

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

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



17

1984

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.

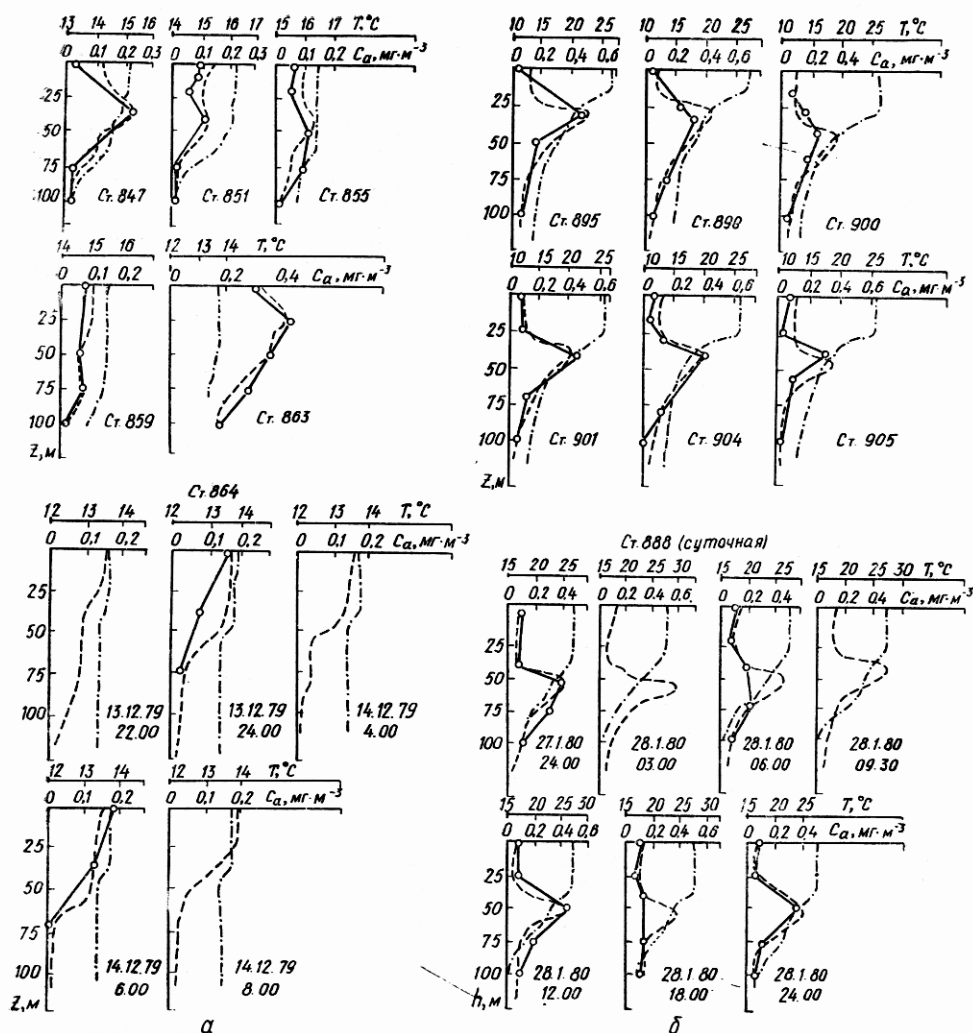


Рис. 2. Вертикальное распределение хлорофилла «а» фитопланктона, определенное по интенсивности его флуоресценции (1), по экстракции пигментов (2), и температуре (3) на полигонах № 1 (а), 2 (б), 3 (в).

Для измерений гидрофизических и гидробиологических показателей использовались следующие приборы: дифференциальный спектрофотометр ДСФГ-2 [1], погружаемый двухлучевой флуориметр ПФЛ-2 [2], измеритель подводной облученности ИПО, пиранометр с термоэлектрическим приемником конструкции ЛЭТИ*, люксметр Ю-16. Условная прозрачность морской и океанской воды определялась с помощью стандартного белого диска (диаметр 30 см).

Определение концентрации хлорофилла и других пигментов основано на использовании дифференциальных спектров поглощения, записываемых на спектрофотометре ДСФГ-2. Для получения этих спектров исследуемая проба воды заливается в рабочую кювету, во вторую кювету — кювету сравнения — заливается фильтрат, полученный путем фильтрации воды через мембранный фильтр с диаметром пор 0,4 мкм.

Кювета с одним и тем же фильтратом использовалась при записи спектров на нескольких станциях. Замена фильтрата производилась при

* Пиранометр в водозащитном исполнении был любезно предоставлен нам сотрудником МГИ АН УССР Б. М. Веерманом, за что участники экспедиции выражают искреннюю благодарность.

изменении оптических свойств воды (прозрачности). Пробы воды перед заполнением рабочих кювет подогревались (или охлаждались) до комнатной температуры (до выравнивания температур фильтрата и исследуемой пробы).

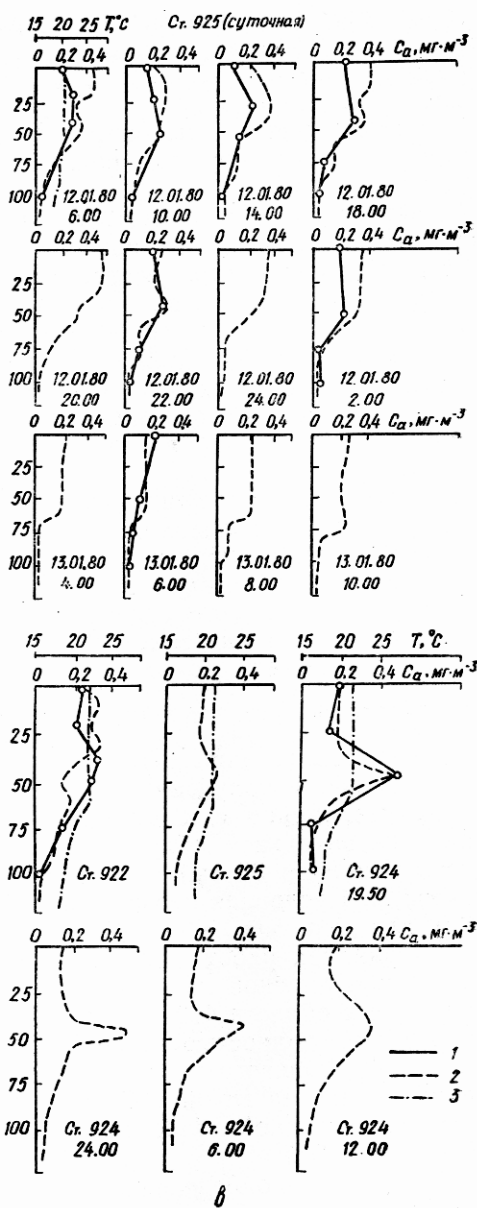
Концентрация хлорофилла «а» вычислялась по формуле (закон Бугера — Бера): $C = \frac{D}{K_{680}^{уд} l}$, где $D = \lg \frac{I_0}{I}$ — оптическая плотность; I_0 и I — интенсивности потоков света, падающего на кювету и прошедшего через нее; $K_{680}^{уд}$ — удельный показатель поглощения хлорофилла «а» в области максимума его красной полосы поглощения ($\lambda_{max} = 680$ нм); l — толщина кюветы. Для водорослей в первом приближении удельный показатель поглощения принимался равным $K_{680}^{уд} = 65 \text{ см}^2/\text{мг}$. Значение этого показателя уточнялось путем сравнения с данными, полученными экстрактивным методом.

При спектрофотометрировании проб воды, содержащих менее $0,6\text{—}1,0 \text{ мг}/\text{м}^3$ хлорофилла, использовалась шкала $0 + 0,045$ единиц оптической плотности.

Погружаемый флуориметр ПФл-2 во время выполнения работ использовался как для измерения интенсивности флуоресценции хлорофилла в вертикальном слое воды, так и в поверхностном (горизонтальном).

Для измерения вертикального распределения хлорофилла на станциях флуориметр ПФл-2 с помощью корабельной кабель-тросовой лебедки опускался до глубин $120\text{—}130$ м. Скорость спуска и подъема флуориметра составляла примерно 1 м/с. При этой скорости зондирования пространственная структура распределения фитопланктона имела разрешение не ниже $0,3$ м.

Выбор скорости зондирования 1 м/с обусловлен тем, что, начиная с этой скорости, происходит свободное вращение светозащищающих ловушек (крыльчаток) и не наблюдается смещения пика максимума флуоресценции, регистрируемого при спуске и подъеме флуориметра. Флуориметр ПФл-2 сконструирован как зондирующий оптический прибор. Однако в этом рейсе он использовался и для изучения горизонтального распределения хлорофилла путем непрерывного измерения и регистрации интенсивности флуоресценции хлорофилла фитопланктона на ходу судна. В этом случае флуориметр помещался в металлический ящик с водой и с помощью рукавов и шлангов подключался к насосу. Вода, забираемая насосом с глубин 5 м, по шлангам и рукавам



6

непрерывно прокачивалась через рабочую камеру флюориметра. Скорость протока составляла около 1 л/с. При скорости судна 13 узлов пространственное разрешение изменений флюоресценции хлорофилла было не менее 65 м.

Регистрация интенсивности флюоресценции на ходу судна осуществлялась самопишущим потенциометром КСП-4, подключаемым к ПФЛ-2.

Подводная облученность E , вертикальное ослабление (затухание) подводной облученности зависят как от условий облучения (высота Солнца $h_{\odot}$, спектральный состав его излучения, состояние атмосферы), так и от гидрооптических характеристик воды [3]. Доля фотосинтетически активной радиации (ФАР, 380—710 нм) в интегральном потоке солнечной радиации (300—4000 нм) существенно зависит от высоты Солнца $h_{\odot}$ и при $h_{\odot} > 35-40^{\circ}$ составляет около 45 %. В зависимости от высоты Солнца коэффициенты пропорциональности между показаниями пиранометра и люксметра изменялись в пределах 1,02—2,20 мВ/клк.

Затухание (ослабление) облученности E_z на различных глубинах z моря и океана в области ФАР вычислялось по спектрам ослабления воды, записанным на спектрофотометре ДСФГ-2 с использованием 50-сантиметровых цилиндрических стеклянных кювет, и значениям показателей вертикального ослабления облученности (α), экспериментально определенных для синей, зеленой и красной областей спектра с помощью измерителя подводной облученности (ИПО). Показатели вертикального ослабления облученности α , равные $\alpha = \frac{1}{z} \lg \frac{E_0}{E_z}$ (E_0 и E_z — облученности на поверхности и на глубине z моря, соответственно), определялись в полуденные часы при безоблачном небе.

Одновременно с измерением показателей вертикального ослабления горизонтальной облученности α с помощью стандартного белого диска (диаметр 30 см) определялась условная прозрачность. Для полигона № 1 условная прозрачность 22—25 м, для полигона № 2 — 30—32 м, для полигона № 3 — 22—35 м.

В районах работ экспедиции морская и океанская вода обладает достаточно высокой прозрачностью. Максимум пропускания находится примерно в области 480—550 нм. Излучение с длиной волны $\lambda > 680$ нм практически полностью поглощается в верхнем 8-метровом слое воды. Вследствие сильного поглощения света водой в красной области ФАР, проникающая на глубину 8—10 м и более, содержит в основном излучение сине-зеленой области. Эвфотический слой имеет толщину около 60—75 м и более.

Результаты определения безэкстрактным абсорбционным методом содержания хлорофилла «а» фитопланктона в поверхностном слое воды для исследуемых полигонов показаны на рис. 1.

На рис. 2 изображено вертикальное распределение хлорофилла «а», определенное при зондировании флюориметром и анализе проб воды, взятых с помощью батометра с разных горизонтов моря. На этих же рисунках показаны кривые изменения температуры в верхнем 120-метровом слое воды.

Горизонтальное распределение хлорофилла «а» фитопланктона в поверхностном слое воды для полигона № 1 иллюстрирует рис. 3. Кривые на рис. 3 построены по результатам регистрации интенсивности флюоресценции хлорофилла фитопланктона на ходу судна.

Для полигона № 1 (Средиземное море) характерно наличие довольно широкого максимума хлорофилла. Содержание хлорофилла на глубинах максимумов распределения обычно не превышает более чем в 2—3 раза содержание фитопланктона в верхнем 5—10-метровом слое моря. Для большей части полигона концентрация хлорофилла фитопланктона в верхнем слое воды составляет около 0,08—0,12 мг/м³ и более.

Кривые вертикального распределения хлорофилла фитопланктона на полигоне № 2 (Атлантический океан) имеют сравнительно узкие области максимума. Концентрации хлорофилла в поверхностном слое обычно не превышают $0,1 \text{ мг/м}^3$. На многих станциях полигона № 3 кривые вертикального распределения хлорофилла имеют размытые максимумы. Из рис. 1—3 видно, что для пространственного (вертикального и горизонтального) распределения хлорофилла характерна значительная неравномерность. Содержание хлорофилла фитопланктона в поверхностном слое воды на всех полигонах изменялось до 2 раз и более. На большинстве станций полигонов № 2 и 3 имеются четко выраженные максимумы в вертикальном распределении хлорофилла на глубинах 40—75 м.

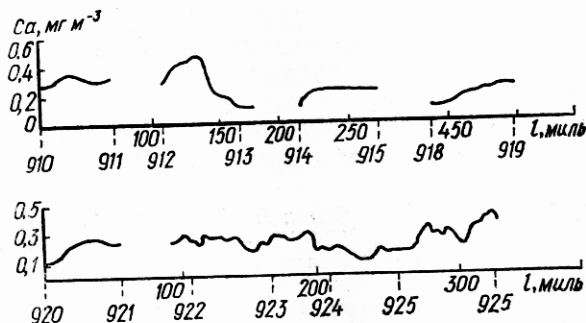


Рис. 3. Распределение хлорофилла «а» фитопланктона в поверхностном слое воды на полигоне № 1 (по данным измерения и непрерывной регистрации флуоресценции хлорофилла на ходу судна).

Размеры (масштабы) неоднородностей в распределении фитопланктона в поверхностном слое воды составляет от 2—5 миль до десятков миль. Наибольшая вариабельность в пространственном распределении фитопланктона наблюдается в районах, где имеет место заметное изменение гидрологических характеристик океанических вод (температура, подъем вод и др.). Размеры неоднородностей в распределении фитопланктона могут достигать одной мили и менее.

Как показывает изучение вертикального распределения хлорофилла, в особенности его суточной динамики, наибольшая неоднородность и лабильность в распределении фитопланктона имеют место в слое между горизонтами 20 и 60 м, в котором сосредоточена наибольшая часть микроводорослей.

Из анализа результатов определения концентрации хлорофилла фитопланктона оптическими безэкстрактными (абсорбционным и флуоресцентным) методами и методом экстракции пигментов из водорослей следует, что между данными, полученными указанными методами, имеется достаточно высокая корреляция. Коэффициенты корреляции между значениями концентрации хлорофилла, определенными безэкстрактным абсорбционным и экстрактным методами на полигонах № 1—3, равны соответственно 0,905, 0,953, 0,782. Коэффициент корреляции между результатами определения содержания хлорофилла оптическим абсорбционным (на спектрофотометре ДСФГ-2) и флуоресцентным (с помощью флуориметра ПФЛ-2) методами составляет 0,965. Коэффициенты корреляции между результатами измерения содержания хлорофилла фитопланктона флуоресцентным методом и методом экстракции пигментов на полигонах № 1, 2 и 3 равны соответственно 0,97, 0,922 и 0,815.

Определение концентрации хлорофилла фитопланктона методом экстракции пигментов из клеток водорослей и безэкстрактными оптическими — абсорбционным и флуоресцентным — повысило точность и достоверность результатов определения содержания хлорофилла фитопланктона.

Непрерывная запись интенсивности флуоресценции хлорофилла фитопланктона при зондировании до глубин 120 м и более позволяет детальнее установить стратификацию, в особенности ее тонкую структуру, изучить суточную изменчивость вертикального распределения хлорофилла в море.

Непрерывная регистрация флюоресценции фитопланктона, содержащегося в поверхностном слое воды, на ходу судна в сочетании с непрерывной регистрацией значений других физико-химических величин (температуры, солености, содержания важнейших биогенных элементов) способствует повышению объективности и информативности проводимых комплексных исследований по изучению взаимосвязи продуктивности фитопланктона с условиями его обитания.

Результаты проводимых в этом рейсе комплексных гидробиологических, гидрофизических, гидрохимических исследований показывают наличие достаточно сильной взаимосвязи между распределением фитопланктона и гидрофизическими характеристиками моря.

1. Анонасенко А. Д., Франк Н. А., Сидько Ф. Я. Спектрофотометр для гидрооптических исследований ДСФГ-2. — В кн.: Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979, с. 294—297.
2. Тооминг Х., Нийлиск Х. Коэффициенты перехода от интегральной радиации к ФАР в естественных условиях. — В кн.: Фитоактинометрические исследования растительного покрова. Таллин; Валгус, 1967, с. 140—149.
3. Шулгин И. А. Растение и Солнце. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 252 с.
4. Франк Н. А., Сидько Ф. Я., Луканев А. В., Анонасенко А. Д. Погружные одно- и двухлучевые флуориметры ПФЛ-1 и ПФЛ-2. — В кн.: Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979, с. 300—302.

Ин-т биофизики СО АН СССР, Красноярск

Получено 28.09.82

F. Ya. SIDKO, A. D. APONASENKO, N. A. FRANK

OPTIC STUDIES OF PHYTOPLANKTON VERTICAL AND HORIZONTAL DISTRIBUTION IN THE MEDITERRANEAN SEA AND ATLANTIC OCEAN

S u m m a r y

Space distribution of the phytoplankton chlorophyll in the north-Western part of the Mediterranean Sea and the north-eastern part of the tropic Atlantic was studied during the 7th cruise of the research vessel *Professor Vodyanitsky*. Application of ПФЛ-2, ДСФГ optic devices as well as of fluorescence and absorption extract-free methods permitted determining space distribution of phytoplankton in water areas under study with a sufficiently high accuracy. It is established that space distribution of the phytoplankton chlorophyll is characterized by essential nonuniformities related to hydrochemical and hydrophysical parameters of sea waters.

Sea water is sufficiently transparent, its maximum of transmission is within a range of 480-550 nm. The euphotic layer is 60-75 and more meters thick.

УДК 577.3.475

С. А. ПИОНТКОВСКИЙ

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНКТОНА: КРАТКАЯ ИСТОРИЯ МЕТОДОВ И НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Проблема вертикального и горизонтального распределений планктона всегда была в центре внимания гидробиологов. По мере накопления данных изменялись лишь задачи исследования.

Количественный учет организмов планктона, проводившийся многими экспедициями в различных географических зонах Мирового океана, лег в основу обобщений по крупномасштабной неоднородности распределения численности, биомассы и продукции планктона Мирового океана. Это было сделано В. В. Волковинским с соавторами [3] и