

*Кисели, Вельсина, Вайва, Арте
дурри, Аюдор, мору, Бейтос Карогах*

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



17

1984

А. Н. РАМАЗИН, Д. Е. ЛЕВАШОВ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА В МОРСКОЙ ВОДЕ

Показатель ослабления направленного света в морской воде (или прозрачность) обусловлен оптическими свойствами составляющих ее компонентов: чистой воды, растворенных веществ и взвеси (терригенной и биогенной). Эти компоненты по-разному влияют на величину показателя ослабления в различных участках спектра, определяют световой режим и режим питания в воде, которые играют существенную роль в протекании процессов фотосинтеза органического вещества. Поэтому показатель ослабления является не только важной гидрофизической характеристикой морской воды, но также и индикатором наличия, распределения и концентрации фитопланктона и биологической продуктивности.

Показатель ослабления измерялся с помощью зондирующего логарифмического фотометра-прозрачномера ЛФП-2 в пяти участках видимой области спектра, выделяемых с помощью цветных стеклянных широкополосных светофильтров, соответствующих длине волны: $\lambda_{эф} = 425, 495, 540, 600, 640$ нм.

Значения величины показателя ослабления снимались в условных единицах. За отсчетную (нулевую) поверхность принимался горизонт 200—250 м. При этом считалось, что показатель ослабления света для этого горизонта не претерпевает значительных изменений, а измеряемая величина показателя ослабления изменяется только за счет увеличения или уменьшения концентрации взвеси или растворенных в воде веществ.

Показатель ослабления света в морской воде складывается из суммы показателей поглощения и рассеяния. Если спектр оптической плотности терригенной составляющей взвеси морской воды не обладает избирательностью поглощения, то пигменты фитопланктона имеют наиболее четко выраженные максимумы поглощения, располагаемые на длинах волн 420—440 и 660—680 нм. Поглощение света желтым веществом резко возрастает в синей области, и, как отмечают О. В. Капелевич и др. [3], желтое вещество в этой области спектра является основным фактором поглощения.

Вклад пигментов фитопланктона в указанной области спектра обычно не превышает 30—35 %. В связи со сказанным в суммарном спектре поглощения морской воды синий максимум поглощения пигментами, как правило, не проявляется до тех пор, пока вклад пигментов не составит более 70 %. Однако авторы указывают на «достаточно тесную корреляцию» между концентрацией фитопланктона и желтого вещества.

Вклад рассеяния и поглощения в прибрежных водах и водах открытого океана, по мнению А. Иванова [1], различен, а полосы поглощения пигментов фитопланктона на общем фоне спектра ослабления не проявляются. Однако в открытых районах океана, согласно данным М. В. Кленовой [2], терригенная составляющая взвеси сравнительно мала. В связи с этим вкладом рассеяния в общий спектр ослабления в

ряде случаев можно пренебречь. В спектре ослабления могут проявляться полосы поглощения фитопланктона, если его количество составляет значительную часть общей концентрации взвеси.

Измерения показателя ослабления проводились на 54 станциях в северо-восточной части Средиземного моря и северо-восточной части тропической зоны Атлантики. Для каждого участка спектра проводилось отдельное зондирование. На двухкоординатном самописце регистрировалась зависимость величины показателя ослабления от глубины.

На первом полигоне с горизонтов, соответствующих экстремальным точкам графика вертикального распределения показателя ослабления,

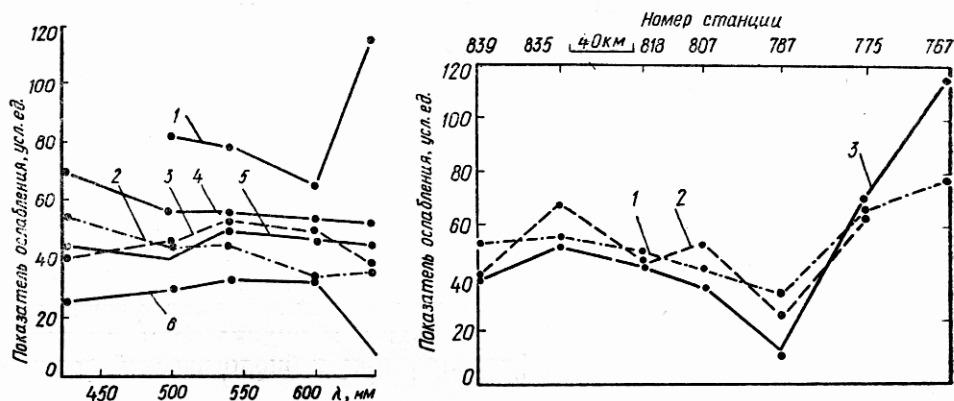


Рис. 1. Спектры ослабления поверхностных вод северо-восточной части Средиземного моря: на ст. 767 (1); 807 (2); 839 (3); 835 (4); 818 (5); 787 (6).

Рис. 2. Пространственное изменение показателя ослабления поверхностного слоя воды на одном из разрезов:

1, 2, 3 — для областей спектра, выделяемых с помощью фильтров, $\lambda_{\text{эф}} = 425, 540$ и 640 нм соответственно.

отбирались пробы воды пятилитровым неметаллическим батометром, закрепленным на ферме прозрачномера в непосредственной близости и параллельно измерительной базе прозрачномера. Из батометра пробы отбирались для определения количественного и качественного составов микрзоопланктона, величины поглощения минерального фосфора фито- и бактериопланктоном, содержания фосфатов и показателя первичной продукции. С тех же горизонтов с помощью 30-литрового батометра отбирались пробы для количественного определения взвеси и органического углерода.

Всего было получено 332 профиля вертикального распределения показателя ослабления для пяти участков светового спектра.

По данным измерений построены спектры ослабления морской воды на разных горизонтах (рис. 1), которые показали, что полосы поглощения пигментов фитопланктона в синей и красной областях спектра проявляются лишь на тех станциях, где зафиксированы максимальные значения показателя ослабления (ст. 767).

На рис. 2 видно изменение показателя ослабления на первом полигоне с юго-запада на юго-восток, а также то, что ход кривых, полученных для различных участков спектра, имеет общую тенденцию: максимумы на ст. 775, 767, 835 и минимум на ст. 787. Величина показателя ослабления в красной области везде наименьшая, кроме ст. 767, где достигает самых больших значений. Следует отметить, что на этой станции зафиксированы максимальные значения концентрации хлорофилла, органической взвеси, биопродуктивности и потребления минерального фосфора.

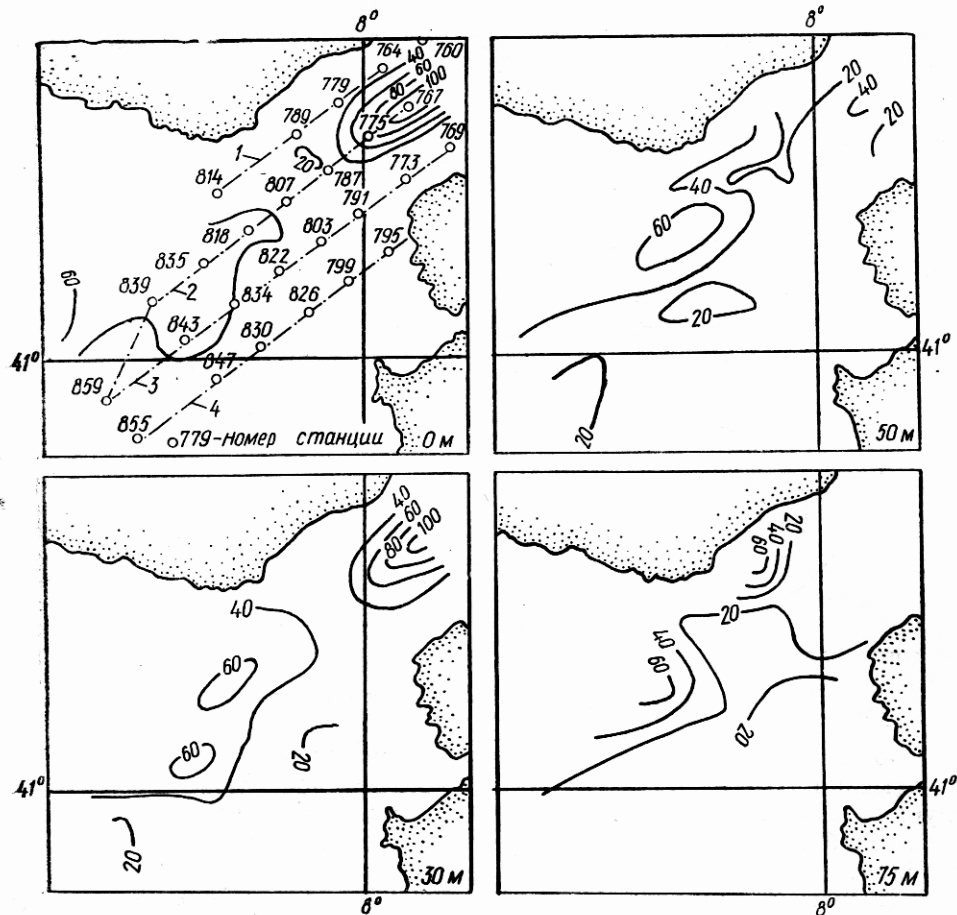


Рис. 3. Карты прозрачности на горизонтах 0, 30, 50 и 75 м:
1—4 — номера разрезов.

Данные наблюдений на средиземноморском полигоне свидетельствуют о наличии нескольких областей пониженной прозрачности. Минимальные значения прозрачности зафиксированы в северо-восточной части Лигурийского моря на ст. 767, 775. Относительно низкая прозрачность наблюдалась на ст. 863, в центральной его части на ст. 835, 818 и ст. 783.

Поскольку показатель ослабления измерялся в условных единицах, трудно говорить о горизонтальных размерах выделенных неоднородностей. О них можно судить лишь приблизительно по картам прозрачности поверхностного слоя и горизонтов 30, 50, 75 м, показанным на рис. 3. Карты прозрачности построены для участка видимой области спектра, выделяемого с помощью фильтра $\lambda_{эф} = 640$ нм. Ход изолиний на картах прозрачности, полученных для остальных участков спектра, в целом аналогичен приведенным на рис. 3.

О вертикальных размерах неоднородностей можно судить по разрезам прозрачности, показанным на рис. 4. Как видим, область пониженной прозрачности, зафиксированная на ст. 767, 775, заглублена на 40—50 м. Внутри области величина показателя ослабления не меняется (ст. 767) или меняется незначительно, возрастая с увеличением глубины и достигая своего максимального значения на глубине 30—35 м. Ниже 45 м прозрачность резко возрастает с глубиной, а начиная с 80—100 м ее изменения незначительны. Это хорошо видно на графике вертикального изменения показателя ослабления, изображенного на рис. 5.

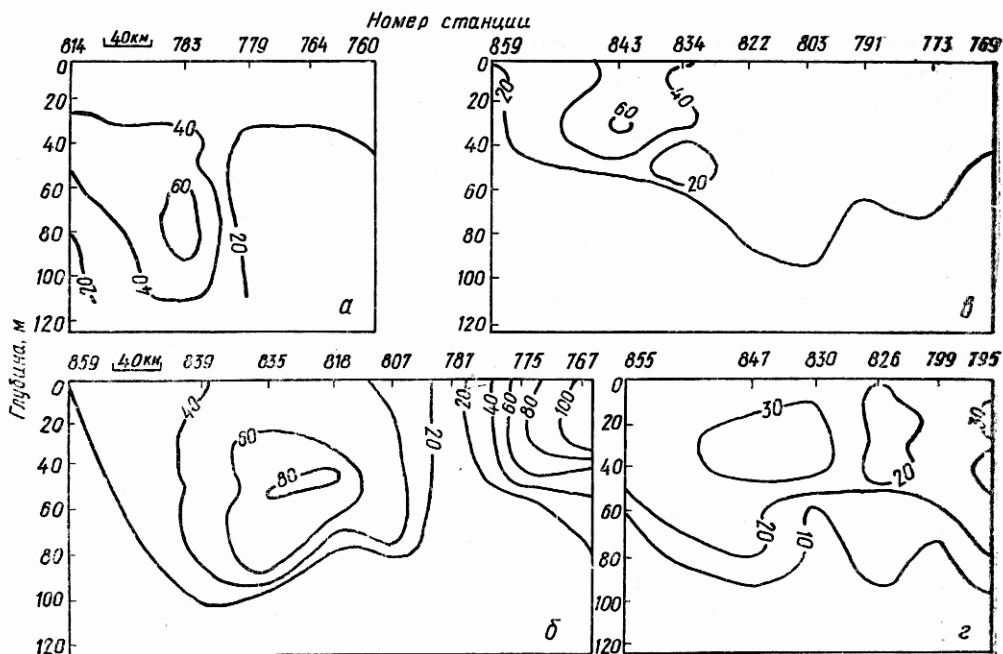


Рис. 4. Разрезы прозрачности (а—г — соответственно 1—4).

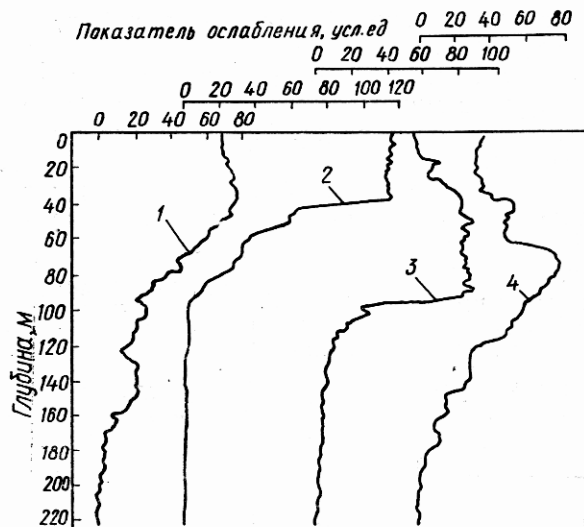
Воды повышенной мутности, зарегистрированные на ст. 818, 835, охватывают более толстый поверхностный слой, заглубленный до глубины 65—90 м. В верхнем 10—20-метровом слое величина показателя ослабления остается неизменной, а затем возрастает с увеличением глубины. Своего максимального значения показатель ослабления на ст. 835 достигает на глубине 30—40 м, а затем до глубины 90 м практически не меняется. На ст. 818 вертикальное распределение показателя ослабления имеет ярко выраженный максимум на глубине 40—45 м. Наибольшие градиенты изменения показателя ослабления наблюдаются на ст. 835 в слое 90—95 м и 65—85 м на ст. 818. Ниже 100—120 м распределение показателя ослабления однородно.

Аналогичное распределение показателя ослабления наблюдалось на ст. 863 (см. рис. 5). Слой пониженной прозрачности с максимумом мутности, залегающий на глубине 30—40 м, простирается до глубины 60 м. Ниже прозрачность увеличивается. Максимальные градиенты показателя ослабления наблюдаются в слое 60—70 м. Распределение показателя ослабления нижележащих вод имеет сложную стратификацию, что обусловлено, по-видимому, стратификацией слоя скачка плотности.

Области пониженной прозрачности чередуются с зонами, где прозрачность высока (см. рис. 3 и 4). Зонам высокопрозрачных вод соответствуют зоны конвергенции, а области малопрозрачных вод — зоны дивергенции, обусловленные действием циклонических круговоротов. Так, на ст. 787, 807 (см. рис. 4) высокой прозрачности вод, которой отвечают восходящие изолинии низких значений показателя ослабления, соответствуют нисходящие изотермы, свидетельствующие об опускании вод в этом районе. И наоборот, нисходящие изолинии высоких значений показателя ослабления соответствуют восходящим изотермам — центрам циклонических круговоротов.

Следует отметить, что почти везде понижение прозрачности сопровождалось повышением содержания фитопланктона.

Если указанные области пониженной прозрачности наблюдались в поверхностном слое, лежащем выше глубины залегания пикноклина, то область пониженной прозрачности, зарегистрированная на ст. 783, раз-



бита пикноклином на две части. Это хорошо видно на графике вертикального распределения показателя ослабления, показанного на рис. 5, который имеет два максимума мутности: один лежит на глубине 40 м, соответствующей глубине залегания термоклина, второй, принадлежащий бо-

лее мутным водам, расположен ниже термоклина на глубине 60—70 м. Вся область вод пониженной прозрачности залегает на глубинах от 30 до 120 м.

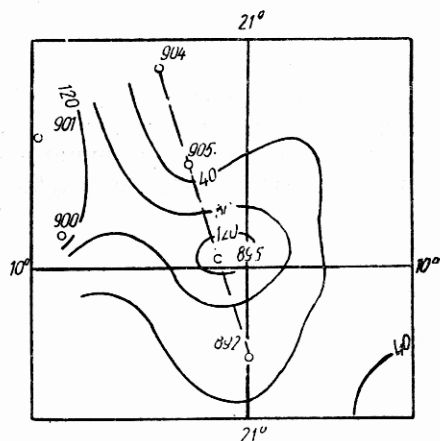


Рис. 6. Карта прозрачности поверхностных вод северо-восточной части тропической зоны Атлантики к западу от Дакара.

Поле прозрачности поверхностных вод на втором полигоне в значительной степени однородно. Это видно на карте прозрачности поверхностного слоя, изображенного на рис. 6. Пониженная прозрачность зафиксирована на ст. 895, 900, 901 лишь для участка спектра, выделяемого с помощью фильтра $\lambda_{\text{эф}} = 540$ нм.

Вблизи от ст. 895 зафиксировано аналогичное повышение концентрации органического углерода, показателей биологической продуктивности и концентрации зоопланктона, определенного с помощью прибора ТРАП-3.

На рис. 7 показан разрез прозрачности, из которого видно уменьшение прозрачности в окрестностях ст. 895. Поднятие изолиний показателя ослабления хорошо согласуется с подъемом изопикн, изображенном на рисунке, что свидетельствует о вертикальном адвективном происхождении поверхностной неоднородности.

Вертикальное распределение показателя ослабления практически одинаково по всему полигону. Гомогенное распределение показателя ослабления простирается до ярко выраженного максимума, лежащего на глубине залегания термоклина, а затем он снова становится однородным. Слой повышенной мутности имеет толщину от 30 до 50 м. Оптическая стратификация в нем характеризуется наличием нескольких максимумов. На рис. 8 изображен характерный график вертикального распределения показателя ослабления.

Сравнение вертикального распределения показателя ослабления, полученного для области спектра $\lambda_{\text{эф}} = 640$ нм, с вертикальным распределением концентрации хлорофилла, полученного с помощью погружного флуориметра ПФл-2 и экстрактным методом, показало идентичность стратификации на всех станциях. Однако график распределения

показателя ослабления имеет большее число максимумов, отсутствующих на профиле концентрации хлорофилла.

Карта распределения глубины залегания слоя пониженной прозрачности, показанная на рис. 9, дает минимальное значение глубины залегания слоя минимальной прозрачности на ст. 895. Ход изолиний аналогичен ходу изохалин и изопикн.

Наблюдения за временной изменчивостью показателя ослабления свидетельствуют о значительных колебаниях прозрачности на поверхности, соизмеримых с величинами ее колебаний от станции к станции.

На ст. 888 в течение двух суток проводились наблюдения за суточной изменчивостью показателя ослабления. Измерения велись с периодичностью, рав-

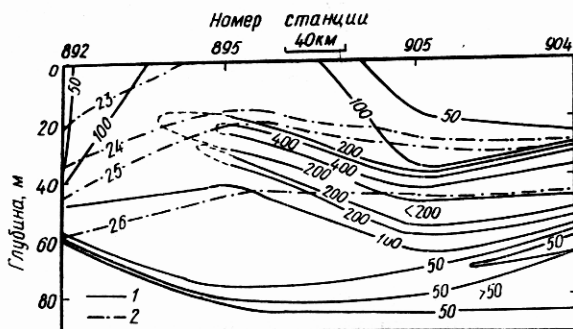


Рис. 7. Разрез прозрачности и условной плотности:

1 — изолинии показателя ослабления; 2 — изопикны.

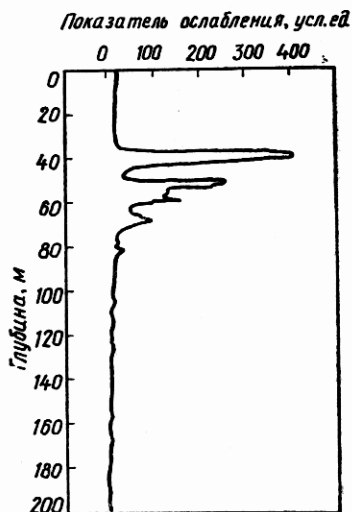


Рис. 8. Характерное вертикальное распределение показателя ослабления.

ной приблизительно 4 ч. Графики суточной изменчивости глубины залегания слоя минимальной прозрачности представлены на рис. 10. Сопоставление их с графиками суточного изменения температуры показывает, что изменение глубины залегания минимума прозрачности

полностью повторяет ход изменения глубины залегания термоклина, обусловленного влиянием приливо-отливных явлений и внутренних волн.

Поле прозрачности на третьем полигоне гомогенно в западной части. По мере продвижения на восток прозрачность уменьшается. Максимальные значения показателя ослабления зафиксированы на ст. 922. Спектр ослабления имеет отчетливый максимум 370 усл. ед. в области 540 нм. На ст. 918 в поверхностном слое в этой области спектра наблюдалось значительное увеличение показателя ослабления (300 усл. ед.). Для области спектра $\lambda_{эф} = 640$ нм значения показателя ослабления зафиксированы на уровне наиболее прозрачных вод полигона.

Временная изменчивость показателя ослабления исследовалась на суточной станции 926. Данные наблюде-

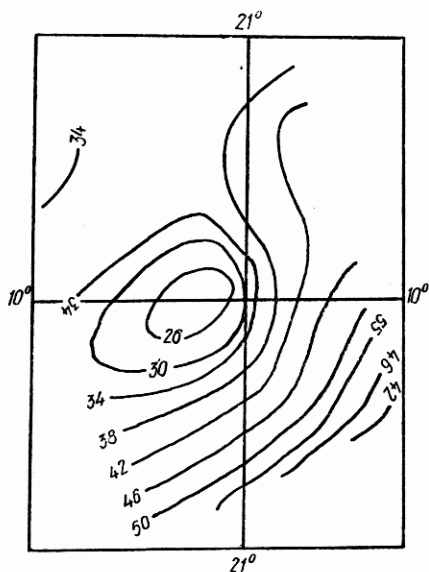


Рис. 9. Карта глубины залегания слоя минимума прозрачности.

$\lambda_{эф}, \text{нм}$	Время					
	7 ч 10 мин	10 ч 40 мин	16 ч 40 мин	20 ч 10 мин	23 ч	6 ч 30 мин
495	20	220	90	0	14	18
540	54	320	178	32	40	50
640	42	80	34	26	26	20

ний показали, что наибольшей изменчивости подвержен верхний 100-метровый слой. Наибольшие колебания значений показателя ослабления зафиксированы в поверхностном 25—50-метровом слое. В таблице представлены значения показателя ослабления на поверхности. Как видим, наибольшие значения показателя ослабления принимает между 10 и 16 ч. На ст. 918 и 922, где зафиксированы максимальные значения показателя ослабления, наблюдения проводились в 11 ч 10 мин

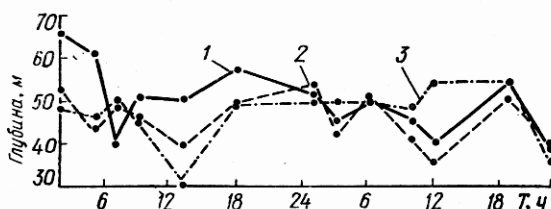


Рис. 10. Суточная изменчивость глубины залегания слоя минимальной прозрачности:

1, 2, 3 — для областей спектра, выделяемых с помощью фильтров, $\lambda_{эф} = 640, 540$ и 425 нм соответственно.

и в 17 ч. Однако в это время на профиле показателя ослабления выделяется максимум мутности, залегающий на глубине 50—55 м. Аналогичный слой мутности наблюдался в это время дня (15 ч 50 мин) на ст. 914 с максимумом на глубине 30—35 м. Это явление может быть объяснено ростом фитопланктона в дневное время и его выеданием мигрирующим зоопланктоном в вечернее и ночное время суток. Промежуточный максимум на ст. 926 наблюдается на глубине 30 м почти на всех профилях.

На большинстве станций на профилях показателя ослабления зарегистрировано наличие одного или нескольких пиков пониженной прозрачности толщиной не более 5—10 м, залегающих на глубине 90—120 м, соответствующей, как правило, слою скачка температуры. Глубже распределение показателя ослабления приобретает более однородный характер.

Сопоставление данных о распределении прозрачности с данными других гидробиологических измерений показывает общую тенденцию

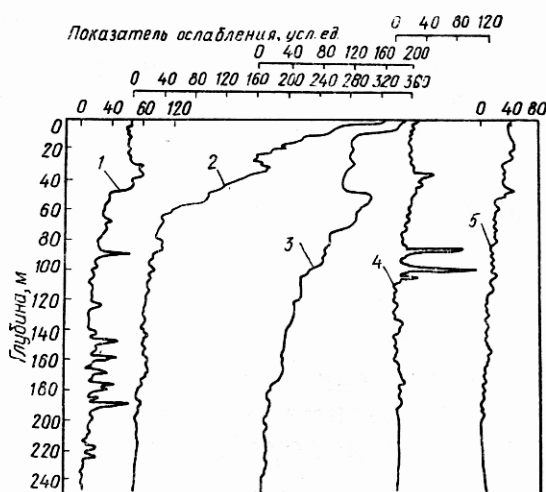


Рис. 11. Суточные изменения вертикального распределения показателя ослабления (ст. 926) в 07 ч 50 мин (1), 10 ч 40 мин (2), 16 ч 40 мин (3), 20 ч 10 мин (4), 23 ч 00 мин (5).

увеличения содержания хлорофилла, потребления минерального фосфора и биопродуктивности с запада на восток.

Выводы. 1. Методика определения показателя ослабления в условных единицах с помощью «нулевой» поверхности позволяет судить о пространственно-временных изменениях величины показателя ослабления света, связанных с увеличением или уменьшением концентрации компонентов взвеси и растворенных в воде веществ. 2. Эта методика также позволяет без использования абсолютных значений показателя ослабления света в рамках исследуемого района получать качественную картину пространственного распределения оптических характеристик морской воды, выделять области пониженной прозрачности, оценивать их вертикальные и горизонтальные размеры. 3. Наиболее прозрачные воды наблюдались в Лигурийском море, а наиболее мутные — в северо-восточной части тропической зоны Атлантики к западу от мыса Кап-Блан. 4. Формирование выделенных областей пониженной прозрачности обусловлено в основном гидрологическими условиями исследуемых районов. 5. Полосы поглощения пигментов фитопланктона проявляются в суммарном спектре ослабления, когда концентрация фитопланктона составляет значительную часть общей концентрации взвеси. 6. При оценке количественных критериев выделения неоднородности прозрачности морской воды необходимо учитывать суточную изменчивость данной характеристики.

1. Иванов А. Введение в океанографию. — М.: Мир, 1978. — 382 с.
2. Кленова М. В. Взвешенные вещества северной части Атлантического океана. — Докл. АН СССР, 1959, 127, № 2, с. 435—437.
3. Копелевич О. В., Бурков В. И., Русанов С. Ю. Спектральное поглощение света морской водой. — В кн.: Физика океана, морская техника: Тез. докл. 1-го съезда сов. океанологов. М.: Наука, 1977, вып. 1, с. 145—146.

ВНИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии, Москва

Получено 15.11.82

A. N. RAMAZIN, D. E. LEVASHOV

SPACE-TIME VARIABILITY OF THE DIRECTIONAL LIGHT ATTENUATION INDEX IN SEA WATER

Summary

Space variability of the directional light attenuation index in sea water was studied in the Ligurian Sea and north-eastern part of the Atlantic tropic zone. Results of the study are reviewed in the paper. Regions of lower transparence are distinguished and a correspondence is observed between the space optic and hydrological water structures. Optic stratification and its variability are analyzed. Sea water components are considered for a possibility to be distinguished by the attenuation spectrum.

УДК 535.361:551.469

Ф. Я. СИДЬКО, А. Д. АПОНАСЕНКО, Н. А. ФРАНК

ИЗУЧЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА СРЕДИЗЕМНОГО МОРЯ И АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В последнее время при гидробиологических исследованиях все шире используются оптические методы, в частности абсорбционные и люминесцентные. С целью изучения возможностей применения оптических методов и аппаратуры при гидробиологических исследованиях в 7-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» вертикальное и горизонтальное распределение фитопланктона, связь между его распределением и пространственной неоднородностью среды изучались с помощью спектрофотометров, флуориметров и др.