

УДК 551.46.083: 535 (265.1)

ПЕРВАЯ МАСШТАБНАЯ БИООПТИЧЕСКАЯ СЪЕМКА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

© 2010 г. Д.Е. Левашов, С.С. Левашова

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии, Москва 107140*

Поступила в редакцию 30.08.2010 г.

Окончательный вариант получен 13.09.2010 г.

С помощью прозрачномера ЛФП-2, измеряющего ослабление света в 6-ти участках светового спектра, выполнена съемка на 124-х станциях полигона в юго-восточной части Тихого океана. Одновременно с помощью батометра, закрепленного на прозрачномере, отбирались пробы фитопланктона, как важного звена в цепи питания ставриды. В результате корреляции оптических и биологических данных выделены продуктивные участки, которые и оказались промысловыми районами с максимальными величинами плотности рыбных скоплений. Показано развитие предлагаемой методики в сочетании с современной гидрооптической аппаратурой.

Ключевые слова: НПС «Академик Книпович», ЮВТО, съемка, прозрачномер, гидрооптическая аппаратура, батометр, фитопланктон, продуктивность, ставрида.

ВВЕДЕНИЕ

В период с июля по сентябрь 1980 г. состоялся 18-й рейс НПС «Академик Книпович» в юго-восточной части Тихого океана. Основная задача, поставленная перед экспедицией, заключалась в проведении комплексной океанологической съемки в северном районе ЮВТО с целью изучения условий, определяющих формирование биологической продуктивности этого района и влияющих на распределение и образование промысловых концентраций пелагических рыб за пределами экономической зоны Перу. В процессе хода экспедиционных работ, на судне впервые был применен ряд новых инструментальных методик исследований. В частности, были впервые в отраслевых исследованиях проведены измерения показателя ослабления света на большой акватории с одновременным отбором проб батометрического фитопланктона на глубинах экстремальных значений прозрачности. Задачами биооптической съемки являлся поиск и оценка характеристик новых промысловых районов на основе изучения пространственной стратификации водных масс по их спектральной прозрачности, а также оперативная оценка биопродуктивности на основе пространственного распределения фитопланктона. Такая связь обеих задач вызвана тем, что наличие рыбных скоплений наиболее вероятно в зонах контакта различных водных масс, где характерны резкие изменения цвета воды, вызванные пониженной прозрачностью из-за высокой концентрации планктона (Юданов и др., 1988). Одновременно велись экспериментальные исследования по перспективам выявления возможности экспресс-оценки продуктивности вод непосредственно по их спектральной прозрачности, минуя трудоемкий процесс отбора проб фитопланктона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Съемка проводилась в районе от 5° до 25° ю.ш. и от 90° до 93° з.д. за пределами экономической зоны Перу на 9-ти широтных разрезах. В работе использовался логарифмический фотометр-прозрачномер ЛФП-2 (Ли и др., 1969;

Левашов, Шершнева, 1980), разработанный и изготовленный малой серией в МГИ АН УССР. Прибор снабжен шестью стеклянными светофильтрами на длинах волн 425, 495, 540, 600, 640 и 675 нм с полосой пропускания 40-80 нм, которые располагаются перед фотоприемником на турели и могут сменяться по команде с борта.

Таким образом, если измерения проводить и при опускании прибора, и при его подъеме, то для получения данных на всех светофильтрах необходимо выполнить не менее 3-х зондирований.

Параллельно с зондированиями, для анализа влияния фитопланктона на прозрачность воды, на разрезах по 5°, 10°, 15° и 20° ю.ш. отбирались пробы 1-литровым батометром Нансена, закрепленным на ферме прозрачномера, с горизонтов 0, 10, 25, 50, 100 и 150 м. На горизонтах экстремальных значений показателя ослабления света, отмеченных ЛФП-2, проводился отбор дополнительных проб. Для сгущения клеток фитопланктона применялся метод фильтрации через ядерные фильтры с размером пор 0,5 мкм.

Комплекс использовали на 124 станциях до глубины 250-300 м. Было сделано 702 профиля вертикального распределения показателя ослабления света на 6-ти длинах волн, а также отобрано и обработано 265 проб батометрического фитопланктона. Следует заметить, что другой пример биооптической съемки подобного объема в отраслевых исследованиях нам неизвестен до сих пор.

Величины плотности рыбных скоплений и планшеты распределения добывающего флота, используемые для сравнения с данными биооптической съемки, взяты из отчета ихтиологического отряда экспедиции (Отчет..., 1980), который, в том числе, использовал промысловые данные, регулярно получаемые от добывающих и поисковых судов. Всего в это время на промысле работало от 55 до 60 судов ВРПО «Севрыба», «Запрыба», «Азчеррыба», «Дальрыба» типа БАТ, ППР, РТМС, РТМА и БМРТ. Оперативную промысловую разведку выполняли 5 поисковых судов: РТМА «Бахчисарай», СРТМ 8006, 8011, 8016, РТМС «Кальпер». Кроме советских, в северном районе ЮВТО работало 2 судна НРБ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственное распределение показателя ослабления света в воде или прозрачности водных масс отдельных районов по всей исследованной акватории сформировано под действием совокупности гидрологических, гидрохимических и гидробиологических факторов, каждый из которых нашел свое подтверждение при измерении прозрачности на одном или нескольких светофильтрах прозрачномера.

Исследования показали, что влияние гидрохимических факторов на ослабление света наиболее явно прослеживалось при измерениях в коротковолновой части спектра на длине волны 425 нм, где наибольший вклад в общее ослабление света вносит поглощение солями и растворенными веществами. Гидрологические факторы – разделение водных масс и выявление глубины термоклина, хорошо отслеживались при измерениях на длине волны 600 нм, где все другие факторы проявлялись в наименьшей степени.

Гидробиологические факторы (в основном фитопланктон) наиболее отчетливо проявлялись в измерениях на длинах волн, где большой вклад в общее ослабление света вносит поглощение хлорофилла «а». На рисунке 1 представлено поле распределения показателя ослабления света на длине волны 675 нм (ϵ_{675}), а рядом представлена часть этого поля в сравнении с планшетом плотности рыбных

скоплений ставриды, составленном по данным промысловых судов, работавших там в этот период.

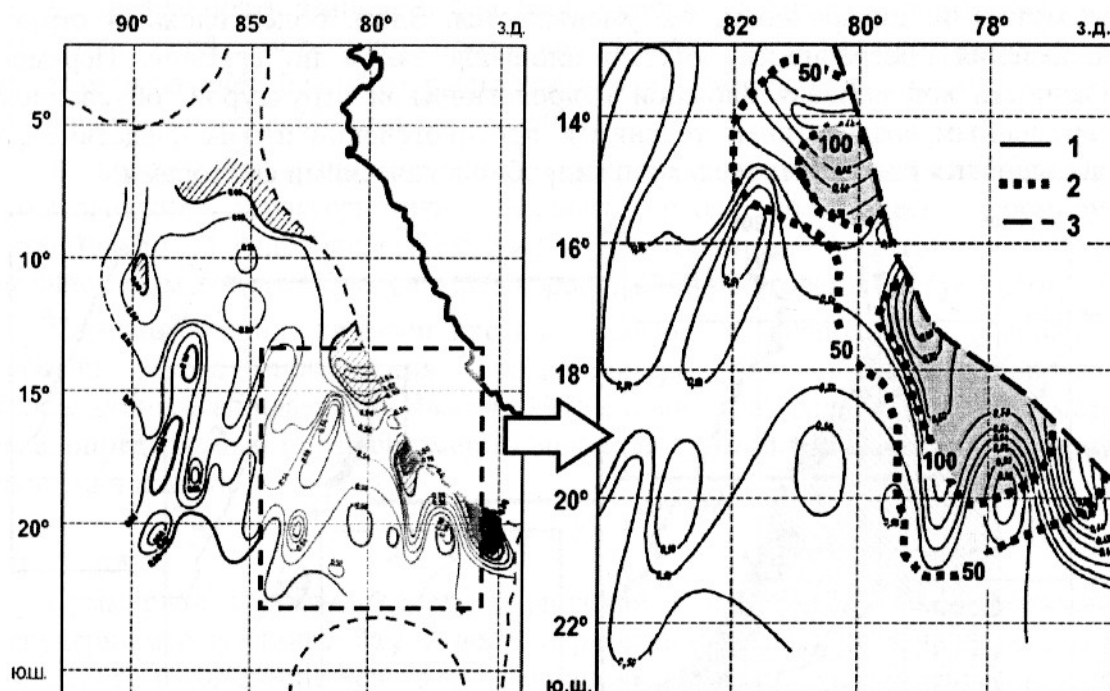


Рис. 1. Распределение величины e_{675} на глубине 20 м (слева) и участок сравнения с плотностью рыбных скоплений (справа): 1 – ослабление света; 2 – плотность рыбных скоплений (т/миля²); 3 – граница НРЗ Перу.

Fig. 1. Distribution of e_{675} value at a depth of 20 m (left) and its comparison with the density of fish stocks (right): 1 – light attenuation, 2 – density of fish stocks (t/mile²), 3 – boundary of Peru National Fishing Zone.

Как показали исследования, максимальные значения ослабления света в этих районах вызваны повышенной концентрацией фитопланктона, находящегося в фазе цветения, что и обусловило интенсивное развитие зоопланктона. В результате, высокая кормность способствовала образованию скоплений ставриды и скумбрии повышенной плотности. Следует отметить, что также в этом плане весьма информативна и длина волны 425 нм, где кроме хлорофилла поглощают и другие пигменты, однако интерпретация этих данных затруднена влиянием в этом диапазоне гидрохимических факторов.

Исследованная акватория Тихого океана по данным прозрачности воды, полученным в этом рейсе, разделяется на 3 района (рис. 2).

Район I расположен в юго-западной части акватории. Она характеризуется высокой прозрачностью по всей глубине зондирования, что объясняется достаточно стабильными гидродинамическими условиями Перуанского океанического течения. Глубина положения слоя скачка плотности колеблется от 130 до 180-200 м. При этом затрудняется диффузия биогенных элементов в верхние слои воды (50-60 м), где находится граница 1%-ной освещенности. Вследствие этого здесь мало фитопланктона. Район характеризуется как оптически довольно однородный и, несмотря на повышенное содержание растворенного органического вещества, малопродуктивный.

Район II занимает большую акваторию и расположен в северо-западной и центральной частях. Он охватывает 3 разреза по 8°, 10° и 16° ю.ш. почти целиком, а

также небольшую часть южного разреза по 20° ю.ш. Количество фитопланктона увеличивается по направлению на восток. В этом же направлении воды становятся более мутными, прозрачность их уменьшается. Здесь более сложная структура распределения прозрачности, как по площади, так и по глубине. Переменная прозрачность вод вызвана сложной гидрологической структурой, обусловленной одновременным воздействием течений и противотечений и, как следствие этого, изменяющимися гидрохимическими и гидробиологическими факторами.

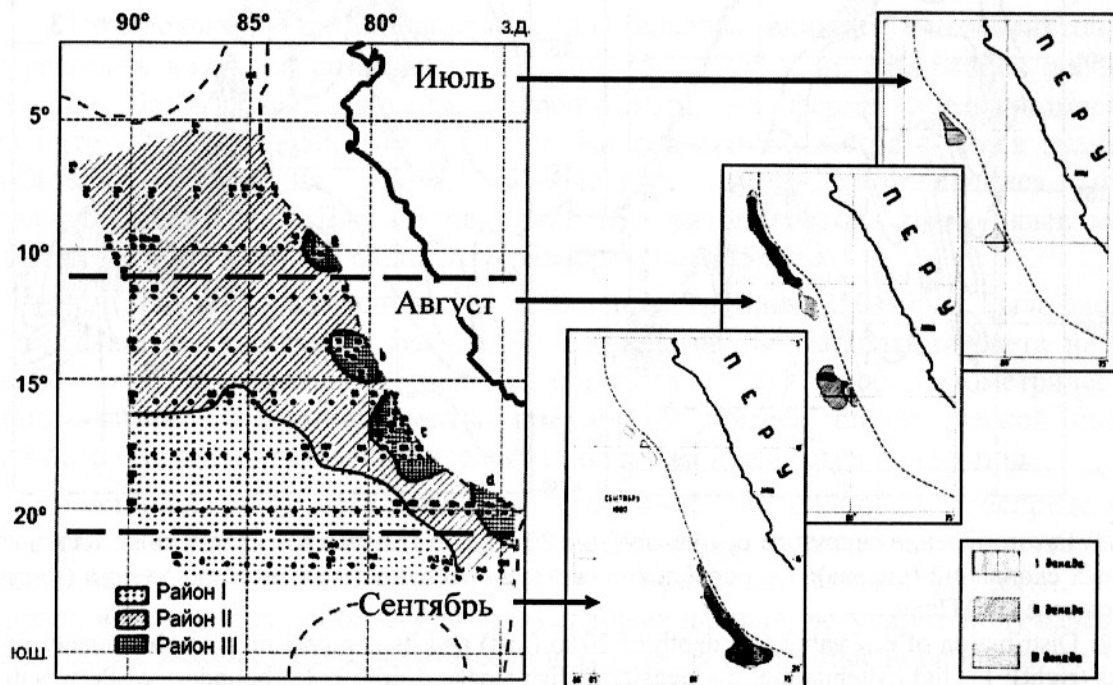


Рис. 2. Районирование полигона по оптическим характеристикам и сопоставление времени съемки с расположением промыслового флота.

Fig. 2. Zoning area according to the optical characteristics and comparison between the time of survey (July-August-September) and the location of fishing fleet.

В результате разницы в составе и концентрации растворенных веществ и взвеси различные водные массы отличаются друг от друга прозрачностью. На вертикальных профилях многих станций кривая показателя ослабления света дает почти прямоугольный выступ в сторону увеличения ослабления или имеет слоистую структуру. Подобные неоднородности, как правило, расположенные ниже слоя скачка плотности, вызваны именно наличием здесь различных водных масс. Например, характерное увеличение «выступа мутности» показателя ослабления наблюдавшееся на глубине 200 м на вертикальном профиле станции 107, расположенной в потоке Перуанского течения значительно облегчило его идентификацию для отряда гидрологии (Отчет..., 1980). Подобный же «выступ мутности» наблюдавшийся на разной глубине и на многих других станциях, находящихся в системе этого течения (93-95, 72-75, 69 и др.) послужил своеобразным «трассером» водных масс, переносимых течением (Ерлов, 1980).

Таким образом, очевидно, что оптическая структура района II отличается сложностью. Вместе с тем, воды второго района также малопродуктивны, хотя и богаче, чем воды первого.

Район III расположен в восточной части акватории у границы экономической зоны. Его воды по данным прозрачномера оказались наименее прозрачными. Языки наибольшей мутности воды совпадают с языками наибольшего количества

фитопланктона. По глубине прозрачность различается над слоем скачка и глубже него. Под слоем скачка, который в этой части Тихого океана держится на глубине 30-60 м, прозрачность зависит в большей степени от физико-химических свойств воды. Этот слой достаточно прозрачен. Выше 30-60 м прозрачность резко уменьшается за счет близкого расположения к поверхности самого слоя скачка. Эвфотическая зона здесь составляет 45-50 м.

В целом, этот район можно охарактеризовать как высокопродуктивный, гидрооптические характеристики верхнего слоя вод здесь формируются исключительно гидробиологическими факторами, причем получаемые прозрачномером данные могут служить хорошими индикаторами биопродуктивности.

Помимо общих гидрооптических съемок в экспедиции впервые был опробован метод применения прозрачномера для оценки распределения фитопланктона. Как известно (Иванов, 1975), показатель ослабления света морской воды e , определяемый прозрачномером, является суммой показателей рассеяния σ и поглощения k света:

$$e = \sigma + k \quad (1)$$

Суммарное рассеяние света в морской воде (Ерлов, 1980) обусловлено молекулярным рассеянием самой воды и рассеянием света на взвешенных в воде частицах, а поглощение света в основном вызвано растворенными солями, органическим веществом и пигментами фитопланктона:

$$e = (\sigma_m + \sigma_p) + (k_c + k_o + k_\phi), \quad (2)$$

где σ_m – молекулярное рассеяние воды; σ_p – рассеяние на частицах взвеси; k_c , k_o , k_ϕ – поглощение света, соответственно, растворенными в воде солями, органическим веществом и пигментами фитопланктона.

Если считать $\sigma_m + k_c = e_{const}$ для конкретных водных масс, что соблюдается в определенных участках светового спектра практически в любых районах Мирового океана (Hale, Querry, 1973), то, вычитая эту величину из суммарного ослабления света, можно получить некую биологическую характеристику морской воды. Этот принцип использовал Кребль (Kroebel, 1977), который разработал прозрачномер, сразу измеряющий разницу значений показателей ослабления света на длинах волн 670 нм и 455 нм, что, как известно, соответствует максимумам поглощения хлорофилла. Он полагал, что таким образом сокращает e_{const} и получает величину, которая характеризует содержание только взвешенных частиц (фитопланктон) и растворенных веществ. Однако, в характеристиках воды, полученных по такой методике, не учитывается тот факт, что рассеяния света на частицах, а также поглощение света органическим веществом и пигментами имеют разные законы изменения своих спектральных характеристик.

Нами предлагается несколько другой подход (рис. 3) к интерпретации измерения ослабления света в морской воде на различных участках светового спектра (Левашова, Левашов, 1987, 1991).

Для упрощения, сначала рассмотрим ослабление света e , вызванное поглощением пигментами фитопланктона k_ϕ и эффектом рассеяния на его частицах σ_p . Как известно, в спектральной характеристике ослабления света морской средой есть максимумы поглощения хлорофилла «а», например, на длине волны λ_2 . По обе стороны пика имеются области λ_1 и λ_3 , где ослабление света вызвано только рассеянием, а хлорофилл не участвует в ослаблении света. Таким образом, если

измерять ослабление света на всех 3-х волнах, то по изменению высоты пика относительно линии рассеяния на частицах, определенной по $\sigma_{p\lambda 1}$ и $\sigma_{p\lambda 3}$, можно оценить и поглощающий вклад хлорофилла K_{Φ} в суммарном ослаблении, измеренном прозрачномером.

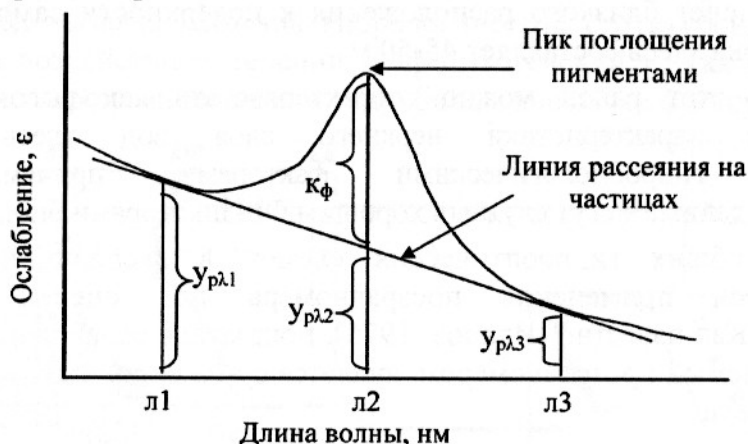


Рис. 3. Принцип оценки вклада пигментов в суммарное ослабление света по данным измерений на трех длинах волн.

Fig. 3. Assessment of pigments' contribution to the total light attenuation according to the measurements at three wave lengths.

Основные максимумы поглощения света пигментами наблюдаются в синем (435 нм) и красном (675 нм) участках светового спектра. При этом полоса поглощения хлорофилла и каротиноидов в сине-зеленой области (полуширина полосы поглощения более 150 нм) значительно шире красной полосы поглощения хлорофилла, которая составляет приблизительно 50 нм (каротиноиды здесь не поглощают). В то же время, в коротковолновой части светового спектра максимально сказывается влияние растворенного органического вещества. В длинноволновой же части его влияние настолько мало, что для области светового спектра от 600 нм и далее его можно исключить. В связи с этим, при использовании прозрачномеров в эвтрофных водах с невысокой прозрачностью для дальнейшего анализа более удобной представляется красная область ($\lambda_2=675$ нм).

Для λ_1 в спектре ослабления света фитопланктоном есть участок, где поглощение пигментами практически отсутствует – это интервал 550-620 нм, куда попадает одна из набора длин волн, которые используются в прозрачномере – 600 нм. На этом участке также пренебрежительно мал вклад органического вещества в поглощение света и поэтому:

$$U_{p600} = e_{\Sigma 600} - e_{\text{const}600} \quad (3)$$

Так как для длины волны 675 нм также практически отсутствует вклад органического вещества, то

$$U_{p675} + K_{\Phi} = e_{\Sigma 675} - e_{\text{const}675} \quad (4)$$

К сожалению, в ограниченном наборе длин волн, используемых в прозрачномере ЛФП-2, не оказалось таких, которые могли бы занять место λ_3 , поэтому в данном случае пришлось применить не совсем корректный способ. Как известно (Шифрин, 1983), рассеяние света на частицах размером более 1 мкм, что соответствует размерному составу фитопланктона, не имеет ярко выраженной селективности по световому спектру, но изменяется примерно как $1/\lambda$ с увеличением длины волны. Приняв, как допущение, что рассеяние на частицах в красной области спектра $\sigma_{p675} = 600/675 U_{p600}$, мы, с учетом уравнений (3) и (4),

рассчитали поглощение света пигментами фитопланктона в красной области спектра k_{ϕ} по следующей формуле:

$$k_{\phi} = (e_{\Sigma 675} - e_{\text{const}675}) - 600/675(e_{\Sigma 600} - e_{\text{const}600}). \quad (5)$$

Хотя значения e_{const} для различных длин волн имеются в литературе, из опыта работы (Рамазин, Левашов, 1984) было решено использовать в роли этой величины минимальное значение суммарного ослабления e_{Σ} , полученное на глубинах 250-300 м на этих же станциях. На таких глубинах в океане вода обычно настолько чиста, что рассеяние на частицах и, тем более, поглощение пигментами там практически отсутствуют. Такой прием, кстати, частично исключает проблемы, связанные с точностью измерений, так как в разности $e_{\Sigma} - e_{\text{const}}$ сразу компенсируется общая инструментальная погрешность измерения. Однако, следует иметь в виду, что этот прием желательно использовать только в том случае, когда по всему слою от поверхности до глубин измерения e_{const} располагается один и тот же тип вод по Н.Г. Ерлову (1980).

Эта формула была применена при обработке данных прозрачномера ЛФП-2, который использовался для оценки распределения фитопланктона, как звена кормовой базы ставриды в 18-м рейсе НПС «Академик Книпович» в ЮВТО. Для сравнения использовались данные прозрачномера на 10 станциях, проведенных по разрезу вдоль 20° ю.ш. от 75 до 82° з.д. Прозрачномером определялся показатель ослабления света на длинах волн 600 и 674 нм. Для сравнения с данными по фитопланктону использовались значения показателей ослабления, взятые на горизонтах отбора проб батометром.

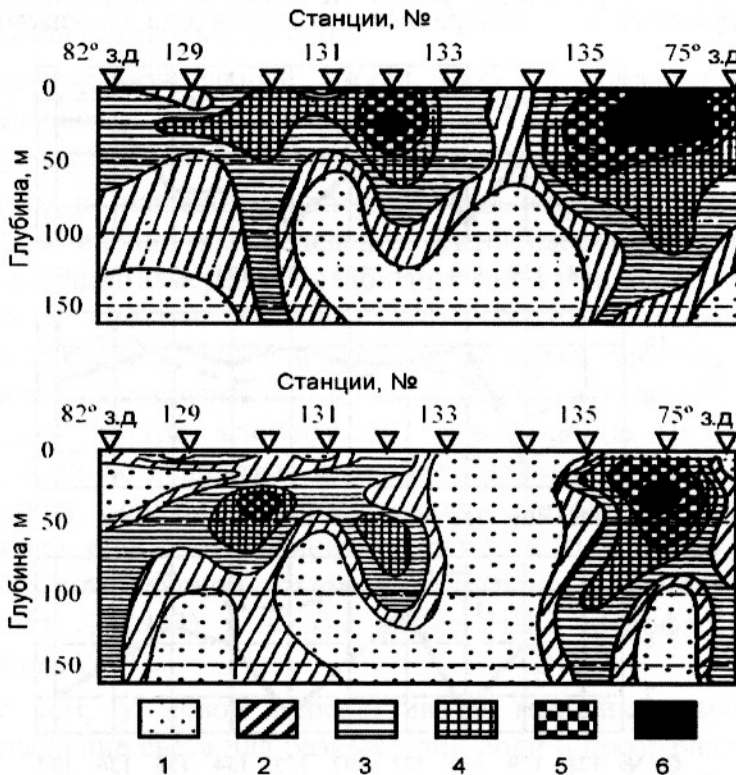


Рис. 4. Вертикальное распределение пигментного поглощения по данным ЛФП-2 (вверху, усл.ед.), а также золотистых и перидиниевых водорослей (внизу, мг/м³): 1 – менее 1; 2 – 1-5; 3 – 5-10; 4 – 10-25; 5 – 25-150; 6 – > 150.

Fig. 4. Vertical distribution of pigment absorption according to LFP-2 data (top, conv. unit) and *chrysophyts* and *peridinians* (bottom, mg/m³): 1 – less than 1; 2 – 1-5; 3 – 5-10; 4 – 10-25; 5 – 25-150; 6 – > 150.

На рисунке 4 (вверху) показано распределение той части показателя ослабления света, которая вызвана предположительным поглощением света пигментами на длине волны 675 нм. Для сравнения с данными прозрачномера в отобранных пробах фитопланктона были выбраны золотистые и перидиниевые водоросли, вертикальное распределение биомассы которых представлено на рисунке 4 (внизу).

Золотистые и перидиниевые водоросли имеют максимальное процентное содержание хлорофилла «а» в отличие от других водорослей, присутствующих в пробах (Парсонс и др., 1982). Например, в диатомовых часть поглощения вызвана фукоксантином, который способен передавать энергию хлорофиллу ($\lambda_{\max} = 500-560$ нм) (Раймонт, 1983). Наличие в других водорослях сопутствующих пигментов требует применения и соответствующих дополнительных светофильтров, а также более сложной системы уравнений.

Сравнивая оба рисунка, можно отметить сходный характер распределения величин, причем наиболее отчетливо проявляется центр максимальной величины пигментного поглощения в восточной части разреза (ст. 136), что соответствует большому количеству перидиниевой водоросли *Ceratium falcatum*. В центральной части разреза (ст. 130 и 132) также выделяются локальные максимумы пигментного поглощения, что вызвано бурным развитием не только *C. falcatum*, но и кокколитин.

Однако коэффициент корреляции, вычисленный для 55 проб, оказался равным только 0,57. С целью выяснения причин получения такого результата был проведен корреляционный анализ попарно между пигментным поглощением k_f и различным составом фитопланктона для каждой из десяти станций. Далее сравнивали полученные коэффициенты корреляции с концентрацией фитопланктона для каждой станции.

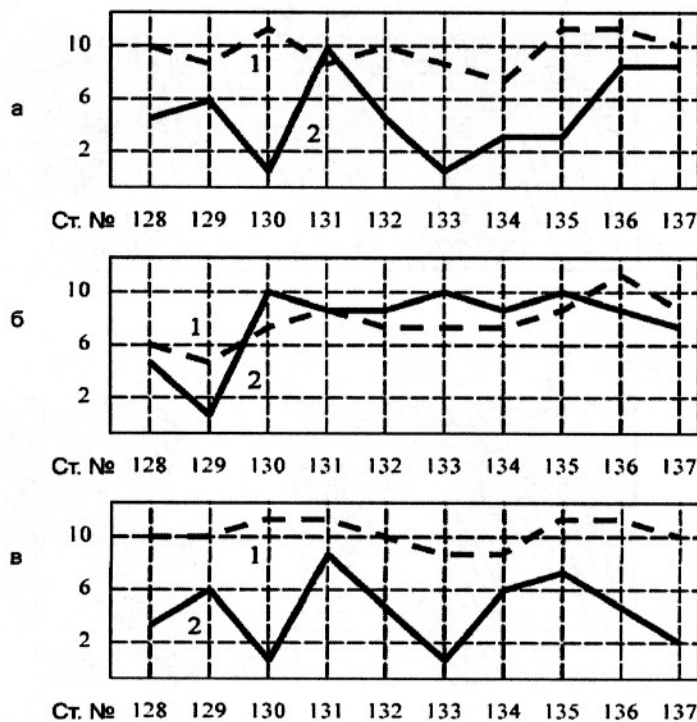


Рис. 5. Сравнительное распределение по станциям численности водорослей в слое 0-100 м (1; по вертикали в lg) и коэффициентов корреляции с k_f (2; по вертикали $\times 0,1$): а – золотистые и перидиниевые; б – перидиниевые; в – золотистые.

Fig. 5. Comparative distribution of algae quantity on the stations in the 0-100 m water column (1; lg) and correlation coefficients with k_f (2, $\times 0,1$): а – chrysophytes and peridinians, б – peridinians, в – chrysophytes.

На рисунке 5 приведены графики распределения коэффициента корреляции между k_f и суммарной численностью золотистых и перидиниевых, а также отдельно для золотистых и для перидиниевых.

Если на рисунке 5а, как, впрочем, и на рисунке 5в почти не наблюдается определенной связи между кривыми, то на рисунке 5б эта зависимость ярко выражена для станций 130-137. Коэффициент корреляции равен 0,85 при общем коэффициенте корреляции 0,70, также достаточно высоком. Малый коэффициент на станциях 128-129 можно объяснить, соответственно, малой концентрацией перидиниевых водорослей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в 18-м рейсе НПС «Академик Книпович» анализ гидрооптических исследований показал, что использование прозрачномера ЛФП-2 позволило получить не только качественно новую информацию, но и существенно дополнить результаты океанологических исследований, полученные традиционными методами, в частности:

- определена гидрооптическая структура и световой режим водных масс в 6-ти участках светового спектра по всей акватории полигона до глубины 250 м;
- определены районы максимальной концентрации фитопланктона, характер его развития и распределение по глубине, что существенно дополнило комплексные исследования биопродуктивности;
- подтверждены и дополнены гидрологические исследования путем идентификации разных водных масс и определения направлений их перемещения при помощи так называемых «трассеров»;
- проводимый прицельный отбор проб на горизонтах экстремальных значений прозрачности позволил повысить точность биологических и гидрохимических исследований вертикальной структуры водной толщи.

Кроме того, в экспедиции впервые был опробован метод применения прозрачномера для оценки распределения фитопланктона и предложен другой подход к интерпретации измерения ослабления света в морской воде на различных участках светового спектра. Развивая этот подход и определяя отношение пигментного поглощения в синей и красной областях спектра, можно получить параметр, аналогичный пигментному индексу. Используя другие участки спектра, можно определить другие хлорофиллы, каротиноиды, РОВ, концентрацию растворенного «желтого вещества» и прочие биологические и гидрохимические параметры водной среды. Разработанная методика использовалась и совершенствовалась еще в нескольких рейсах – в 21-м рейсе НПС «Академик Книпович» при комплексной съемке открытых районов северо-западной Атлантики (Отчет..., 1983) и в 7-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (Рамазин, Левашов, 1984).

Вместе с тем, у новой перспективной методики выявился серьезный недостаток – ослабление света для разных длин волн в прозрачномере типа ЛФП-2 определяется поочередно, т.е. для получения данных на всех 6-ти светофильтрах необходимо выполнить не менее 3-х зондирований (вниз-вверх). В результате, кроме значительного увеличения времени на станцию, данные, полученные таким способом, вносят некоторую неопределенность в процесс вычислений, поскольку «нельзя дважды войти в одну и ту же воду».

Для успешного внедрения такого экспресс-метода (без отбора проб) оценки биопродуктивности в практику рыбопромысловых исследований необходим прибор, получающий всю необходимую информацию за одно зондирование. Поэтому, для реализации принципа одновременных измерений, в 1988 г. ИФ БССР совместно с ВНИРО разработан прозрачномер «Пингвин», где белый свет, прошедший через анализируемый объем воды, разлагается в призме на цвета светового спектра и проецируется вдоль фотодиодной линейки, что позволяет регистрировать ослабление в различных участках одновременно. В результате, с помощью такого призмного спектрометра была реализована возможность физически одновременного и «в одной воде» измерения прозрачности в спектре от 400 до 700 нм с разрешением до 10 нм. Особенностью прозрачномера являлась его способность к работе совместно с кассетным батометром «Диодон», подготовленным к выпуску в СЭКБ «Запрыбы» (Рига). К сожалению, известные преобразования в стране на стыке 80-90-х годов прервали эти далекоидущие планы исследований.

На Западе такой биооптический подход в океанологических исследованиях с использованием спектральных прозрачномеров получил распространение только в середине 90-х годов. Вместе с тем, более совершенная оптическая техника с высоким разрешением и использование микропроцессорной технологии в такой аппаратуре позволила измерять прозрачность в требуемой области спектра (в зависимости от излучателя – видимой или УФ) с разрешением до 2-5 нм. Получаемая информация, по заранее сконфигурированной пользователем программе обработки, позволяет непосредственно во время зондирования оценить вклад спектрального поглощения пигментами хлорофилла, РОВ, биогенами и др. Например, по величине пика оптического поглощения нитрат-иона в области 205 нм уже оценивается концентрация нитратов (Moore, 1994).

Наиболее совершенным в настоящее время прибором такого рода можно считать прозрачномер MST, разработанный в середине 90-х годов в рамках программы EUROMAR Ольденбургским университетом. Этот прозрачномер сейчас выпускается фирмой TriOS GmbH (Германия) и предназначен для оценки спектрального ослабления света в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазоне. Программное обеспечение, реализующее с некоторыми вариациями формулы и алгоритмы, впервые предложенные авторами статьи еще в начале 80-х годов (Левашов, Левашова, 1987, 1991), позволяет идентифицировать хлорофилл «а», взвешенные частицы, «желтое вещество» и другие параметры. Таким образом, для оценки характеристик биопродуктивности водной толщи таким спектральным прозрачномером достаточно одного зондирования, что позволяет нам рекомендовать подобную методику к внедрению в практику промысловых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ерлов Н.Г.* Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 248 с.
- Иванов А.П.* Физические основы гидрооптики. Минск: Наука и техника, 1975. 504 с.
- Левашова С.С., Левашов Д.Е.* Некоторые результаты использования прозрачномера для оценки пространственного распределения фитопланктона. Сб. Биология объектов марикультуры: Экология и культивирование беспозвоночных и водорослей. М.: Институт океанологии АН СССР, 1987. С. 108-111.

Левашов Д.Е., Левашова С.С. К вопросу об использовании спектрального прозрачномера для оценки пространственного распределения фитопланктона. Сб. Рыбохозяйственные исследования планктона. М.: ВНИРО, 1991. Ч. 1. С. 149-154.

Левашов Д.Е., Шершнев А.Е. Рекомендации по применению электронно-оптических методов и приборов в гидробиологических исследованиях. М.: ОНТИ ВНИРО, 1980. 25 с.

Ли М.Е., Михайлов Э.А., Неуймин Г.Г. Новый логарифмический прозрачномер // Исследования междуведомственной экспедиции в Северо-Западной Атлантике. Севастополь: МГИ АН УССР, 1969. С. 71-76.

Отчет 18-й научно-промысловой экспедиции на НПС «Академик Книпович». 1980. 263 с.

Отчет 21-й научно-промысловой экспедиции на НПС «Академик Книпович». 1983. 321 с.

Парсонс Т.Р., Такахаши М., Харгрейв Б. Биологическая океанография. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 432 с.

Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. Том. 1. Фитопланктон. Пер. с англ. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С. 82-83.

Рамазин А.Н., Левашов Д.Е. Пространственно-временная изменчивость показателя ослабления направленного света в морской воде // Экология моря. 1984. Вып. 17. С. 11-18.

Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.

Юданов К.И., Калихман И.Л., Кочиков В.Н., Теслер В.Д., Котенев Б.Н. Комплексные съемки промысловой обстановки (методические рекомендации). М.: ВНИРО, 1988. 76 с.

Hale G.M., Querry M.R. Optical constants of water in the 200-nm to 200-mm wavelength region // Appl. Optics. 1973. V. 12. №3. Pp. 555-563.

Kroebel W. The use of optical attenuation meter for biological measurements // Proc. OCEANS'77. IEEE. Los Angeles. 1977. Pp. 39C1-39C7.

Moore C. In-situ, biochemical, oceanic, optical meters // Sea Technology. 1994. V. 35. №2. Pp. 10-16.

A UNIQUE LARGE-SCALE BIO-OPTICAL SURVEY IN THE SOUTH-EAST PACIFIC

© 2010 y. D.E. Levashov, S.S. Levashova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow
The survey has been carried out on 124 stations in the waters of the South-East Pacific using LFP-2 measuring light attenuation within six sections of light spectrum. Simultaneously the phytoplankton as an important link in food chains for horse mackerel has been sampled using water bottles fixed on transmissometer. As a result, the correlation of optical and biological data allowed identify the most productive regions which proved to be fishing areas with the highest values of fish stocks density. The development of a proposed method in combination with the modern hydro-optical equipment is considered.

Key words: R/V «Akademik Knipovich», South-East Pacific, survey, transmissometer, hydrooptical equipment, water bottle, phytoplankton, productivity, horse mackerel.