

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН УССР

N: 5804-B87

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

УДК 551.463:535.341+551.464.797.9

В.Е.Шемшур, З.П.Бурлакова, В.М.Чистенко, В.Д.Чмыр

ПРОСТОЙ МЕТОД ОЦЕНКИ БИОТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

ЧЕРНОМОРСКИХ ВОД ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В последние годы предпринимаются многочисленные попытки разработать экспрессные оптические методы оценки биотического состояния морских вод: уровня первичной продукции фито-планктона P , концентрации хлорофилла "а" $C_{хл}$ и сестона $C_{ст}$. Их применение позволяет оперативнее и с меньшими затратами выявлять изменения указанных параметров, а сочетание с традиционными методами даёт возможность вырабатывать тактику прицельного отбора проб, что повышает эффективность исследований динамики изучаемой экосистемы.

В настоящем сообщении рассматривается возможность прогнозирования величин P , $C_{хл}$ и $C_{ст}$ для нулевого горизонта по глубине видимости диска Секки Z_6 и усреднённому по подповерхностному водному слою показателю вертикального ослабления облученности сверху на длине волны $\lambda = 500$ нм - $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$. Выбор данных гидрооптических характеристик осуществлялся в первую очередь, исходя из следующих обстоятельств:

- относительная прозрачность Z_6 является одним из самых распространённых океанографических параметров, по пространственно-временному распределению которой накоплен огромный экспериментальный материал [1];

- показатель $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$ используется в качестве основы для оптической классификации морских и океанских вод [2];

- измерения не только Z_6 , но и $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$ просты и не требуют при этом создания сложной оптической аппаратуры зондирования.

Предварительно рассмотрим возможность осуществления оценки P по $C_{\text{хл}}$. Наиболее простой метод, по-видимому, был предложен в [3], где получена следующая зависимость:

$$\lg P = 1,96 + 1,12 \cdot \lg C_{\text{хл}} \quad (1)$$

при $n = 118$, $r = 0,90$. Здесь n — объём числовой выборки, r — коэффициент корреляции. К сожалению, в [3] не указан диапазон изменения P и $C_{\text{хл}}$, что затрудняет практическое использование (1). С целью устранения указанного недостатка проанализируем эту взаимосвязь на основе измерений, выполненных в Средиземном ($n = 132$) и Чёрном ($n = 13$) морях (см. рис. 1). Рассчитанное уравнение регрессии в данном случае имеет вид:

$$\lg P = 1,68 + 0,86 \cdot \lg C_{\text{хл}} \quad (2)$$

при $n = 145$, $r = 0,92$, $S_y = 0,19$, $1 \leq P \leq 1530$ мгС/м³·день, $0,013 \leq C_{\text{хл}} \leq 26,6$ мг/м³. Здесь $S_y = \sigma_y \sqrt{1-r^2}$ — ошибка регрессии, непосредственно характеризующая точность расчёта Y по X . Анализ показывает, что расхождение между соотношениями (1) и (2) в областях малых и средних величин $C_{\text{хл}}$ сравнительно небольшое. Поскольку при выводе (2) привлечены данные для очень продуктивной северо-западной части Чёрного моря, то, очевидно, диапазон изменения входных параметров в [3] будет менее широк, так как соответствующие измерения осуществлялись в Тихом океане. Это даёт основание считать зависимость (2) более универсальной по сравнению с (1).

Ранее в [4] было предложено производить численную оценку $C_{\text{хл}}$ по известной величине Z_6 . Цитируя [4], запишем:

$$\lg C_{\text{хл}} = 2,37 - 2,53 \cdot \lg Z_6 \quad (3)$$

($n = 283$, $r = 0,93$, $5 \leq Z_6 \leq 45$ м, $0,01 \leq C_{\text{хл}} \leq 10$ мг/м³).

Подставляя выражение (3) в (2), получим:

$$\lg P = 3,72 - 2,18 \cdot \lg Z_6 \quad (4)$$

P , $\text{мгС/м}^3 \cdot \text{день}$

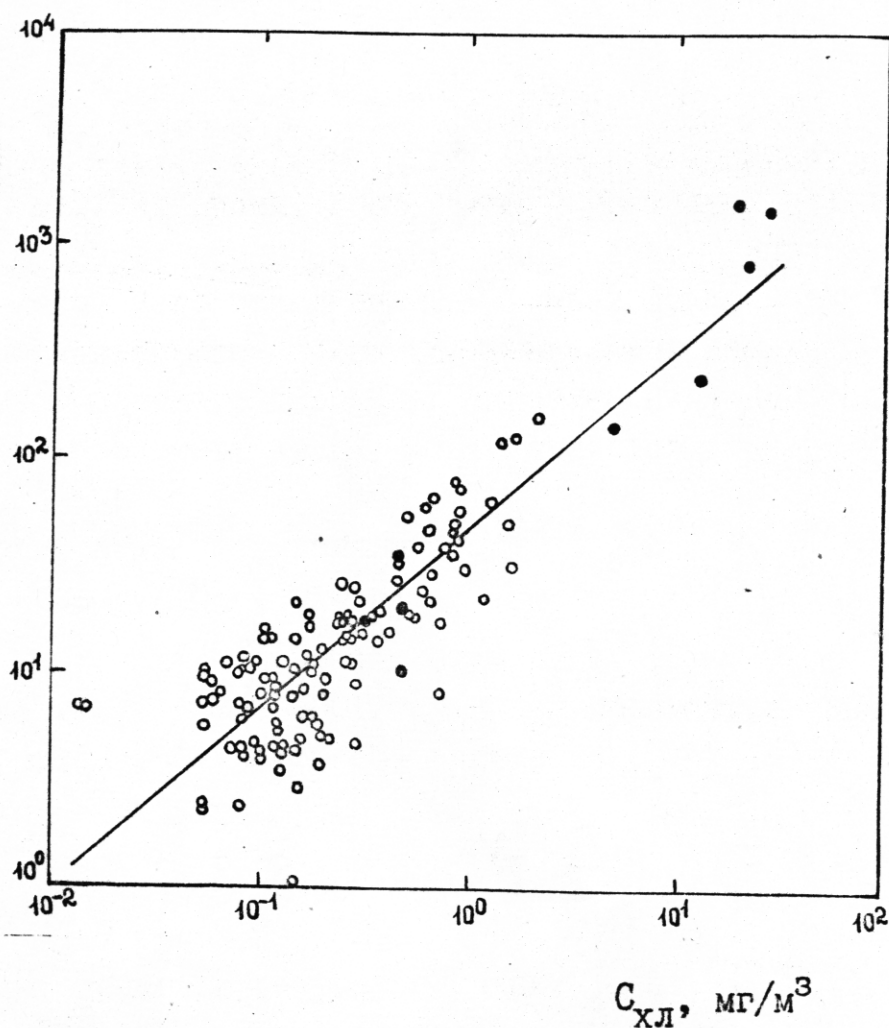


Рис. I

Взаимосвязь между первичной продукцией и концентрацией хлорофилла "а", измеренными для нулевого горизонта: о - Средиземное море, • - Чёрное море, включая его северо-западную часть.

Для проверки справедливости соотношения (4) нами был привлечён дополнительный экспериментальный материал, полученный в Средиземном море и представленный на рис. 2. Непосредственный расчёт корреляционной связи между P и Z_6 даёт следующее выражение:

$$\lg P = 3,98 - 2,30 \cdot \lg Z_6 \quad (4')$$

($n = 37$, $r = -0,79$, $2,2 \leq P \leq 77,6$ мкг/м³·день, $8 \leq Z_6 \leq 33$ м). Как видим, коэффициенты уравнений (4) и (4') близки между собой, что позволяет рекомендовать выражение (4) для практического применения. Разумеется, при наличии достаточно большого массива экспериментальных данных по P и Z_6 (с учётом широкого диапазона их изменения) необходимо будет уточнить соотношение (4) — это является задачей последующих экспедиций.

Остановимся на взаимосвязи между Z_6 и $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$. Ранее было показано [5], что

$$\bar{\alpha}^{\downarrow}(500) = 1,15 / Z_6 \quad (5)$$

Здесь показатель $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$ определён при натуральном основании логарифма. С учётом (5) выражения (3) и (4) легко преобразуются к виду:

$$\lg C_{\text{хл}} = 2,22 + 2,53 \cdot \lg \bar{\alpha}^{\downarrow}(500), \quad (6)$$

$$\lg P = 3,59 + 2,18 \cdot \lg \bar{\alpha}^{\downarrow}(500) \quad (7)$$

Перейдём теперь к вопросу о связи $C_{\text{ст}}$ с $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$ и Z_6 . В качестве исходного экспериментального материала нами были взяты данные из [6-8], а также полученные в 12-м рейсе нис "Профессор Колесников" (август-сентябрь 1985 г.). При этом в ряде случаев показатель $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500)$ определялся косвенным образом — через измеренные значения индекса цвета водной толщи J и Z_6 с помощью разработанных в [5] алгоритмов: $\bar{\alpha}^{\downarrow}(500) = a + b \cdot J$ и (5). Напомним, что согласно [9] индекс цвета водной толщи представляет собой отношение:

$$J(\lambda_1, \lambda_2) = V^{\uparrow}(\lambda_1) / V^{\uparrow}(\lambda_2) \quad (8)$$

Здесь $V^{\uparrow}(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической яркости, или облученности $E^{\uparrow}(\lambda)$, измеренная в надир непосред-

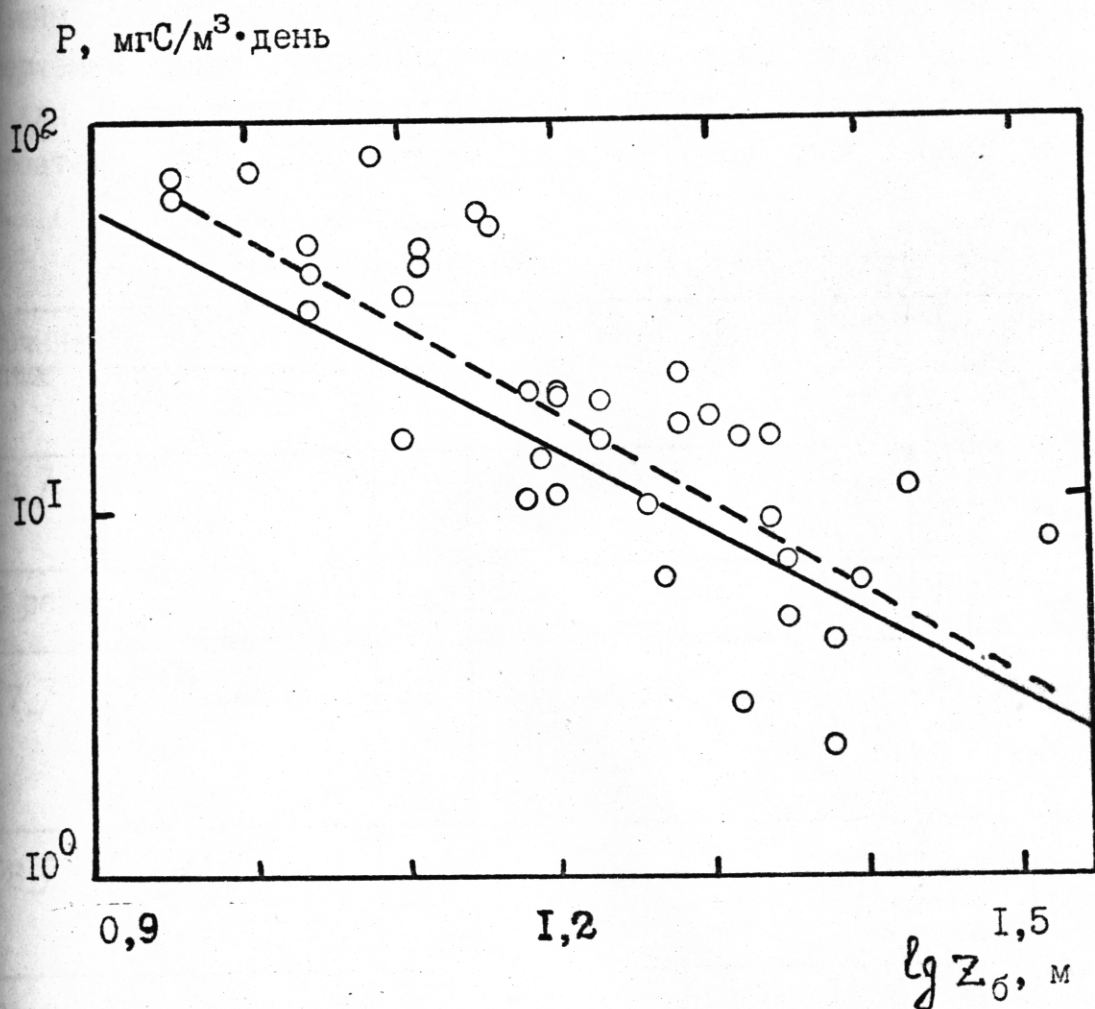


Рис. 2

Взаимосвязь между первичной продукцией и глубиной видимости диска Секки: ———— - графическое изображение уравнения (4), - - - - графическое изображение уравнения (4').

венно под водной поверхностью; длины волн λ_1 и λ_2 варьируют, как правило, с учётом поглощения света фотосинтетическими пигментами морского фитопланктона. Ниже в табл. I указаны использовавшийся источник экспериментальных данных, измеряемый гидрооптический параметр, количество точек, взятых для корреляционного анализа, алгоритм восстановления показателя $\bar{\alpha}^T(500)$, а также район проведенных исследований.

Таблица I.

Источник данных	Измеренный гидрооптический параметр	n	Алгоритмы восстановления $\bar{\alpha}^T(500)$ по [5]	Район проведенных исследований
[6]	Z_6	47	$\bar{\alpha}^T(500) = 1,15 / Z_6$	Чёрное и Средиземное моря
12 рейс	Z_6	14	"	Чёрное море
[7]	$J(450, 525)$	22	$\bar{\alpha}^T(500) = 4,2 \cdot 10^{-2} + 0,17 \cdot [1 / J(450, 525)]$	Северное море
[8]	$\bar{\alpha}^T(500)$	16	-	Мавританский апвеллинг

Весь экспериментальный материал нанесен на рис. 3, из которого видно, что различные группы точек хорошо согласуются друг с другом, а между логарифмами указанных характеристик наблюдается линейная зависимость. Проведенный корреляционный анализ показывает, что в данном случае имеем:

$$\lg C_{ст} = 0,92 + 1,31 \cdot \lg \bar{\alpha}^T(500) \quad (9)$$

($n = 99$, $r = 0,88$, $S_y = 0,14$, $0,12 \leq C_{ст} \leq 4,74$ мг/л, $0,05 \leq \bar{\alpha}^T(500) \leq 0,77$ м⁻¹). С учётом (5) из (9) следует:

$$\lg C_{ст} = 1,00 - 1,31 \cdot \lg Z_6 \quad (10)$$

($1,5 \leq Z_6 \leq 23$ м).

Следует сказать, что на зависимость прозрачности морской воды от содержания в ней взвешенного вещества указы -

$C_{\text{ст}}, \text{мг/л}$

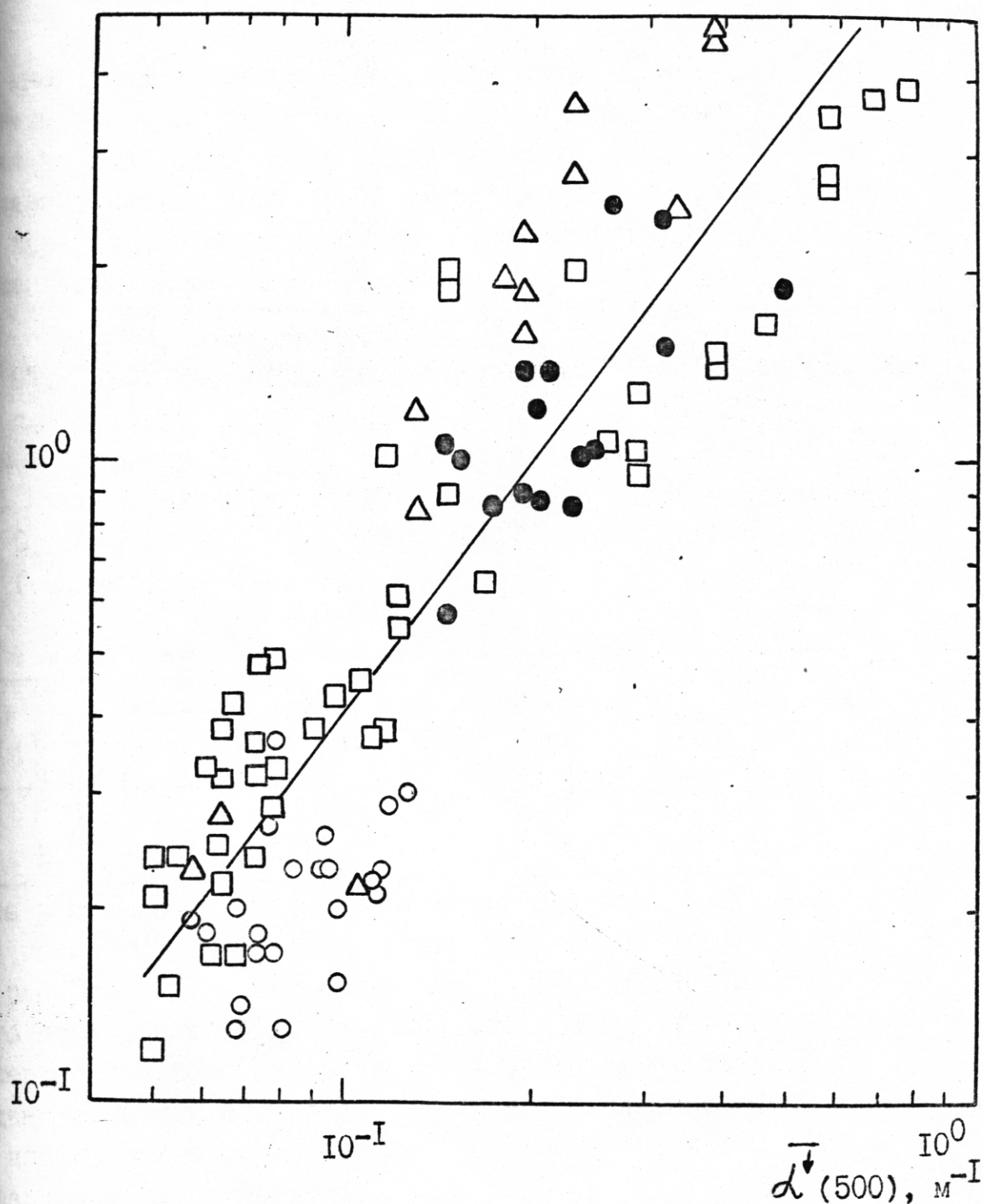


Рис. 3

Взаимосвязь между концентрацией сестона и показателем вертикального ослабления: o, •, □ и Δ - соответственно данные [7], [8], [6] и 12-го рейса нис "Профессор Колесников".

ли многие исследователи (см., например, [10-12]). При -
нительно к водам Черноморско-Средиземноморского бассейна
нная задача подробно рассматривалась в [6], где данные
блюдений над относительной прозрачностью были сопоставле-
с параллельно определяющимися величинами суммарного
вешенного вещества. В [6] было получено:

$$\lg C_{ст} = 0,66 - 0,85 \cdot \lg Z_6 \quad (II)$$

$n = 67$, $r = 0,74$). Сравнение результатов расчёта по (I0) и
II) показывает, что в области $1,5 \leq Z_6 \leq 25$ м макси-
мальное различие между $C_{ст}$ в обоих случаях не превышает два
аза. Причём, для малых глубин видимости диска Секки вели-
чина $C_{ст}$ больше по (I0), чем по (II), а для больших, наобо-
рот, (см. таблицу 2).

Таблица 2.

Z_6 , м	$C_{ст}$, мг/л		Z_6 , м	$C_{ст}$, мг/л		Z_6 , м	$C_{ст}$, мг/л	
	расчет по(I0)	расчет по(II)		расчет по(I0)	расчет по(II)		расчет по(I0)	расчет по(II)
1,5	8,83	4,22	10	0,49	0,65	20	0,20	0,36
5	1,21	1,16	15	0,29	0,46	25	0,15	0,30

Такое расхождение вполне объяснимо: при расчёте уравнения
(I0) величины $C_{ст}$ брались только для нулевого горизонта, а
при расчёте (II) - как среднее арифметическое для слоя, бли-
зкого по толще к Z_6 . Отметим, что при использовании нами
экспериментального материала из [6] рассматривались толь-
ко данные на тех станциях, на которых численные значения
 $C_{ст}$ для нулевого горизонта и усреднённые по слою $0 \div Z_6$ м
совпадали между собой.

Полученные уравнения связи P , $C_{хл}$, $C_{ст}$ с Z_6 и $\alpha^{\downarrow}(500)$
характеризуются сравнительно высокими погрешностями. Это
можно объяснить в первую очередь ошибками как инструмента-
льного определения входных параметров, так и расчёта. Кро-
ме того, на относительную прозрачность Z_6 , а следователь-
но и на показатель $\alpha^{\downarrow}(500)$, влияют все растворенные и
взвешенные вещества различного происхождения, находящиеся
в морской воде. Величины Z_6 и $\alpha^{\downarrow}(500)$ являются характери-

стикой поверхностного слоя воды, в котором вертикальное распределение P , $C_{\text{хл}}$ и $C_{\text{ст}}$ как правило неоднородно по глубине. Поэтому можно предположить, что концентрации $C_{\text{хл}}$, $C_{\text{ст}}$ и P , усреднённые по слою $0 \div Z_6$, имели бы более тесные связи с Z_6 и $\alpha^{\downarrow}(500)$ по сравнению с рассматриваемыми нами величинами этих гидробиологических характеристик, измеренными для нулевого горизонта.

В заключение отметим, что предлагаемые уравнения могут быть использованы для экспрессных расчётов содержания сестона, концентрации хлорофилла "а" и первичной продукции в приповерхностном слое морской воды по данным простых оптических наблюдений. Эти соотношения основываются на экспериментальном материале, статистическая обеспеченность которого велика и равномерна во всём диапазоне их изменения. Авторы выражают надежду, что предлагаемые методы определения P , $C_{\text{хл}}$ и $C_{\text{ст}}$ найдут применение при гидробиологических и геохимических исследованиях, особенно в тех случаях, когда большая точность цифрового материала необязательна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов В.И. Относительная прозрачность. - В кн.: Оптика океана. Т.2. Прикладная оптика океана. М.: Наука, 1983, с. 21-26.

2. Пелевин В.Н., Рутковская В.А. Об оптической классификации океанских вод по спектрам ослабления солнечного излучения. - Океанология, 1977, т.17, вып. I, с. 50-54.

3. Ведерников В.И. Ассимиляционное число и пределы его колебаний в культурах и природных популяций морских планктонных водорослей. - Тр. ИО АН УССР. М.: Наука, 1982, т.114, с. 92-111.

4. Шемшур В.Е., Урденко В.А., Федирко В.И. О связи относительной прозрачности с содержанием хлорофилла "а" в воде. - Океанология, 1982, т. 22, вып. 3, с. 404-407.

5. Шемшур В.Е., Афонин Е.И., Урденко В.А. Статистические связи между некоторыми параметрами светового поля в морской воде. Ч.1. Результаты контактных измерений. - Деп. в ВИНТИ, рег. № 110-84 Деп., 34 с.

6. Витюк Д.М. Использование визуальных наблюдений для расчёта концентрации взвеси в морской воде.- В сб.: Биология моря. Киев: Наукова думка, 1977, вып. 42, с. 82-86.

7. Højerslev N.K. Inherent and apparent optical properties of the North Sea: Fladen Ground Experiment-FLEX75. -In: Rep. Copenhagen Univ., 1977, No. 32, 39 p.p.

8. Morel X. et Prieur L. Mesure de la concentration ponderale du seston sec.-In: Resultats de la campagne Cineca 5-J. Charcot-Capricorne 7403. Publ. du CNEXO, 1976, No. 10

9. Jerlov N.G. Significant relationships between optical properties of the sea.-In: Optical Aspects of Oceanography. N.Y.: Acad. press, 1974, p. 77-94.

10. Скопинцев Б.А. О коагуляции терригенных взвешенных частиц речного стока в морской воде.- Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., 1946, 10, № 4, с. 357-371.

11. Иванов К.И. О зависимости между прозрачностью и содержанием взвешенных веществ.- Тр. ГОИН, 1948, № 10, 22, с. 117-129.

12. Шулейкин В.В. Физика моря. М.: Изд-во АН СССР, 1953, 989 с.