крабов и раков-отшельников. Здесь можно встретить интересную небольшую рыбку периофтальмуса, или илистого прыгуна. Она несколько похожа на тритона и ведет земноводный образ жизни. Во время отлива с удивительной быстротой и проворством лазает и прыгает по корням, охотясь за насекомыми. Жабры у нее раздуты: в них запас воды. При отливе периофтальмус плавает, часто вылезая на корни: долго плавать он не может. Эта рыба выносит большие колебания солености воды и температуры.

ДНО, БЕРЕГА, ОСТРОВА

Известно, что непосредственно к берегам континентов (и многих островов) прилегает их подводное продолжение - шельф, тянущийся с относительно малым углом наклона до глубин 100-200 м. Глубже, где угол наклона дна к большим глубинам заметно увеличивается, начинается континентальный склон. Шельф имеет большое значение в жизни океана, в формировании его биологических и геологических ресурсов.

В тропическом поясе шельф занимает площадь около 8 млн. км². Большая часть его находится в экваториальном поясе между Азией и Австралией. Относительно обширный рельеф лежит у равнинных берегов Австралии, Южной Америки, у полуострова Юкатан, Центральной Америки, Флориды, Западной Африки и Индостана. Некоторые острова и архипелаги имеют относительно обширные и мелководные подводные основания (Мальдивские острова, Чагос). У гористых берегов шельф обычно узок. До глубины порядка 50 м на шельфе обычно много живых и отмерших коралловых колоний, и микрорельеф его - сложный. Против устьев рек коралловые колонии редки, преобладают песчаные и илистые осадки.

Хозяйственное значение шельфа связано с тем, что над ним значительны скопления промысловых рыб и в грунте встречаются месторождения полезных ископаемых.

В последнее время советские исследователи Д. Е. Гершанович и П. А. Моисеев установили, что наиболее высокой биологической и промысловой продуктивностью характеризуются относительно узкие шельфы, омываемые плодородными водами с глубины.

Наоборот, над обширным шельфом воды часто мало динамичны и плодородны. Глубинные воды поднимаются лишь на его внешний край.

В тропиках по-иному развиваются береговые процессы взаимодействия океана и суши. В формировании берегов здесь принимает участие новая деятельная сила, которая

почти не играет роли за пределами тропического пояса. Это - живые организмы. Построенные ими коралловые рифы окаймляют берега и принимают на себя основную часть энергии волн. Полипы извлекают из океана все новые и новые массы материала и за счет океана наращивают сушу. Поэтому в тех тропических районах, где в соответствии с законами динамики береговой зоны должно было бы происходить разрушение берега, его размыв волнами, фактически благодаря жизнедеятельности коралловых полипов и других организмов суша часто увеличивается за счет акватории.

Как определили советские ученые В. П. Зенкевич и О. К. Леонтьев, в результате разрушения (механического или при участии животных) кораллового рифа образуется большое количество чистого белого кораллового песка и ила. Этот материал передвигается волнами и течениями вдоль берега, транспортируется с рифа в лагуну и на пляж, отлагается на пляже и ниже уровня моря, особенно если там имеются заросли трав, скапливается в манграх. Большие пространства оказываются сложенными осадками морского происхождения. Возникают береговые аккумулятивные формы - пляжи, косы, острова.

Морская трава усваивает углекислый газ, растворимость углекислого кальция понижается и в зарослях травы отлагаются частицы извести, которые цементируют песок и ил и превращают их в твердые осадки. Таким образом, само море, выделяя с помощью организмов углекислый кальций, поставляет огромные количества подвижного наносного материала. Скорость отложения углекислого кальция на рифах - до 10 кг на 1 м² в год.

Так как в тропиках химическое выветривание горных пород идет исключительно интенсивно, реки выносят в океан исходный материал для образования многих осадочных полезных ископаемых.

В мангровых зарослях создается большое количество органических веществ, которые отлагаются вместе с илом. Условия и характер отложений здесь сейчас очень близки к тем, которые имели место в отдаленные геологические

эпохи, особенно в карбоне, когда формировались угленосные толщи. Растительные остатки дали начало отложениям каменного угля.

Один из важнейших элементов природы тропического океана - коралловые острова.

Геоморфология и геология различных коралловых островов имеют много общего. Обычно различаются: коралловые плато, являющиеся основанием острова, сами острова, сложенные коралловым известняком или песком, лагуна, внутрिलाгунные острова и рифы.

Плато сложено коралловым известняком и частично покрыто живыми колониями рифообразующих кораллов. Поверхность плато неровная, на нем много ложбин. Внешний край обычно очень крутой, наклонен под углом 25-50° и продолжается до больших глубин. Иногда верхняя часть его представляет собой отвесный обрыв. В отлив часть плато осушается, ложбины становятся протоками, по которым воды устремляются с плато. Во время отлива по этому плато можно ходить. Известняковая поверхность очень неровная, здесь множество углублений, щелей, обломков кораллов. До 25-50% объема кораллового известняка составляют различные отверстия. В углублениях задерживается вода, и там много живых организмов - моллюсков, ежей и т. д.

Коралловый остров сложен глыбами известняка и песком. Известняк - светлый, пористый, кораллового происхождения. Песок - чисто белый, мелкий; это продукт разрушения рифов. Когда остров становится настолько высок, что не затопляется в прилив, на нем появляется наземная растительность и почва.

Лагуна - более или менее замкнутый водоем, окруженный коралловыми островами и мелями. В целом лагуна похожа на очень плоскую округлую чашу или блюдце с неровными краями. Исследования показали, что дно лагун очень неровное, с мелями и островами, с глубокими ямами и ложбинами. Глубина очень разная, но в основном около 50 м, максимальная - порядка 100 м. Есть лагуны и очень мелководные, почти заполненные твердыми осадками и

рифами. В лагунах много внутрिलाгунных рифов и отдельных коралловых колоний.

Различаются три типа коралловых построек - береговые, или окаймляющие, рифы, барьерные рифы и атоллы.

Окаймляющий риф - это коралловая отмель вдоль берега острова или континента, начинающаяся прямо от берега. При отливе он выступает из воды, у устьев рек прерывается. К океану спускается круто, иногда отвесно, на глубину несколько десятков метров.

Барьерный риф расположен несколько поодаль от берега, иногда на расстоянии нескольких десятков километров. Между берегом и рифом - пролив, обычно судоходный. Самый крупный риф этого типа - Большой Барьерный риф Австралии. (Рис. 8. Схематическая карта атолла Диего-Гарсиа, архипелаг Чагос (по О. К. Леонтьеву) Волнистая линия вдоль берега - коралловый риф)

Атоллы - кольцеобразные острова в Тихом и Индийском океанах. Они формируют множество архипелагов. Диаметр атоллов обычно до 50-60 км, форма чаще неправильная (рис. 8). Есть несколько теорий происхождения атоллов. Наиболее распространена теория Чарлза Дарвина, согласно которой атоллы и другие рифы возникают в результате медленного погружения суши. Рифы начинают расти на небольшой глубине у берега. Сначала вокруг гористого острова появляется кольцо берегового рифа. По мере погружения дна риф нарастает вверх, а между островом и рифом растет полоса воды, пролив. Риф превращается в барьерный. Когда гористый остров полностью скрывается под водой, его барьерное рифовое обрамление превращается в атолл. Постепенно прежний остров оказывается погребенным под карбонатными осадками лагуны.

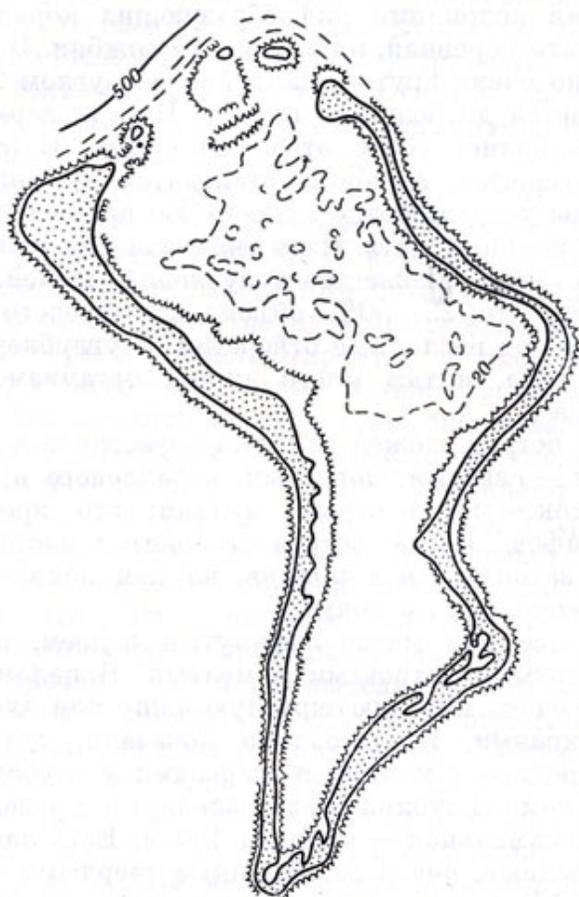


Рис. 8. Схематическая карта атолла Диего-Гарсиа, архипелаг Чагос (по О. К. Леонтьеву). Волнистая линия вдоль берега - коралловый риф

Результаты новейших бурений на атоллах Тихого океана (Бикини, Фунафути и др.) подтвердили теорию Дарвина. Мощность коралловых сооружений - сотни метров, а на такой глубине коралловые полипы не развиваются. Следовательно, имело место опускание дна. Расчет показал, что скорость опускания дна 0,023- 0,08 мм в год. Геологический возраст нижних отложений атолла Эниветок в Тихом океане около 60 млн. лет.

Кроме коралловых островов, развивающихся при медленном опускании земной коры, имеются поднятые коралловые острова высотой до нескольких десятков метров. Их средняя часть - дно бывшей лагуны (например, остров Науру). Коралловые острова похожи друг на друга.

Издали виден ряд кокосовых пальм, поднимающихся над плоским берегом; под пальмами - белая полоса пляжа и буруны прибоя на краю рифа. Основание острова составляет древний массив кораллового известняка, пористый, с пустотами и пещерами, заполненными морской водой. Дождевая вода впитывается в песок и пористую породу. В результате под серединой острова, куда не проникает морская вода, под почвой образуется линза пресной воды. Она лежит на соленой воде и с ней почти не смешивается.

Вся пресная вода на таких островах дождевого происхождения. Острова экваториального пояса получают обычно много осадков - 2-4 и в год. Ближе к тропикам зимой стоит засуха. Некоторые острова в восточной части Тихого океана получают лишь 100-200 мм осадков в год. Там растительность очень бедна - кустарники, кактусы. На более увлажненных островах растут кокосовые пальмы, панданусы, хлебные деревья. Из животных обитают крабы, черепахи, морские птицы.

Американские исследователи всесторонне изучили атолл Ифалук. Основанием этого небольшого острова служит древний коралловый риф, сложенный очень пористым известняком. Часть его, находящаяся ниже уровня океана, пропитана соленой морской водой. Обильные дожди создали под поверхностью острова слой подпочвенной пресной воды, которая в виде линзы (толстой посреди острова, тонкой по его краям) залегает сверху, почти не смешиваясь с соленой водой. В сезон дождей летом линза пресной воды увеличивается, в засушливые зимние месяцы уменьшается. Смешение вод идет очень медленно, путем молекулярной диффузии. Но приток дождевой воды сверху значительно более интенсивен, чем диффузия солей снизу, и линза пресной воды всегда сохраняется.

Остров Ифалук имеет площадь более 1 км². На нем проживает 260 человек. Отдельные коралловые рифы, выступая из воды в виде небольших островов, окружают лагуну диаметром около 1 мили, глубиной до 20 м. Дно лагуны песчаное, на нем несколько больших групп кораллов. Каждый массив состоит из многих колоний.

Лагуны атоллов имеют различный гидрологический режим в зависимости от размеров, глубины и характера связи с океаном. Каждая лагуна - это особый мир со своими географическими, океанографическими и биологическими условиями. Большие лагуны представляют собой своеобразные небольшие моря. Лагуны являются естественными испарителями. Вода в них прогревается более чем до 30-32°, часто до дна. Над ними развиваются, особенно днем, восходящие токи воздуха, вырастают мощные кучевые облака и выпадают ливневые дожди. Когда судно приближается к атоллу, то за много десятков миль бывает видно мощное кучевое облако вертикального развития над островом и лагуной. Лишь через несколько часов открывается взору ровная полоса пальмовых рощ, а затем - белая полоса прибоя и пляж.

Если пролив в лагуну широк и глубокий, условия в ней близки к океанским. При узком и мелководном проливе обстановка в значительной мере определяется местными факторами - нагревом, испарением, круговоротом веществ. Есть лагуны, почти полностью изолированные от океана. Обновление вод в них осуществляется очень медленно, через трещины и другие отверстия в известняковом массиве острова.

По мнению французских ученых, природные условия многих замкнутых или полужамкнутых лагун могут в какой-то мере контролироваться человеком. В них относительно легко воздействовать на гидрологический режим путем регулирования водообмена с океаном, на гидрохимические процессы, биологическое продуцирование, состав фауны и флоры.

Как показали исследования, резкое нарушение естественного равновесия внутри лагуны опасно и может привести к катастрофическим для природы последствиям.

На низменных коралловых островах особенно страшны ураганы. Океанские волны, ветер и подъем уровня воды иногда уничтожают на них всякую жизнь - ломают кокосовые пальмы и другие деревья, разрушают жилища, уносят в море людей. Некоторые острова, когда-то густо

населенные, тщательно возделанные, на десятилетия превратились в необитаемые пустыни, покрытые белым песком и обломками кораллов, с торчащими пнями вместо рощ кокосовых пальм. К счастью, такие стихийные бедствия случаются лишь в некоторых районах и очень редко.

ТИХООКЕАНСКИЕ ТРОПИКИ

Тропический пояс Тихого океана по площади (более 88 млн. км²) превосходит соответствующий пояс Атлантического и Индийского, вместе взятых. Тихий океан - наиболее древний из океанов Земли. Эволюция органического мира здесь была наиболее долгой. В результате фауна теплой, западной его части - самая богатая видами. Она имеет много общего с фауной тропической части Индийского океана, образуя вместе с ней фаунистическую область Индо-Вест-Пацифики.

Обращает на себя внимание исключительное обилие островов и архипелагов в тропической и экваториальной частях океана, обусловленное широтной зональностью. Это в основном коралловые острова. Наибольшее количество их - в самой теплой, западной части океана.

Термический экватор находится в северном полушарии. Пассат южного полушария переходит через экватор, и в северное полушарие входят большие массы воздуха из южного. К западу от 180° долготы на пассатную циркуляцию накладывается влияние муссонного эффекта.

Течения Тихого океана основательно изучались в последние два десятилетия. Наиболее полную схему циркуляции вод предложил советский исследователь В. А. Бурков. В поверхностных слоях в тропиках резко преобладает широтный перенос вод, меридиональные потоки слабы. Интенсивно развиты Южное пассатное и течение Кромвелла. Длина последнего 13 тыс. км.

Течения в низких широтах образуют несколько замкнутых круговоротов, сильно вытянутых в направлении с запада на восток. Скорость подъема воды в экваториальной зоне дивергенции доходит до 0,01 и даже 0,1 см/сек. Горизонтальные течения и вертикальные движения вод в значительной мере определяют температуру верхних слоев и распределение животных. На западе обширная часть океана нагрета до 28° и выше. Там теплый поверхностный

слой достигает 75-100 м. У восточной окраины океана он очень тонкий - 25 м и меньше.

Как и в других океанах, различные районы весьма отличаются друг от друга по природным условиям.

Северное пассатное течение образуется в восточной части океана, юго-западнее островов Ревилья-Хихедо в результате соединения вод холодного Калифорнийского течения, приходящего с северо-востока, и теплых вод северной струи Экваториального противотечения, которая при разделении противотечения у берегов Центральной Америки поворачивает на север.

Так как в потоке преобладает погружение вод, продуктивность их невелика, особенно на западе. Крупные скопления тунцов и других рыб здесь редки. Продуктивность вод существенно возрастает в местах подъема вод близ островов и подводных возвышенностей, например западнее Гавайских островов.

Западная часть района, лежащая между Филиппинскими островами и 150° в. д., испытывает влияние муссонов Восточной Азии. Поэтому летом северо-восточный пассат втягивается областью низкого давления над Азией, меняет направление и превращается в юго-восточный ветер - летний муссон. Зимой он сменяется северным ветром, дующим из Азии. В теплый сезон, летом и осенью здесь зарождаются тайфуны.

В пределах северной пассатной зоны по природным условиям выделяется Калифорнийский район. С севера сюда входит холодное Калифорнийское течение. В основном оно движется на юг, но поток малоустойчив, в нем наблюдаются противотечения и многочисленные вихревые круговороты вод. Во многих местах происходит подъем вод. Новые исследования показали, что поднимающиеся с глубины воды в виде языков плодородных вод вытягиваются по поверхности океана на юго-запад.

В этих водах обилён пелагический краб *Pleuroncodes*. Им питаются тунцы, морские млекопитающие и птицы.

Экваториальный район чрезвычайно разнороден по характеру движения вод. Здесь находится поверхностное

Экваториальное противотечение, часть Южного пассатного течения, подповерхностное течение Кромвелла. Циркуляция вод очень сложна. В пределах Экваториального противотечения и на его границе происходит подъем вод, очень интенсивный на самом экваторе. На огромных просторах мигрируют в поисках пищи крупные пелагические рыбы. Каждый вид находит для себя подходящую температуру на той или иной глубине, в зависимости от положения слоя скачка.

В этой зоне множество островов, преимущественно коралловых атоллов Микронезии и Полинезии - Каролинские, Маршалловы, Гилберта и др.

Восточная часть экваториального пояса, прилегающая к берегам Южной и Центральной Америки, имеет ряд особенностей. С запада сюда входят воды поверхностного Экваториального противотечения и подповерхностного течения Кромвелла, с юга - струп Перуанского течения. Близ берегов течения поворачивают. Создается множество завихрений потоков, возникают области подъема и погружения вод. Области подъема вод имеются к юго-западу от берегов Коста-Рики, западнее Галапагосских островов, около залива Теуантепек и в некоторых других местах. Биологическая и промысловая продуктивность этой части экваториального пояса очень высокая.

Обширный **Южный пассатный район** составляет зона Южного пассатного течения. В восточной части океана это единый и устойчивый поток, в западной части многочисленные острова и архипелаги Полинезии и Меланезии разбивают течение на отдельные потоки, создают завихрения и противотечения.

У северо-восточного берега Австралии находится уникальное творение природы - Большой Барьерный риф Австралии. В последние годы он привлекает пристальное внимание ученых разных стран, в том числе и советских, работающих на экспедиционном судне «Витязь». Интерес этот не случаен. Большой риф - самая грандиозная коралловая постройка в мире, созданная мельчайшими живыми организмами и соизмеримая по протяженности и

объему (16 тыс. км³) с крупными формами рельефа тектонического происхождения. Риф протягивается вдоль северо-восточного (и частично восточного) берега Австралии на 3 тыс. км от 10 до 24° ю. ш. В целом это гигантское скопление отдельных мелководных коралловых плато, рифов, небольших коралловых и песчаных островов. Общая площадь рифа 200 тыс. км². Здесь обитает самое большое число видов животных, встречающихся на Земле в одном районе (коралловых полипов, рыб, моллюсков, иглокожих и др.).

Разнообразие фауны Большого рифа, как и всего тропического пояса, связано с постоянством океанографических и географических условий на протяжении длительного времени и с высокой продуктивностью вод рифа. По новейшим исследованиям, отсюда представители морской тропической фауны расселялись по западной части Тихого океана. Большой риф отграничен от материка относительно широким проливом. Кроме того, риф пересекают несколько судоходных проливов, разделяющих его на ряд массивов.

В отлив обнажаются также многочисленные рифы и отмели, расположенные вокруг островов и среди вод океана. Риф круто обрывается на восток к Коралловому морю. Этот его край активный, растущий. Он принимает на себя всю силу океанского прибоя. Зыбь, создаваемая постоянно действующим пассатом, всегда приходит с востока. Буруны мощного прибоя разрушили бы в конце концов самую твердую горную породу. Но здесь им противостоит созидательная деятельность миллиардов крошечных живых существ. И океан бессилен сокрушить риф. Под защитой рифа в тихих водах разрастаются огромные и тонкие коралловые колонии, нежные и стройные коралловые кусты и деревья, огромные веера и грибы, замки и храмы. Есть мадрепоровые кораллы голубого цвета, розового, лилового, светло-зеленого, желтого. Исключительно разнообразны раковины моллюсков - крупные глянцевые каури, жемчужницы, гигантские тридакны.

Условия навигации в районе Большого Барьерного рифа очень сложные. На близком расстоянии находятся большие глубины и мелководья, непреодолимые даже для малых судов. Здесь потерпел аварию один из кораблей Кука. Как показали новейшие исследования, возраст рифа около 1 млн. лет. В некоторых районах рифа созданы подводные заповедники. Подводную жизнь посетители могут наблюдать, плавая с аквалангом, с катеров с прозрачным дном и со специальных смотровых галерей, сделанных ниже уровня моря.

Очень своеобразен и исключителен по биологической продуктивности Перуанский район. Климат здесь относительно прохладный и сухой. С юга медленно движутся воды холодного Перуанского течения. Оно образует две струи. Прибрежная струя идет вдоль берега обычно до 4° ю. ш., а затем отходит от берега и исчезает у экватора. Действие сгонных ветров и поперечной циркуляции обуславливает подъем вод с глубины. Языки поднявшейся холодной воды протягиваются на северо-запад. Встречаясь со струями противотечения, они образуют серию круговоротов. Близ экватора прохладные воды Перуанского течения соприкасаются с теплыми водами.

Подъем вод в прибрежной зоне Перу приводит к значительному обогащению поверхностных слоев питательными солями. Создаются исключительно благоприятные условия для развития фитопланктона и перуанского анчоуса, температурный оптимум для которого 14-17°. Анчоус достигает огромной численности. Особенно много его между 6 и 15° ю. ш. на площади 200 тыс. км². Здесь обычно ежегодно вылавливается около 10 млн. т этой рыбы. Такое обилие анчоуса в значительной мере связано с простотой пищевых взаимоотношений. Пищевая цепь предельно короткая: диатомовые водоросли - промысловая рыба. Поэтому энергетические потери минимальны, а численность рыбы, наоборот, максимальна. Благодаря этим скоплениям анчоуса Республика Перу вышла на первое место в мире по общему объему вылавливаемой рыбы (рис. 9).

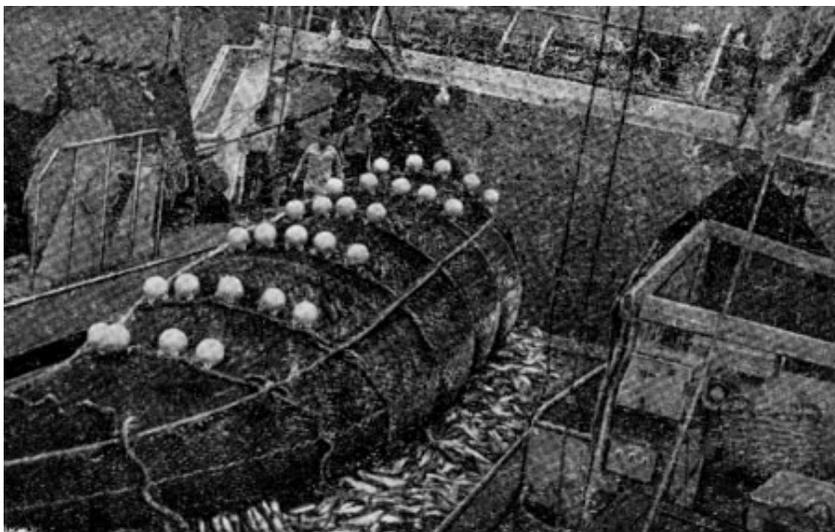


Рис. 9. Улов

придонных рыб тралом у берегов Перу

Из-за низкой температуры воды к экватору проникают многие холодолюбивые животные - морские львы, пингвины. Здесь нет коралловых рифов, нет богатой тропической растительности на суше. Вдоль берега - пустыня. (Рис. 9. Улов придонных рыб тралом у берегов Перу)

Каждый год летом южного полушария при ослаблении юго-восточного пассата в приэкваториальной зоне теплая экваториальная вода распространяется вдоль берега Эквадора и Перу на юг, навстречу Перуанскому течению, до 5° ю. ш. или несколько дальше. Протяженность на юг и сила потока зависят от метеорологической и океанографической обстановки в данное лето - от силы пассатов, интенсивности Экваториального противотечения и Перуанского течения. В годы, когда летом система течений смещается на юг и стихает юго-восточный ветер, ослабевает подъем вод, повышается температура на поверхности. При этом экваториальная вода, видимо, в основном из района Панамского залива, распространяется вдоль берега на юг до $14-15^{\circ}$ ю. ш. и дальше. Это явление, как и само теплое течение на юг, называется Эль-Ниньо. Оно повторяется нерегулярно (ранее отмечалось в 1891, 1925, 1941, 1953, 1957-1958, 1965, 1972-1973 гг.). Эль-Ниньо приносит не свойственную этому району очень теплую экваториальную воду пониженной солености. Подъем холодных вод ослабевает и идет лишь в малом числе мест. В результате

рыба частично мигрирует на юг и массами гибнет. На пустынной суше тоже происходят необычные явления: выпадают тропические ливни, вызывающие наводнения и смыв почвы, проносятся штормы.

В 1972 и 1973 гг. во время сильнейшего развития Эль-Ниньо вода в океане была значительно теплее, чем обычно. Анчоуса было очень мало. Сотни перуанских рыболовных судов стояли в портах без работы. Улов анчоуса был значительно меньше обычного. Последствия вторжения теплых вод ощущаются в течение многих месяцев, а иногда продолжаются и в следующем году.

Моря Индонезии. Между материками Евразия и Австралия находится область максимального горизонтального и вертикального расчленения суши. Здесь многочисленны гористые вулканические острова соседствуют с глубокими морями. Между 13° с. ш. и 11° ю. ш. находится Австрало-Азиатское море, состоящее из нескольких отдельных небольших бассейнов («морей»), заливов и проливов. Севернее лежит Южно-Китайское море. Часть морей - мелководные, в несколько десятков метров глубины, как Яванское. Другие - глубоководные, до нескольких тысяч метров, - Банда, Сулу, Целебесское.

Моря соединяются между собой и с океанами проливами - широкими и узкими, глубокими и мелководными. Глубина проливов и в меньшей степени ширина определяют характер водообмена с соседними водоемами и степень своеобразия океанологических условий в них. Климат морей Индонезии в основном муссонный. Но сезонные различия невелики, так как широта экваториальная и оба муссона приносят одинаково теплый и влажный морской тропический воздух. Температура воды на поверхности обычно 27-29°, а соленость колеблется между 31 и 34‰.

Обычно гидрологические условия изменяются с глубиной до уровня порога, соединяющего море с океаном. Глубже, до самого дна, температура и соленость очень однородны. Если порог неглубок, то все море оказывается заполненным поверхностной теплой водой, переливающейся через порог пролива, и высокая

температура наблюдается до дна. Например, в море Сулу она близка к 10°. Если порог глубок, то глубокие слои заполняются холодной глубинной водой океана и гидрологические условия там близки к таковым в океане. В открытых частях морей общий поток вод зимой (северного полушария) направлен к югу из-за преобладания северных и северо-восточных муссонных ветров; летом, наоборот, к северу. Но из-за сложной конфигурации береговых линий у берега и в заливах образуются противотечения и водовороты. Муссонные ветры вызывают развитие сезонного подъема вод в некоторых частях акватории.

В морях Индонезии много коралловых рифов и островов. Однако новейшие наблюдения отмечают, что во многих районах коралловые полипы гибнут, рифы разрушаются волнами. Здесь обитают китообразные, морские черепахи, жемчужницы, голотурии и многие другие животные. Ихтиофауна включает много ценных промысловых рыб (сардина, скумбрия, тунцы, каменные и рифовые окуни, спаровые). Крупных скоплений однородных особей обычно нет.

АТЛАНТИЧЕСКИЕ ТРОПИКИ

Термический экватор в этом океане лежит севернее географического, приблизительно между 5 и 8° с. ш. Поэтому его северная часть теплее южной. К северо-западной части примыкает обширный полузамкнутый водоем Карибского моря и Мексиканского залива. Основной поток поверхностных вод здесь идет с юго-востока на северо-запад. Южное пассатное течение несет большие количества воды через экватор на северо-запад. Берег отклоняет основной поток к северу, и в северо-западную часть тропической акватории поступают воды пассатных течений обоих полушарий. Поэтому там формируется исключительно мощное западное пограничное течение - система Гольфстрима. Наоборот, из-за конфигурации берега в южное полушарие направляется лишь часть Южного пассатного течения, и Бразильское течение соответственно слабее.

Из южного полушария в подповерхностных и глубинных слоях на север движутся холодные воды субантарктического происхождения. Они проникают до 20° с. ш. В местах подъема они существенно влияют на океанографические и другие условия поверхностных слоев. Вынос тропических вод обоих полушарий в системе Гольфстрима в Северную Атлантику имеет огромное значение для климата и погоды Европы. Любое изменение мощности потока и температуры воды в нем, взаимодействия океана и атмосферы через какое-то время скажутся на погоде в Европе. Взаимодействие это очень сложное и до конца не изучено. В тропиках совершается лишь первая фаза работы тепловой машины - поглощение тепла солнечных лучей океаном, накопление его в толще вод и начало транспортировки к Европе.

Исследования последних лет выявили существенно новые особенности циркуляции вод в этом районе. Схема течений имеет следующий вид: пассатные течения на запад с погружением вод на западе и затем к экватору; между

пассатными течениями в экваториальной полосе затишья - Экваториальное противотечение, особенно мощное летом северного полушария; на его границах преобладает подъем вод; продолжение Экваториального противотечения - Гвинейское течение, а начало - Антило-Гвианское; западные пограничные течения - Гольфстрим и Бразильское; восточные пограничные течения - Канарское и Бенгельское; подповерхностное течение Ломоносова под экватором на восток; медленное движение промежуточных вод из Субантарктики на север.

Атлантический океан молод в геологическом отношении. Количество видов животных здесь существенно меньше, чем в двух других океанах. Коралловые рифы не имеют такого широкого распространения, как в Индо-Пацифике, атоллов нет совсем.

В восточной части океана у северо-западных и юго-западных берегов Африки находятся классические районы подъема вод. Акватория у Северо-Западной Африки - один из важнейших районов мирового рыболовства. Здесь же ведут промысел советские суда. Океанографические условия определяются холодным Канарским течением и подъемом еще более холодных вод с глубины. Поперечная циркуляция в течении вызывает подъем вод с левого, прибрежного края потока. К этому присоединяется влияние северо-восточного пассата, отгоняющего теплую поверхностную воду в открытый океан. В итоге в прибрежной зоне круглый год происходит подъем вод. Поднимающаяся вода доходит до поверхности. На расстоянии нескольких десятков миль от берега можно наблюдать прозрачную голубую воду Канарского течения с температурой 21-22°. Ближе к берегу находится холодная (17- 18°), поднявшаяся с глубины вода. Подъем вод, богатых фосфатами и другими питательными солями, вызывает массовое развитие фито- и зоопланктона, который служит пищей разнообразным и многочисленным рыбам. Основные промысловые рыбы района - скумбрия, ставрида, спаровые, рыба-сабля.

Сейчас внимание океанологов и промысловиков привлекли подводные возвышенности, находящиеся далеко от берега и шельфа. Они заметно влияют на циркуляцию вод, усиливая вертикальную составляющую потоков. Над некоторыми подводными возвышенностями и в их окрестностях отмечены повышенная биологическая продуктивность и промысловые скопления рыб.

На юге этому району соответствует акватория у Юго-Западной Африки и Анголы. На север вдоль берега идет Бенгельское течение, а у самого берега и местами поодаль от него развивается очень сильный подъем холодных плодородных вод. В поверхностном слое над шельфом при маловетрии образуются большие скопления холодолюбивых диатомовых водорослей и питающейся ими южноафриканской сардины сардинопс. Она держится на расстоянии 30-40 миль от берега в верхнем слое воды.

В удаленных от экватора районах южнее Зеленого Мыса, у берегов Гвинейской Республики, четко прослеживаются два сезона: теплый, дождливый - летний и холодный, сухой - зимний. Летом дует южный или юго-западный ветер - экваториальный муссон, приносящий обильные дожди. Верхний слой воды летом и осенью очень теплый (29°). Слой скачка температуры находится около 50 м. Это по существу вода Экваториального противотечения. Прибрежная зона сильно опреснена речным стоком. Зимой с суши дует северо-восточный пассат. Он несет очень сухой воздух и отгоняет теплую поверхностную воду в океан. Температура воды резко падает, до 17° на поверхности. В поднявшейся плодородной воде развивается много планктона. Летом и осенью ниже слоя скачка при температуре у дна 17-18° и солености около 35 ‰ образуются скопления сардинеллы и других рыб.

У берегов Гвинейской Республики в связи с большим речным стоком летом происходит сильное опреснение. Широкая полоса прибрежных вод у берега становится очень мутной. Здесь создаются особые экологические условия: иктиофауна бедна видами, хищников мало, рыбы ориентируются в мутной воде в основном с помощью

органов осязания, происходит нерест многих рыб и развитие молоди (сардин, рыбы-сабли, морских угрей). В чистой прозрачной воде вдали от берега обстановка иная: общее число видов больше (спаровые, лутяны, карангиды, акулы), много хищников.

Рис. 10. Высокопродуктивные районы в Мексиканском заливе и Карибском море

Подъем вод: 1 - постоянный; 2 - сезонный; 3 - погружение вод; 4 - течения; 5 - границы Шельфа

Важный промысловый район находится близ берегов Ганы. Основная промысловая рыба - сардинелла. Днем она образует плотные косяки в придонном слое над мористой частью шельфа, на глубинах 50-100 м при температуре 16-19° и солёности более 35 ‰ . Ее облавливают донным тралом.

Очень своеобразна обстановка в Карибском море и Мексиканском заливе. Океанографические условия здесь определяются притоком воды из Атлантического океана и процессами в самом бассейне. У левого края течения вдоль берегов Тринидада и Венесуэлы развивается подъем вод, а в средней и северной частях Карибского моря преобладает погружение. Поперечная циркуляция вод усиливается в Юкатанском проливе и над банкой Кампече. Исследования последних лет выявили в Карибском море и Мексиканском заливе районы постоянного и сезонного подъема вод, которые оказались районами большой биологической продуктивности. Это - банка Кампече, юго-западный шельф Флориды, залив Кампече, район устья Миссисипи, шельф Тринидада-Венесуэлы (рис. 10).

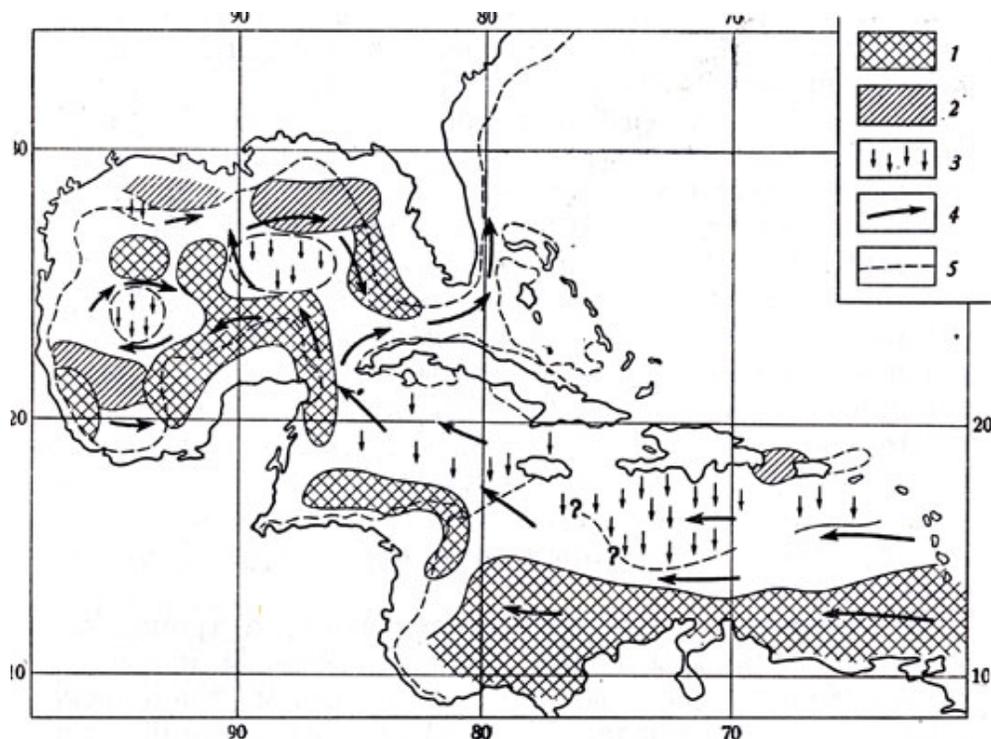


Рис. 10.

Высокопродуктивные районы в Мексиканском заливе и Карибском море. Подъем вод: 1 - постоянный; 2 - сезонный; 3 - погружение вод; 4 - течения; 5 - границы Шельфа

Особенно много рыб над банкой Кампече. У дна обитают лутианы, спаровые, эшшефелюсы, помадазиевые и другие, а в верхних слоях - сельдевые, скумбрия, карапгиды, мелкие тунцы. В юго-западной части банки на илистых грунтах - скопления креветок. Здесь их промышляют мексиканские и североамериканские рыбаки. Открытые районы этих морей являются местами миграций тунцов и некоторых других крупных пелагических рыб - марлинов, парусников, меч-рыбы, акул.

Недалеко от берегов Южной Флориды среди коралловых рифов создан подводный национальный парк, где посетители могут наблюдать жизнь тропического океана либо с катера с прозрачным дном, либо погружаясь в воду с аквалангом.

В результате последних исследований в тропической Атлантике открыты новые течения, освоены новые рыбопромысловые районы, изучен механизм тропических циклонов. Одна из задач дальнейших исследований -

изучение взаимосвязей тропических районов с умеренными и высокими широтами для целей прогнозов погоды.

«ОКЕАН МУССОНОВ»

Индийский океан резко отличается от двух других. На севере он простирается лишь до тропика Рака. Термический экватор находится здесь южнее экватора. Акватория к югу от $5-10^{\circ}$ ю. ш. по климатическим условиям сходна с соответствующими широтами других океанов. Это зона пассатов южного полушария. Схема течений в южной части океана относительно постоянна и аналогична схемам в других океанах.

Летний муссон приходит на западное побережье Индии в июне или июле. Запоздание муссона означает наступление засухи и неурожай в Индии. В сентябре дожди прекращаются. Наступает теплое и сравнительно сухое время года. Северо-восточный зимний муссон дует с ноября по март, местами по апрель. Муссоны сильно влияют на циркуляцию вод в северной части океана. 70

Зимой северного полушария севернее экватора, приблизительно до 10° с. ш., отмечается Муссонное течение на запад, скорость его около 1 узла. Оно наблюдается приблизительно в 75 случаев из 100 и в какой-то степени аналогично Северному пассатному течению двух других океанов. Южнее, примерно между 3 и 8° ю. ш., в это время года движется поток на восток - поверхностное Экваториальное противотечение, скорость его около 1 узла. Таким образом, схема течений зимой в Индийском океане сходна с системами течений в Атлантическом и Тихом.

Летом северного полушария сохраняется и усиливается Южное пассатное течение, а Муссонное меняет направление на восток. Экваториальное противотечение практически сливается с ним, образуя его правый (южный) край. Эти потоки прослеживаются обычно до глубины 50-200 м.

Северная часть Индийского океана - единственный район Мирового океана со столь четкой сезонной сменой течений. Здесь ясно видно непосредственное определяющее воздействие ветра на поверхностные

течения. В 1962 г. было открыто подповерхностное экваториальное противотечение, аналогичное течением Кромвелла и Ломоносова. Оно несет воды под экватором на восток между 2° с. ш. и 2° ю. ш., с максимальной скоростью до 120 см/сек.

Таким образом, поверхностные течения определяются преобладающими ветрами. Глубинные потоки в Индийском океане, как и в других, создаются в результате различий плотности воды на одинаковых глубинах.

Известно, что если в сосуде, разделенном перегородкой, находятся воды (или другие жидкости) различной плотности, то при удалении перегородки возникают плотностные течения: плотная вода стремится занять нижние слои обеих половин сосуда и вытесняет вверх более легкую воду. В северо-западной части Индийского океана и в прилегающих бассейнах (Красное море, Персидский залив) под влиянием климатических факторов создаются водные массы высокой плотности. В результате сильного осолонения (из-за большого испарения при малых осадках среди пустынных районов) и небольшого зимнего охлаждения плотность воды сильно повышается, и она погружается. В Красном море, Аденском, Оманском и Персидском заливах каждую зиму формируются водные массы с разной температурой, соленостью и плотностью. Они постепенно погружаются и затем далеко распространяются в горизонтальном направлении. При этом они погружаются на ту или иную глубину в соответствии со своей плотностью: самые плотные занимают нижние горизонты, менее плотные - более верхние слои. Из каждого очага формирования вод идут широкие струи на разных глубинах.

Рис. 11. Глубинные потоки высокосолёных вод в Индийском океане (по Д. Рочфорду). Числа при стрелках - глубина в метрах

На карте австралийского ученого Д. Рочфорда показаны основные центры формирования подповерхностных и глубинных вод, пути и глубины их движения (рис. 11). Из-за различия свойств этих вод каждый поток долгое время не смешивается с окружающими водными массами и

прослеживается на расстоянии тысяч километров от места формирования.

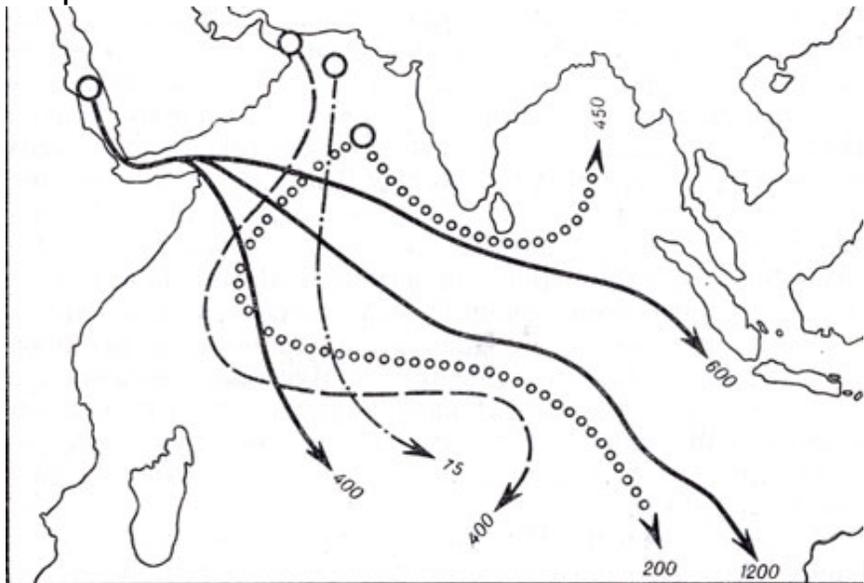


Рис.11.

Глубинные потоки высокосоленных вод в Индийском океане (по Д. Рочфорду). Числа при стрелках - глубина в метрах

В северо-западной части океана из-за малого количества осадков и большого испарения происходит сильное осолонение вод, в восточной и северо-восточной частях (где осадков больше, а испарение меньше), наоборот, - опреснение. Осолоняющиеся воды с севера-запада очень плотные, они погружаются и распространяются на юг и восток в виде глубинных потоков.

Несколько потоков высокосоленных вод движется на глубине нескольких десятков или сотен метров из Красного и Аравийского морей, Аденского, Оманского и Персидского заливов на юг, юго-запад и юго-восток. Наоборот, легкие поверхностные воды с востока и северо-востока разносятся поверху поверхностными течениями.

Поперечная циркуляция в течениях и воздействие ветра создают во многих районах интенсивный подъем вод, главным образом сезонный, у Западной Индии, Сомали, Аравии, Явы, Восточной Африки, Мадагаскара, в средних частях океана.

Термический режим Индийского океана имеет некоторые особенности. В северной части наблюдаются два максимума температуры (весной и осенью) и два минимума

(летом и зимой). Главный максимум - обычно весной, особенно к северу от 10° с. ш. Он связан с сильным (до 29° и выше) прогревом при малооблачной погоде и маловетрии. Летом при юго-западном муссоне из-за ослабления нагрева при увеличившейся облачности, обильных дождях и ветровом: перемешивании теплых поверхностных вод с более прохладными подповерхностными температура воды на поверхности понижается. Осенью после прекращения муссона поверхность вновь прогревается. Зимний минимум температуры обусловлен обычным зимним охлаждением.

Максимальная соленость воды - на северо-западе. В Красном море отмечается наибольшая для всего Мирового океана соленость - 40-42 ‰ на поверхности. Кроме того, в недавние годы здесь обнаружили совершенно исключительную соленость у дна на больших глубинах, порядка 300‰, при очень высокой температуре. Ее происхождение еще неясно.

Наиболее своеобразна по океанографическим условиям северо-западная часть океана, включая Аравийское море. Зимой здесь вода охлаждается до 23-22°. Это сопровождается сильным испарением и увеличением солености. Охлажденная и осолоненная вода опускается на глубину 50-100 м. Так создается верхний, подповерхностный слой вод максимальной солености. Глубже, на 150-320 м, обнаружен другой слой максимальной солености с еще более низкой температурой. Это зимняя вода Персидского залива. Еще глубже, на 400-800 м, обнаружен третий слой максимальной солености - поток из Красного моря. В результате океан оказывается сложно и устойчиво стратифицированным. В эту переслоенную толщу не проникают воды с поверхности и с больших глубин. Вследствие разложения органического вещества образуется много питательных солей. Содержание фосфатов с 50 м и глубже равно 60-100 мг/м³. Окисление органического вещества идет очень интенсивно, и ниже слоя скачка между 75 и 1700 м создаются слои с резким недостатком кислорода. Когда эти бедные кислородом воды выходят на

шельф, условия для жизни становятся невыносимыми, рыбы гибнут или уходят.

При летнем юго-западном муссоне образуется антициклонический, по часовой стрелке, круговорот в северной части Аравийского моря. При северо-восточном муссоне поле течений постепенно перестраивается, причем наиболее сильные и устойчивые потоки функционируют в прежнем направлении еще 1-2 месяца.

Сомалийское течение продолжает следовать на северо-восток и в октябре-ноябре, хотя юго-западный муссон кончается в сентябре, а в ноябре действует северо-восточный. И у берега Индии течение на юго-восток отмечается некоторое время после прекращения летнего муссона. При северо-восточном муссоне направление течения меняется почти на обратное, смещаются и области подъема вод. В результате Аравийское море в целом оказывается одним из высокопродуктивных районов океана. Биомасса планктона доходит до 13 г/м³.

Сомалийское течение дважды в год меняет направление на противоположное. Течение на северо-восток устанавливается еще весной, до начала юго-западного муссона. В это время оно является стоковым и в какой-то мере аналогом Гольфстрима. Течение зарождается из вод Южного пассатного течения при его подходе к Африке. Летом северного полушария создается пагон вод к северо-западу от Мадагаскара. Избыток вод питает летнее Сомалийское течение. Летом скорость этого потока более 1,5 узла, в пределах узкой струи - до 6 узлов.

Вдоль восточного берега Сомали происходит подъем вод с глубины 100-200 м со скоростью до 8 м в сутки. Температура падает иногда до 13° (на поверхности). На шельф поднимаются воды с очень низким содержанием кислорода, и промысловые концентрации рыб не образуются. Зимой Южное пассатное течение ослабевает, сток вод из этой части океана уменьшается. Северо-восточный муссон перебивает Сомалийское течение и поворачивает его на юго-запад. Этот поток доходит до 3-4° ю. ш. Подъем вод практически прекращается.

В какой-то мере сходны условия у юго-восточного берега **Аравийского полуострова**. Летом при юго-западном муссоне там тоже развивается течение на северо-восток и сильный подъем вод. При этом на шельф выходят воды с малым содержанием кислорода, и рыбы (ставрида, сардина) мигрируют в прибрежные районы на глубины менее 20 м. Над Аденским заливом весь год господствует теплый и сухой континентальный тропический воздух. Летом преобладает движение поверхностных вод из залива в океан, особенно вдоль Аденского побережья. Этот поток вызывает подъем вод и резкое понижение температуры у берега. Слой скачка поднимается на глубину 5-25 м, а временами, в разгар тропического лета, выходит на поверхность, и температура падает здесь до 17°.

Воды залива обогащены питательными солями, продуктивность их высока, залив очень богат рыбой. Придонные скопления рыб иногда страдают от подъема на шельфы вод, обедненных кислородом. Сардина при этом отходит летом в прибрежное мелководье до 15 м.

К Аденскому заливу примыкает совершенно уникальный тропический водоем - **Красное море**, занимающее узкую тектоническую трещину в земной коре. Оно располагается между пустынями Северо-Восточной Африки и Аравийского полуострова.

В верхних слоях сюда мощным потоком входят воды океана, так как в море постоянно происходит интенсивное испарение воды и всегда создается и поддерживается разность уровней. Величина испарения составляет 3,5 м в год. Она значительно превышает количество осадков. В результате испарения оставшаяся вода осолоняется до 40-42‰. Эти высокосоленные воды зимой охлаждаются до 20-22°, становятся очень плотными и погружаются на глубину, заполняя всю глубоководную впадину моря. В нижних слоях над порогом пролива Бабэль-Мандеб тяжелая высокосоленная вода переливается в океан. Таким образом, Красное море - это огромный испаритель и место формирования высокосоленных вод. В этом море - поразительный контраст между голыми, пустынными, почти

безжизненными берегами Африки и Аравии и обильной, яркой жизнью под водой, с исключительным разнообразием форм и красок, с множеством животных различных типов.

В постоянно теплой (30° и более на поверхности. 21-22° у дна), прозрачной воде развиваются разнообразные виды и формы кораллов. Коралловые рифы этого моря исследовались в основном французскими и итальянскими подводными экспедициями Ж.-И. Кусто, Ф. Квиллини, а также Х. Хасса. (Здесь Кусто в 1963 г. создал одну из первых в мире подводных обитаемых научных станций «Прекоинтепт-2».)

Рифы Красного моря, состоящие из тысяч колоний, имеют огромное протяжение. Многие части этого подводного лабиринта до сих пор не исследованы и очень опасны для судоходства.

Настоящие рифообразующие кораллы достигают наиболее пышного развития там, где прибрежное мелководье (1-2 м) резко сменяется крутым склоном. Основные кораллы здесь - сине-фиолетовая и молочно-белая мадрепоры, миллепора. Ветви обоих видов мадрепор достигают гигантских размеров, краски их имеют бесконечное многообразие оттенков.

В Красном море встречается чрезвычайно редкий черный коралл. Он относится к восьмилучевым, но в отличие от большинства их имеет известковый, а не роговой скелет. Он распространен на глубине нескольких десятков метров и образует небольшие кусты. Необычайно твердые ветви этого коралла, обработанные и отшлифованные, идут на разные художественные поделки.

Западный шельф Индии - один из наиболее продуктивных районов океана. Циркуляция вод и вообще океанографическая обстановка определяются муссонной циркуляцией. Это влияние довольно сложно. Если учитывать лишь направление ветра относительно линии берега, то можно ожидать нагон воды при юго-западном муссоне и сгон с подъемом вод при северо-восточном. В действительности все происходит почти наоборот, поскольку вертикальные движения определяются не

столько непосредственным действием ветра, сколько поперечной циркуляцией в потоке.

С весны по октябрь, т. е. задолго до летнего муссона, во время муссона и непосредственно после него мощное течение следует в этой части океана по часовой стрелке. Вдоль западного берега Индии оно идет на юго-восток. Летом оно усиливается, в августе скорость достигает 1,0-1,5 миль/час. Весной и в начале лета вода на поверхности очень теплая, +29°, с высоким содержанием кислорода. Слой скачка находится на глубине 75-120 м.

Летом в связи с усилением течения по его левому прибрежному краю развивается подъем вод. Слой скачка температуры поднимается к 30-10 м, местами выходит на поверхность. Подповерхностные воды выходят на шельф. Но содержание кислорода в воде пониженное, менее 0,5 мг/л. В результате многие рыбы из этого района уходят. Малоподвижные организмы бентоса массами гибнут. Летом и осенью над шельфом, как правило, нет промысловых скоплений рыб.

Осенью течение на юг ослабевает, затем прекращается. В южных районах у берегов Индии уже в декабре начинается течение на север, несущее экваториальную воду пониженной солености из района острова Шри Ланка. У Кочина она появляется в январе. Мощность теплого слоя в феврале доходит до 100 м. Когда теплая вода заполняет все пространство над шельфом, у дна появляются промысловые скопления рыб.

Бенгальский залив, несколько похожий на Аравийское море по очертаниям береговой линии и лежащий на тех же широтах, в какой-то мере является его противоположностью. Здесь большое количество осадков и речной сток значительно превосходят величину испарения. Поверхностный слой сильно опресняется. Обширные районы залива имеют соленость 33 и даже 30 ‰. Вода движется отсюда в основном на запад. В заливе создается резкая стратификация: наверху теплая опресненная вода, глубже - более холодная, нормальной солености. Это препятствует вертикальному перемешиванию. Поэтому биологическая

продуктивность Бенгальского залива значительно ниже, чем Аравийского моря. Сходные условия - в Андаманском море.

В Мозамбикском проливе с севера на юг вдоль берега Африки идет Мозамбикское течение. Летом южного полушария, когда господствует северный ветер, течение занимает большую часть пролива, а скорость потока превышает 1 узел. Зимой оно ослабевает. На шельфы Африки и Мадагаскара весь год поднимаются подповерхностные воды. Оба шельфа очень богаты рыбой. У Мадагаскара обитают макрели, спаровые, мелкие тунцы, лутианы, креветки, лангусты. В средней части пролива - крупные тунцы (желтоперые и длинноперые). У Африки - эпинефелюсы, спаровые, лутианы и лангусты.

Сравнительно недавно в районе островов близ Мадагаскара южноафриканский ученый Смит со своими сотрудниками при помощи местных рыбаков сделал выдающееся биологическое открытие: обнаружена древнейшая рыба целакант (*Latimeria*), которая считалась вымершей многие миллионы лет назад. К настоящему времени поймано около 50 экземпляров рыбы. Это дает основание ожидать в дальнейшем новых открытий и показывает, насколько недостаточно мы знаем еще жизнь океана.

В Индийском океане много коралловых атоллов.

В результате новейших исследований Индийского океана изучены многие вопросы циркуляции и биологической продуктивности вод. Встает задача промыслового освоения больших биологических ресурсов этого океана, которые сейчас используются, по некоторым оценкам, лишь на 4-5%.

* * *

Таким образом, как видим, природа тропического пояса океана исключительно разнообразна и богата. Изученность ее еще явно недостаточна, а естественные ресурсы используются далеко не полно. Все это побуждает многие страны усилить всесторонние исследования природных условий тропических вод.

Из числа вопросов дальнейших исследований океана в тропическом поясе значительный научный и прикладной интерес представляют: углубленное исследование взаимодействия отдельных элементов среды в пределах пояса; обмен энергией и водами между тропическим и другими поясами; изучение сезонной цикличности явлений; выделение физико-географических комплексов (в какой-то мере соответствующих ландшафтам суши) и оценка их ресурсов; разработка теоретических основ управления системами тропических биологических сообществ; разработка способов использования биологических ресурсов коралловых рифов без ущерба для природного равновесия в экосистеме.

ЛИТЕРАТУРА

Анго М. Жизнь тропических морей и эксплуатация их ресурсов. М., «Прогресс», 1964.

Бейтс М., Эббот Д. Остров Ифалук. М., «Наука», 1967.

Богданов Д. В. География голубого континента. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Богданов Д. В. Океанографические условия тропической зоны Атлантического и Индийского океанов. М., Изд. ВНИРО, 1970.

Богоров В. Г. Географические зоны в пелагиали центральной части Тихого океана. - Труды ИОАН, т. 41, 1960.

Бреховских Л. М., Федоров К. Н. Полигон-70. Эксперимент в океане. - «Земля и Вселенная», 1971, № 3.

Валло К. Общая география морей. М., Учпедгиз, 1948.

Виноградов М. Е. Изучение биоценозов пелагиали океана. - «Природа», 1971, № 4.

Виноградов М. Е. Изучение Большого Барьерного рифа. - «Природа», 1969, № 12.

География атоллов юго-западной части Тихого океана. М., «Наука», 1973.

Дарвин Ч. Путешествие натуралиста вокруг света на корабле «Бигль». М., Географгиз, 1960.

Жизнь животных. Т. 1. Беспозвоночные, 1968; Т. 4, ч. 1. Рыбы, 1971. М., «Просвещение».

Клинджел Дж. Остров в океане. М., Географгиз, 1963.

Кусто Ж.-Й., Дюма Ф., Даген Д. В мире безмолвия. Живое море. М., «Знание», 1966.

Кухоренко К., Комаров Ю. Промысловые рыбы восточной части тропической Атлантики. Калининградское книжное изд-во, 1966.

Латун В. С. Апвеллинг. - «Земля и Вселенная», 1971, № 1.

Леонтьев О. К. Дно океана. М., «Мысль», 1968.

Моисеев П. А. Биологические ресурсы Мирового океана. М., «Пищевая промышленность», 1969.

Море. Сб. Пер. с франц. М., ИЛ, 1960.

Наумов Д. В. Коралловые рифы Океании. - «Природа», 1972, № 10.

Открытие, экспериментальное исследование и разработка теории течения Ломоносова. Севастополь, 1968.

Парин Н. В. Ихтиофауна океанской эпипелагиали. М., «Наука», 1968.

Полосин А. С. Экваториальные подповерхностные противотечения. Сб. «Мировое рыболовство», № 2. М., 1969.

Рефли Т. Чудеса Большого Барьерного рифа. М., Географгиз, 1960.

Степанов В. Н. Мировой океан. Динамика и свойства вод. М., «Знание», 1974.

Тропическая зона Мирового океана и связанные с ней глобальные процессы. М., «Наука», 1973.

Ханайченко Н. К. Система экваториальных противотечений. - «Природа», 1966, № 6.

Шулейкин В. В. Взаимодействие звеньев в системе «Океан - атмосфера - материк». - «Природа», 1971, № 10.

Эйбль-Эйбесфельдт И. В. В царстве тысячи атоллов. М., «Мысль», 1973.