

В.В. Суслин<sup>1</sup>, Т.Я. Чурилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь*

<sup>2</sup> *Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь*

**МОДЕЛЬ ДИФFUЗНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОГО  
ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 490 НМ  
ДЛЯ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

Диффузный коэффициент вертикального ослабления  $K_d(490)$  является одним из ключевых параметров для ряда приложений, связанных с моделированием качества воды, гидродинамических и биологических процессов в море. В настоящей работе показано, что в Черном море в период цветения диатомовых водорослей стандартный спутниковый продукт  $K_d(490)$  занижен по сравнению с его модельной оценкой. Используя данные цветового сканера *SeaWiFS*, получена региональная связь между модельным значением  $K_d(490)$  и отношением  $R_{rs}(490)/R_{rs}(510)$  стандартных спутниковых продуктов – восходящей яркости, нормированной на облученность сверху.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Черное море, коэффициент вертикального ослабления, спутниковые данные оптических сканеров цвета, SeaWiFS.*

**Введение.** В последние годы спутниковые наблюдательные системы, работающие в видимом диапазоне спектра, и методы обработки полученных с их помощью данных достигли существенного прогресса. Современные спутниковые многоспектральные измерения обеспечивают обзор любого района земной поверхности один (два) раза в сутки с пространственным разрешением 1 км и выше. Результаты этих измерений доступны в сети интернет с задержкой по времени около 6-ти часов. На орбите одновременно работают несколько приборов: *MODIS<sup>1</sup>-Terra* (с февраля 2000 г.) *MODIS-Aqua* (с июля 2002 г.) и *MERIS-Envisat* (с мая 2002 г.). К настоящему времени (включая цветовой сканер *SeaWiFS*, работавший в период с сентября 1997 г. по декабрь 2010 г.) накоплен непрерывный временной ряд (более 10 лет) геофизических продуктов, характеризующих биооптические свойства верхнего слоя Мирового океана [1]. Его отличительной чертой является постоянное повышение качества восстановленных продуктов, которое, с одной стороны, обеспечивается периодической коррекцией калибровок прибора, работающего на орбите, с последующим пересчетом стандартных продуктов [2], с другой стороны, совершенствованием процедуры атмосферной коррекции и биооптических алгоритмов. Уточнение оптических констант и диапазона их изменчивости, а так же функциональных связей между биооптическими параметрами среды как для вод открытого океана [3 – 5], так и для отдельных регионов, в частности, Черного моря [6 – 9] приводит к более точному описанию биооптических полей.

© В.В. Суслин, Т.Я. Чурилова, 2011

<sup>1</sup> Расшифровки аббревиатур, встречающихся в тексте, приведены в конце статьи.

Набор так называемых стандартных продуктов, характеризующих биооптические свойства верхнего слоя морей и океанов, описан в [10, 11]. Одним из таких продуктов является диффузный коэффициент вертикального ослабления света на длине волны 490 нм, далее в тексте –  $K_d(490)$ . Значение этой величины играет ключевую роль для целого ряда актуальных исследований, связанных с моделированием качества воды, гидродинамических и биологических процессов в море, например: изучение влияния поглощенной коротковолновой части солнечного спектра на термодинамические характеристики верхнего слоя моря [12], на образование первичной продукции [13 – 17] и экосистему моря в целом [18].

Для открытого океана был выполнен статистический анализ между *in situ* измерениями  $K_d(490)$  и восходящей из-под поверхности воды яркости излучения [3, 19]. Именно результат этого анализа лежит в основе эмпирического выражения для определения стандартного продукта  $K_d(490)$ . Оптические свойства воды Черного моря имеют ряд специфических особенностей, которые существенно отличают его от открытого океана, главные из них – повышенное содержание оптически активной растворенной органики [6, 20] и специфическое поглощение, предположительно обусловленное фитопланктоном, в диапазоне длин волн 530 – 560 нм [21]. Поэтому для Черного моря является актуальным создание региональной биооптической модели  $K_d(490)$ , для восстановления которого используются спутниковые стандартные продукты — спектр выходящей из-под воды яркости, нормализованный на облученность сверху,  $R_{rs}$ . Задача этой работы – найти для Черного моря связь между модельным значением  $K_d(490)$  и стандартными спутниковыми продуктами ( $R_{rs}$ ).

**Материалы и методики.** Определение коэффициента вертикального ослабления имеет следующий вид

$$K_d = -\frac{1}{E_d} \cdot \frac{dE_d}{dz},$$

где  $E_d = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} L(\theta, \varphi) \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\theta) d\theta$  – облученность сверху,  $\theta$  и  $\varphi$  вертикальный и азимутальный углы нисходящего излучения  $L(\theta, \varphi)$ ,  $z$  – координата глубины (ось направлена вниз).

Однако в таком виде это уравнение для расчета  $K_d(490)$  по спутниковым данным использовать трудно. Поэтому воспользуемся моделью [22, 23], которая описывает  $K_d(490)$  как функцию первичных гидрооптических характеристик,  $IOPs$ , и которая будет использована ниже. Согласно этой модели уравнение для  $K_d(490)$  имеет следующий вид

$$K_d = \frac{a + b_b}{\mu}, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b_b$  – коэффициенты суммарного поглощения и обратного рассеяния света морской водой соответственно,  $\mu$  – средний косинус нисходящего излучения, равный  $\sim 0,8$ .

В работе были использованы спутниковые данные *SeaWiFS* второго уровня [24] за 1998 год. Для района, охватывающего Черное море, эти данные были интерполированы на сетку с шагом 0,035 град по долготе и 0,025 град по широте. Шаг осреднения по времени составлял приблизительно две недели, т.к. каждый месяц был разделен на две части. В осреднении были использованы данные соответствующие следующим критериям:

- величина восстановленной после атмосферной коррекции яркости, выходящей из-под поверхности воды, не должна быть отрицательной для любого из спектральных каналов;
- количество итераций поиска решения при выполнении атмосферной коррекции не должно превышать значения по умолчанию (оно равно 10);
- рядом с обрабатываемым участком моря не должен находиться объект повышенной яркости (как правило, это облачность или суша);
- обрабатываемый участок моря находится вне зоны блика.

Всего для анализа в работе были использованы шесть прямоугольных районов. Пять из них расположены в глубоководной части моря и охватывают участки поверхности моря, ограниченные координатами:

- 1) 42,93° – 43,5° с.ш. и 30,85° – 31,66° в.д.;
- 2) 42,90° – 43,5° с.ш. и 36,10° – 36,90° в.д.;
- 3) 41,90° – 42,5° с.ш. и 38,40° – 39,20° в.д.;
- 4) 42,90° – 43,5° с.ш. и 33,70° – 34,50° в.д.;
- 5) 42,20° – 42,8° с.ш. и 29,80° – 30,60° в.д.

Шестой расположен на северо-западном шельфе и охватывает участок поверхности моря, ограниченный координатами:

44,550° – 45,125° с.ш. и 30,850° – 31,655° в.д.

Для объяснения полученных результатов были привлечены измерения концентрации хлорофилла «а», выполненные *in situ* в глубоководной западной части Черного моря (пятый глубоководный район) с попутных судов [25].

**Результаты и обсуждение.** На рис. 1 представлены результаты сравнения стандартного спутникового продукта  $K_d(490)$  и его модельного расчета.

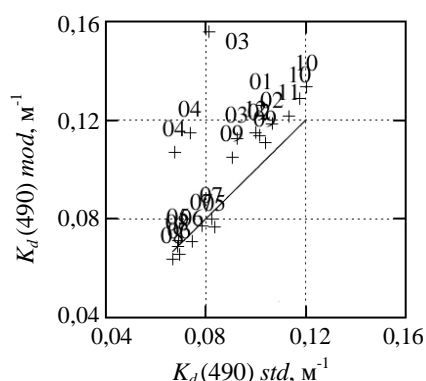


Рис. 1. Сравнение стандартного продукта  $K_d(490)_{std}$  с его модельным расчетом по формуле (1)  $K_d(490)_{mod}$  в пятом глубоководном районе Черного моря по данным прибора *SeaWiFS* в 1998 году. Цифры над символами означают порядковый номер месяца в году. Сплошная линия:  $K_d(490)_{mod} = K_d(490)_{std}$ .

Модельный расчет выполнен по формуле (1) по данным измерений *SeaWiFS* в пятом глубоководном районе в 1998 году. Коэффициент обратного рассеяния света частицами взвеси вычислялся по спутниковым данным

*SeaWiFS* с использованием эмпирического уравнения из [6]. Для расчета суммарного коэффициента поглощения света окрашенной компонентой растворенной органики и детритом и коэффициента поглощения света фитопланктоном был использован подход, разработанный в работе [8]. Коэффициенты обратного рассеяния и поглощения для чистой морской воды брались из [26, 27] соответственно.

Хорошо видно, что наилучшее соответствие между стандартным продуктом и модельной оценкой наблюдается в летний период, а наихудшее – весной. Почему максимальные различия для данного района происходит весной, а минимальные – летом? Чтобы ответить на этот вопрос, разберемся с тем, что представляет собой стандартный продукт –  $K_d(490)$ . Для спектральных каналов *SeaWiFS* его величина в ( $m^{-1}$ ) вычисляется по следующей эмпирической формуле:

$$K_d(490) = 10^{\alpha_0 + \alpha_1 \cdot X + \alpha_2 \cdot X^2 + \alpha_3 \cdot X^3 + \alpha_4 \cdot X^4} + 0,0166, \quad (2)$$

где:  $X = \lg(R_{rs}(490)/R_{rs}(555))$ ,  $\alpha_0 = -0,8515$ ,  $\alpha_1 = -1,8263$ ,  $\alpha_2 = 1,8714$ ,  $\alpha_3 = -2,4414$ ,  $\alpha_4 = -1,0690$  – константы для спектральных каналов комплекса *SeaWiFS* [19].

Выражение (2) получено как наилучшая, в смысле метода наименьших квадратов, аппроксимация показательной функцией между наблюдениями и отношением  $R_{rs}$  в двух спектральных каналах 490 и 555 нм. Так как подавляющее число наблюдений сделано в так называемых водах первого типа [26], то, как следствие, отношение  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$  в первом приближении пропорционально суммарному коэффициенту поглощения морской водой в спектральном канале 490 нм. Как показано в работе [8], для Черного моря это не так! Причина состоит в специфике удельного поглощения фитопланктона в спектральном канале 555 нм, которое существенно больше того значения, которое дано в работе [28]. Именно этим можно объяснить петлеобразное поведение отношений  $R_{rs}$  в пространстве  $\{R_{rs}(555)/R_{rs}(510), R_{rs}(510)/R_{rs}(490)\}$  в их сезонном ходе. Пример такого поведения представлен на рис. 2 для пятого глубоководного района.

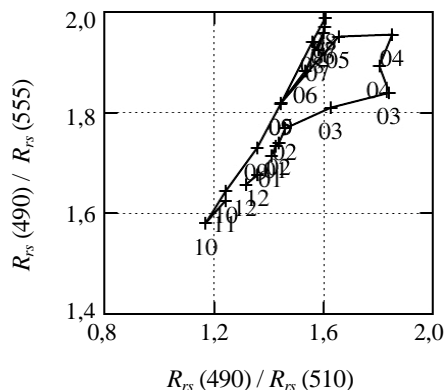


Рис. 2. Поведение отношений  $R_{rs}(490)/R_{rs}(510)$  и  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$  в сезонном цикле 1998 года в пятом глубоководном районе по данным *SeaWiFS*. Цифры под символами означают порядковый номер месяца в году.

Рис. 3 иллюстрирует сезонную изменчивость концентрации хлорофилла «а» в пятом глубоководном районе Черного моря в 1998 году. Как видно, в этом районе моря в весенний период 1998 года по измерениям *in situ* наблюдалось цветение диатомовых водорослей и, как следствие, высокие значения концентрации хлорофилла «а». Это приводит к росту суммарного поглощения света и, следовательно, согласно (1) росту  $K_d(490)$ . Заметим, что стандартный метод не чувствует весеннего цветения фитопланктона (см. рис. 2). Завышенное значение концентрации хлорофилла «а» в летний период – результат более высоких значений поглощения растворенной органикой по сравнению с океанскими водами. Летом, когда концентрация хлорофилла «а» в глубоководной части моря на порядок меньше, основной вклад в суммарное поглощение вносит растворенная органика, вклад которой гораздо больше в спектральном канале 490 нм, чем в спектральном канале 555 нм. Последнее и обуславливает хорошее соответствие летних значений между стандартными и модельными оценками  $K_d(490)$ . Как оказалось, эта особенность в Черном море отсутствует, если уравнение (2) переписать в терминах отношения  $R_{rs}(490) / R_{rs}(510)$ . На рис. 4 показан аналог рис. 1, с той лишь разницей, что в уравнении (2) отношение  $R_{rs}(490) / R_{rs}(555)$  заменено на отношение  $R_{rs}(490) / R_{rs}(510)$  согласно выражению

$$y = A \cdot x + B, \quad (3)$$

где  $y = R_{rs}(490) / R_{rs}(555)$ ;  $x = R_{rs}(490) / R_{rs}(510)$ ;  $A = 1,85$ ;  $B = -1,0$ .

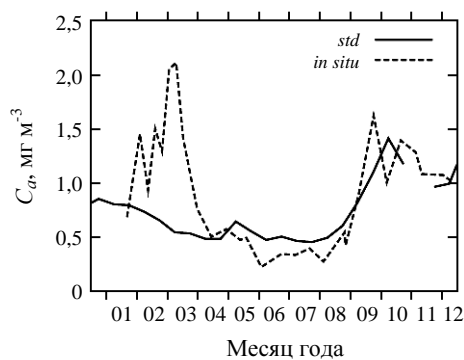


Рис. 3. Сезонная изменчивость концентрации хлорофилла «а» в пятом глубоководном районе Черного моря в 1998 году по стандартному алгоритму (*std*: сплошная линия) и натурным измерениям (*in situ*: пунктирная линия).

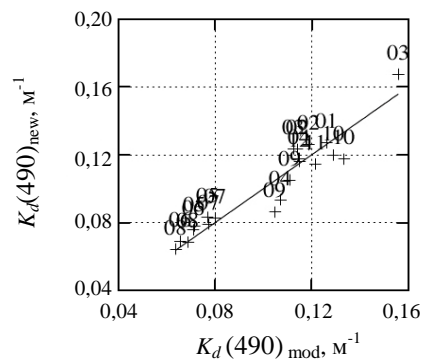


Рис. 4. То же, что рис. 1.  $K_d(490)_{new}$  вычисляется по формуле (2), в которой отношение  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$  рассчитывается по формуле (3). Сплошная линия:  $K_d(490)_{new} = K_d(490)_{mod}$ .

Выражение (3) найдено эмпирически по пяти глубоководным районам Черного моря за весь период работы *SeaWiFS*. Для этого использовались данные измерений, выполненных только в летние месяцы – зависимость  $R_{rs}(490) / R_{rs}(555) = f(R_{rs}(490) / R_{rs}(510))$  приведена на рис. 5. Коэффициент корреляции равен 0,95.

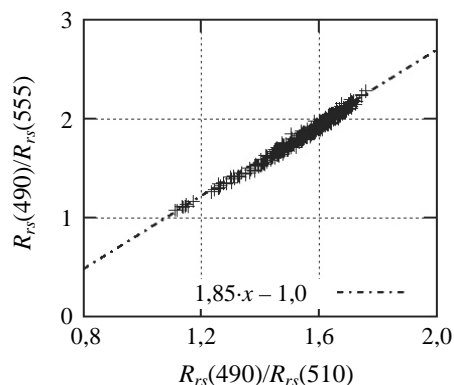


Рис. 5. Регрессионная связь между величинами  $R_{rs}(490)/R_{rs}(510)$  и  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ , полученная по пяти глубоководным районам Черного моря за весь период измерений прибором *SeaWiFS* в летние месяцы.

Как указывалось выше, в случае доминирования растворенной органики в суммарном поглощении имеем между стандартным, модельным и скорректированным расчетом

$$K_d(490) \quad (K_d(490)_{std} \approx K_d(490)_{mod} \approx K_d(490)_{new}).$$

Такая ситуация, как правило, наблюдается в прибрежных водах и на северо-западном шельфе Черного моря.

На рис. 6 показан результат сравнения  $K_d(490)_{new}$  и  $K_d(490)_{mod}$  для района северо-западного шельфа в 1998 году.

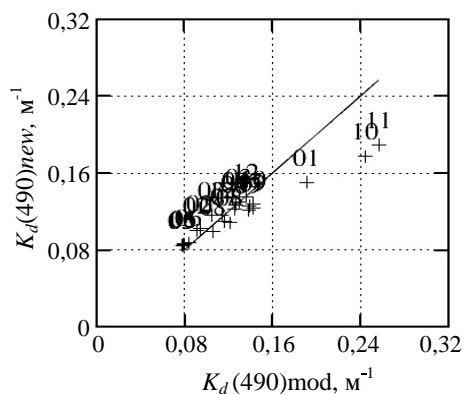


Рис. 6. Аналог рис. 4 для района северо-западного шельфа. Сплошная линия:  $K_d(490)_{new}, m^{-1} = K_d(490)_{mod}, m^{-1}$ .

Как видно из рис. 6, ошибка укладывается в 20%, что соответствует точности формулы (1). Таким образом, уравнение (2) с учетом связи (3) позволяет с достаточной точностью (~ 20%) восстанавливать  $K_d(490)$  во все сезоны и во всех районах Черного моря. Кроме того, в работе [21] показано, что наблюдаемое различие между стандартным и скорректированным значением  $K_d(490)$  в весенний период не является особенностью 1998 года, а наблюдается и в другие года.

Полученный нами выше результат дает возможность построить более точный по сравнению со стандартным продуктом непрерывный ряд двухнедельных карт  $K_d(490)$  по спутниковым данным прибора *SeaWiFS* с сентября 1997 года по декабрь 2010 года для Черного моря.

На рис. 7 приведены примеры распределения по акватории Черного моря скорректированного и стандартного продукта  $K_d(490)$ .

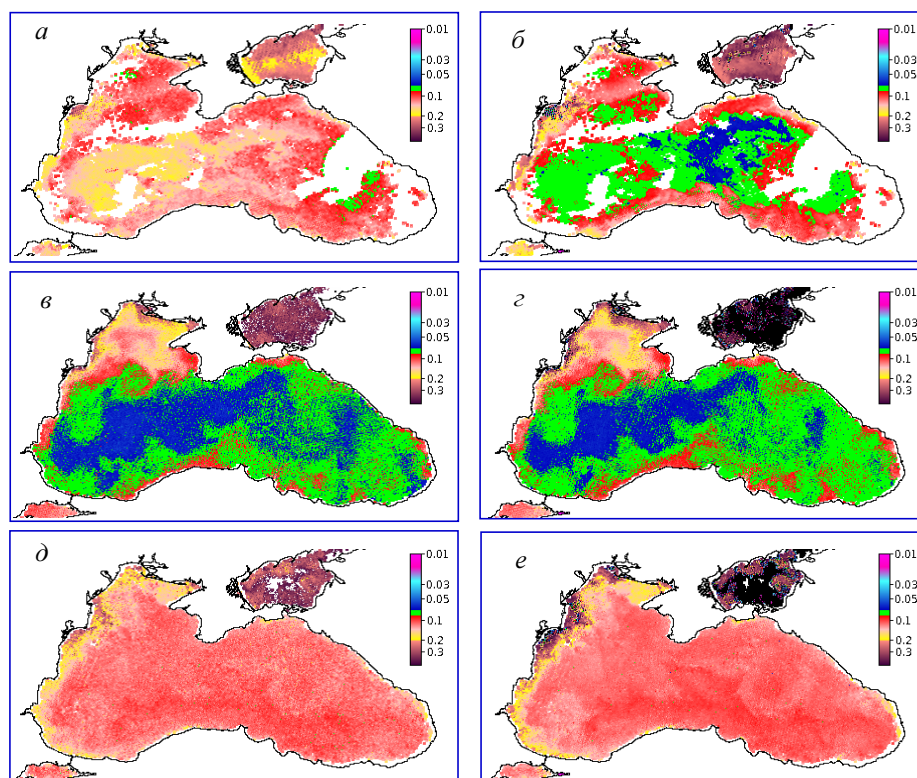


Рис. 7. Примеры распределения по акватории Черного моря  $K_d(490)$ , построенные по данным 1998 года цветового сканера *SeaWiFS* для второй половины марта (а, б), августа (в, г) и октября (д, е) по стандартной методике (б, г, е – отношение  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ ) и модифицированной методике (а, в, д – отношение  $R_{rs}(490)/R_{rs}(510)$ ).

Как и следовало ожидать, наибольшая разница наблюдается весной (см. рис. 7 а, б) в глубоководной части моря. Летние (см. рис. 7 в, г) и осенние (см. рис. 7 д, е) распределения (карты) практически идентичны. Небольшие количественные отличия наблюдаются в прибрежных районах. Карты стандартного и скорректированного продукта  $K_d(490)$  за весь период работы прибора *SeaWiFS* доступны в сети интернет в цифровом и графическом виде [29].

**Выводы.** Обнаружено, что в Черном море в период зимне-весеннего цветения диатомовых водорослей значение  $K_d(490)$ , вычисленное по стандартному алгоритму *NASA* оказывается занижено по сравнению с его модельной оценкой. Показано, что переход от отношения  $R_{rs}$  в спектральных каналах 490 и 555 к отношению  $R_{rs}$  в спектральных каналах 490 и 510 позволяет восстановить значение  $K_d(490)$  во все сезоны и во всех районах

Черного моря с точностью около 20%. Используя найденную связь (см. выражения (2) и (3)) между  $K_d(490)$  и отношением  $R_{rs}$  в спектральных каналах 490 и 510, для Черного моря были построены двухнедельные карты  $K_d(490)$  за весь период работы цветового сканера *SeaWiFS*.

#### **Благодарности.**

*Работа выполнена при финансовой поддержке проектов НАН Украины «Оперативная океанография» и Национального космического агентства Украины «Методика-М», проектов ЕС «SESAM FP6», «MyOcean» (FP7/2007-2013 grand agreement № 218812 ) и «ODEMM» (FP7 project № 244273).*

#### СПИСОК АББРЕВИАТУР

- IOPs – Inherent Optical Properties;*  
*MERIS – Medium Resolution Imaging Spectrometer;*  
*MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer;*  
*NASA – National Aeronautics and Space Administration;*  
*SeaWiFS – Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стандартные продукты цветových сканеров.* [Электронный ресурс]. <http://ocean.color.gsfc.nasa.gov/cgi/algorithms.cgi>. (Последнее обращение 30.10.2011).
2. *Этапы калировок оптических сканеров SeaWiFS, MODIS и др.* [Электронный ресурс]. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/WIKI/OCRproc.html>. (Последнее обращение 30.10.2011).
3. *O'Reilly J.E. and 24 Coauthors.* SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. NASA Tech. Memo. 2000-206892 (S.B. Hooker and E.R. Firestone eds.) – NASA Goddard Space Flight Center. – 2000. – vol. 11. – 49 p.
4. *Lee Z.P., Carder K.L., Arnone R.* Deriving inherent optical properties from water color: A multi-band quasi-analytical algorithm for optically deep waters // *Applied Optics.* – 2002. – vol. 41, № 27. – P. 5755-5772.
5. *Maritorena S., Siege D.A., Peterson A.* Optimization of a Semi-Analytical Ocean Color Model for Global Scale Applications. // *Applied Optics.* – 2002. – vol. 41, № 15. – P. 2705-2714.
6. *Суетин В.С., Суслин В.В., Королев С.Н., Кучерявый А.А.* Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море по данным спутникового прибора SeaWiFS // *Морской гидрофизический журнал.* – 2002. – № 6. – С. 44-54.
7. *Churilova T.Ya., Suslin V.V., Berseneva G.P., Pryahina S.F.* Parametrization of light absorption by phytoplankton, non-algal particles and coloured dissolved organic matter in the Black Sea. // *Current Problems in Optics of Natural Waters: Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. (Nizhny Novgorod, September 11-15, 2007) – Nizhny Novgorod.* – 2007. – P. 70-74.



8. Суслин В.В., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М. Региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла *a* в Черном море по спутниковым данным SeaWiFS // Морской экологический журнал. – 2008. – № 2. – С. 24-42.
9. Suslin V.V., Churilova T.Ya., Pryahina S.F. Seasonal variability of the slope in absorption spectra of color detrital matter in the deep part of the Black Sea based on SeaWiFS and MODIS data sets // Current Problems in Optics of Natural Waters: Proc. 5<sup>th</sup> - Int. Conf. (St. Petersburg). – 2009. – P. 136-138.
10. Данные второго уровня цветowych сканеров. [Электронный ресурс]. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> (Последнее обращение 30.10.2011).
11. Данные третьего уровня цветового сканера MERIS. [Электронный ресурс]. <http://www.globcolour.info> (Последнее обращение 30.10.2011).
12. Kubryakov A., Suslin V., Churilova T., Korotaev G. Effects of Penetrative Radiation on the Upper Layer Black Sea Thermodynamics // MyOcean Science Days, Toulouse, 1-3 December 2010, [http://mercator-myocceanv2.netaktiv.com/MSD\\_2010/Abstract/ Abstract\\_KUBRYAKOVA\\_MSD\\_2010.doc](http://mercator-myocceanv2.netaktiv.com/MSD_2010/Abstract/Abstract_KUBRYAKOVA_MSD_2010.doc)
13. Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т. Я. Региональная модель для расчета первичной продукции Черного моря с использованием данных спутникового сканера цвета SeaWiFS. // Морской экологический журнал. – 2009. – № 1. – С. 81-106.
14. Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т.Я. Оценка продуктивности фитопланктона Черного моря по спутниковым данным // Доклады РАН. – 2010. – том 432, № 6. – С. 845-848.
15. Финенко З.З., Чурилова Т.Я., Суслин В.В. Оценка биомассы фитопланктона и первичной продукции в Черном море по спутниковым данным / Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей (Ред. В.Н. Еремеев, А.В. Гаевская, Г.Е. Шульман, Ю.А. Загородняя; НАН Украины, ИнБЮМ НАН Украины. – Севастополь: НПП «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2011. – С. 220-236.
16. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М. Спектральная модель подводной облученности в Черном море // Морской гидрофизический журнал. – 2009. – № 6. – С. 33 – 46.
17. Churilova T., Suslin V., Dzhulay A. Spectral features of downwelling radiance and chromatic adaptation of phytoplankton in the Black Sea // Proc. of VI International Conference «Current problems in optics of natural waters» (ONW'2011), St-Petersburg.Russia, September 6-9, 2011, Saint-Petersburg, Publishing house of «Nauka» of RAS. – 2011. – P. 117-121.
18. Dorofeev V., Oguz T., Churilova T., Suslin V., Kubryakov A., Korotaev G. The MyOcean Black Sea coupling of dynamics and ecosystem // Mercator Ocean Quarterly Newsletter, № 40. – January 2011. – P. 26 -35.
19. Уравнение для расчета диффузного коэффициента вертикального ослабления. [Электронный ресурс]. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/REPROCESSING/R2009/kdv4/> (Последнее обращение 30.10.2011).
20. Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Ershova S.V. et al. Application of SeaWiFS data for studying variability of biooptical characteristics in the Barents, Black and Caspian Seas // DeepSea Res. – 2004. – II 51. – P. 1063-1091.
21. Suslin V., Churilova T., Ivanchik M., Pryahina S., Golovko N. A Simple Approach for Modeling of Downwelling Irradiance in the Black Sea Based on Satellite Data. // Proc. of VI International Conference «Current problems in optics of natural waters» (ONW'2011), St-Petersburg. Russia, September 6-9, 2011, Saint-Petersburg, Publishing house of «Nauka» of RAS. – 2011. – P. 199-203. (ISBN 978-5-02-038167-4).
22. Иванов А.П. Физические основы гидрооптики. – Минск.: Наука и техника, 1975. – 503 с.

23. *Gordon H.R.* Can the Lambert-Beer law be applied to the diffuse attenuation coefficient of the ocean water? // *Limnol. Oceanogr.* – 1989. – vol. 34, № 8. – P. 1389-1409.
24. *Описание стандартных данных второго уровня.* [Электронный ресурс]. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/ocformats.html#3> (Последнее обращение 30.10.2011).
25. *Чурилова Т.Я., Берсенева Г.П., Георгиева Л.В.* Изменчивость биооптических характеристик в Черном море // *Океанология.* – 2004. – том 44, № 1. – С. 1-14.
26. *Morel A., Prieur L.* Analysis of variations in ocean color // *Limnol. Oceanogr.* – 1977. – vol. 22, № 4. – P. 709-722.
27. *Pope R.M., Fry E.S.* Absorption spectrum (380-700 nm) of the pure water. II. Integrating cavity measurements // *Applied Optics.* – 1997. – vol. 36. – P. 8710-8723.
28. *Bricaud A., Babin M., Morel A. et al.* Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization // *J. Geophys. Res.* – 1995. – vol. 100, № C7. – P. 13321-13332.
29. *Биооптические характеристики Черного моря по данным оптических сканеров.* [Электронный ресурс]. <http://blackseacolor.com/> (Последнее обращение 30.10.2011).

Материал поступил в редакцию 07.11.2011 г.

**АНОТАЦІЯ** Дифузний коефіцієнт вертикального ослаблення  $K_d(490)$  є одним з ключових параметрів для ряду застосувань, пов'язаних з моделюванням якості води, гідродинамічних і біологічних процесів у морі. У даній роботі показано, що в Чорному морі в період цвітіння діатомових водоростей стандартний супутниковий продукт  $K_d(490)$  занижений в порівнянні з його модельною оцінкою. Використовуючи дані колірної сканера *SeaWiFS*, отриманий регіональний зв'язок між модельним значенням  $K_d(490)$  і відношенням  $R_{rs}(490)/R_{rs}(510)$  стандартних супутникових продуктів – висхідної яскравості, нормованої на опроміненість зверху.

**ABSTRACT** Vertical diffuse attenuation coefficient,  $K_d(490)$ , is one of the key parameter required for modeling of water quality, hydrodynamic and biological processes in the sea. We showed that standard satellite product of  $K_d(490)$  was underestimated in comparison with  $K_d(490)$  values simulated by the regional model during the diatom bloom in the Black Sea. Using data of *SeaWiFS* color scanner, a regional relationship between the model value of  $K_d(490)$  and the ratio of the standard satellite products of remote sensing reflectances,  $R_{rs}(490)/R_{rs}(510)$ , has been obtained.