

551.46 (267.1+267.4)

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИИ ВОД,  
ОМЫВАЮЩИХ ИНДОСТАН****М. С. Эдельман**

Океанографический режим Аравийского моря и Бенгальского залива изучен очень слабо. Имеются лишь самые общие представления о распределении тех или иных характеристик и их изменениях по сезонам. В 1928 и 1929 г. Сауэлл обобщил собственные наблюдения, проводившиеся на протяжении довольно длительного времени. Позднее он проанализировал результаты работ экспедиции Джона Муррэя (1935—1936 и 1948 г.). В послевоенные годы в связи с растущими запросами рыбной промышленности в Индии начали проводить интенсивные океанографические исследования. Индийский журнал «Indian Journal of Fisheries» почти в каждом номере публикует работы океанографов, охватывающие весьма широкий круг вопросов гидрологии и гидрохимии. Сюда относятся работы Джаярамана (Jayaraman, 1954), Прасада (Prasad, 1954 и 1957), Рамасастри (Ramasastry, 1958), Бхаванарайяна и Ла Фонда (Bhavanarayana and La Fond, 1957), Ганапати и Мурти (Ganapati, Murthy, 1955), Кастурирангана (Kasturirangan, 1957) и др. В трудах Индийской академии наук и в др. периодических изданиях опубликованы исследования Бала, Прадхана и Гупта (Bal, Pradhan, Gupte, 1946), Ганапати, Ла Фонда и Бхаванарайяна (Ganapati, La Fond and Bhavanarayana, 1956), Джаярамана (Jayaraman, 1951 и 1957), Прасада (Prasad, 1952), Рамамурти (Ramamurthy, 1953), Мутху (Muthu, 1955), Рамасастри и Баларамамурти (Ramasastry and Balaramamurthy, 1957), Сурьянараяна Рао (Suryanarayana, 1957). «Ученые записки по океанографии», издает университет Андхра. В I томе этих записок опубликованы интересные статьи Р. Прасада Рао и Ла Фонда; Ла Фонда и Борресвара Рао; Ла Фонда, Ганапати и Мурти. Как правило, все перечисленные работы носят довольно частный характер, они посвящены рассмотрению каких-либо характеристик гидрологического режима в отдельном, небольшом районе прибрежных вод. Между тем, в связи с быстрым развитием промысла в Аравийском море и в Бенгальском заливе давно назрела необходимость выявить закономерности сезонного хода различных элементов гидрологического режима и их

взаимосвязи для всей обширной акватории, прилегающей к Индостану. В настоящей статье сделана попытка проанализировать и обобщить опубликованные в зарубежной литературе данные по гидрологии поверхностных прибрежных вод Индостана и Цейлона.

#### МАТЕРИАЛ

Мы использовали материалы наблюдений, выполненных вблизи различных пунктов Индийского побережья: данные о поверхностной температуре воды вблизи Мандапама (Маннарский залив) за период с января 1950 по декабрь 1954 г.; о поверхностной температуре, солёности и содержании растворенного кислорода в поверхностных водах на двух прибрежных станциях вблизи Каликута (Малабарский берег) за период с октября 1949 по август 1953 г.; данные о температуре и солёности поверхностных вод на прибрежной станции у Висакхапатнама (Коромандельский берег) за период с августа 1951 по июль 1952 г.; о поверхностной и придонной солёности, растворенном кислороде, силикатах, фосфатах и нитратах на двух прибрежных станциях в Маннарском и Полкском заливах за период с января 1950 по декабрь 1952 г.; данные о температуре воды, температуре воздуха, ветре и течениях, опубликованные в коллекции карт под наименованием «Океанографические и метеорологические данные по Индийскому океану» (1952). Эти карты вместе с пояснительным текстом подготовлены и изданы Нидерландским королевским метеорологическим институтом в 1952 г. Они были составлены на основании опубликованных наблюдений, сосредоточенных в Нидерландском метеорологическом институте, Британской метеорологической службе, Германской гидрографической службе и в некоторых других зарубежных учреждениях. В общем, при составлении карт данные осреднялись за период не менее 50 лет.

#### АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваемая область расположена в тропических широтах (между 10 и 23° с. ш.). Суммарная солнечная радиация здесь составляет от 160 до 180 ккал/см<sup>2</sup> в год и является наибольшей для всего Мирового океана (Морской Атлас, Т. 2). Получая такое громадное количество тепла и сохраняя в течение почти всего года весьма малые значения разности температур вода — воздух, прибрежные поверхностные воды Аравийского моря и Бенгальского залива характеризуются высокими температурами. От 80 до 120 ккал/см<sup>2</sup> в год расходуется на испарение, т. е. с каждого квадратного сантиметра поверхности моря испаряется в среднем 1750 мм воды в год или 175 см<sup>3</sup> с каждого квадратного сантиметра поверхности. Поэтому в сезонных изменениях гидрологического режима большую роль должен играть процесс осолонения поверхностных вод при сравнительно небольшом годовом ходе температур. Эта простая схема претерпевает значительные изменения под влиянием перераспределения полей атмосферного давления и возникающих при этом муссонных ветров и течений. Давая здесь лишь общую характеристику индийских муссонов, мы отсылаем интересующихся к обширной литературе, опубликованной по этому вопросу. Летний муссон наблюдается с мая по сентябрь и обладает высокой устойчивостью (свыше 80%) и скоростью (8—10 м/сек). Наибольшей силы ветер в период летнего муссона достигает в Аравийском море, в 10—15% наблюдений отмечается штормовой ветер, а в 40% сила ветра превышает 7 баллов. В Бенгальском заливе скорость ветра несколько меньше и летние штормы реже. Летний юго-западный мус-

сон называют «дождливым». В это время резко увеличивается относительная влажность (до 90%), облачность и вероятность выпадения осадков. Наибольшее количество осадков выпадает на Малабарском берегу, чему способствуют орографические причины. Переходный период между летним и зимним муссонами продолжается с конца сентября по начало ноября. Он отличается переменными ветрами и штилями, которые особенно часты в южной части Бенгальского залива. Господство зимнего муссона продолжается в среднем до марта — апреля. Сроки прекращения зимнего муссона в Аравийском море и Бенгальском заливе разные. У берегов Бенгальского залива к концу января начинают дуть южные бризовые ветры, и нередко северо-восточный муссон здесь прекращается в конце февраля. В Аравийском море северо-восточный муссон продолжается в течение всего марта и лишь в середине апреля начинает прерываться штилями и западными ветрами. Прекращается он в начале мая. В это же время начинает дуть летний муссон, приобретающий постоянный характер в конце мая. Устойчивость зимнего муссона равняется 60—80%, т. е. несколько меньше летнего; скорость ветра зимой значительно меньше, чем летом, и составляет 4—5 м/сек. Нередко наступают периоды почти полных штилей. В противоположность летнему муссону зимний несет сухой воздух, который по мере продвижения к экватору прогревается и увлажняется в нижних слоях благодаря воздействию теплой подстилающей водной поверхности. Подъем увлажненного и прогретого воздуха в верхние слои происходит довольно медленно, в результате чего в зимний период наблюдается малооблачная сухая погода. В северной части Бенгальского залива и Аравийского моря в это время года температура воздуха равняется 22—24°, а относительная влажность 75%; на юге наблюдается некоторое повышение температуры (до 27°) и относительной влажности (до 80%).

В тесной связи с муссонами находится система поверхностных течений, но совершенно неправильно считать, что система течений в точности отражает систему ветров. Анализ роз течений и их сопоставление с розами ветров, опубликованными в нидерландском издании «Indian Ocean oceanographic and meteorological data» 2Ed (1952) позволяет сделать вывод, что поверхностные течения в прибрежной зоне Аравийского моря и Бенгальского залива отличаются от преобладающих ветров и зависят от различных местных особенностей: рельефа дна, конфигурации берегов, влияния приливо-отливных явлений и т. п. Так, в районе Бомбея и Кочина с февраля по сентябрь преобладают течения, направленные на юго-восток (рис. 1), в октябре — течения переменных румбов, а в ноябре — январе у Бомбея — западные, а у Кочина — северо-западные. В Маннарском заливе с апреля по сентябрь течения направлены на юго-восток, в октябре — на восток, в ноябре преобладает северо-западный перенос вод, а затем с декабря по март течения постепенно меняют направление с западного на юго-западное. В Бенгальском заливе, у Мадраса, большую часть года (с февраля по сентябрь) наблюдаются северо-восточные течения, причем, восточная составляющая постепенно увеличивается от февраля к сентябрю. В октябре, после краткого периода неустойчивых течений, происходит резкое изменение направления на юго-запад. Течения этих румбов наблюдаются также в ноябре — декабре, а в январе направление изменяется на запад. В самой северной части Бенгальского залива, у Калькутты практически в течение года происходит смена двух направлений: восточного и западного. В феврале — октябре (т. е. большую часть года) наблюдаются течения восточных румбов, а в ноябре —



декабре западных румбов. Январь характеризуется северо-восточными течениями.

Общие представления о сезонных изменениях гидрологического режима поверхностных вод восточной части Аравийского моря и западной части Бенгальского залива (вод, омывающих Индостан) можно получить из среднемесячных карт поверхностных температур, составленных по материалам, накопленным до 1952 г. (рис. 2).

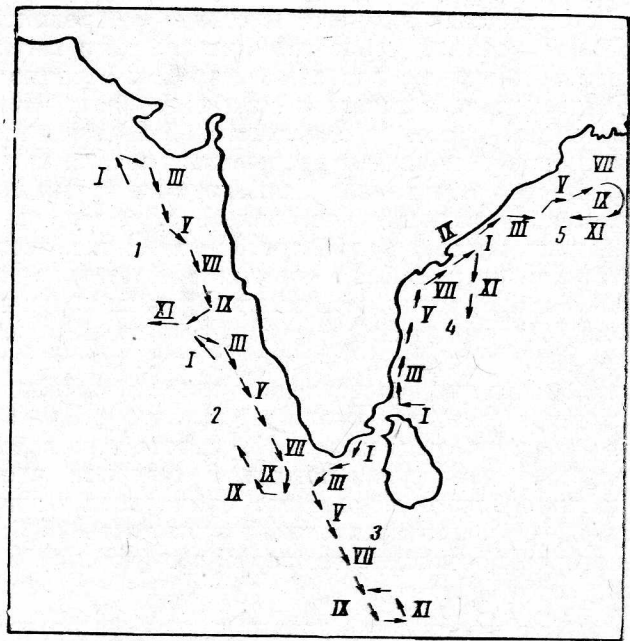


Рис. 1. Годовые изменения направлений поверхностных течений:

1 — район Бомбея, 2 — район Мангалура — Кочина, 3 — Маннарский залив, 4 — район Мадраса, 5 — район Калькутты. Римскими цифрами обозначены месяцы.

Характер и направления изотерм показывают, что в январе наиболее теплые воды ( $27^{\circ}$ ) располагаются в юго-западной части Бенгальского залива, у Цейлона и юго-западной оконечности Индостана. При этом, в Бенгальском заливе наблюдается общее движение вод с северо-востока, вдоль Коромандельского берега. В районе Цейлона этот поток поворачивает на запад, а затем, постепенно охлаждаясь, движется на север вдоль Малабарского берега. К северу от залива Кач поверхностные прибрежные воды в своем движении все более отклоняются к западу, пока не включатся в общий юго-западный поток, наблюдающийся в это время в Аравийском море. Благодаря такому изменению направления течений севернее залива Кач в прибрежной зоне наблюдается сгон поверхностных и подъем к поверхности глубинных охлажденных вод. Интенсивный сток р. Инд и других менее значительных рек способствует охлаждению воды в этом районе, здесь наблюдаются наименьшие температуры — менее  $22^{\circ}$  (на соответствующих широтах в Бенгальском заливе температура воды —  $24^{\circ}$ ). В феврале — марте происходит постепенный прогрев поверхностных вод на всей рассматриваемой акватории, причем к концу зимнего периода Бенгальский залив оказывается более теплым, чем Аравийское море.



Одновременно изменяется циркуляция поверхностных вод: постепенно ослабевает течение, идущее вдоль Коромандельского берега и вокруг Цейлона в Аравийское море, хотя вдоль Малабарского берега оно сохраняет свое направление при несколько уменьшившейся интен-

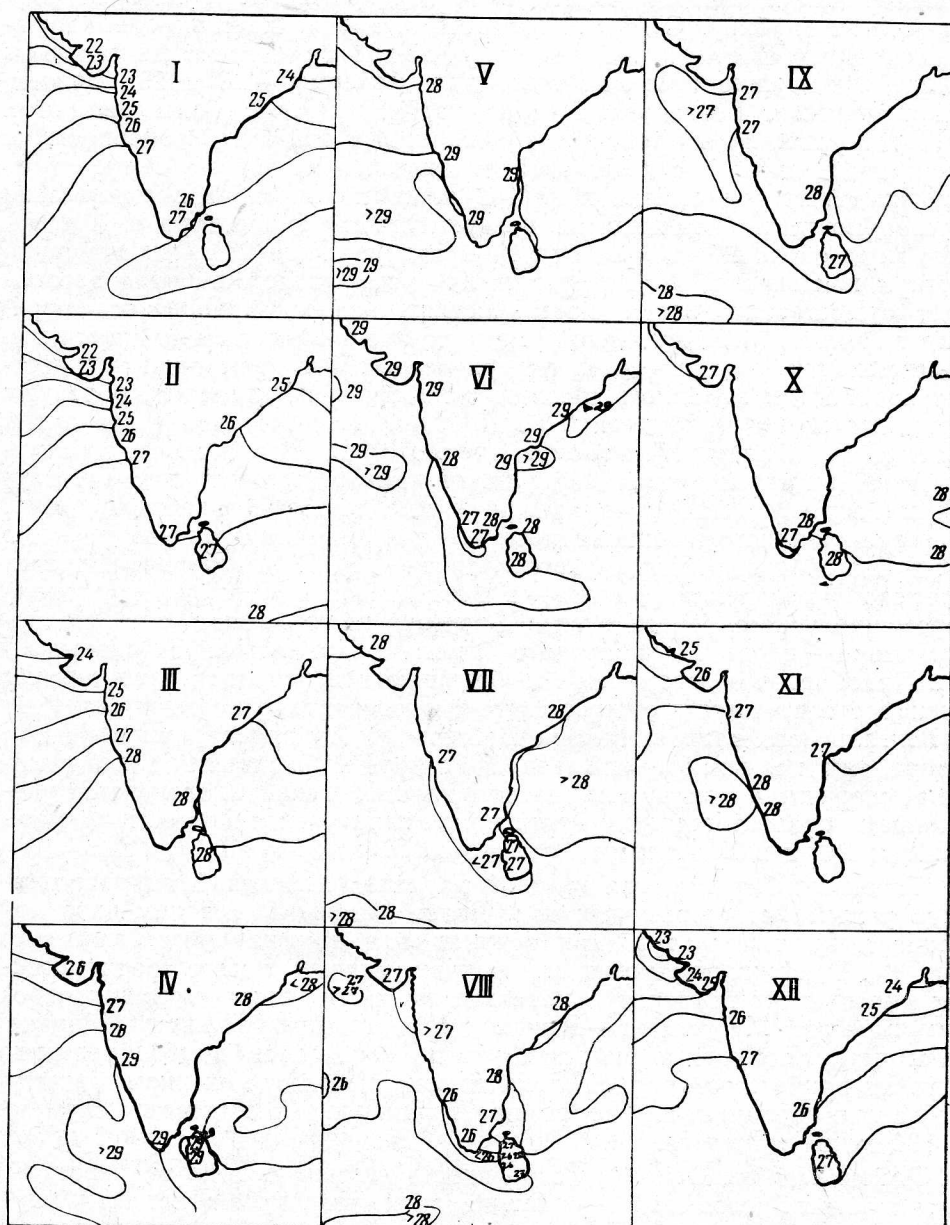


Рис. 2. Среднемесячные карты температуры воды на поверхности.

сивности потока. В марте у Коромандельского берега наблюдается противоположное (январскому и февральскому) течение — с юго-запада на северо-восток, создающее благоприятные условия для развития вертикальной циркуляции. В апреле отчетливо выражен поток из Аравийского моря вокруг Цейлона в Бенгальский залив, хорошо просле-

живаемый по ходу изотермы  $29^{\circ}$ . Ее резкие изгибы в Бенгальском заливе восточнее Цейлона указывают на антициклональный круговорот поверхностных вод, подтверждаемый также данными непосредственных наблюдений над течениями. В результате такой циркуляции здесь происходит скапливание высоконагретых вод (выше  $29^{\circ}$ ), которые опускаются на глубину. С другой стороны, в апреле наблюдается выравнивание поверхностных температур, особенно заметное в Бенгальском заливе, где можно провести всего две изотермы —  $28$  и  $29^{\circ}$ , причем, как и раньше, Бенгальский залив характеризуется более высокими температурами. Этот процесс продолжается в мае и, в особенности, в июне, когда почти на всей рассматриваемой акватории температура поверхностных вод близка к  $28^{\circ}$ . С июня по сентябрь включительно условия почти не изменяются: поверхностная температура в Аравийском море около  $27^{\circ}$  и в Бенгальском заливе около  $28^{\circ}$ . Конфигурация изотерм показывает, что на протяжении всего летнего периода продолжает существовать поток поверхностных вод из Аравийского моря, вокруг Цейлона, в Бенгальский залив, впервые обнаруженный в апреле. Такие течения, создавая сгон поверхностных и подъем подповерхностных вод вблизи западного и южного побережья Индостана, образуют отдельные пятна охлажденной воды. Наиболее отчетливо такое пятно выявляется в Маннарском заливе, где в это время года действует внутризаливная циклоническая циркуляция, способствующая подъему глубинных вод. В октябре происходит новое выравнивание температур. У северо-западного и южного побережья Индостана температура воды  $27^{\circ}$ , в южной части Бенгальского залива —  $28^{\circ}$ . В ноябре наблюдается перемена направления течений — в Бенгальском заливе они идут вдоль Коромандельского берега с северо-востока на юго-запад, а в Аравийском море — вдоль Малабарского берега с юго-востока на северо-запад. Приобретая со временем все большую интенсивность, эти течения в декабре сливаются в единую систему: поток поверхностных вод идет из Бенгальского залива, вокруг Цейлона, в Аравийское море. Как в ноябре, так и в декабре, в Аравийском море наблюдаются более высокие температуры, чем в Бенгальском заливе. Декабрь отличается увеличением горизонтальных градиентов температуры: в Аравийском море от  $27$  до  $24^{\circ}$  и в Бенгальском заливе от  $27$  до  $25^{\circ}$ .

Таков в общих чертах годовой характер изменений гидрологического режима поверхностных вод. Более детальный сезонный ход поверхностных температур прибрежных вод дан на пяти графиках (рис. 3). Графики построены по данным, снятым с карт среднемесячных многолетних температур поверхностных вод для следующих районов: Бомбея, Мангалура — Кочина, Маннарского залива, Мадраса, Калькутты. Необходимо отметить, что под «районом» подразумевается не узкая прибрежная полоса, примыкающая к тому или иному пункту, а довольно обширная акватория, простирающаяся в отдельных случаях до 130 миль от берега.

**Район Бомбея.** Основная особенность сезонного хода температуры поверхностного слоя воды — наличие двух максимумов и двух минимумов (см. рис. 3, а). Наиболее низкая температура ( $24^{\circ}$ ) наблюдается в феврале. В это время ее отклонение от среднегодовой составляет  $2,75^{\circ}$ . Затем происходит быстрое повышение температуры, и в июне она достигает своего максимума ( $29^{\circ}$ ). При этом отклонение от среднегодовой равняется  $2,25^{\circ}$ . Постепенно понижаясь, температура воды достигает второго минимума в августе ( $27^{\circ}$ ) и удерживается на этом уровне и в сентябре, при этом отклонение от среднегодовой составляет  $0,25^{\circ}$ . В октябре наблюдается второй максимум ( $28^{\circ}$ ), а затем — по-

степенное понижение температуры до февраля. Сравнение с графиком сезонного хода температуры воздуха, построенным на основе материалов, опубликованных в «World Weather Records» (1944, 1947), показывает согласованность в ходе температур воды и воздуха. Однако в отдельные месяцы наблюдаются некоторые расхождения. Разность температур вода — воздух в январе составляет  $0,7^{\circ}$  (вода теплее воздуха).

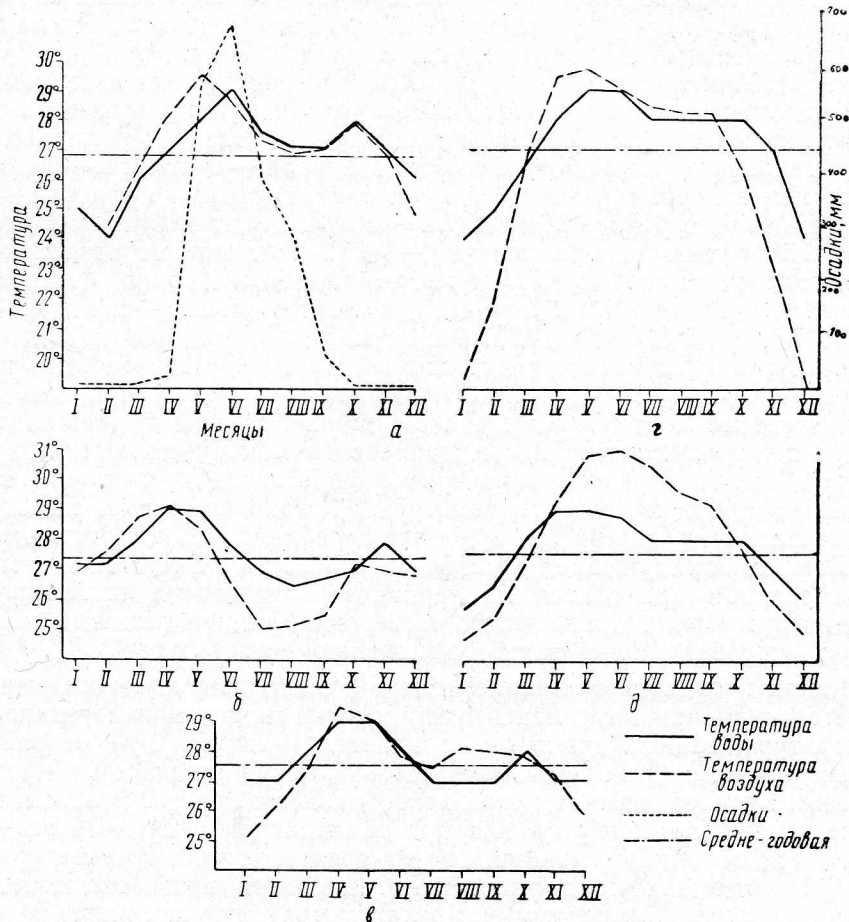


Рис. 3. Сезонный ход температур воды и воздуха:  
 а — район Бомбея, б — район Мангалура — Кочина, в — район Маннарского залива,  
 г — район Мадраса, д — район Калькутты.

В феврале она уменьшается до минус  $0,4^{\circ}$  (воздух теплее воды). Примерно такой же величиной характеризуется разность температур вода — воздух и в марте, но уже в апреле она достигает минус  $1,15^{\circ}$ , а в мае — минус  $1,5^{\circ}$ . Все это время температура воздуха превышает температуру воды. Затем происходит изменение знака разности температур, а сама величина ее уменьшается, достигая в июне  $0,4$ , в июле  $0,2$  и в августе  $0,1^{\circ}$ . В сентябре температура воздуха равна температуре воды, а в последующие месяцы наблюдается постепенное увеличение разности температур вода — воздух: от  $0,2^{\circ}$  в октябре до  $1,25$  — в декабре. Небезынтересно сопоставить эти данные с сезонным ходом осадков. С этой целью использованы данные наблюдений гидрометеорологической станции Бомбея, опубликованные в «World Weather



Records». Осенне-зимний и весенний периоды характеризуются весьма незначительными осадками, что находится в прямой связи с действием северо-восточного муссона. Зато летом, с мая по август, благодаря влиянию юго-западного муссона количество осадков резко возрастает и достигает своего максимума в мае—июне, когда наблюдаются наивысшие температуры воды и воздуха. Благодаря такому ходу осадков соленость поверхностного слоя воды увеличивается зимой и уменьшается летом. В этом же направлении действует и процесс испарения, особенно активный в осенне-зимний период.

**Район Мангалура — Кочина** в общем характеризуется теми же закономерностями: отмечается два максимума и два минимума температуры воды и воздуха. Первый максимум наблюдается в апреле, — на месяц раньше, чем в районе Бомбея, а второй — в ноябре, — на месяц позже, чем в первом районе (см. рис. 3, б). Амплитуда колебаний температуры воды в районе Мангалура — Кочина меньше, чем у Бомбея и равна  $2,5^{\circ}$ , а температуры воздуха —  $3,05^{\circ}$ . Наименьшие отклонения от среднегодовой температуры в декабре, январе и феврале (минус  $0,35^{\circ}$  в декабре и плюс  $0,15^{\circ}$  в феврале), а максимальные — в апреле—мае (около плюс  $1,5^{\circ}$ ). Если у Бомбея большую часть года наблюдаются температуры воды выше среднегодовой, то в рассматриваемом районе в течение семи месяцев наблюдаются отрицательные аномалии. Максимум осадков, как и в Бомбейском районе, в июне и приходится на период понижения температуры от первого максимума к первому минимуму. Таким образом, некоторое распреснение поверхностных вод совпадает с понижением температуры. Однако, несмотря на определенные различия, общий ход сезонных колебаний осадков, как и в районе Бомбея обнаруживает прямую зависимость от муссонов — максимумы осадков приходятся на период максимального развития юго-западного муссона, приносящего к берегам Индии влажный морской воздух, способствующий также понижению температуры.

**Район Маннарского залива**, как и два предшествующих, характеризуется наличием двух максимумов и двух минимумов поверхностной температуры воды. Однако он отличается (см. рис. 3, в) от рассмотренных районов: 1) ход температуры воды обнаруживает на протяжении семи месяцев замечательное однообразие: в январе, феврале, июле, августе, сентябре, ноябре и декабре температура одна и та же —  $27^{\circ}$ , причем эта величина отклоняется от среднегодовой температуры на  $-0,5^{\circ}$ ; 2) оба минимума характеризуются одними и теми же температурами; 3) первый максимум (апрель и май) характеризуется очень ровными температурами —  $29,0^{\circ}$ . Отклонение от среднегодовой температуры в это время равняется  $1,5^{\circ}$ . Во время второго максимума (октябрь) отклонение температуры от среднегодовой равно  $0,5^{\circ}$ . Таким образом, колебания температуры воды в Маннарском заливе очень незначительные — на протяжении 10 месяцев в году температура поверхностных вод отличается от среднегодовой на величину  $\pm 0,5^{\circ}$ . Объясняется это обособленностью Маннарского залива и наличием в этом районе хорошо выраженной внутризаливной циркуляции поверхностных течений. Значительное влияние на гидрологический режим поверхностных вод этого района оказывают муссоны.

**Районы Мадраса и Калькутты** характеризуются примерно одинаковым сезонным ходом поверхностных температур (см. рис. 3, г, д). Минимальные температуры наблюдаются в декабре — январе, а затем постепенно повышаются. Максимум отмечается в районе Мадраса в апреле — мае, а в районе Калькутты — в мае — июне. После некоторого понижения, продолжающегося в Мадрасском районе два месяца, а в

районе Калькутты — один месяц, постоянная температура сохраняется четыре месяца (июль — октябрь). Затем она резко падает до минимальной. В районе Мадраса и в районе Калькутты максимальные значения температуры (средние многолетние) равняются  $29^{\circ}$ . При этом в Калькуттском районе отклонение от среднегодовой составляет  $2^{\circ}$ , а в районе Мадраса —  $1,5^{\circ}$ . Минимальные температуры в районе Мадраса отличаются от среднегодовой на минус  $1,8^{\circ}$ , а в районе Калькутты на минус  $3^{\circ}$  (среднегодовая температура у Калькутты  $27^{\circ}$ , у Мадраса  $27,5^{\circ}$ ). Температура воздуха имеет значительно большие колебания. Годовая амплитуда колебаний ее у Мадраса равняется  $6,35^{\circ}$ , а у Калькутты  $10,35^{\circ}$ . Положительная разность температур вода — воздух в осенне-зимний период (с ноября по февраль) у Мадраса составляет примерно  $1^{\circ}$ , а отрицательная — с марта по октябрь достигает величины  $2,2^{\circ}$ . В районе Калькутты отрицательные разности сравнительно невелики — не превышают  $1,5^{\circ}$ , зато положительные, наблюдающиеся с октября по февраль, достигают  $4,5^{\circ}$ .

Изложенное позволяет вывести определенные закономерности. Вдоль западного побережья Индостана сезонный ход поверхностной температуры воды характеризуется наличием двух максимумов и двух минимумов. Первый максимум, наблюдающийся в апреле — мае, больше второго, приходящегося на октябрь. По мере продвижения с севера на юг эта разница постепенно уменьшается. Одновременно уменьшается и величина отклонений температуры от среднегодовой так, что у южной оконечности Индостана, в Маннарском заливе, она на протяжении 10 мес. равняется  $0,5^{\circ}$ . Вдоль восточного побережья Индостана сезонный ход температуры поверхностного слоя воды имеет один максимум. Другая характерная черта термического режима этой области — на протяжении почти всего лета и начала осени отмечаются однородные температуры. Здесь, как и вдоль западного побережья, на севере отмечаются довольно значительные годовые амплитуды и большие отклонения от среднегодовой температуры, по мере продвижения на юг эти величины уменьшаются.

Мы не имеем достаточного количества данных, позволяющих охарактеризовать сезонные изменения солености поверхностных вод, омывающих Индостан, с той же подробностью, с какой мы рассмотрели сезонные изменения температуры. Материалы, которыми мы располагаем, характеризуют изменения солености у западного и восточного побережья Индостана с октября по март — апрель. Для западного берега используем данные наблюдений Кастуриранга (1957) вблизи Каликута. Наблюдения проводились на станции, удаленной от берега на расстояние 8 миль, на протяжении октября — мая в 1949 — 1953 гг. Осредненные за эти четыре года величины и изменение солености у восточного побережья приведены на рис. 4. Для восточного побережья использованы данные Ганапати и Мурти (1955), полученные в результате наблюдений, проведенных с октября 1952 г. по март 1953 г. на близко расположенных друг к другу станциях, удаленных от берега на расстояние 20 миль, вблизи Висакхапатнама. В обоих случаях мы имеем дело с прибрежными водами, подверженными значительному влиянию суши. Тем не менее, эти данные в большей или меньшей степени могут отразить характер сезонных изменений солености примыкающих к Индостану вод Аравийского моря и Бенгальского залива.

Рассматриваемый сезон совпадает с периодом действия зимнего северо-восточного муссона и резким уменьшением осадков. У Висакханатнама, например, в октябре наблюдается максимум осадков (за год) — 229 мм, к апрелю количество выпадающих осадков уменьшается

до 17 мм (минимум приходится на март — 7 мм). У западного побережья (в районе Мангалура — Кочина) наблюдается уменьшение осадков с 259 мм в октябре до 54 мм в апреле (минимум в январе — 20 мм). Таким образом, увеличение солёности связано с уменьшением осадков. Рассмотрим насколько может возрасти солёность, если исключить действие всех факторов, кроме уменьшения осадков. Принимаем, что количество пресной воды, поступающей за счет уменьшения осадков, за весь рассматриваемый период уменьшается на 210 мм, т. е. из

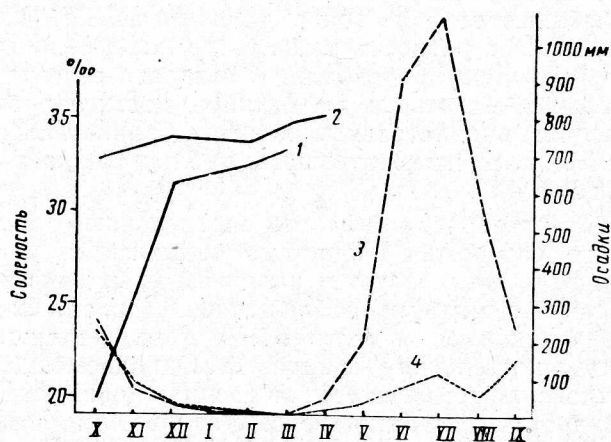


Рис. 4. Изменение солёности поверхностных вод в осенне-зимний период:  
1 — у Висакапатнама, 2 — у Каликута; сезонный ход осадков.  
3 — Аравийское море, 4 — Бенгальский залив.

каждого литра поверхностной воды (столб воды сечением 1 см<sup>2</sup> и глубиной 1000 см), как бы изымается 210 мм<sup>3</sup> пресной воды. Тогда солёность в Бенгальском заливе повысится с 20 до 20,44‰. Эта величина сильно отличается от фактически наблюдавшейся — 33,35‰. Таким образом, роль уменьшения выпадения осадков в осолонении поверхностных вод Бенгальского залива невелика.

По данным Л. И. Зубенок (1956), испарение (в мм) с 1 см<sup>2</sup> поверхности Бенгальского залива и Аравийского моря изменяется следующим образом:

Январь . . . . .	150	Июль . . . . .	200
Февраль . . . . .	100	Август . . . . .	150
Март . . . . .	100	Сентябрь . . . . .	100
Апрель . . . . .	100	Октябрь . . . . .	100
Май . . . . .	100	Ноябрь . . . . .	100—150
Июнь . . . . .	150	Декабрь . . . . .	150

Из этих данных видно, что испарение в течение года распределяется довольно равномерно и имеет два максимума — больший в июне — августе и меньший — в ноябре — январе. Летний максимум испарения совпадает с максимумом выпадения осадков, причем, в эти месяцы осадки значительно превышают испарение. Поэтому летом испарение с поверхности моря не оказывает влияния на осолонение воды. Зимой, когда выпадение осадков ничтожно, роль испарения в осолонении поверхностных вод может быть значительной. Считая, что в октябре — апреле из каждого литра поверхностной воды изымается за счет испа-



рения  $85 \text{ см}^3$  пресной воды, она осолонится до  $22,38\text{‰}$ . Эта величина также отличается от наблюдавшейся в конце рассматриваемого периода. Очевидно, в дальнейшем осолонении должны принимать участие адвективные факторы и уменьшение речного стока. На основании имеющих карт течений можно предположить, что в исследуемую область приносятся воды из открытой части океана, обладающие соленостью  $35,5\text{‰}$  и температурой  $28^\circ$ . Для выяснения роли воды, созданной совместным влиянием уменьшения осадков и увеличения испарения (I), воды открытой части океана (II) и речного стока (III) построен «треугольник смешения» (рис. 5). Смешанная вода, обладающая характеристиками, наблюдавшимися в конце рассматриваемого периода ( $S = 33,35\text{‰}$ ,  $t^\circ = 27,73^\circ$ ), состоит на 92% из II воды, на 5% из I воды и на 3% из III воды, т. е. решающую роль в повышении солености прибрежных поверхностных вод Бенгальского залива играет адвекция.

Аналогичные расчеты показывают, что в Аравийском море за счет уменьшения осадков соленость повышается от  $32,70$  до  $33,58\text{‰}$ . Испарение могло бы увеличить соленость до  $36,81\text{‰}$ , но этому препятствуют речной сток и адвекция. Пользуясь методом построения «треугольника смешения», получаем, что приток сравнительно распресненных вод соленостью  $34,5\text{‰}$  из района Цейлона (куда они выносятся из Бенгальского залива) препятствует сильному осолонению поверхностной прибрежной воды за счет испарения. Смешанная вода, характеризующаяся соленостью  $35,15\text{‰}$  и температурой  $28^\circ$ , сформирована из 58% воды цейлонского района (II), 40% вод, созданных совместным влиянием испарения и уменьшения осадков (I) и 2% вод речного стока (III) (рис. 6). В Аравийском море существенную роль в осолонении поверхностных вод играет испарение. Приведенные расчеты не претендуют на большую точность. Совместный ход процессов испарения, уменьшения осадков, адвекции и влияния речного стока весьма сложен. Однако полученные величины позволяют в первом приближении судить о роли каждого из перечисленных факторов.

Изменение солености и температуры приводит к увеличению условной плотности поверхностных вод в Бенгальском заливе от  $\sigma_t = 11,812$  до  $\sigma_t = 20,915$ , а в Аравийском море — от  $\sigma_t = 20,611$  до  $\sigma_t = 22,588$ . Столь значительное увеличение плотности поверхностных вод неминуемо должно привести к развитию конвекции. Не имея в своем распоряжении данных о вертикальном распределении температуры, солености и плотности в рассматриваемых здесь районах, мы не можем судить о возможной глубине проникновения конвективного перемешивания.

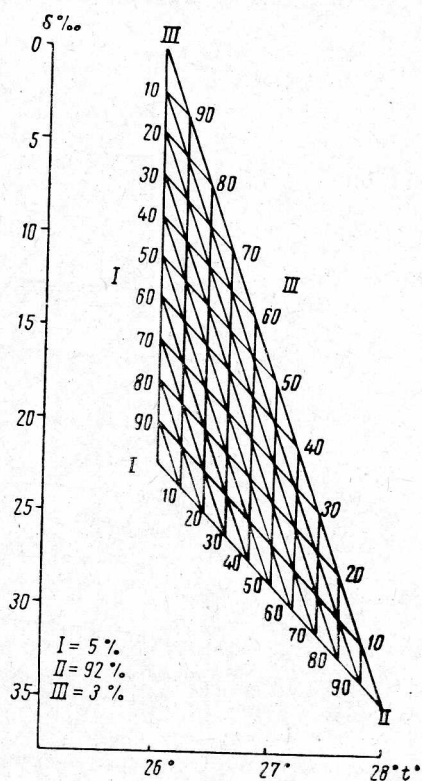


Рис. 5. Треугольник смешения вод Бенгальского залива.

Правильно чередующиеся и постоянно действующие муссонные ветры вызывают весьма устойчивые течения вдоль индийских берегов. Эти течения большую часть года в Бенгальском заливе имеют северо-восточное, а в Аравийском море — юго-восточное направление. При такой ориентации течений по отношению к берегу возникает отток поверхностных вод в сторону открытого моря и связанный с ним подъем глубинных вод к поверхности. Зимой течения, идущие вдоль берегов

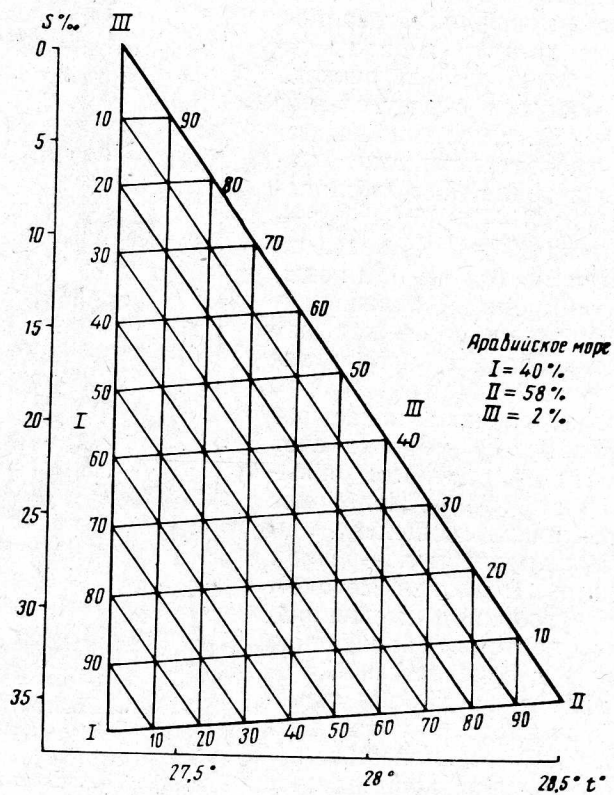


Рис. 6. Треугольник смешения вод Аравийского моря.

Индостана, меняют свое направление так, что возникает нагон поверхностных вод и их опускание в области шельфа на глубину. Ла-Фонд (La Fond, 1954), изучая распределение температуры у Висакхапатнама, установил, что в период марта — мая происходит интенсивный подъем подповерхностных вод с глубины порядка 200 м. В дальнейшем, хотя течения сохраняют свое направление, подъем подповерхностных вод значительно замедляется, что связано с значительным уменьшением скорости течения. В сентябре — октябре Ла-Фонд обнаружил опускание поверхностных вод на глубину. Эти явления нашли свое отражение в изменении поверхностных температур, солености, плотности и уровня моря. Дальнейшие исследования П. В. Бхаванараяна и Ла-Фонда (1957) показали, что в период сгона и связанного с ним подъема подповерхностных вод поверхностные воды обогащаются биогенными элементами (рис. 7, 8): содержание фосфатов в поверхностном слое увеличивается от 0,5  $\mu\text{g-атомов/л}$  до 1—1,2  $\mu\text{g-атомов/л}$ , а силикатов — от 8  $\mu\text{g-атомов/л}$  до 10  $\mu\text{g-атомов/л}$ . Это благоприятствует цветению фитопланктона, а затем и развитию зоопланктона. Это подтверж-

дается и данными Ганапати и Мурти (1955). Интенсивное развитие зоопланктона в весенний период создает обеспеченную кормовую базу для ряда промысловых рыб. Второй максимум развития фито- и зоопланктона наблюдается в ноябре и он связан с обогащением прибрежных вод биогенными элементами за счет возросшего стока рек. Последний в свою очередь — результат октябрьского максимума осадков.

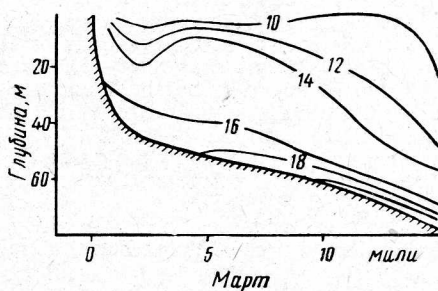
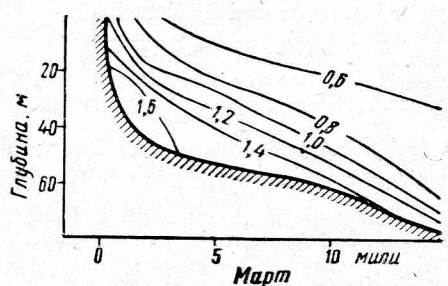
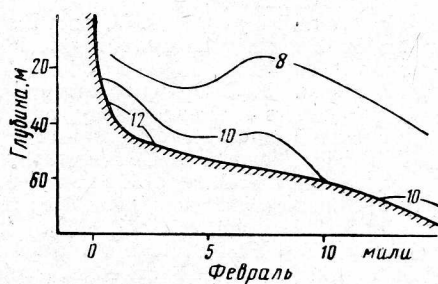
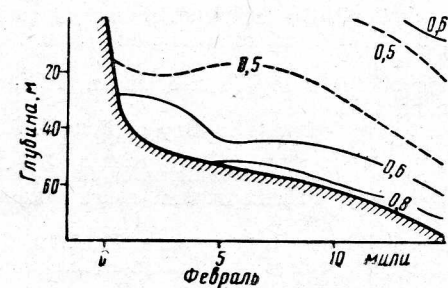


Рис. 7. Вертикальное распределение фосфатов у Валтаира в феврале и марте 1956 г.

Рис. 8. Вертикальное распределение кремния у Валтаира в феврале и марте 1956 г.

Отсутствие достаточного количества данных не позволяет пока более подробно разобраться в связях биологических процессов с факторами среды.

### ВЫВОДЫ

1. В прибрежных водах Аравийского моря и Бенгальского залива происходит интенсивное вертикальное перемешивание: весной и летом за счет сгонного подъема придонных и подповерхностных вод, а зимой — за счет конвекции, вызываемой значительным увеличением солености поверхностных вод. При этом, в Аравийском море существенную роль играет испарение.

2. Гидрологическая обстановка в рассматриваемых областях достаточно благоприятна для развития биологических процессов. Эти районы могут быть весьма перспективными с точки зрения развития рыболовства.

### ЛИТЕРАТУРА

- Атлас теплового баланса Земного шара. Под ред. М. И. Будыко.  
 Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности, Л., 1956.  
 Зубенко Л. И. Географическое распределение испарения с поверхности суши и океанов. Л., Гидрометеиздат, 1956.



- Морской Атлас Т. II.  
Муромцев А. М. Океанографическая изученность Индийского океана. «Метеорология и гидрология». 1958, № 6.  
Муромцев А. М. Плотность воды на поверхности Индийского океана. ДАН СССР. Т. 123, 1958, № 6.  
Муромцев А. М. Новые карты распределения солености на поверхности Индийского океана. «Метеорология и гидрология». 1958, № 11.  
Bal D. V., Pradhan L. B., Gupte K. G. A preliminary record of some of the chemical and physical conditions in waters of the Bombay Harbour during 1944—45. Proc. Indian Acad. Sci., 24 B, 1946.  
Bhavanarayana P. V. and La Fond E. C. On the replenishment of some plant nutrients during the upwelling period on the East Coast off India. Ind. Journ. of Fisheries, vol. IV, 1957.  
La Fond E. C. On upwelling and sinking off the East Coast of India. Andhra University Memoirs in Oceanography, vol. I, Waltair, 1954.  
La Fond and C. Borreswara Rao. Rotary currents in Bay of Bengal. Andhra University Memoirs in Oceanography, vol. I, Waltair, 1954.  
Ganapati P. N. and Murthy V. S. R. Preliminary observations on the hydrography and inshore plankton in the Bay of Bengal off Visakhapatnam coast. Indian Journal of Fisheries, vol. II, No 1, 1955.  
Ganapati H. P., and La Fond E. C. and Bhavanarayana P. V. On the vertical distribution of chemical constituents in the shelf waters off Waltair. Proc. Indian Acad. Sci., 44 B, 1956.  
Indian Ocean Oceanographic and Meteorological data. Second Edition, 1952.  
Jayaraman R. Observations on the chemistry of the waters of the Bay of Bengal off Madras City during 1948—49. Proc. Indian Acad. Sci. 33 B, 1951.  
Jayaraman R. Seasonal variations in salinity, dissolved oxygen and nutrition salts in the inshore waters of the Gulf of Mannar and Palk Bay near Mandapam. Ind. Journ. of Fish., vol. I, No 1—2, 1954.  
Jayaraman R. and Bogate S. S. Salinity and temperature variations in the surface waters of the Arabian Sea off the Bombay and Saurashtra Coasts. Proc. Indian Acad. Sci., 45 B (4), 1957.  
Kasturirangan L. R. A study of seasonal changes in the dissolved oxygen of the surface waters of the sea on the Malabar Coast. Indian Journ. of Fisheries, vol. IV, No 1, 1957.  
Muthu H. S. Unusual lowering of salinity in the Madras coastal area and its effect on the plankton. Curr. Sci., 24, 1955.  
Prasad R. R. Preliminary observations on the temperature gradient and light penetration in the upper 200 feet of water of the Bay of Bengal. Proc. Ind. Acad. Sci., Sect. A., 36, No 1, 1952.  
Prasad R. R. The characteristics of marine plankton at an inshore station in the Gulf of Mannar near Mandapam. Indian Journ. of Fisheries, vol. I, 1954.  
Prasad R. R. Seasonal variations in surface temperature of sea—water at Mandapam from January 1950 to December 1954. Indian Journ. of Fisheries, vol. IV, No 1, 1957.  
Prasad R. R. and La Fond E. C. Changes in sea level at Visakhapatnam on the East Coast of India. Andhra University Memoirs in Oceanography, vol. I, Waltair, 1954.  
Ramasastry A. A. and Balaramamurthy. Thermal field and oceanic circulation along the east coast of India. Proc. Ind. Acad. Sci., 44 B (5), 1957.  
Ramamurthy S. Seasonal changes in Hydrogen—ion concentration and the dissolved content of the surface waters of the Madras coast. Journ. Madras Univ., 23 B, 1953.  
Sewell S. Geographic and oceanographic research in Indian waters. Memoirs of the Asiatic Society of Bengal vol. 9, Calcutta, 1927—28.  
Sewell S. The John Murray Expedition 1933—1934, Scientific Reports vol. I—VIII, London, 1935—1948.  
S. V. Suryanarayan R. Preliminary observations on the total phosphorus content of inshore waters of Malabar Coast off Calicut. Proc. Indian Acad. Sci., 44 B, 1957.  
Weather in the Indian Ocean to latitude 30°S. and longitude 95°E. including the Red Sea and Persian Gulf, vol. 2, London, H. M. S. O., 1951.  
World Weather Records, Smithsonian Miscellaneous Collections, vol. 79, Publ. 2913, vol. 90, Publ. 3218, vol. 105, Publ. 3803, Washington 1944, 1947.