

ПРОВ. 1265

ПРОВ 98

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

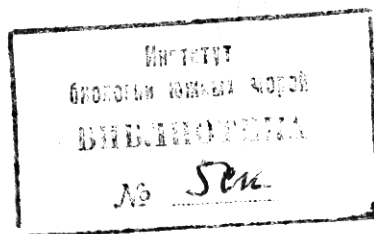
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 39

ВОПРОСЫ ГИДРОБИОЛОГИИ ПЕЛАГИАЛИ
И ПРИБРЕЖНЫХ ВОД
ЮЖНЫХ МОРЕЙ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1976

го планктона. Тунисский пролив по своему видовому разнообразию занимает промежуточное положение между этими районами.

Таким образом, видовое разнообразие фитопланктона по численности и биомассе в Тунисском проливе несколько изменялось в зависимости от сезона (в среднем более высокое в теплое время) и времени суток и обуславливалось гидрологическими особенностями данного района. Значительно ниже оно было в поверхностных атлантических водах, увеличивалось в промежуточных и резко снижалось в глубинных левантийских водах. Для отдельных участков пролива зимой обнаружена положительная корреляция видового разнообразия фитопланктона с температурой ($r=0,56$, при $P=95\%$). Величины индекса видового разнообразия как по численности, так и по биомассе, полученные для фитопланктона Тунисского пролива, оказались средними по сравнению с другими исследованными в эти периоды районами Средиземного моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиева Л. В. Фитопланктон Тунисского пролива.— В кн.: Исследования водообмена через Тунисский пролив и Босфор. Киев, «Наукова думка», 1976, 158—188.
2. Гиляров А. М. Индекс разнообразия и экологическая сукцессия.— Журн. общ. биол., 30, 6, 1969, 652—658.
3. Заика В. Е., Андрищенко А. А. Таксономическое разнообразие фитопланктона и зоопланктона Черного моря.— Гидробиол. журн., 1969, V, 3, 12—19.
4. Макфедьен Э. Экология животных. «Мир», М., 1965, 5—375.
5. Рудяков Ю. А. Применение индексов разнообразия в гидробиологических исследованиях.— Тр. Ин-та океанологии, 65, 1964, 3—16.
6. Margalef R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton.— In: Perspectives in marine biology. Univ. California Press, 1958, 36—71.

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

Поступила в редколлегию
1.VII 1975 г.

УДК 551.463.262. (261)

Э. П. Б и т ю к о в

ЗВУКОРАСSEИВАЮЩИЕ СЛОИ И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТРОПИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Исследования звукорассеивающих слоев (ЗРС) методом низкочастотного эхолотирования широко применяются, в частности, проводились в последнее время в Атлантическом океане и морях его бассейна [1, 2, 6, 7, 9 и др.]. Однако данные имеются для ограниченных акваторий. Показано, что ЗРС находятся в основном ниже 100 м, причем часть из них мигрирует ночью к поверхности с глубин 300—500 м. Данные о существовании ЗРС часто могут служить косвенным показателем уровня биологической продуктивности района. Поэтому в 27 рейсе НИС «Михаил Ломоносов» в южной части тропической области Атлантики в январе—марте 1973 г. проводились исследования их топографии по маршруту судна и на многосуточных полигонах [4].

ЗРС исследовались при непрерывной регистрации на частотах 20 кГц с помощью эхолота «Лодар» типа 1АХ, имеющего диаграмму направленности 12°. Для регистрации измерений использовался на переходах прецизионный самописец «Ладога», а на полигонах — рекордер эхолота.

Обработка материалов эхолотирования ЗРС заключалась в масштабировании эхограмм и построении профилей изобат ЗРС в верхней 600-метровой толще воды. В качестве ЗРС при этом идентифицировались участки потемнения бумаги регистрирующего прибора при определении глубины их залегания с помощью отсчетной шкалы. Регистрация ЗРС производилась непрерывно на протяжении 62 суток по маршруту и в

течение 11 суток на полигонах в центральной и западной частях Южно-Атлантического антициклонального круговорота. В результате оказалось возможным выявить протяженность ЗРС и основные черты их суточной вертикальной миграции.

Общей для всего района оказалась постоянная регистрация ЗРС в вечернее, ночное и утреннее время. Днем слои наблюдались в восточной части океана при переходах судна по районам с повышенным или

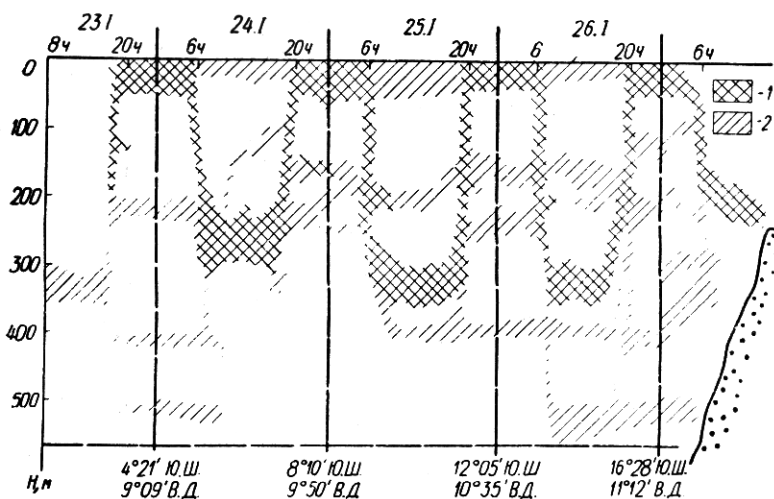


Рис. 1. Пространственное распределение звукорассеивающих слоев в Атлантическом океане при переходе от $1^{\circ}38'$ ю. ш. и $8^{\circ}40'$ в. д. до $18^{\circ}57'$ ю. ш. и $11^{\circ}47'$ в. д. в январе 1973 г.:

1 — «сильные» слои, 2 — «слабые» слои.

средним уровнем биологической продуктивности, но их обычно не было в центральной и западной его частях — в районах с пониженным развитием жизни.

Как пример одного этапа измерений на рис. 1 показано распределение ЗРС в дневное и ночное время в январе 1973 г. При этом для биоакустической характеристики этого района использовались основные методические положения, разработанные К. В. Беклемишевым [3] для эхолотной регистрации скоплений макропланктона Тихого океана.

Из рис. 1 видно, что звукорассеяние в толще воды четко регистрировалось на всем участке перехода, протяженностью более 1000 миль. Глубина обнаружения ЗРС достигла 550 м. Регистрация их началась после пересечения судном мелководной банки, когда глубина резко увеличилась до 2000, а через сутки — до 4000 м. Для сопоставления результатов измерения по маршруту усиление приемного тракта зондирующей акустической аппаратуры над глубоководным участком поддерживалось постоянным. В результате по степени потемнения бумаги в зависимости от интенсивности звукорассеяния в толще воды оказалось возможным выделить условно «сильные» и «слабые» слои.

На рассматриваемом участке маршрута наблюдалось сходное вертикальное распределение слоев и тождественный ритм их суточных вертикальных миграций. Набор ЗРС здесь обуславливался несколькими скоплениями организмов, число которых увеличивалось по мере продвижения к югу, т. е. к районам с повышенным уровнем биологического продуцирования.

В дневное время на северном участке маршрута можно выделить только один звукорассеивающий слой на глубине 300—350 м. С заходом солнца, в 18 ч 30 мин по судовому времени, организмы из этого слоя начинали быстро подниматься. При этом часть их задерживалась на глу-

бине 200—230 м, образуя в течение ночи четкий слой, а остальные организмы поднимались в верхние слои — на глубину 50—60 м. Этот подъем происходил 50 мин. Одновременно отчетливое звукорассеяние проявлялось на глубинах 400—420 и 500—520 м. Очевидно, появление этих слоев было обусловлено подъемом на эти глубины более глубоководных организмов. Таким образом, в темное время суток на северном участке выделялось четыре звукорассеивающих слоя. В 6 ч 10 мин, т. е. с началом рассвета, организмы из верхнего звукорассеивающего слоя начали быстро опускаться. За 25 мин верхняя граница этого слоя достигла 230 м, т. е. опускание до этой глубины шло со скоростью около 6 м/мин. На глубинах 230—300 м часть макропланктонных организмов сформировала слой интенсивного звукорассеяния, который сохранялся на протяжении светлого времени суток. Остальной планктон продолжал опускаться и соединялся с организмами, находящимися на глубине 400—420 м, однако скопления в этом слое, а также в слое 500—520 м, постепенно рассеивались, в результате чего к 8 ч 45 мин ЗРС на этих глубинах перестали регистрироваться. Вероятно, исчезновение этих слоев связано с биоокеанологическими характеристиками этого района. Только через сутки эффект звукорассеяния на сходных глубинах снова проявился.

Аномальное расположение ЗРС наблюдалось между 6° и 7°25' ю. ш., когда по эхограмме с 9 ч прослеживался отрыв от основного звукорассеивающегося слоя (200—220 м) слабого по интенсивности рассеяния звука второго слоя. Глубина его залегания постепенно уменьшалась на протяжении перехода в светлое время суток до 100—110 м, а вечером он слился в ЗРС, образующимся после вертикального подъема организмов. Можно предположить, что такое аномальное расположение ЗРС на протяжении светлого времени суток связано с вертикальной структурой водных масс этого района. Такая топография слоя свидетельствует, очевидно, о подъеме на этом участке глубинных вод, в результате чего глубина залегания слоя температурного скачка уменьшалась, вызвав соответствующее изменение расположения организмов. Следует отметить, что совпадение границы исчезновения слоев на глубинах 400—420 и 500—520 м и начала описанного выше аномального подъема слоя в дневное время до глубины 100 м также может подтверждать предположение о подъеме глубинных вод в этом районе.

В последующие трое суток глубина залегания ЗРС в дневное и ночное время, ритм и скорость их суточной вертикальной миграции были почти такие же, как 22 января. Некоторая разница (по местному времени) в началах спуска и подъема слоев, как это видно из рис. 1, объяснялась перемещением судна, идущего курсом 170°, и соответствующим изменением сроков восхода и захода солнца. Так, в 7 ч солнце оказывалось в каждые последовательные сутки на 1,8—2° выше. Поэтому, например, начало спуска звукорассеивающих слоев с 6 ч 10 мин 23 января сместилось через трое суток на 5 ч 30 мин.

Поскольку режим освещенности в дневные часы в значительной мере обусловлен состоянием облачности, то некоторые изменения глубины дневного залегания звукорассеивающих слоев, заметные на рис. 1, отражают состояние облачности в течение дня. В приэкваториальной области общая и нижняя облачности приближались к полной. С 10° ю. ш. общая облачность, представленная слабыми облаками, по-прежнему закрывала почти весь небосвод, однако нижняя облачность значительно уменьшилась. Это уменьшение происходило также на протяжении дня. Так, 26 января облака, формирующие нижнюю облачность рассредоточились, поэтому звукорассеивающий слой во второй половине дня опустился несколько глубже, чем в предыдущие дни, чтобы остаться в оптимальных для себя условиях освещенности [8].

При приближении к африканскому материку, к концу перехода, топография звукорассеивающих слоев усложнилась и число их ночью

27 января увеличилось до шести. Днем при подходе судна к шельфу ЗРС прижимался ко дну, имея толщину около 40 м.

Основные ЗРС на участке маршрута НИС «Михаил Ломоносов» 23—27 января 1973 г. от $01^{\circ}38'$ до $18^{\circ}57'$ ю. ш. оказались следующими.

1. Мигрирующий слой, «сильный», с четко выраженной суточной миграцией. Днем 23 января животные, населяющие ЗРС, фиксировались на склоне подводного хребта. Этот слой имел толщину 60—80 м. Глубина его залегания днем была около 300 м, а ночью он поднимался в поверхностную толщу воды. На протяжении пяти суток спуск животных продолжался 50 мин, подъем — 40 мин.

2. Мигрирующий слой толщиной 40 м; верхняя граница ночью — 200 м. Слой мигрирует утром вниз, сливаясь со слоем 1.

3. Регистрируемый ночью слой толщиной 20—30 м. Верхняя граница — 400 м. Утром организмы, формирующие этот слой, рассредотачиваются.

4. Аналогичный слой толщиной 20—40 м с верхней границей ночью на глубине 500 м. В южной части маршрута этот слой регистрировался также днем.

Такая схема распределения ЗРС оказывалась типичной для участка маршрута от 6° с. ш. и $13^{\circ}30'$ з. д. до выхода на шельфовый участок у юго-западной Африки. Специально следует выделить здесь приэкваториальный участок в Гвинейском заливе от 2° с. до 2° ю. ш., где регистрировались концентрированные ЗРС, что также служит подтверждением высокой биологической продуктивности этого района [5]. В частности, здесь постоянно наблюдался глубоководный слой толщиной около 50 м с верхней границей на глубинах 480—560 м. Он состоял из организмов, постоянно здесь обитающих, а в светлое время суток к ним присоединялись также мигранты из ЗРС, располагающихся в ночное время выше.

В северо-западном участке Гвинейского залива и к северу от него также ежедневно регистрировались ЗРС. Для этих участков характерно отсутствие в светлое время суток ЗРС на глубинах 500—600 м. На северном участке маршрута ЗРС совершали интенсивные суточные вертикальные миграции, при которых в ночное время вся масса звукорассеивателей концентрировалась в верхних 180—200 м. Для дневного времени трудно установить закономерность в расположении слоев в этом районе, поскольку часто наблюдалось исчезновение какого-либо слоя и появление его вновь на той же глубине через несколько десятков миль. Очевидно, это связано со сложной гидрологией района, где проходит Канарское течение, а северо-восточный пассат в зимний период приводит к расширению областей прибрежных апвеллингов. Это обуславливает мозаичность в количественном развитии пелагических сообществ и распределении соответствующих ЗРС.

Аналогичная сложная система ЗРС наблюдалась в начале перехода из района прибрежного апвеллинга у берегов юго-западной Африки (от 26° ю. ш.) к острову Святой Елены. Протяженность этого участка, где наряду с четко регистрируемыми тремя-четырьмя звукорассеивающими слоями наблюдались многочисленные косяки рыб, была около 400 миль. Затем, очевидно, из-за уменьшения обилия звукорассеивателей, что соответствовало схеме продукционных процессов этой части океана, регистрация ЗРС стала менее четкой, а западнее острова Святой Елены на большей части маршрута интенсивность звукорассеяния была незначительной. В центральной и северо-западной частях антициклонального круговорота ЗРС регистрировались только в сумеречное и ночное время. Ночью они наблюдались в верхнем 120-метровом слое. Вечером после захода солнца ЗРС начинали формироваться на глубине 180—250 м, затем мигрировали к поверхности, а в утренние часы опускались до 150—200 м и затем рассредотачивались. Такая картина распределения ЗРС наблю-

далась на большей части широтного и меридионального участков маршрута, т. е. в малопродуктивной, олиготрофной зоне.

Постоянное существование ЗРС днем на глубинах 300—500 м регистрировалось только в приэкваториальном районе, севернее 4° ю. ш., а также на западной периферии антициклонального круговорота. В частности, в этом районе удалось провести более детальные наблюдения над мигрирующими звукорассеивающими слоями.

Наблюдения над вертикальными миграциями ЗРС были выполнены на полигоне с координатами 23° ю. ш. и 23° з. д. и регистрировались на

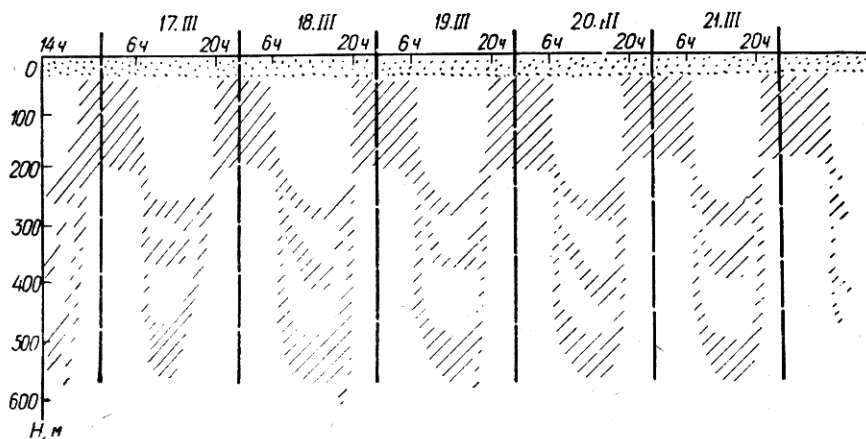


Рис. 2. Суточные вертикальные миграции звукорассеивающих слоев на западной периферии Южно-Атлантического антициклонального круговорота 17—22 марта 1973 г.

рекордере эхолота в диапазоне измеряемых глубин 300 и 600 м при общей глубине на полигоне более 2 тыс. м. Такая вертикальная развертка измерений была разработана для увеличения масштаба эхолотирования в верхнем биологически более деятельном слое. Регистрация ЗРС проводилась при одновременном определении уровня надводной освещенности с помощью люксметра Ю-16.

В районе проведения работ суточное вертикальное распределение ЗРС соответствовало широко распространенному в Мировом океане типу миграции, с опусканием слоев на большие глубины в утренние часы и их подъемом вечером. На рис. 2 изображено распределение ЗРС на протяжении шести суток. Работы были начаты в 14 ч 16 марта 1973 г.

В дневное время регистрировалось два среднеглубинных и один глубоководный слой. Глубины залегания верхних границ среднеглубинных слоев соответствовали для первого 220—240, а для второго 340—350 м. Толщина этих ЗРС была около 25 м. Верхняя граница глубоководного слоя приурочена к 500 м. Исключением оказался пасмурный день 17 марта. Из-за плотной облачности в светлое время суток величина освещенности с 10 ч неуклонно падала и была в среднем в два—пять раз меньше, чем в остальные дни (рис. 3). В результате подъем слоев начался значительно раньше, чем в безоблачные дни.

Заход солнца в дни проведения измерений приходился на 19 ч 44 мин. Начало подъема ЗРС отмечалось обычно около 17 ч. Так, 18 марта к 17 ч 10 мин второй среднеглубинный слой поднялся по сравнению со своим расположением в 16 ч 20 мин на 20 м. Следует отметить, что именно около 17 ч происходило уменьшение надводной освещенности почти в 2 раза (рис. 3). Несмотря на последующее увеличение освещенности, это ослабление, очевидно, оказалось сигналом для начала подъема. В начальной фазе подъем ЗРС происходил медленно, со средней ско-

ростью около 1 м/мин. Интенсивный подъем слоев начинался за 15—18 мин до захода солнца, когда, например, 20 марта звукорассеивающий слой с глубины 350 м переместился за полчаса на глубину 60 м. Скорость подъема в этом случае оказалась равной 9,6 м/мин. Скорость около 10 м/мин была характерной при всех наблюдениях вечернего подъема. Окончание интенсивного подъема обычно завершалось к 20 ч 20 мин. При этом верхняя граница слоя достигала 30 м, т. е. минимальной глубины, регистрируемой эхолотом. В течение ночи звукорассеивающие организмы занимали верхнюю толщу воды до глубины 180—190 м, находясь в рассредоточенном состоянии.

Опускание организмов-зукорассеивателей начиналось с рассветом. В 7 ч уровень надводной освещенности не превышал 0,5 лк и такая слабая освещенность не являлась сигналом к началу их миграции. В 7 ч 8 мин, когда освещенность над водой достигла 2,5 лк, слои начали опускаться и с увеличением освещенности скорость их миграции увеличилась, достигая максимума при восходе солнца в 7 ч 36 мин. Скорость опускания в это время оказывалась близкой 13 м/мин. Интенсивное опускание заканчивалось к 8 ч 15 мин при уровне надводной освещенности около 6 тыс. лк. Крейсерская скорость при спуске оказывалась несколько меньше, чем при подъеме вечером, и равнялась 7 м/мин. В последующее время (до 11 ч) слои медленно опускались со скоростью 0,5 м/мин с 9 до 10 ч и со скоростью 0,2 м/мин до 11 ч. Затем на протяжении 4—5 ч слои располагались на одной глубине и лишь после 16 ч организмы вновь начинали свой медленный подъем, ускоряя его темп по мере склонения солнца к горизонту.

Следует отметить, что вертикальное распределение температуры в районе работ характеризовалось наличием значительных градиентов в слоях поверхностного и глубинного температурных скачков. До глубины 40 м наблюдалась полная гомотермия при температуре 28,4°. Ниже располагался термоклин, в котором в диапазоне до 60 м температура понижалась до 24,4°. Глубже градиент уменьшался и температура плавно снижалась до 17,5° на глубине 200 м. Этот 200-метровый слой находился под влиянием Бразильского течения и отделялся от расположенной ниже Центральной Южно-Атлантической водной массы вторым слоем скачка температуры и плотности. Он обуславливал снижение температуры на глубине 500 м до 9,3°. Такая температурная стратификация не являлась препятствием для миграции ЗРС. Организмы этих слоев во время интенсивной миграции за минуту преодолевали градиент в 1,1—1,3°, несколько снижая скорость при пересечении верхнего термоклина.

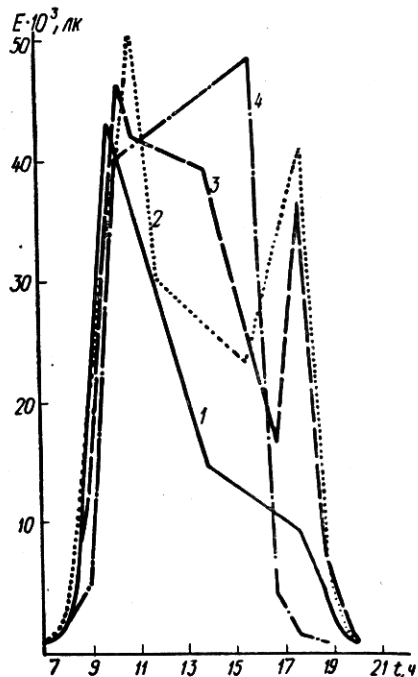


Рис. 3. Надводная освещенность на полигоне 23° ю. ш., 23° з. д. в марте 1973 г.: 1—17.III; 2—18.III; 3—19.III; 4—20.III.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева И. Б. Акустические характеристики звукорассеивающих слоев в океане и данные эхолотных наблюдений и непосредственных обловов.— Океанология, 1965, 5, 6, 1028—1037.

2. Андреева И. Б. О глубине залегания звукорассеивающих слоев Атлантического океана.— Океанология, 1973, 13, 5, 782—786.
3. Беклемишев К. В. Эхолотная регистрация скоплений макропланктона и их распределение в Тихом океане.— Труды ИО АН СССР, 1964, 65, 197—229.
4. Грезе В. Н., Ковалев А. В., Хлыстов Н. З. Гидрофизические и биологические исследования пелагиали Южной Атлантики и Средиземного моря.— В кн.: «Экспедиционные исследования в Южной Атлантике и Средиземном море. 27-й рейс НИС «Михаил Ломоносов». Киев, «Наукова думка», 1975, 3—11.
5. Грузов Л. Н. Формирование скоплений зоопланктона в пелагиали Гвинейского залива.— Труды АтлантНИРО, Калининград, 1971, 37, 406—428.
6. Макитас Я. П., Рябцев Ю. Я. Результаты наблюдений звукорассеивающих слоев в Атлантическом и Индийском океанах в экспедиционном рейсе НИС «Сергей Вавилов».— Океанология, 1973, 13, 3, 505—511.
7. Пономарева Л. А. Мигрирующие звукорассеивающие слои в Атлантическом океане.— Океанология, 1974, 14, 5, 907—911.
8. Kampa E. M., Boden B. P. Submarine illumination and the twilight movements of a sonic scattering layer.— Nature, 1954, 174, 4436, 869—871.
9. Vučetić T., Kačić I. Fluctuations of zooplankton and echo-trace abundance in the Central Adriatic.— FAO. Cons. gen. peches Meditter, 1973, 53, 19—38.

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

Поступила в редколлегию
20.VI 1975 г.

УДК 577.472 : 551.463

Ю. Н. Токарев

ВЛИЯНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ПЛАНКТОНА НА ОСЛАБЛЕНИЕ СВЕТА

Решение многих актуальных вопросов развития морской техники, физической океанологии, прикладной гидрооптики и продукционных процессов Мирового океана связано с изучением проникновения и распространения света в водной толще.

Изучая вертикальную структуру водной толщи, исследователи обнаружили на разных глубинах один или несколько слоев пониженной прозрачности, природа которых объяснялась по-разному. После того как Йозеф [12] получил линейную зависимость между показателем ослабления света и концентрацией минеральных частиц в море, такая же связь была обнаружена между концентрацией фитопланктона и ослаблением света [2], между биомассой зоопланктона и ослаблением света [4]. В 1959 г. Ерлов [11] теоретически обосновал образование слоев пониженной прозрачности, полагая, что основную массу вещества слоев мутности составляет неживая материя. Это мнение Ерлова подвергли критике Г. Г. Неуймин и Н. А. Сорокина [6], которые пришли к выводу о справедливости положения Ерлова лишь для глубоководных оптических рассеивающих слоев. Слои мутности в эвфотическом слое океана, по их мнению, образуются за счет скопления живых организмов.

Лоренцен [13] сделал попытку дифференцировать роль фитопланктона, детрита, растворенной органики и минеральных частиц в ослаблении света в эвфотическом слое. Он пришел к выводу, что все эти факторы играют различную роль в зависимости от глубины эвфотической зоны. Так, области высокой биологической продуктивности характеризуются тонким эвфотическим слоем, в котором ослабление света происходит за счет фитопланктона. С утолщением эвфотической зоны, все большую роль в ослаблении света играют различные взвешенные в воде частицы, и, наконец, сама водная толща. При этом наиболее сложным оказывается учет влияния на ослабление света планктонных организмов. Во многом это объясняется тем, что различные группы планктона по-разному влияют на прозрачность воды. Так, в работе А. Г. Наумова и Л. А. Поно-