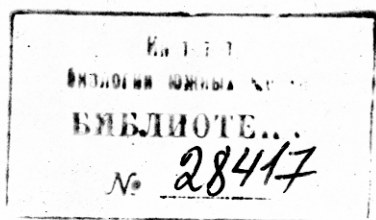


АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ПРОВ 98

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
И ПОВЕДЕНИЕ
МОРСКОГО ПЛАНКТОНА
В СВЯЗИ
С МИКРОСТРУКТУРОЙ
ВОД



организмы размером более 0,6-0,7 мм; $A_{\text{пл}}$ - количество планктона, измеренное "ТРАПом" в пересчете на 1 м^3 .

Средний процент отклонения составляет 12,2. Это показывает достаточно высокую сходимость количественных данных, полученных с помощью "ТРАПа" и сетей. Выбросы более 25% можно объяснить наличием в пробе большого количества медуз, что снижало чистоту опыта.

Главное назначение "ТРАПа" - определять не только общее количество, но и распределение планктона по глубине. Характерные кривые вертикального распределения планктона, построенные по результатам показаний "ТРАПа", приведены на рисунке. В сетяных пробах просчитывался только *Calanus helgolandicus*.

Проведенная работа и анализ полученных материалов показали, что новый зондирующий прибор "ТРАП" вполне пригоден для оценки количества и характера распределения планктона в водной толще и может быть после окончательной доработки рекомендован для использования в практике гидробиологических исследований.

УДК 577.472:551.463

Л.В.Кузьменко, А.Е.Шершнев.

Д.Е.Левашов

О ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕСТОНА В ВОДАХ ЧЕРНОГО, ЭГЕЙСКОГО И ИОНИЧЕСКОГО МОРЕЙ

Изучение зависимости между распределением сестона в воде и ее прозрачностью представляет интерес как для исследования природы слоя мутности, так и при решении ряда актуальных проблем гидробиологии, поскольку образование первичного органического вещества растительным планктоном в процессе фотосинтеза на различных глубинах связано с уровнем естественной подводной освещенности. В связи с этим в период 76-го рейса нис "Академик А.Ковалевский" (июнь - август 1975 г.) в западной галистатической области Черного моря и в глубоководных районах Эгейского и Иони-

Черного моря: проведены комплексные работы по определению вертикального распределения сестона и показателя ослабления света в зависимости от тонкой структуры водных масс.

Показатель ослабления света в различных участках спектра измерялся логарифмическим фотометром-прозрачномером ЛФП-2. Одновременно с этим отбирались пробы воды пятилитровым пластиковым батометром. Для устранения влияния магнитного поля Земли ЛФП-2 был оборудован защитным экраном, что существенно отличает его от ранее применявшейся модели [3]. Принцип работы ЛФП-2 следующий: луч света, создаваемый искусственным источником, пройдя базовое расстояние, отражается от зеркала и попадает на фотоприемник, где световой поток преобразуется в электрический сигнал, который подается на двухкоординатный самописец. Таким образом, практически непрерывно фиксируется изменение показателя ослабления света морской водой в связи с изменением содержания в ней взвешенных частиц на различных глубинах. ЛФП-2 был снабжен пятью светофильтрами, пропускающими свет с длиной волны $\lambda = 425, 495, 540, 600$ и 640 нм, что позволяло поочередно производить измерения в пяти различных участках видимой области спектра. Для контроля показаний ЛФП-2 проводилось точечное зондирование на каждом светофильтре с одновременной записью изменений показателя ослабления света на различных глубинах. В экстремальных точках и вблизи них батометром отбирали однолитровые пробы воды, которые фиксировались формалином для последующей обработки. Часть воды из этого же батометра отфильтровывалась без вакуума или под давлением не более $0,1 - 0,2$ кг/см² на высушенные и предварительно взвешенные мембранные фильтры № 4 (размер пор $0,9$ мкм). В зависимости от концентрации в воде взвешенных частиц отфильтровывался различный объем воды (от 200 до 1000 см³). Подсчитывались и измерялись частицы на влажных фильтрах под микроскопом МБИ-3 при максимальном освещении осветителя ОИ-24. Непосредственно фиксировались частицы размером от 5 мкм и выше; более мелкие частицы учтены лишь в общем весе сестона.

Все частицы были отнесены к трем группам: клетки растительного планктона, зоопланктонные организмы, частицы минерального и органического происхождения. Каждая из этих групп делилась также на три размерные фракции: $5 - 50$, $50 - 100$ и более 100 мкм. В Черном море измерения показателя ослабления света проводились на семи станциях; в Эгейском и Ионическом морях - на десяти. Всего просмотрено и взвешено 146 фильтров.

Обработка собранного материала позволила провести анализ распределения различных компонентов сестона и изменения показателя ослабления света по глубинам с применением светофильтров, пропускающих свет разной длины волны. В период наших исследований на черноморском полигоне наблюдалась довольно четкая стратификация вод с ярко выраженным скачком плотности на глубинах 10 - 22 м. Основная масса фитопланктона, минеральной и органической взвеси концентрировалась выше слоя скачка, где были зарегистрированы максимальные показатели ослабления света во всех исследованных участках видимой области спектра. Глубже этого слоя (до 80 м) прозрачность воды значительно увеличивалась. Максимальные величины численности фитопланктона (60 - 95 тыс.кл/л) отмечались на поверхности или у верхней границы термоклина. Наиболее интенсивно здесь развивались перидиниевые водоросли, такие как *Euxisella cordata*, *E. compressa*, *Prorocentrum micans* и различные виды рода *Ceratium*. В большинстве случаев положение слоя повышенной мутности по показаниям светофильтров в сине-зеленой и красной областях спектра совпадает со слоями, где суммарный фитопланктон обнаруживался в сравнительно больших количествах. Известно, что клетки растительного планктона благодаря содержанию в них хлорофилла и других пигментов поглощают свет в сине-голубом и красном участках видимого спектра /5, 10/.

Характерной особенностью распределения сестона на станциях, выполненных в июне, являлось доминирование (до 80-95%) в его составе клеток растительного планктона в слое до скачка плотности. Глубже, где распределение прозрачности воды было обычно равномерным, сестон состоял в основном из минеральных и органических частиц. Мигрирующие зоопланктонные организмы обнаруживались на фильтрах редко и не играли заметной роли в распределении сестона в исследованном слое.

Обращает на себя внимание некоторое несоответствие между показателями ослабления света водой и количеством сестона на поверхности и на отдельных горизонтах верхнего 20-метрового слоя, где пробы воды отбирались через 1-3 м, хотя характер кривых распределения сестона и прозрачности воды были почти одинаковы. Вероятно, это объясняется тем, что запись показателя ослабления света проводилась непрерывно, тогда как пробы сестона отбирались батометром лишь в экстремальных точках, и поэтому возможны ошибки в расположении максимумов и минимумов количества сестона и

значений показателя ослабления света по вертикали в пределах 1 м, особенно при тонком слое повышенной мутности. Значительно реже такое несоответствие наблюдалось в более глубоких слоях воды со сравнительно высокой прозрачностью. Наиболее обильная группа сестона — клетки растительного планктона, минеральные и органические частицы размером 5 — 50 мкм. В составе фитопланктона в исследованном слое доминировала *Ehviaella cordata* (менее 20 мкм). На отдельных станциях на глубине 50 — 60 м (в слое повышенной солености) наблюдалось некоторое увеличение количества средних и крупных клеток растительного планктона (более 50 мкм) из родов *Rhizosolenia*, *Ceratium*, *Dinophysis*, *Peridinium*.

Кривые распределения показателя ослабления света, полученные с применением светофильтров в голубой, зеленой и красной областях спектра, на всех станциях были идентичны и имели высокие значения для верхних слоев, что сравнительно хорошо согласуется и с распределением сухого веса сестона (рис. I, а, б, в, г). На совпадение слоев пониженной прозрачности с содержанием в них взвешенного вещества в водах Черного моря указывалось и раньше [4].

Применение в наших исследованиях указанных выше светофильтров не позволило установить взаимосвязи между содержанием в воде самых мелких частиц взвеси и показаниями ЛФП-2. Как правило, максимальное количество органических и минеральных частиц не соответствовало показателям ослабления света водой. Особенно четко это проявлялось в слоях глубже 20 м, где количество мелких компонентов взвеси было также сравнительно велико, а на глубинах 70 — 80 м оно в отдельных случаях даже приближалось к максимальным значениям для той или иной станции, тогда как показатели ослабления света были низкими. По-видимому, применение светофильтров с меньшими полосами пропускания позволит установить более точное соответствие между содержанием взвешенного вещества, его составом и мутностью воды.

Интересно сопоставить данные по распределению сестона с прозрачностью воды, полученные на станциях 14 — 15 июня в течение 15ч. Здесь слой максимальной мутности по показаниям ЛФП-2 (на всех светофильтрах) стабильно держался на глубинах 13 — 22 м, т.е. выше скачка плотности. Количество минеральной и органической взвеси оставалось примерно на одном уровне, но наблюдались колебания численности клеток растительного планктона и изменения в его качественном составе. За указанный период времени вес сесто-

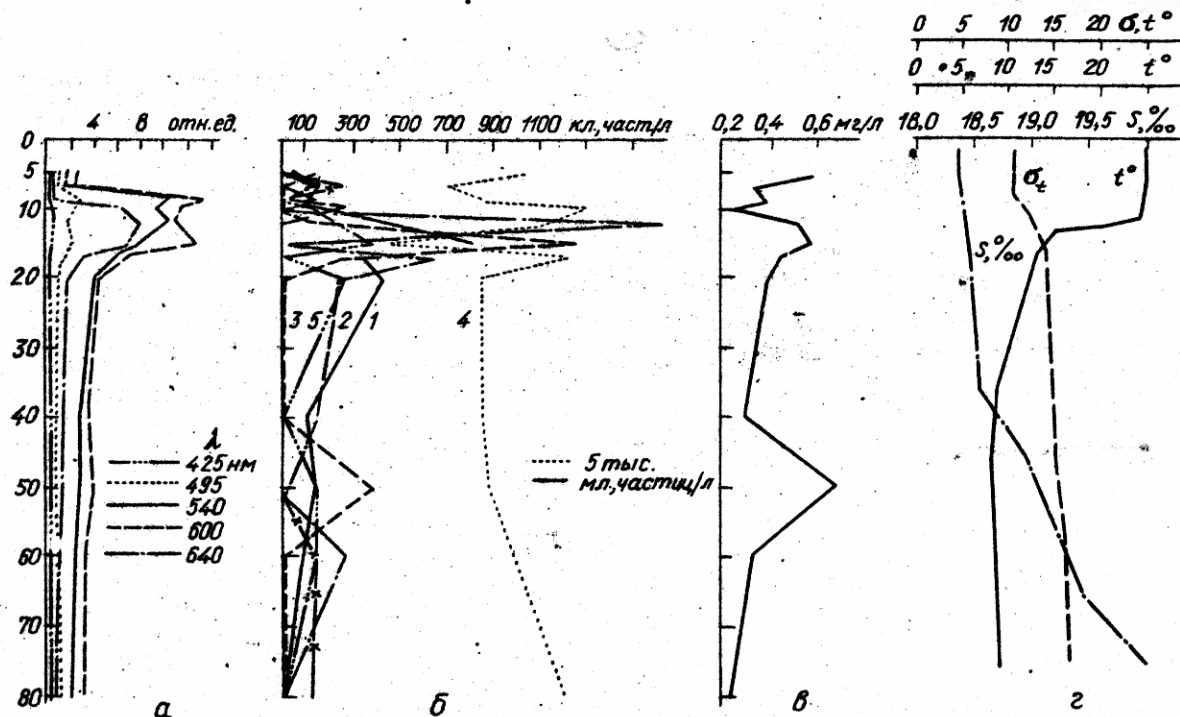


Рис.1. Распределение показателей ослабления света (а), различных компонентов сесто́на (б), сухого веса сесто́на (в) и гидрологических элементов (г) в центральных районах Черного моря: клетки фитопланктона размером, мм : 1 - 5 - 50; 2 - 50-100; 3 - больше 100; частицы взвеси, мм : 4 - 5-50; 5 - 50-100; 6 - больше 100.

на и количество мелких клеток фитопланктона в верхнем 22-метровом слое снижались почти в три раза вследствие выедания их растительноядным зоопланктоном в ночные часы. При этом, однако, показатели ослабления света почти не изменились. Максимальная мутность отмечалась в том же слое при значительном увеличении в результате деления числа клеток фитопланктона размером более 50 мкм из родов *Rhizosolenia* и *Ceratium*, поглощающая способность света которых, вероятно, была высокой. По-видимому, эти крупные клетки не употреблялись в пищу фитофагами.

Характерная особенность вод Эгейского моря — наличие небольших скачков плотности в слое 0 — 80 м, где содержание сестона находилось в тесной взаимосвязи с изменениями температуры или солености, что отмечается и для других районов Мирового океана [1, 2, 8]. Максимальное количество взвешенных частиц, так же как и в Черном море, отмечалось над скачками плотности, которые обычно располагались в слое 7 — 50 м. В отличие от вод Черного моря основную массу сестона здесь составляли минеральные и органические частицы (таблица). Количественные показатели развития фитопланктона были сравнительно низкими (0,1–1,2 тыс. кл/л). В вертикальном распределении фитопланктона в верхнем 80-метровом слое наблюдалось обычно два максимума: на поверхности (или вблизи нее) и на глубине 20 — 25 м. Основу фитопланктона составляли мелкие клетки (10 — 20 мкм) из родов *Coccolithus*, *Euximella*, *Amphidinium*, *Chaetoceros*, однако их роль в общем количестве и весе сестона была незначительной. Тем не менее содержанию клеток растительного планктона довольно хорошо соответствовали показатели ослабления света в голубой, зеленой и красной областях спектра. Ослабление света в воде, определяемое геометрическим сечением взвешенных частиц, должно быть пропорционально их содержанию, однако, как и в Черном море, здесь не выявлено соответствия между распределением минеральных и органических частиц размером менее 20 мкм и мутностью воды. Более четко проявлялась связь между распределением слоя повышенной мутности и общим весом сестона.

Органические частицы или так называемая желтая субстанция, образующаяся в результате разложения растительных и животных остатков, хорошо фиксируется при использовании светофильтров в сине-зеленой области спектра [6]. Несоответствие между показателями ослабления света и содержанием мелких частиц в воде, возможно, вызвано тем, что основу взвеси составляли частицы минерально-

Содержание сестона и показатель ослабления света
в водах Черного, Эгейского и Ионического морей
(в среднем для слоя 0-80 м)

Море	Показатель ослабления света, отн.ед. $\lambda = 425 \text{ нм}$	Сухой вес сестона; мг/л	Фитопланктон		Сред- ний раз- мер кле- ток, мкм	Доминирующие виды	Минераль- ные и ор- ганичес- кие час- тицы		Сред- ний раз- мер час- тиц, мкм	Общее количе- ство сестона	
			кл./л	%			част./л	%		кл., част./л	%
Черное	4,6	0,39	20204	75	25	<i>Euxivalle cordata</i> Ostf., <i>Ex. compressa</i> Ostf., <i>Prorocentrum micans</i> Ehr., <i>Ceratium furca</i> (Ehr.) Clap et Lechn.	6532	25	15	26736	100
Эгейское	0,5	0,37	215	1	15	<i>Coccolithus huxleyi</i> (Lohm.) Kempt., <i>C. sibogae</i> (Web. van Bos.) Schill., <i>Euxivalle compressa</i> Ostf., <i>Amphidinium</i> sp., <i>Chaetoceros</i> sp.	19545	99	18	19760	100
Ионическое	1,0	0,38	444	2	20	<i>Coccolithus huxleyi</i> (Lohm.) Kempt., <i>C. sibogae</i> (Web. van Bos.) Schill., <i>Peridinium</i> sp., <i>Rhizosolenia</i> sp., <i>Nitzschia</i> sp.	18447	98	16	18891	100

го происхождения размером менее 5 мкм, которые не учитывались на фильтрах, но входили в общий вес сестона. По данным Ю.Е. Очаковского [7], в водах Средиземного моря значительную часть органической взвеси составляют частицы размером 10 - 25 мкм и неорганической - 1 - 2,5 мкм. Он не обнаружил связи между показателями ослабления света и концентрацией этих частиц в воде, но коэффициент корреляции между весом взвеси и мутностью воды был сравнительно высок ($0,70 \pm 0,054$).

На многослойной станции в Ионическом море в верхнем 20-метровом слое наблюдались резкие колебания температуры и солености. В вертикальном распределении показателя ослабления света отмечалось несколько слоев пониженной прозрачности с максимальными значениями для слоя 4-10 м. Верхний 20-метровый слой характеризовался необычайно тонкой, слоистой структурой вод, где очень мутная вода перемежалась со сравнительно прозрачными слоями. Кривая вертикального распределения клеток растительного планктона, численность которого здесь была в 2 - 4 раза выше, чем в Эгейском море, характеризовалась несколькими максимумами в верхних слоях. Размеры клеток растительного планктона в среднем были несколько выше, чем в Эгейском море, поскольку в планктоне, помимо мелких форм из рода *Coccolithus*, встречались также сравнительно крупные (более 50 мкм) виды из родов *Rhizosolenia*, *Peridinium*, *Nitzschia*.

Анализом кривых вертикального распределения фитопланктона и показателя ослабления света установлено, что клетки растительного планктона даже в небольших количествах (0,6 - 1,4 тыс. кл/л) поглощают свет в голубом и зеленом участках спектра. Значительную долю сестона составляли мелкие (5 - 25 мкм) частицы, поэтому распределение общего веса сестона согласуется с их количеством в исследованном слое.

По данным З.З. Финенко и сотрудников [9], взвешенные частицы размером 5 - 50 мкм в Ионическом море на 60 - 80% состоят из детрита, а на долю фитопланктона вместе с мелкими жгутиковыми, которые почти все разрушаются при фильтрации, приходится 5 - 14%. Поскольку распределение сухого веса сестона в какой-то мере согласуется с количеством мелкой взвеси, можно предположить, что в период наших исследований размерная фракция 5 - 50 мкм, которая доминировала в сестоне, состояла в основном из детрита. В отличие от Черного и Эгейского морей, здесь слабо проявлялась связь между весом сестона и показателем ослабления света. Сравнительно вы-

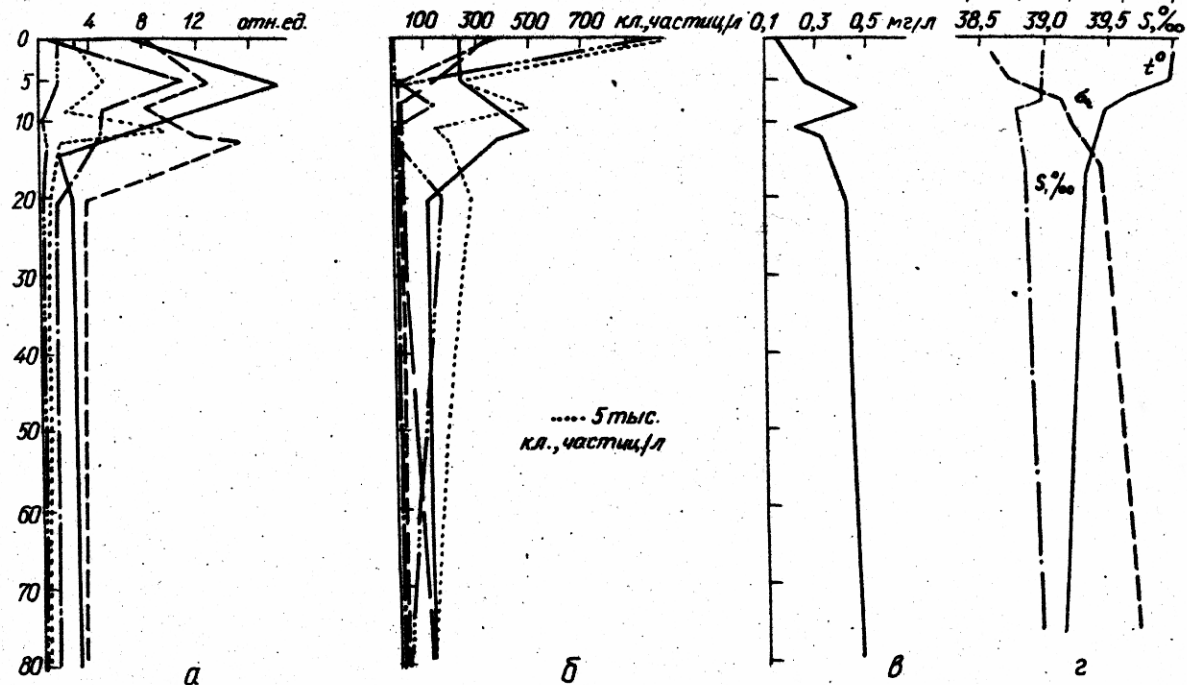


Рис.2. Распределение показателей ослабления света, различных компонентов сестона, сухого веса сестона и гидрологических элементов в Ионическом море. Обозначения те же, что на рис.1.

оокому содержанию взвешенных частиц в водах Ионического моря не всегда соответствовали показатели ее мутности (рис.2, а, б, в, г). Содержание органических и минеральных частиц, общий вес сестона, соотношение между клетками растительного планктона и другими компонентами сестона в Эгейском и Ионическом морях были довольно близкими (таблица).

Таким образом, предварительная обработка и анализ зависимости показателя ослабления света от содержания сестона в водах Черного, Эгейского и Ионического морей показали, что суммарный фитопланктон, входящий в состав сестона, в большинстве случаев поглощает свет в голубой, зеленой и красной областях видимого спектра. При одинаковом среднем весе сестона в этих морях, но доминировании в его составе клеток растительного планктона, например в Черном море, показатель ослабления света в 4-9 раз выше (см. таблицу), что указывает на высокую поглощающую способность света фитопланктоном. Вертикальное распределение сестона и мутность воды тесно связаны с гидрологическими условиями. Наиболее мутные слои с высоким содержанием сестона располагаются над слоями скачка температуры или солености. Максимальные показатели ослабления света, как и всех компонентов сестона, чаще всего отмечались для верхнего 25-метрового слоя, хотя по отдельным горизонтам, особенно при тонкой оптической структуре вод, их значения не всегда соответствовали друг другу, что, возможно, связано с несовершенством методики сбора проб сестона при непрерывной регистрации прозрачности воды. Использование в наших исследованиях широкополосных светофильтров не позволило выявить соответствия между вертикальным распределением мелких взвешенных минеральных и органических частиц и показателем ослабления света.

Литература

1. Кайгородов М.Н., Башарин В.А., Михайлов Э.А., Нарусевич Т.Ф. Оптическая структура пассатной зоны Атлантического океана и ее связь с физико-биологическими условиями. - Морские гидрофиз. исслед., 1973, № I (60), с.226-234.
2. Кобленц-Мишке О.И., Козлянинов М.В. Вертикальное распределение фитопланктона и прозрачности воды в северной части Тихого океана. - ДАН СССР, 1966, 166, № 2, с.459-461.
3. Ли М.Е., Михайлов Э.А., Неудин Г.Г. Новый логарифмический фотометр-прозрачномер. - В кн.: Исследования межведомственной экспедиции в Северо-западной Атлантике. Севастополь, 1969, с.71-76.
4. Нарусевич Т.Ф. Содержание взвешенного вещества и фитопланктона в слоях пониженной прозрачности в открытых районах Черного моря. - Морские гидрофиз. исслед., 1972, № 3, с.198-205.
5. Нарусевич Т.Ф. Изучение оптических свойств ряда культур морских планктонных водорослей. - Биология моря, 1975, вып.34, с.47-52.

6. Неуймин Г.Г., Аникин Ю.А. Измерение подводной освещенности в Черном море. - Вопросы физики моря, 1966, 37, с.229-247.
7. Очаговский Ю.Е. О зависимости показателя ослабления света от содержания в воде взвеси. - Труды Института океанологии АН СССР, 1965, 77, с.35-40.
8. Сорокина Н.А. О корреляции между показателем ослабления направленного света и градиентом плотности морской воды в эвфотической зоне тропической области Атлантического океана. - Морские гидрофиз. исслед., 1972, № 2, с.141-150.
9. Финенко З.З., Крупаткина Д.К., Заика В.Е. Распределение взвешенного органического вещества. Соотношение размерных фракций взвешенного органического вещества. - В кн.: Биологическая структура и продуктивность планктонных сообществ Средиземного моря, 1975, гл.5, с.103-III.
10. Yentsch C.S. Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean. - Limnol. and Oceanogr., 1962, 7, N 2, p. 207-217.

УДК 591.524.12

Е.В.Павлова, С.Г.Африкова,

Е.П.Делало, А.Е.Шершнев, Д.Е.Левашов

К ВОПРОСУ О ВЕРТИКАЛЬНЫХ МИГРАЦИЯХ КОПЕЮД

В ЧЕРНОМ И ЭГЕЙСКОМ МОРЯХ

Для выявления суточных миграций планктонных животных обычно проводят вертикальные обловы по слоям, повторяемым несколько раз в сутки. Периодичность обловов, как правило, равняется четырем часам. По перемещению основной массы популяции мигрирующего вида рассчитывается скорость его движения по вертикали. Скорость миграций черноморского калануса была рассчитана на основе материалов, собранных на летней суточной станции в 1959 г. с одно-двухчасовыми промежутками между двумя последующими ловами [1]. В Эгейском море в декабре 1960 г. были проведены исследования на суточной станции в северной его части с четырехчасовыми интервалами [3]. Для лова в обоих случаях использовалась сеть Дюда с диаметром входного отверстия 37 мм. В 76-м рейсе нис "Академии А.Ковалевский" были проведены исследования на суточных станциях в Черном и Эгейском морях с минимально-возможным сокращением интервалов между повторными обловами одного и того же слоя. На основании этих оборов была сделана попытка определить скорость передвижения мигрирующей части популяции некоторых копеюд и выяснить, каким образом сокращение времени между двумя повторными вертикальными ловами по шести слоям могут влиять на величину рассчитываемой скорости.