

Использование спутниковых наблюдений для определения спектральных зависимостей оптических характеристик вод Черного моря

Рассматривается задача определения оптических характеристик верхнего слоя моря по спутниковым измерениям. Используются специальным образом отобранные данные прибора *SeaWiFS*, полученные при благоприятных атмосферных условиях. Выполнен анализ относительного вклада растворенного в воде желтого вещества и фитопланктона в общее поглощение света в различных участках спектра.

Ключевые слова: Черное море, спутниковые наблюдения, спектральные зависимости, оптические характеристики.

Введение. Полезным источником информации о сложной и многообразной изменчивости оптических свойств вод Черного моря могут служить спутниковые наблюдения в видимом диапазоне спектра такими приборами как *SeaWiFS*, *MODIS* и др. Установленная на спутнике аппаратура регистрирует уходящее в космос излучение различных длин волн λ ; например, входящие в состав прибора *SeaWiFS* восемь спектральных каналов фиксируют излучение в диапазоне λ от 412 до 865 нм. В настоящее время существует большое количество способов и алгоритмов обработки данных спутниковых измерений, предназначенных для определения ряда параметров морской воды и атмосферы над морем. Некоторые из таких алгоритмов реализованы в системе массовой операционной обработки данных глобальных космических наблюдений Мирового океана, накапливаемых в архиве *NASA*.

Чтобы лучше понимать и эффективно использовать такую информацию, полезно детально рассмотреть некоторые наиболее характерные примеры, отражающие специфические особенности вод Черного моря. С этой целью в работе [1] выполнен сравнительный анализ различных способов определения спектральных зависимостей показателей поглощения $a(\lambda)$ и обратного рассеяния $b_b(\lambda)$ света в приповерхностном слое воды по наблюдениям, относящимся к открытой части Черного моря в летний сезон. Измерения величин $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ важны для правильной интерпретации результатов наблюдений разнообразных гидрофизических процессов, моделирования условий формирования светового поля в море и т. п.

По своему содержанию настоящая работа служит продолжением и развитием статьи [1]. Ее целью является выполнение детального анализа задачи определения $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ с использованием измерений по всем спектральным каналам прибора *SeaWiFS*. В отличие от статьи [1] здесь рассматриваются

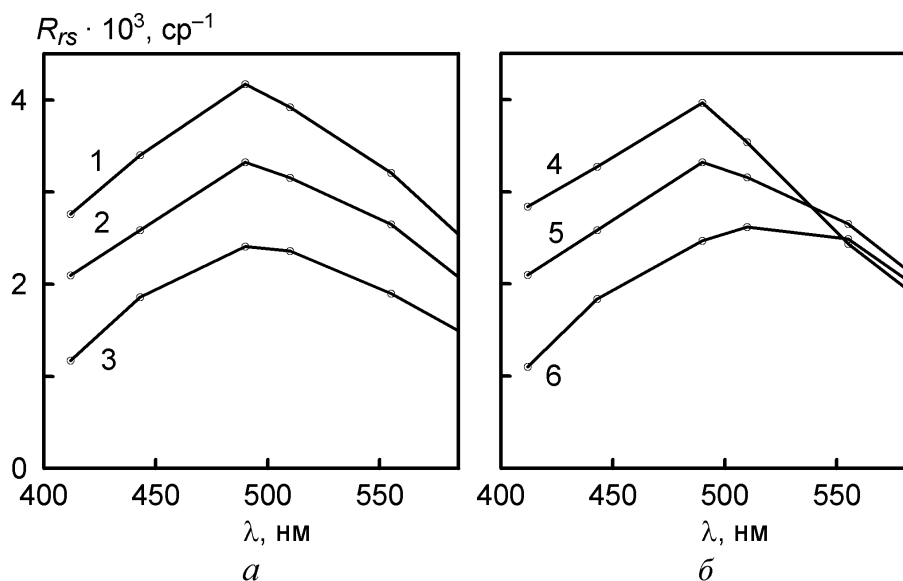
ситуации с повышенным содержанием примесей и даются оценки относительной роли различных составляющих поглощения света в морской воде.

Тестовые данные. На одном из первых этапов обработки результатов спутниковых наблюдений при устранении атмосферных помех вычисляются спектральные коэффициенты яркости моря $R_{rs}(\lambda)$, которые в дальнейшем служат входными параметрами в расчетах характеристик морской воды. Как известно, учет атмосферных эффектов представляет собой серьезную проблему, и для Черного моря результаты определения $R_{rs}(\lambda)$ могут содержать существенные ошибки. Главная причина возникновения ошибок состоит в отличии оптических свойств реального атмосферного аэрозоля от тех моделей, которые заложены в созданную в NASA систему обработки данных глобальных спутниковых наблюдений. В районах, подверженных воздействиям со стороны суши, это отличие прежде всего заключается в повышенном и сильно меняющемся содержании таких составляющих аэрозоля, как промышленные выбросы, продукты горения растительности, частицы почвенной пыли. Вместе с тем атмосфера над Черным морем претерпевает значительную изменчивость, и можно предполагать, что в отдельных ситуациях результаты определения $R_{rs}(\lambda)$ обладают вполне приемлемой точностью. Проведенный ниже анализ основывается на использовании специальным образом выбранных из архива NASA съемок Черного моря, выполненных при благоприятных атмосферных условиях. Отбор тестовых данных производился с помощью критериев, подробно описанных в работе [1].

Полученные при этом спектральные зависимости $R_{rs}(\lambda)$ представлены на рис. 1 (в табл. 1 содержатся соответствующие координаты и даты проведения выбранных нами измерений). Для 13.11.1999 г., 10.10.2006 г. и 18.10.2007 г. $R_{rs}(\lambda)$ определены по данным космических съемок прибором *SeaWiFS*, а для 14.09.2000 г. использованы приведенные в работе [2] результаты измерений, выполненных в ходе экспедиции в северо-восточной части Черного моря плавающим на поверхности воды радиометром. Спектральные каналы прибора *SeaWiFS* с $\lambda > 555$ нм в рассматриваемых нами ситуациях малоинформативны, поэтому графики на рис. 1 построены по величинам $R_{rs}(\lambda)$ для $\lambda = 412, 443, 490, 510, 555$ нм. Заметим, что для удобства их сопоставления один из спектров продублирован на рис. 1, а и 1, б. Кроме координат и времени измерений в табл. 1 содержатся также соответствующие значения концентрации хлорофилла a (C_a) в приповерхностном слое моря. Для 14.09.2000 г. приведенная здесь концентрация хлорофилла a взята из работы [2], где она определена по натурным данным с помощью обычного применяемого в биологии моря спектрофотометрического метода. Для остальных дней значения C_a представляют собой результаты обработки спутниковых измерений по стандартному алгоритму NASA. Другие данные и обозначения в таблице будут пояснены ниже.

Космическая съемка 13.11.1999 г. интересна тем, что при ее интерпретации можно воспользоваться опубликованными в статье [3] данными прямых измерений концентрации хлорофилла a в пробах воды, взятых в центре западной части Черного моря. Представленный на рис. 1 спектр $R_{rs}(\lambda)$ для 13.11.1999 г. получен по спутниковым измерениям, близким по координатам

к точке отбора проб. В течение ноября 1999 г. здесь наблюдалась значительная изменчивость оптических параметров атмосферы и большая часть площади моря была накрыта облаками. Поэтому результаты спутниковых измерений 13.11.1999 г. были осреднены по небольшому участку, который включает в себя пять отсчетов на изображениях, представленных в формате *Level-2* с пространственным разрешением 1 км (соответственно в табл. 1 приведены средние значения координат). Для интервала времени с сентября по декабрь 1999 г. в статье [3] приведена оценка суммарной концентрации хлорофилла *a* и феофитина: $1,00 \pm 0,22 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$. Там же отмечено, что на феофитин приходилось около 10%, следовательно, можно считать, что найденное по спутниковым измерениям значение C_a (см. табл. 1) хорошо согласуется с оценкой из работы [3].



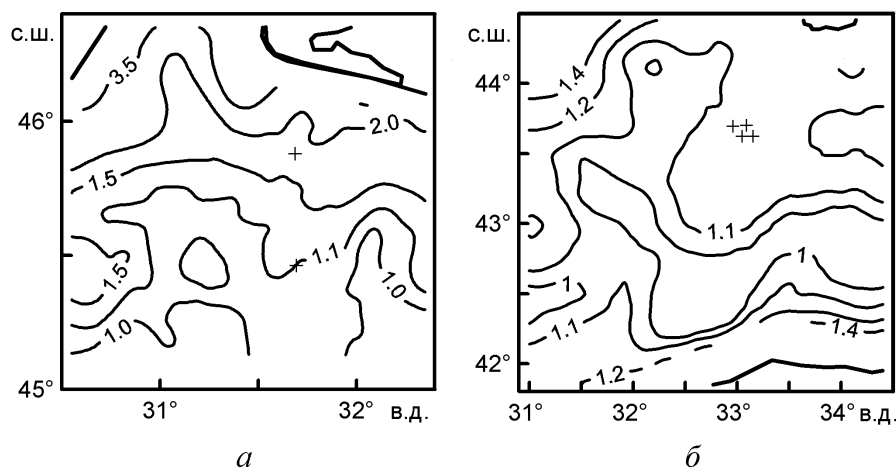
Р и с. 1. Используемые в тестовых расчетах эмпирические спектральные зависимости $R_{rs}(\lambda)$ в Черном море: 1 – 13.11.1999 г.; 2 и 5 – 18.10.2007 г.; 3 – 10.10.2006 г. (45,46° с. ш.); 4 – 14.09.2000 г.; 6 – 10.10.2006 г. (45,88° с. ш.)

Т а б л и ц а 1

Результаты тестовых расчетов оптических характеристик воды по формулам из работы [5]

Дата	Координаты		$a(510), \text{м}^{-1}$	$b_b(555), \text{м}^{-1}$	$C_a, \text{мг}\cdot\text{м}^{-2}$
	° с. ш.	° в. д.			
13.11.1999 г.	42,86	30,94	0,072	0,0051	1,05
14.09.2000 г.	44,51	37,84	0,054	0,0036	0,41
10.10.2006 г.	45,46	31,71	0,071	0,0030	1,10
10.10.2006 г.	45,88	31,71	0,099	0,0044	1,82
18.10.2007 г.	43,67	33,06	0,077	0,0042	1,15

Над большой площадью моря 18.10.2007 г. не было облаков, и атмосфера имела высокую прозрачность. Исходя из результатов предварительного анализа можно заключить, что в этот период времени в оптических свойствах воды в глубоководной части моря проявилось обычное для осеннего сезона повышение содержания хлорофилла *a*. Представленный на рис. 1 спектр $R_{rs}(\lambda)$ для 18.10.2007 г. определен путем осреднения по четырем отсчетам данных формата *Level-3*. Их расположение показано на карте рис. 2, б крестиками. Заметим, что формат *Level-3* – это осредненные по пространственным ячейкам размером $\sim 9 \times 9$ км и приведенные к узлам регулярной координатной сетки итоговые продукты обработки, для которых выполнены все необходимые операции преобразований, включая отбраковку плохо пригодных для использования отсчетов по ряду формальных критериев.



Р и с. 2. Расположение тестовых участков и пространственные распределения C_a ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$) в рассматриваемых районах Черного моря по данным спутниковых наблюдений 10.10.2006 г. (а) и 18.10.2007 г. (б)

В отличие от 1999, 2000 гг. для 2007 г. нет прямых измерений C_a , но тем не менее по аналогии с данными 1999 г. и полученными ранее в статье [4] результатами для осени 1998 г. логично считать, что для него содержащиеся в архиве *NASA* результаты расчета C_a по спутниковым измерениям являются правильными. Напомним, что в [4], после устранения явных атмосферных искажений, было установлено, что для глубоководной части Черного моря вычисленная для осени 1998 г. по данным *SeaWiFS* концентрация хлорофилла *a* совпадает с данными *in situ* из работы [3].

По результатам спутниковой съемки 10.10.2006 г. для сравнения были выбраны два спектра $R_{rs}(\lambda)$ в северо-западной части Черного моря. Эти спектры получены при практически одинаковых атмосферных условиях, но в участках с сильно различающейся концентрацией хлорофилла *a* (см. карту на рис. 2, а). В этом районе моря оптические характеристики воды претерпевают резкую изменчивость, поэтому рассматриваемые спектры $R_{rs}(\lambda)$ соответству-

ют единичным отсчетам формата *Level-3*. Их расположение показано на карте рис. 2, *a* крестиками.

Выбранные примеры относятся к ситуациям с повышенным содержанием хлорофилла *a* в разных районах и наглядным образом отражают разнообразие изменчивости оптических свойств вод Черного моря. Поэтому они могут быть использованы в тестовых расчетах для оценки информативности спутниковых наблюдений. Отметим, что спектры $R_{rs}(\lambda)$ на рис. 1, *a* имеют примерно одинаковую форму, но различаются по уровню при всех λ , тогда как представленные на рис. 1, *б* $R_{rs}(\lambda)$ совпадают при $\lambda \geq 555$ нм, но различаются для всех других длин волн.

Как известно, изменчивость величин $R_{rs}(\lambda)$ в первую очередь определяется двумя основными оптическими параметрами – показателями поглощения $a(\lambda)$ и обратного рассеяния $b_b(\lambda)$ света в приповерхностном слое моря, которые, в свою очередь, зависят от количества, состава и свойств примесей в воде (взвешенных частиц, растворенных веществ и т. п.). Простейшую интерпретацию представленных на рис. 1 спектров можно дать с помощью предложенного в статье [5] оценочного способа определения величин $a(510)$ и $b_b(555)$, которые собственно и характеризуют основное действие поглощения и рассеяния света в воде. Заметим, что в формулах, используемых для вычисления этих величин, фигурируют измерения только по двум спектральным каналам с длинами волн 510 и 555 нм, для которых в наименьшей степени проявляются атмосферные искажения.

Результаты расчетов $a(510)$ и $b_b(555)$ приведены в табл. 1. В полученных оценках отчетливо проявляется главная тенденция, состоящая в независимой изменчивости показателей поглощения и рассеяния света в Черном море, и содержится объяснение основных наблюдаемых различий в графиках на рис. 1: приведенным на рис. 1, *a* спектрам соответствуют одинаковые $a(510)$, но разные $b_b(555)$, тогда как для графиков на рис. 1, *б*, наоборот, при одинаковых $b_b(555)$ имеем разные $a(510)$.

Спектральные зависимости оптических параметров. Приведенные в табл. 1 оценки показателей поглощения и обратного рассеяния света дают в известной мере ограниченное представление об оптических характеристиках морской воды. Более полная информация может быть получена, если использовать результаты одновременных измерений по всем спектральным каналам спутникового прибора. Систематическое изложение существующих подходов к этой задаче дано в работе [6]. Ключевой их смысл состоит в поиске модельных аппроксимаций рассматриваемых эмпирических $R_{rs}(\lambda)$ для всех λ из видимого участка спектра. Согласно [6], такие методы в первую очередь предназначены для условий открытого океана. Вместе с тем известно, что оптические свойства вод в Черном море и океане различаются, в частности, вследствие повышенного поглощения света желтым веществом [7, 8]. В связи с этим интересно выяснить, что получается при использовании этих методов для Черного моря.

Моделирование величин $R_{rs}(\lambda)$ выполняется с помощью выражения $R_{rs}(\lambda) = F [a(\lambda), b_b(\lambda)]$, вид которого задается, как в работе [9]. Для задания спектров $b_b(\lambda)$ применяется обычная параметризация: $b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda)$;

$b_{bp}(\lambda) = b_{bp}(555) \cdot (555/\lambda)^n$. Здесь индексами w и p отмечены постоянная и переменная составляющие, обусловленные обратным рассеянием света чистой морской водой и частицами взвеси. Спектры $a(\lambda)$ представляются как $a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_{dg}(\lambda)$, т. е. в виде суммы постоянной составляющей поглощения света чистой морской водой и переменных составляющих, описывающих поглощение фитопланктоном и растворенным в воде желтым веществом (в комбинации с поглощением света детритом). Спектральная зависимость $a_{dg}(\lambda)$ определяется обычной формулой: $a_{dg}(\lambda) = a_{dg}(443) \exp[-S(\lambda - 443)]$. Вариации слагаемого $a_{ph}(\lambda)$ параметризуются через концентрацию хлорофилла a по модели из статьи [10], в которой значения C_a берутся из табл. 1. В итоге выполняется аппроксимация эмпирических спектров $R_{rs}(\lambda)$ как функции от λ модельными соотношениями по оптимальным значениям величин $b_{bp}(555)$ и $a_{dg}(443)$.

Для поиска оптимального решения применяется итерационная процедура нелинейного метода наименьших квадратов, в которой реализована минимизация величины $\mu = \sum [\delta R_{rs}(\lambda_j)]^2$. Здесь $\delta R_{rs}(\lambda_j)$ – разности между эмпирическими и модельными значениями $R_{rs}(\lambda_j)$, $j = 1, \dots, 5$ – номера спектральных каналов прибора *SeaWiFS*. Показателем точности модельного описания эмпирических спектров $R_{rs}(\lambda)$ служит величина $D = (\mu_0/5)^{1/2}$, где $\mu_0 = \min \mu$.

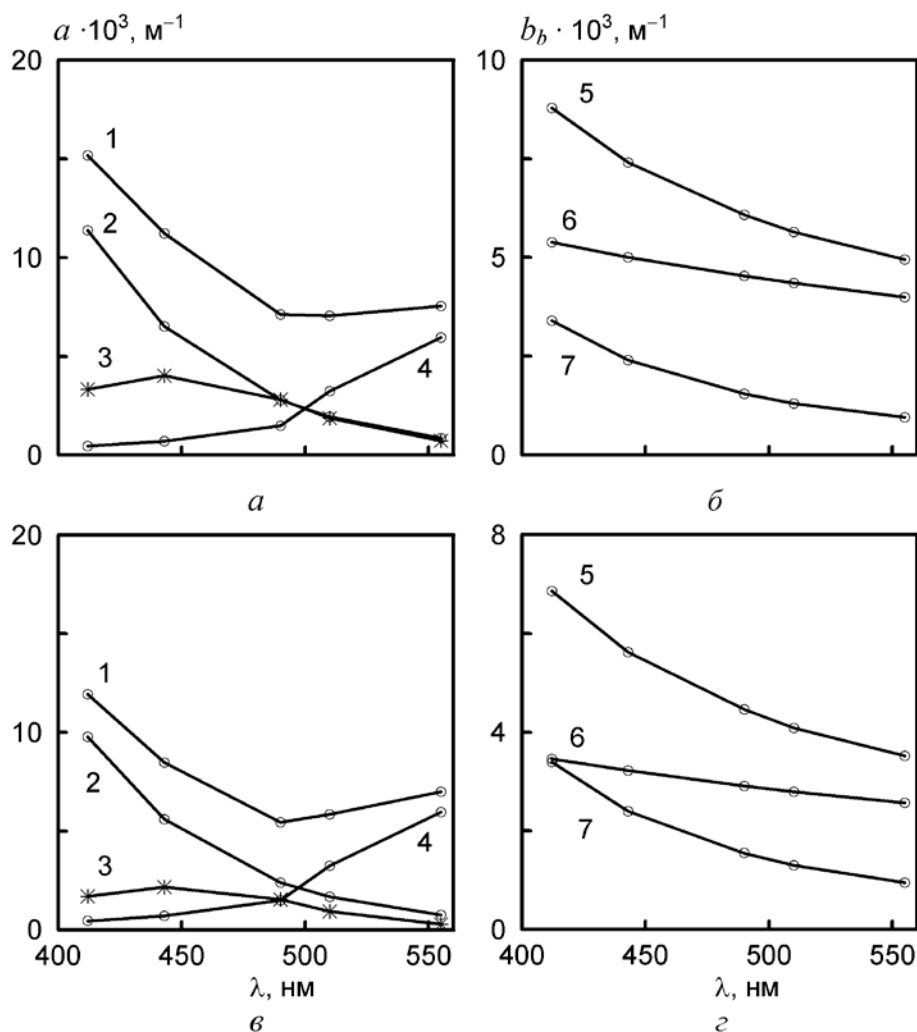
Основные результаты моделирования представлены в табл. 2 и на рис. 3. Приведенные в табл. 2 величины $b_b(555)$ и $a_{dg}(443)$ получены в результате решения оптимизационной задачи, а другие параметры вычислены с использованием описанных выше модельных связей. Отметим, что с учетом постоянной величины $b_{bw}(555) = 0,00095 \text{ м}^{-1}$ здесь для наглядности приведены суммарные значения $b_b(555) = b_{bw}(555) + b_{bp}(555)$.

Т а б л и ц а 2

Результаты расчетов оптических характеристик воды с использованием измерений по всем спектральным каналам прибора *SeaWiFS*

Варианты	$D \cdot 10^6, \text{ ср}^{-1}$	$b_b(555), \text{ м}^{-1}$	$a_{dg}(443), \text{ м}^{-1}$	$a_{ph}(443), \text{ м}^{-1}$	$a(443), \text{ м}^{-1}$	$a(510), \text{ м}^{-1}$
13.11.1999 г.	82	0,00495	0,065	0,040	0,112	0,071
14.09.2000 г.	55	0,00355	0,057	0,022	0,086	0,059
10.10.2006 г. (45,46° с.ш.)	207	0,00310	0,087	0,042	0,135	0,078
10.10.2006 г. (45,88° с.ш.)	146	0,00420	0,106	0,058	0,172	0,085
18.10.2007 г.	54	0,00424	0,078	0,043	0,128	0,076

При выполнении расчетов параметры n и S были заданы в соответствии с работами [7, 11, 12]. Для всех вариантов, кроме одного, относящегося к более близкому к берегу участку на съемке 10.10.2006 г. (45,88° с. ш.), $n = 1$, $S = 0,018 \text{ нм}^{-1}$; для указанного участка предпочтительнее оказались значения $n = 0,5$, $S = 0,020 \text{ нм}^{-1}$.



Р и с. 3. Результаты определения спектральных зависимостей $a(\lambda)$, $b_b(\lambda)$ и их составляющих по данным за 13.11.1999 г. (а, б) и 14.09.2000 г. (в, г): 1 – a ; 2 – a_{dg} ; 3 – a_{ph} ; 4 – a_w ; 5 – b_b ; 6 – b_{bp} ; 7 – b_{bw}

Полученные D близки к нулю, особенно для вариантов за 1999, 2000 и 2007 гг., которые интересны в первую очередь, поскольку для них концентрация хлорофилла a в воде считается известной. Небольшое отличие величины D от нуля обусловлено как возможными остаточными погрешностями определения $R_{rs}(\lambda)$, так и действием реальных факторов, которые не в полной мере учитываются в модели.

Исходя из того, что полученные в расчетах значения D все же близки к нулю, использованные здесь модельные представления и найденные на их основе решения можно считать адекватными для рассматриваемых ситуаций в Черном море. Интересно отметить также, что значения $a(510)$, $b_b(555)$ в табл. 2 находятся в согласии с данными из табл. 1, что является дополнительным свидетельством достаточно высокой точности предложенных в статье

[5] упрощенных формул и правильности полученных здесь решений оптимизационной задачи.

Результаты расчетов позволяют составить представление об особенностях вариаций и относительной роли каждой из составляющих, которые оказывают влияние на поглощение и обратное рассеяние света в различных участках спектра. Как и можно было ожидать, характеристики поглощения для варианта 14.09.2000 г. существенно меньше, чем в другие дни, когда концентрация хлорофилла a в воде была более чем в два раза выше. В рассматриваемых примерах основной вклад в поглощение света вносит составляющая a_{dg} . При этом для тестовых вариантов с различной концентрацией хлорофилла a соотношения между величинами a , a_{dg} , a_{ph} и C_a заметно различаются. Основная тенденция состоит в том, что изменения a_{dg} оказываются менее выраженными по сравнению с вариациями a_{ph} и при меньшем уровне C_a доминирование a_{dg} над a_{ph} проявляется сильнее. Так, например, для 14.09.2000 г. значения $a_{ph}(443)$ примерно в два раза ниже, чем для 13.11.1999 г., но различие в величине a_{dg} составляет меньше 15%. Вместе с тем для 14.09.2000 г. величина $a_{dg}(443)$ оказалась почти в три раза больше, чем a_{ph} , но для 13.11.1999 г. a_{dg} превышает a_{ph} только примерно в полтора раза.

Аналогичная тенденция прослеживается на рис. 3, который иллюстрирует спектральные зависимости $a(\lambda)$, $b_b(\lambda)$ вместе с составляющими их компонентами. В различных участках спектра наблюдается существенное различие вклада тех или иных составляющих поглощения и рассеяния света в воде, чем, по сути, и обусловлена возможность отдельного вычисления $a(\lambda)$, $b_b(\lambda)$ через измеренные спектры $R_{rs}(\lambda)$. Заметим, что на рис. 3 данные для $\lambda = 670$ нм не показаны, поскольку в этом участке спектра доминирующим является влияние постоянного поглощения a_w .

Эффекты рассеяния характеризуются тем, что основной вклад в него вносит составляющая b_{bp} , но в синем участке спектра при низком содержании взвешенных частиц составляющие b_{bp} и b_{bw} оказываются примерно одинаковыми.

Обсуждение результатов. Приведенные в табл. 2 и на рис. 3 данные отражают фактические особенности изменчивости оптических свойств вод Черного моря. Заметим, что близкие по смыслу результаты и выводы сформулированы в статье [11] на основе анализа натурных данных и в работах [7, 8] при интерпретации спутниковых наблюдений. Полученные нами результаты содержат более детальный анализ и интересны тем, что характеризуют конкретные ситуации в глубоководной части моря для осеннего сезона с повышенным содержанием хлорофилла a в воде.

В методах из работы [6] не предполагается, что концентрация хлорофилла a известна, поэтому, строго говоря, изложенные выше расчеты выполнены не в точном соответствии с этой работой. В то же время использование таких тестовых данных, для которых можно заранее зафиксировать C_a , позволило повысить надежность оценок поглощения света отдельными компонентами в модели. Дело в том, что решение более общей задачи с включением C_a в число неизвестных может быть неустойчивым по отношению к разнообразным неточностям в модели и в исходных данных. При этом, если не интересоваться

ся отдельными составляющими полного поглощения, а рассматривать только $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$, то такая неустойчивость не будет играть существенной роли.

В качестве примера в табл. 3 приведены результаты модельных расчетов по измерениям за 13.11.1999 г. для вариантов с различными фиксированными значениями C_a . Здесь мы видим, что результаты определения величин D , $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ довольно слабо зависят от исходной концентрации хлорофилла a . Как и можно было ожидать, экстремум D находится при значении C_a , совпадающем с реальной концентрацией хлорофилла a в море. В то же время при использовании в расчетах ошибочных значений C_a величина $a_{ph}(\lambda)$ вычисляется слишком грубо.

Т а б л и ц а 3

Результаты расчетов оптических характеристик воды по измерениям за 13.11.1999 г. при фиксированных значениях C_a

C_a , мг·м ⁻³	$D \cdot 10^6$, ср ⁻¹	$b_b(555)$, м ⁻¹	$a_{dg}(443)$, м ⁻¹	$a_{ph}(443)$, м ⁻¹	$a(443)$, м ⁻¹	$a(510)$, м ⁻¹
0,5	122	0,00445	0,070	0,025	0,102	0,064
1,05	82	0,00495	0,065	0,040	0,112	0,071
1,5	121	0,00523	0,061	0,051	0,119	0,075

Выводы. Таким образом, рассмотренные примеры позволяют лучше понять основные закономерности, проявляющиеся при определении оптических параметров вод Черного моря, показывают возможности интерпретации спутниковых наблюдений в терминах спектральных зависимостей отдельных составляющих поглощения и обратного рассеяния света в верхнем слое моря. На основе отбора данных, полученных при благоприятных атмосферных условиях, и проведения детального моделирования спектральных зависимостей коэффициентов яркости морской поверхности установлено, что соотношение между вкладами желтого вещества и фитопланктона в поглощение света в различных условиях существенно различается. Основной вклад в поглощение света вносит составляющая a_{dg} , относительные изменения которой, однако, выражены слабее по сравнению с вариациями a_{ph} . При низком уровне C_a доминирование составляющей поглощения a_{dg} над a_{ph} проявляется в большей мере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суевин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В., Кучерявый А.А. Сравнительный анализ методов определения оптических параметров Черного моря по данным спутниковых измерений // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – № 2. – С. 33 – 42.
2. Буренков В.И., Копелевич О.В., Шеберстов С.В. и др. Оптический мониторинг биологического и экологического состояния Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Под ред. А.Г. Зацепина, М.Ф. Флинта. – М.: Наука, 2002. – С. 417 – 432.
3. Берсенева Г.П., Чурилова Т.Я., Георгиева Л.В. Сезонная изменчивость хлорофилла и биомассы фитопланктона в западной части Черного моря // Океанология. – 2004. – 44, № 3. – С. 389 – 398.

4. Суєтин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В., Кучерявий А.А. Уточненная интерпретация данных наблюдений Черного моря спутниковым прибором *SeaWiFS* осенью 1998 г. // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – № 2. – С. 68 – 79.
5. Суєтин В.С., Суслин В.В., Королев С.Н., Кучерявий А.А. Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море летом 1998 года по данным спутникового прибора *SeaWiFS* // Там же. – 2002. – № 6. – С. 44 – 54.
6. *Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms, and Applications* / Ed. Z.-P. Lee // Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. – Canada, Dartmouth: IOCCG, 2006. – № 5. – 126 p.
7. *Burenkov V.I., Kopelevich O.V., Sheberstov S. et al. Bio-optical characteristics of the Aegean Sea retrieved from satellite ocean color data // The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems* / Eds. P. Malanotte-Rizzoli, V.N. Eremeev. – Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. – P. 313 – 326.
8. *Suslin V.V., Suetin V.S., Korolev S.N., Kucheryavii A.A. Use of SeaWiFS data to estimate water optical properties of the Black Sea // Proc. of SPIE. V. 6615. Current research on Remote sensing, laser probing and imagery in natural waters. – 2007. – Paper № 6615-08. – 9 p.*
9. *Gordon H.R., Brown O.B., Evans R.H. et al. A semianalytic radiance model of ocean color // J. Geophys. Res. – 1988. – 93, № D9. – P. 10909 – 10924.*
10. *Bricaud A., Babin M., Morel A. et al. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization // Ibid. – 1995. – 100, № C7. – P. 13321 – 13332.*
11. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М. Спектральная модель подводной облученности в Черном море // Морской гидрофизический журнал. – 2009. – № 6. – С. 33 – 46.
12. Суслин В.В., Чурилова Т.Я. Упрощенный метод расчета спектрального диффузного коэффициента ослабления света в верхнем слое Черного моря на основе спутниковых данных // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – Вып. 22. – С. 47 – 60.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 15.01.13

АНОТАЦІЯ Розглядається задача визначення оптичних характеристик верхнього шару моря за спутниковими дослідженнями. Використані спеціальним чином відібрані дані приладу *SeaWiFS*, отримані за сприятливих атмосферних умов. Виконано аналіз відносного внеску розчиненої у воді жовтої речовини та фітопланктону в загальне поглинання світла в різних ділянках спектру.

Ключові слова: Чорне море, спутникові спостереження, спектральні залежності, оптичні характеристики.

ABSTRACT Problem of estimating optical characteristics of the sea upper layer using satellite measurements is considered. Specially selected *SeaWiFS* data obtained under favorable atmospheric conditions is used. Relative contributions of dissolved yellow substance and phytoplankton to total light absorption in different spectral bands are analyzed.

Keywords: Black Sea, satellite remote sensing, spectral dependences, optical characteristics.