

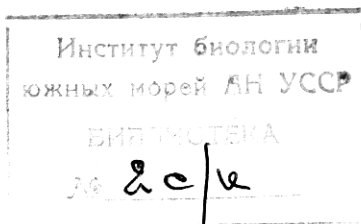
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

Экология моря

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1980 г.

Выпуск 5



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1981

**PROBLEMS AND CERTAIN RESULTS OF STUDIES
OF FUNCTIONAL RELATIONS IN PELAGIC CENOSSES
OF THE INDIAN OCEAN**

(from the results of the 4th cruise of the research vessel "Professor Vodyanitsky")

Summary

The results of hydrological and hydrochemical analyses, treatment of plankton and seston samples, the magnitude of primary production in the Indian Ocean tropical zone gave reasons to refer the investigated regions, in the main, to oligotrophic ones. For 5-8 mass species of zooplankton, the intensity of accumulation and expenditure of organic matter, role of certain biochemical substrates in its balance, time structure of motor activity were studied, the motion rates under maximum mobility are obtained. Certain physiological-and-biochemical indices of the populations state are found for the oceanic squid. The degree of the ocean pollution is estimated.

УДК 551.48(267)

В. И. ТИМОЩУК, Г. Н. МАКЕЕВ

**ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
БИОЛОГИЧЕСКИ ДЕЯТЕЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ ВОД ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА**

Основные экспедиционные исследования в 4-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» летом 1978 г. проводились на полигоне и много-часовых ст. 338, 351, 356 севернее экватора (рис. 1). Гидрологические исследования имели подчиненную роль и ограничивались регистрацией температуры и солености термогалинозондом «Исток» биологически деятельного поверхностного слоя до глубины 500 м.

Цель настоящей работы — характеристика структуры вод и водных масс в районах основных гидрологических исследований, а также определяющих их факторов, в летний сезон северного полушария.

Вся часть Индийского океана севернее 10° ю. ш. находится под сильным влиянием борических образований на Азиатском материке, которые обуславливают сезонную смену ветров-муссонов и поверхностных течений более чем на 90° по направлению. На западе, между восточной Африкой и Мадагаскаром, а также восточнее 110° в. д., южная граница муссонной области (тропический атмосферный фронт) достигает 29° ю. ш. По сезонным изменениям средних значений скорости ветра и поверхностных течений в муссонной области выделяют два неодинаковых по продолжительности периода: летний юго-западного муссона (устойчивость 80%, $8-10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) — длинный, с двумя под-периодами: раннего (май—июнь) и позднего (июль—сентябрь) лета; короткий зимний северо-восточного муссона (декабрь—февраль).

Переход от летнего муссона к зимнему происходит в октябре—ноябре, а от зимнего к летнему — в марте—апреле. В аномальные годы переходные периоды сдвигаются относительно средних [1]. Со сменой муссона происходит перестройка циркуляции вод. Преобладание определенного типа муссонной поверхностной циркуляции зависит от устойчивости атмосферной циркуляции. Скорость ветра и продолжительность сезона юго-западного муссона в области между 10° ю. ш. и 10° с. ш. более устойчива и в среднем в 2 раза выше, чем в зимний сезон северного полушария. Летний тип экваториальной циркуляции вод Индийского океана представлен двумя крупномасштабными квазиональными поверхностными течениями: юго-западным муссонным, направ-

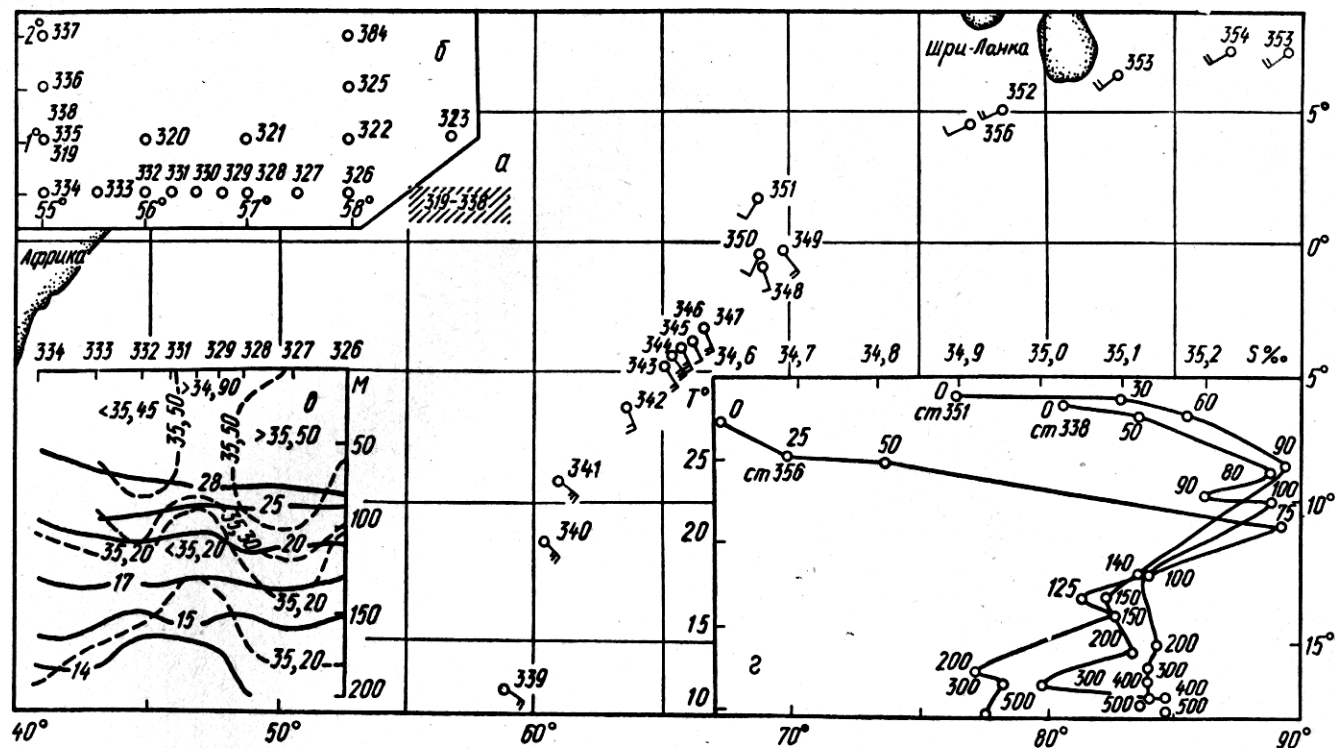


Рис. 1. Схема океанологических станций 4-го рейса НИС «Профессор Водяницкий», скорость и направление ветра во время работ на станциях:

а — полигон, б — схема станций на полигоне, в — распределение температуры и солености на разрезе полигона г—T—S-кривые многочасовых ст. 338, 351 и 356.

ленным на восток, и южным пассатным (экваториальным), направленным на запад.

Зимой под воздействием северо-восточного муссона на экваторе и к северу от него развивается направленное на запад северо-восточное муссонное течение (средняя скорость $50 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$), захватывающее тонкий (около $50\text{—}75 \text{ м}$) поверхностный слой. Крупномасштабные изменения циркуляции вод в экваториальной зоне от лета к зиме проявляются в чередовании сравнительно тонких поверхностных юго-западного и северо-восточного муссонных течений. Вследствие короткого периода зимнего муссона на экваторе и на некотором удалении от него под северо-восточным муссонным поверхностным течением сохраняется перенос, направленный на восток — экваториальное подповерхностное противотечение — течение Тареева.

Толщина северо-восточного течения убывает с востока на запад от $100 \text{ до } 75\text{—}50 \text{ м}$, а средняя скорость составляет $50 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. Ниже этого слоя до глубины $500\text{—}1000 \text{ м}$ непосредственно на экваторе наблюдается глубинное противотечение, переносящее воды с запада на восток — течение Тареева. Ядро скорости течения Тареева в среднем $60 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ может располагаться в полосе, ограниченной 2° с. ш. и 2° ю. ш. на глубине $50\text{—}300 \text{ м}$. Стержень течения заглубляется в восточном направлении от $50\text{—}75 \text{ м}$ на $54^\circ 30'$ в. д. до $200\text{—}300 \text{ м}$ на 85° в. д. Одновременно с заглублением течения уменьшается средняя скорость от $70\text{—}60 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ на западе до $20\text{—}15 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ — на востоке.

В. Г. Корт, В. Б. Титов [4], В. И. Бышев, В. Г. Нейман [3], анализируя материалы 55 рейса НИС «Витязь», отмечают пространственно-временную изменчивость системы экваториальных течений в целом и течения Тареева, в частности. Это течение всем своим потоком смещается на 20° к югу от экватора либо к северу, образуя меандры. Характерная длина меандр — до 400 миль. Временная изменчивость знака меридиональной компоненты скорости экваториальных течений восточного направления меняется в широких пределах — от 3—4 до 12—14 сут. При этом смещение происходит не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости, что способствует возникновению вертикальных восходящих и нисходящих потоков в области конвергенции. С удалением от западного района к востоку амплитуды колебаний потоков в горизонтальной и вертикальной плоскостях практически не затухают.

Таким образом, вдоль экватора через весь океан прослеживается несколько крупных потоков. Верхний слой в зависимости от сезона занят зимним, северо-восточным поверхностным течением западного направления или летним, юго-западным муссонным течением восточного направления. Отмеченные особенности переноса находят отражение в изменении основных характеристик вод, которые постепенно трансформируются под действием вертикального и горизонтального перемешивания. Основные отличительные признаки водных масс, несмотря на трансформацию, перемещение в другие природные и климатические районы, сохраняются. Согласно принятой классификации распределение структур вод, водных масс и предполагаемой меридиональной циркуляции в центральной тропической области представлено на рис. 2.

Рассмотрим в меридиональной плоскости $62^\circ 30'$ в. д. экваториальную структуру вод центральной части Индийского океана, которая ограничена с юга и севера тропическими фронтами (ЮТФ, СТФ), совпадающими с $7^\circ 30'$ ю. ш. и $7^\circ 30'$ с. ш. соответственно.

1. Поверхностная водная масса формируется в Аравийском море, где преобладает испарение над осадками, соленость возрастает с юга на север от 34,6 до 36‰ . В этом направлении происходит подъем поверхности раздела от 100 до 40 м с промежуточной водной массой и убывание концентрации кислорода от 4,5 до 4,0 мл/л.

2. Подповерхностная южная субтропическая промежуточная водная масса повышенной солености $35,0\text{‰}$ формируется в пределах южной субтропической структуры (25—35° ю. ш.). В результате превышения испарения над осадками и зимней конвекции эта водная масса опускается на глубины свыше 500 м, распространяется до СТФ, выклинивается, и на глубинах 80—100 м обнаруживаются только слабые следы.

3. Пикноклин — слой высоких градиентов плотности. Формируется зимой опусканием охлажденных вод на субантарктическом фронте и южной субтропической конвергенции. Обогащает кислородом глубинные горизонты низких широт. Язык повышенного содержания кислорода (4,0—1,0 мл/л) расположен в термоклине водной массы.

4. Красноморская промежуточная водная масса отличается соленостью $35,0\text{—}35,3\text{‰}$ и увеличивающимся содержанием кислорода от 0,5 до 1,5 мл/л по мере продвижения к югу и погружения на глубины от 400—800 до 650—1000 м.

5. Атлантическая глубинная водная масса поступает в Индийский океан с запада, севернее южного полярного фронта. На меридиональном разрезе она прослеживается по высокой концентрации кислорода (около 5,0 мл/л) и слабому максимуму солености ($34,5\text{‰}$) на соответствующих глубинах (до 2000 м). В экваториальной структуре вод атлантическая водная масса теряет свою атлантическую особенность — глубинный максимум солености.

6. Антарктическая глубинная водная масса характеризуется холодными (от 0 до 2°) солеными ($34,7\text{‰}$), богатыми кислородом (4,5—4,0 мл/л) водами. Водная масса формируется на шельфах в Индоокеанском секторе Атлантики, пересекает экватор и проникает в северное полушарие. Характеристики вод изменяются незначительно.

Сезонное изменение океанологических характеристик поверхностного слоя по вертикали определяется влиянием муссонов. В. И. Бурков, В. Г. Нейман [1] указывают, что по приближенным оценкам Дюинга глубина влияния муссонов варьирует в значительных пределах. К западу от 60° в. д. глубина влияния муссонов превышает 400 м, несколько уменьшаются глубины вдоль экватора, а в центральной части приэкваториальной полосы они меньше 100 м. К северу и югу от экватора глубины распространения возрастают, достигая на северных и южных границах муссонной области 200—250 м.

Зондирование с регистрацией температуры, солености и плотности до глубины 500 м с интервалами 10 м было выполнено на полигоне и трех многочасовых станциях, которые расположены в экваториальной

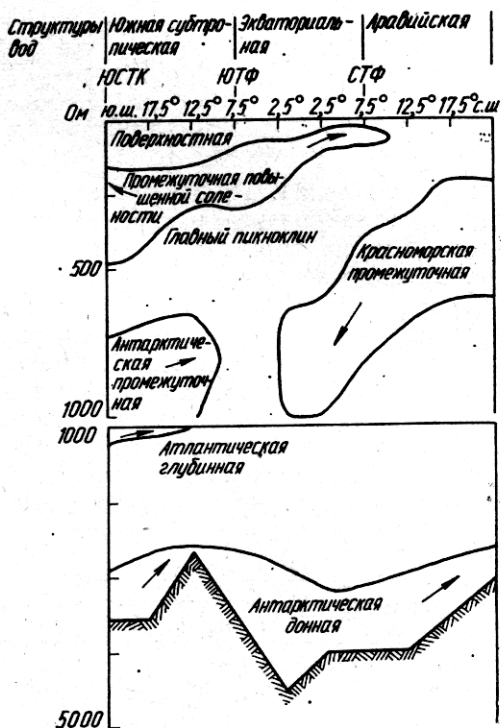


Рис. 2. Структуры вод, водные массы и элементы предполагаемой циркуляции (стрелки) на меридиональном разрезе по 62°30' в. д.:

ЮСТК — южная субтропическая конвергенция, ЮТФ — южный тропический фронт, СТФ — северный тропический фронт.

**Координаты станций, выполненных в 4-м рейсе НИС
«Профессор Водяницкий» (1978 г.)**

Номер станции	Дата	Координаты	
		φ	λ
Полигон	17.06	$0^{\circ}30' - 2^{\circ}00'$ с. ш.	$56^{\circ}00' - 55^{\circ}00'$ в. д.
338	18.06	$1^{\circ}00'$ с. ш.	$55^{\circ}00'$ в. д.
351	13.07	$1^{\circ}30'$ с. ш.	$68^{\circ}45'$ в. д.
356	25.08	$4^{\circ}23'$ с. ш.	$77^{\circ}04'$ в. д.

полосе (таблица). По результатам отдельных зондирований на полигоне построен разрез распределения термогалинных характеристик и определена их временная изменчивость. На разрезе по 1° с. ш. (см. рис. 1) отмечается общая закономерность в расположении изотерм и изогалин — заглубление изотерм с запада на восток, наличие нерегулярных короткопериодных волн, амплитуда которых с глубиной возрастает. Изогалины ниже 80 м имеют куполообразный характер.

С 07 ч 10 мин 18 июня по 00 ч 30 мин 22 июня 1978 г. на ст. 338 выполнено 6 зондирований термогалинозондом «Исток». Заметим, что интервалы времени между зондированием на станциях не одинаковы. Такой необычный порядок был продиктован насыщенной программой заборных работ. Для анализа процесса деформации полей были вычислены величины вертикальных градиентов температуры, солености и

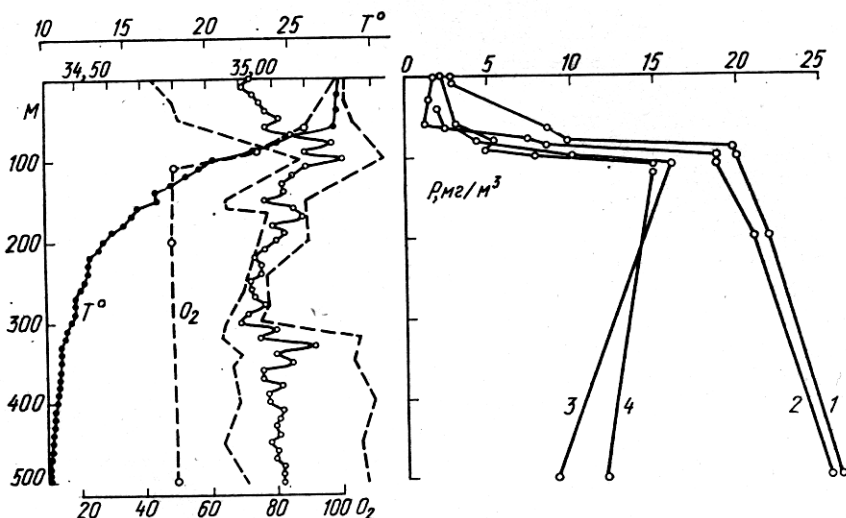


Рис. 3. Вертикальный профиль средних значений температуры, солености, относительной насыщенности кислородом на многочасовой ст. 338 и распределение фосфатов по наблюдениям:

1 — 05 ч 20 мин — 06 ч 40 мин, 2 — 12 ч 15 мин — 14 ч 10 мин, 3 — 21 ч 15 мин — 22 ч 10 мин, 20.06.1978 г., 4 — 02 ч 35 мин — 03 ч 35 мин, 22.06.1978 г.

условий плотности. Кроме того, использованы наиболее рациональные методы статистики при обработке материалов наблюдений по температуре и солености на стандартных и учащенных горизонтах. На рис. 3—5 представлены распределение среднеквадратических значений солености и размах изменчивости на отдельных горизонтах $\bar{S}_{(z)}$; $RS_{(z)} = S_{(z)\max} - S_{(z)\min}$, а также среднеквадратические значения температуры ($\bar{T}_{(z)}$). Размах изменчивости температуры на всех профилях в поверхностном слое не превышает $1,5^{\circ}$, а ниже слоя скачка находится в пределах точности измерений ($0,05 - 0,01^{\circ}$). В отношении осредненных

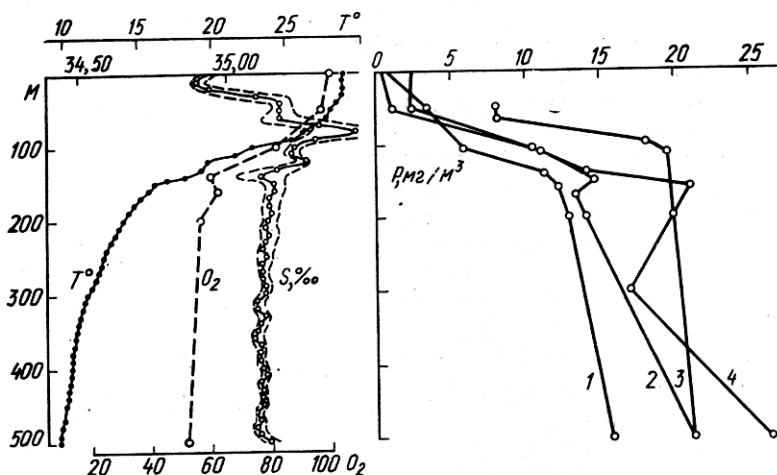


Рис. 4. Вертикальный профиль средних значений температуры, солёности, относительной насыщенности кислородом на многочасовой ст. 351 и распределение фосфатов по наблюдениям:

1 — 05 ч 25 мин — 06 ч 15 мин, 2 — 13 ч 30 мин — 14 ч 30 мин, 3 — 19 ч 05 мин, 14.07.1979 г., 4 — 23 ч 30 мин — 00 ч 40 мин, 13 — 14.07.1978 г.

профилей солёности можно сказать, что они практически обладают наиболее общими деталями и экстремальными точками вертикального распределения (поверхностный квазиоднородный слой, галоклин, переходный, промежуточный, точки перегиба), но на этом фоне, помимо сглаживания осреднением, сохраняются наиболее острые неровности в различных пределах вертикального и горизонтального масштабов.

За рассматриваемый период (89 ч) вертикальная термогалинная структура на ст. 338 изменялась на всех горизонтах.

По величинам вариации солёности на горизонтах вертикального профиля статистически достоверно выделяются три основных слоя:

1. Поверхностный слой: колебания солёности от 34,74 до 35,32‰ на поверхности, 34,88—35,22‰ — на нижней границе слоя (55—60 м);

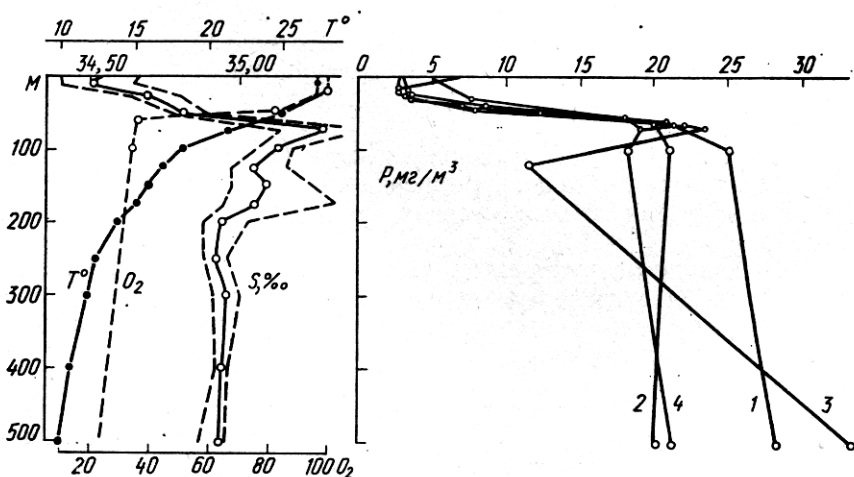


Рис. 5. Вертикальный профиль средних значений температуры, солёности, относительной насыщенности кислородом на многочасовой ст. 356 и распределение фосфатов по наблюдениям:

1 — 05 ч 30 мин — 07 ч 05 мин, 2 — 12 ч 00 мин — 13 ч 15 мин, 27.08.1978 г., 3 — 17 ч 05 мин — 18 ч 30 мин, 26.08.1978 г., 4 — 00 ч 05 мин — 01 ч 30 мин, 27 — 28.08.1978 г.

2. Переходный: а) верхний слой повышенной солености — 35,00—35,22‰ на поверхности, 34,88—35,22‰ на нижней границе слоя (55—60 м); б) переходный нижний слой понижающейся солености до 34,95‰ глубиной до 300 м.

3. Промежуточный слой повышенной солености (35,00—35,35‰), соответствующий верхним горизонтам слоя главного пикноклина. При этом переходный слой минимальных вариаций солености совпадает с максимальными вертикальными градиентами температуры.

Распределение температуры и солености на разрезе по 1° с. ш. и структурные термогалинные неоднородности на вертикальном профиле ст. 338 можно рассматривать как адвекцию глубинных вод, отличающихся пониженной соленостью и температурой.

На многочасовой ст. 351 зондирования выполнялись 14 июля 1978 г. Несмотря на короткий период наблюдений, общие черты термогалинной структуры экваториальной полосы сохранились. Величины вариации солености по всем горизонтам не превышали 0,18‰. В тонком 40-метровом поверхностном слое наблюдалось увеличение солености с глубиной от 34,90—34,96‰ на поверхности, до 35,15—35,25‰ на нижней границе.

Четко выражен переходный слой, состоящий из верхнего слоя с возрастающей соленостью до 35,60‰ на 90-метровой глубине и нижнего переходного слоя с пониженной соленостью 35,20—35,03‰ на 140—150-метровой глубине. В переходном слое отмечены максимальные вертикальные градиенты температуры.

Промежуточный слой, или слой главного пикноклина, представлен водной массой соленостью 35,12‰, низкими величинами вариаций солености 0,04‰ и постепенно понижающейся температурой до 16° на 150-метровой глубине и до 10° на 500 м.

Зондирование на ст. 356 проводилось 26, 27 августа 1978 г. Отмечено понижение солености в поверхностном слое от 34,40—34,65‰ на поверхности до 35,15—35,45‰ на 75-метровом горизонте. Хорошо выражен переходный слой с понижением солености до 34,87‰ на 200-метровой глубине. В переходном слое величины вариации солености составляли 0,28‰. В промежуточном слое, главном пикноклине, резких отклонений солености от 34,93 не наблюдалось, а величины вариации не превышали 0,07‰. Поверхностный изотермический слой сравнительно тонкий с резким скачком температуры на 30-метровой глубине. Нижние границы термоклина (14°) и переходного слоя залегают на 200-метровой глубине.

Обобщающую картину адвекции и изменения термогалинной структуры биологически деятельного поверхностного слоя в приэкваториальной полосе во время летнего муссона видим из анализа *TS*-кривых (см. рис. 1, 2).

Термогалинная структура ст. 338 обусловлена влиянием периферии апвеллинга, вода с несколько пониженной температурой и соленостью, структура осложнена многочисленными прослойками повышенной солености красноморских вод за счет преобладающего испарения над осадками.

Ст. 351 удалена к востоку на 820 миль от ст. 338 и отличается меньшей изменчивостью солености по всем горизонтам вертикального профиля, несколько меньшей соленостью гомогенного поверхностного слоя и более высокой соленостью четко разделенного переходного слоя. Поверхностный слой находится под распределяющим влиянием трансформированных вод Бенгальского залива, красноморских вод повышенной солености Персидского залива и Аравийского моря.

Ст. 356 удалена к востоку на 520 миль от ст. 351. Здесь сильнее сказывается влияние вод Бенгальского залива, где преобладают осадки над испарением, которые вызывают в итоге уменьшение солености по-

верхностного слоя. Воды повышенной солености Аравийского моря опускаются в промежуточный слой.

Таким образом, приведенные наблюдения и анализ термогалинной структуры находятся в хорошей согласованности с динамикой вод и атмосферными процессами этого района.

1. Бурков В. А., Нейман В. Г. Общая циркуляция вод Индийского океана. — В кн.: Гидрология Индийского океана. М.: Наука, 1977, с. 8—91.
2. Бышев В. И., Нейман В. Г. О временной изменчивости течения Тарева. — В кн.: Гидрология Индийского океана. М.: Наука, 1977, с. 104—109.
3. Корт В. Г., Титов В. Б. О меандрировании экваториальных течений Индийского океана. — В кн.: Гидрология Индийского океана. М.: Наука, 1977, с. 104—109.
4. Морской атлас. — [Б. М.]. Мор. ген. штаб, 1952, 1953. — Т. 1—2.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
04. 01. 80

V. I. TIMOSHCHUK, G. N. MAKEEV

HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF BIOLOGICALLY ACTIVE SURFACE LAYER OF THE INDIAN OCEAN EQUATORIAL WATERS

Summary

The paper deals with the vertical characteristic of water and water masses structures (up to 500 m) at three multihour stations located in the equatorial bent. Temperature variation in all the surface layer profiles does not exceed 1.5°, below the jump layer it is within the limits of measurement accuracy (0.05-0.01°). Salinity varied within the 34.40-35.60‰ range. The layer of minimum salinity variation coincides with maximum vertical temperature gradients.

УДК 551.464

В. И. ТИМОЩУК, З. П. БУРЛАКОВА, Г. Н. МАКЕЕВ

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИ ДЕЯТЕЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ ВОД ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

В данной работе изложены результаты определений кислорода и фосфатов на многочасовых станциях во время 4-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Гидрологическая характеристика района исследований и вертикальная термогалинная структура вод по материалам рейса изложены, а также представлены графиками вертикального распределения кислорода и фосфатов в работе [5] настоящего сборника. Считаю возможным использовать принятую классификацию водных масс экваториальной структуры по В. А. Буркову и В. Г. Нейману, характеристика которых приведена в упомянутой статье настоящего сборника.

Многочасовые ст. 338, 351, 356, на которых сделаны гидрохимические определения, находятся в экваториальной структуре вод (рис. 1, 2). По утверждению исследователей, эта структура состоит из водных масс, поступающих из Аравийского моря и Бенгальского залива, где формируются воды с самым низким содержанием кислорода благодаря специфическим гидрологическим условиям и относительно большому количеству органического вещества. Температура воды на промежуточных глубинах очень высокая — 10—20°, что ускоряет окисление органического вещества [1—3].