

В.С. Суетин, С.Н. Королев, В.В. Суслин, А.А. Кучерявый

Сравнительный анализ методов определения оптических параметров вод Черного моря по данным спутниковых измерений

Показана возможность определения спектральных характеристик поглощения и обратного рассеяния света в Черном море по данным спутникового прибора *SeaWiFS*. Используются специальным образом отобранные данные наблюдений при благоприятных атмосферных условиях. Установлено, что результаты расчетов по разным методам почти не отличаются и слабо зависят от модельных параметров спектрального хода показателей поглощения света желтым веществом и рассеяния частицами взвеси.

Ключевые слова: Черное море, оптические параметры, спектральные характеристики, спутниковые измерения.

Одно из направлений использования данных космических дистанционных наблюдений – определение оптических характеристик воды в море. Для решения этой задачи можно применять различные известные из литературы методы и алгоритмы [1 – 4]. Чтобы лучше понимать их возможности и специфические особенности полезно провести сравнительный анализ результатов, полученных разными методами на основе фактических спутниковых наблюдений Черного моря.

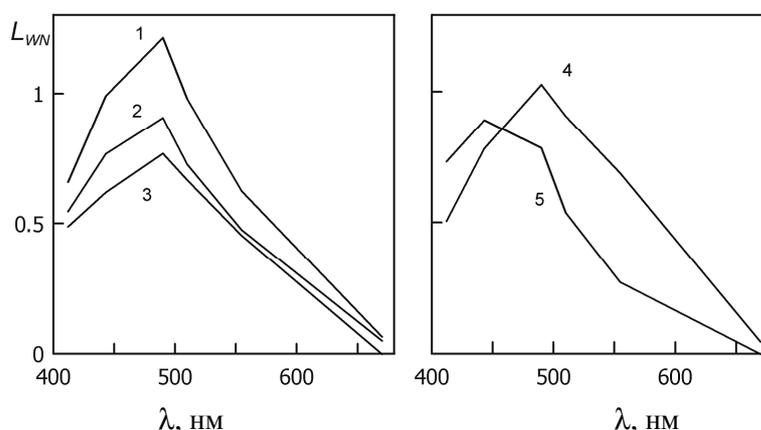
В настоящей работе рассматриваются примеры тестирования трех алгоритмов [2 – 4], позволяющих вычислять спектральные показатели общего поглощения и обратного рассеяния света в верхнем слое моря. Ниже для этих величин приняты обозначения $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ соответственно (λ – длина волны излучения). Такие данные необходимы для правильной интерпретации результатов наблюдений разнообразных гидрофизических процессов, моделирования условий формирования светового поля в море и др.

Удобный практический способ определения величин $a_t(510)$ и $b_b(555)$ для $\lambda = 510$ и 555 нм предложен в статье [1]. Рассматриваемые в настоящей работе алгоритмы позволяют вычислять $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ для всех основных спектральных каналов приборов *SeaWiFS* (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*) и *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) в условиях независимой многофакторной изменчивости этих величин.

При проведении тестовых расчетов использованы доступные через Интернет результаты спутниковых съемок Черного моря, хранящиеся в архиве Центра космических полетов им. Годдарда НАСА, США (*NASA GSFC – Goddard Space Flight Center*). Для обработки этой информации применяется программная система *SeaDAS* [5]. Исходными данными служат значения спектральной нормализованной яркости водной поверхности $L_{WN}(\lambda)$, которые получают на этапе учета атмосферных искажений (атмосферной коррекции).

Атмосферная коррекция представляет собой серьезную проблему, и подробное ее рассмотрение выходит за рамки данной работы. Известно, что результаты определения $L_{WN}(\lambda)$ для Черного моря часто имеют сомнительную надежность [1, 6 – 8]. Главной причиной возникновения искажений в расчетах $L_{WN}(\lambda)$ являются региональные отличия оптических свойств атмосферного аэрозоля от тех модельных параметров, которые заложены в созданную в НАСА систему обработки данных спутниковых наблюдений. Эта система в первую очередь ориентирована на использование результатов наблюдений в открытом океане и не предусматривает учета всего разнообразия оптических свойств реальных атмосферных аэрозолей в районах, подверженных воздействиям со стороны суши.

Поскольку, однако, оптические свойства атмосферы в регионе Черного моря претерпевают значительную изменчивость, можно предполагать, что в отдельных ситуациях величины $L_{WN}(\lambda)$ обладают вполне приемлемой точностью. Исходя из того, что основной целью данной работы является сопоставление расчетов по различным алгоритмам, в качестве примеров вполне оправдано использование реальных значений $L_{WN}(\lambda)$, которые найдены по спутниковым измерениям и могут содержать некоторые не слишком очевидные ошибки. На рис. 1 приведены спектральные зависимости $L_{WN}(\lambda)$, полученные по данным съемок прибором *SeaWiFS* в предположительно благоприятных атмосферных условиях. Показанные здесь графики построены по $L_{WN}(\lambda)$ для $\lambda = 412, 443, 490, 510, 555, 670$ нм. Эти значения $L_{WN}(\lambda)$ вычислены путем осреднения данных для различных участков моря, включающих в себя до нескольких десятков отсчетов на изображениях, представленных в формате с пространственным разрешением 1 км.

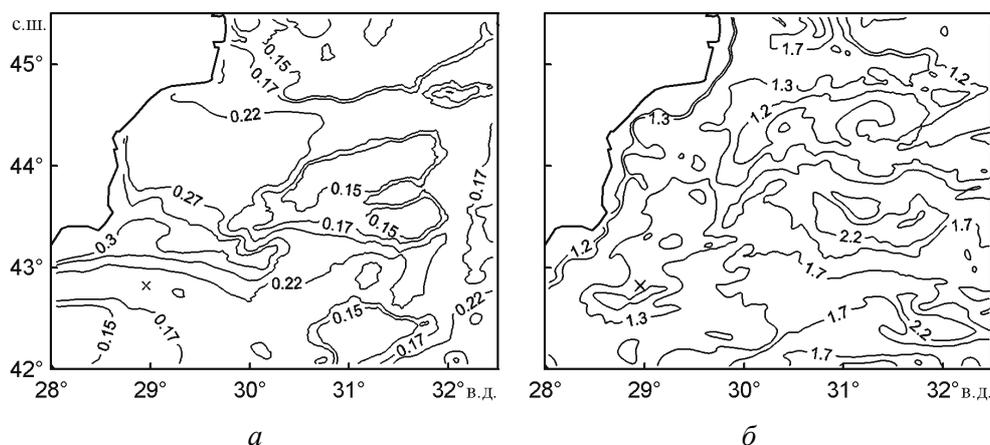


Р и с. 1. Примеры спектральных зависимостей $L_{WN}(\lambda)$, мВт·см⁻²·мкм⁻¹·ср⁻¹, полученных по спутниковым и прямым измерениям в Черном (1 – 4) и Эгейском (5) морях: 1 – 14.07.2002 г.; 2 – 17.08.1998 г.; 3 – 14.09.2000 г.; 4 – 02.08.2002 г.; 5 – 11.10.1997 г.

При выборе этих примеров были использованы следующие из результатов работ [6 – 8] основные признаки надежности атмосферной коррекции – достаточно высокий уровень $L_{WN}(\lambda)$ и отсутствие резких хаотичных флуктуа-

ций $L_{WN}(\lambda)$ для всех λ в рассматриваемых районах моря. Кроме того, учитывались еще некоторые дополнительные критерии, подтверждающие достоверность величин $L_{WN}(\lambda)$ с учетом тех или иных конкретных условий.

На рис. 2 схематически изображены построенные по данным *SeaWiFS* пространственные распределения величин $\tau_A(865)$ и $L_{WN}(490)$ в западной части Черного моря 14 июля 2002 г. Через $\tau_A(865)$ обозначается оптическая толщина аэрозольной составляющей атмосферы при $\lambda = 865$ нм. В поле $\tau_A(865)$ около $43,0 - 43,5^\circ$ с. ш. отчетливо прослеживается контрастное образование, имеющее форму вытянутой от берега в открытое море суживающейся полосы с более высокими значениями этого параметра. Вместе с тем изолинии для $L_{WN}(490)$ имеют совершенно иную структуру, отображая типичную для летнего сезона пространственную изменчивость, обусловленную вариациями оптических свойств морской воды. Обычно если $L_{WN}(\lambda)$ содержат атмосферные искажения, то они коррелируют с $\tau_A(865)$. Подробное обсуждение таких искажений можно найти в работах [6 – 8]. На рис. 2 хорошо видно, что контрасты в поле $\tau_A(865)$ никак не проявляются в поле $L_{WN}(490)$. Особенно примечателен район в окрестности точки с координатами $29,0^\circ$ в. д., $42,8^\circ$ с. ш. и к северу от нее, в котором происходит резкий перепад $\tau_A(865)$, но $L_{WN}(490)$ почти сохраняет постоянный уровень $\approx 1,2$ мВт·см⁻²·мкм⁻¹·ср⁻¹. Аналогичная картина наблюдается в полях $L_{WN}(\lambda)$ и для всех других значений λ . Благодаря этому можно считать, что состояние атмосферы здесь было вполне благоприятным и в результатах определения $L_{WN}(\lambda)$ нет серьезных погрешностей. Приведенный на рис. 1 график $L_{WN}(\lambda)$ для 14 июля 2002 г. построен по данным для участка, лежащего вблизи точки с указанными выше координатами (см. карты на рис. 2).



Р и с. 2. Карты пространственного распределения величин $\tau_A(865)$ (а) и $L_{WN}(490)$, мВт·см⁻²·мкм⁻¹·ср⁻¹ (б) в западной части Черного моря 14.07.2002 г. (крестиком отмечено положение тестового участка)

Представленный на рис. 1 спектр $L_{WN}(\lambda)$ для 17 августа 1998 г. вычислен по данным для участка в глубоководной части моря около $30,4^\circ$ в. д., $42,7^\circ$ с. ш.

с почти однородным пространственным распределением оптических свойств воды. О том, какой была общая обстановка в этом районе моря в течение всего лета 1998 г., можно судить по схематическим картам, построенным в работе [1]. Косвенным подтверждением достоверности этих значений $L_{wN}(\lambda)$ служит то, что они занимают промежуточное положение между рассмотренным выше графиком для 14 июля 2002 г. и приведенным в работе [9] спектром $L_{wN}(\lambda)$, который был определен путем прямых измерений в море 14 сентября 2000 г. с помощью плавающего на поверхности воды радиометра в ходе экспедиции в северо-восточной части Черного моря.

Тестовый участок моря, для которого были вычислены значения $L_{wN}(\lambda)$ по данным съемки 2 августа 2002 г., находится в окрестности океанографической платформы вблизи побережья Крыма (координаты около $34,0^\circ$ в. д., $44,3^\circ$ с. ш.). Подробное описание соответствующих данных можно найти в статье [6]. Об отсутствии существенных атмосферных искажений в этих значениях $L_{wN}(\lambda)$ свидетельствует почти полное их совпадение с приведенным в работе [4] спектром, измеренным непосредственным образом в глубоководной части Черного моря 8 октября 1997 г.

В табл. 1 представлены расчеты величин $a_i(510)$, $b_b(555)$ и концентрации хлорофилла a C_a с использованием формул из статьи [1]. На основании этих данных, результатов работ [1, 4, 9] и выполненного нами анализа ряда других подобных примеров можно заключить, что рассмотренные значения $L_{wN}(\lambda)$ являются вполне обычными для летних условий в Черном море.

Т а б л и ц а 1

Результаты тестовых расчетов оптических характеристик воды и концентрации хлорофилла a по формулам из работы [1]

Дата	$a_i(510), \text{м}^{-1}$	$b_b(555), \text{м}^{-1}$	$C_a, \text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$
17.08.1998 г.	0,052	0,0036	0,27
14.07.2002 г.	0,050	0,0048	0,25
02.08.2002 г.	0,065	0,0056	0,45

В другие сезоны и в районах с мутной прибрежной водой спектры $L_{wN}(\lambda)$ могут быть совсем другими, но их изучение выходит за рамки данной работы. Заметим, что значения $a_i(510)$, полученные для 17 августа 1998 г. и 14 июля 2002 г., близки к минимальным для Черного моря.

В табл. 1 легко увидеть проявление независимой изменчивости показателей обратного рассеяния и общего поглощения света в воде. 14 июля 2002 г. величина $b_b(555)$ выше, но $a_i(510)$ ниже, чем 17 августа 1998 г.; вместе с тем 2 августа 2002 г. значения этих величин выше, чем в другие два дня. Такая изменчивость оптических свойств характерна для вод Черного моря, и это является одним из отличий от океанских вод типа *Case 1* по известной классификации Мореля. Еще одна особенность Черного моря состоит в повышенном относительном вкладе желтого вещества в общее поглощение света,

вследствие чего наблюдается значительное снижение величины $L_{WN}(\lambda)$ при уменьшении λ от 490 до 412 нм (см. рис. 1). Для иллюстрации на рис. 1 изображен спектр $L_{WN}(\lambda)$, который по своей форме существенным образом отличается от других приведенных на рис. 1 графиков. Он получен в экспедиции в Эгейском море [4] и соответствует водам типа *Case 1*. Измеренная в это же время концентрация хлорофилла a равна $0,09 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$, т. е. она меньше, чем в Черном море, но одной лишь разницей в содержании хлорофилла a такое отличие объяснено быть не может (подробнее см. в работах [4, 10]).

Таким образом, в приведенных на рис. 1 спектрах $L_{WN}(\lambda)$ в известной мере отражена принадлежность черноморских вод к типу *Case 2*. Именно поэтому интересно использование этих спектров при выяснении возможностей определения величин $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ с учетом их многофакторной изменчивости.

Для алгоритмов, описанных в статьях [2, 3], приняты краткие обозначения *QAA* и *GSM*, а для метода из работы [4] – *BK99*. Различия между ними состоят не только в частных деталях, но и в некоторых особенностях принципиального характера.

Значения $a_t(\lambda)$, $b_b(\lambda)$ отыскиваются путем моделирования величин $L_{WN}(\lambda)$ через функциональное выражение $L_{WN}(\lambda) = F[a_t(\lambda), b_b(\lambda)]$, вид которого задается точно так же или аналогично тому, как в работе [11]. Для задания $b_b(\lambda)$ применяется обычная параметризация: $b_b = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda)$; $b_{bp}(\lambda) = b_{bp}(555) (555/\lambda)^n$. Здесь индексами w и p отмечены постоянная и переменная составляющие, обусловленные обратным рассеянием света чистой морской водой и частицами взвеси. В *GSM* показатель степени n считается фиксированным, равным 1,0337. В алгоритмах *BK99* и *QAA* он предполагается переменным и вычисляется через найденные статистическим методом связи с $L_{WN}(\lambda)$. Для рассматриваемых нами примеров соответствующие значения n лежат в пределах 1,22 – 1,55.

На первом шаге расчетов по алгоритму *QAA* по значениям $L_{WN}(\lambda)$ при $\lambda < 555$ нм находится приближенная поправка к $L_{WN}(555)$, обеспечивающая учет переменной части показателя поглощения $a_t(555)$ при определении $b_{bp}(555)$. И затем независимым образом для каждой λ отыскиваются $a_t(\lambda)$.

В методах *GSM* и *BK99* величины $a_t(\lambda)$ выражаются в виде суммы трех компонент $a_t(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_{dg}(\lambda)$. Здесь индексами w , ph и dg отмечены постоянная составляющая поглощения света чистой морской водой и переменные составляющие, описывающие поглощение фитопланктоном и растворенным в воде желтым веществом, в которое включено также поглощение детритом. Каждая из двух указанных переменных компонент показателя поглощения отыскивается по отдельности. При этом вариации слагаемого $a_{ph}(\lambda)$ параметризуются через концентрацию хлорофилла a C_a . Спектральная зависимость $a_{dg}(\lambda)$ определяется формулой $a_{dg}(\lambda) = a_{dg}(443) \exp[-S \cdot (\lambda - 443)]$, в которой числовые значения параметра S в алгоритмах *GSM* и *BK99* зафиксированы равными $0,0206$ и $0,017 \text{ м}^{-1}$.

В итоге по методам *GSM* и *BK99* выполняется аппроксимация эмпирических спектров $L_{WN}(\lambda)$ модельными соотношениями по оптимальным значени-

ям величин $b_{bp}(555)$, $a_{dg}(443)$ и C_a . Для поиска оптимального решения применяется итерационная процедура нелинейного метода наименьших квадратов, в которой реализована минимизация величины $\mu = \Sigma[\delta L_{w\lambda}(\lambda_j)]^2$. Здесь $\delta L_{w\lambda}(\lambda_j)$ – разности между эмпирическим и модельными значениями $L_{w\lambda}(\lambda_j)$, $j = 1, \dots, 5$. Обсуждаемые в настоящей работе расчеты по *GSM* и *QAA* выполнены с помощью подпрограмм, включенных в систему *SeaDAS* (версия 5.1.5). В ходе тестирования установлено, что в отличие от оригинального описания *GSM* в статье [3] разработчиками *SeaDAS* в формулы итогового этапа вычисления $a_{dg}(\lambda)$ добавлен поправочный коэффициент 0,75.

Как уже было отмечено выше, параметры n и S обладают некоторой неоднозначностью. Однако в рассматриваемых здесь условиях их отличия для разных алгоритмов не играют принципиальной роли. Оценки зависимости величин $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ от n будут даны ниже (см. далее рис. 3). На примере для 2 августа 2002 г. в табл. 2 приведены результаты применения метода *BK99* при задании различных значений S (параметр n , определенный как в [4], равен 1,3).

В табл. 2 $D = (\mu_0 / 5)^{1/2}$, где $\mu_0 = \min \mu$. Эта величина служит показателем точности модельного описания эмпирических спектров $L_{w\lambda}(\lambda)$. При изменении S от 0,015 до 0,021 нм^{-1} D меняется в интервале 0,0199 – 0,0227 $\text{мВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мкм}^{-1}\cdot\text{ср}^{-1}$. Такая точность может считаться вполне удовлетворительной, а ее зависимость от S пренебрежимо слабой. Можно также заключить, что на результаты вычисления $b_b(555)$ и $a_t(443)$ вариации параметра S тоже почти не влияют: $b_b(555) = 0,00521 - 0,00605 \text{ м}^{-1}$; $a_t(443) = 0,102 - 0,113 \text{ м}^{-1}$. Это позволяет в дальнейшем использовать метод *BK99*, приняв параметр S равным 0,019 нм^{-1} . Такое значение является промежуточным между заданными в работе [4] и в алгоритме *GSM*. Кроме того, оно хорошо согласуется с измерениями *in situ* поглощения света желтым веществом в Черном море [12].

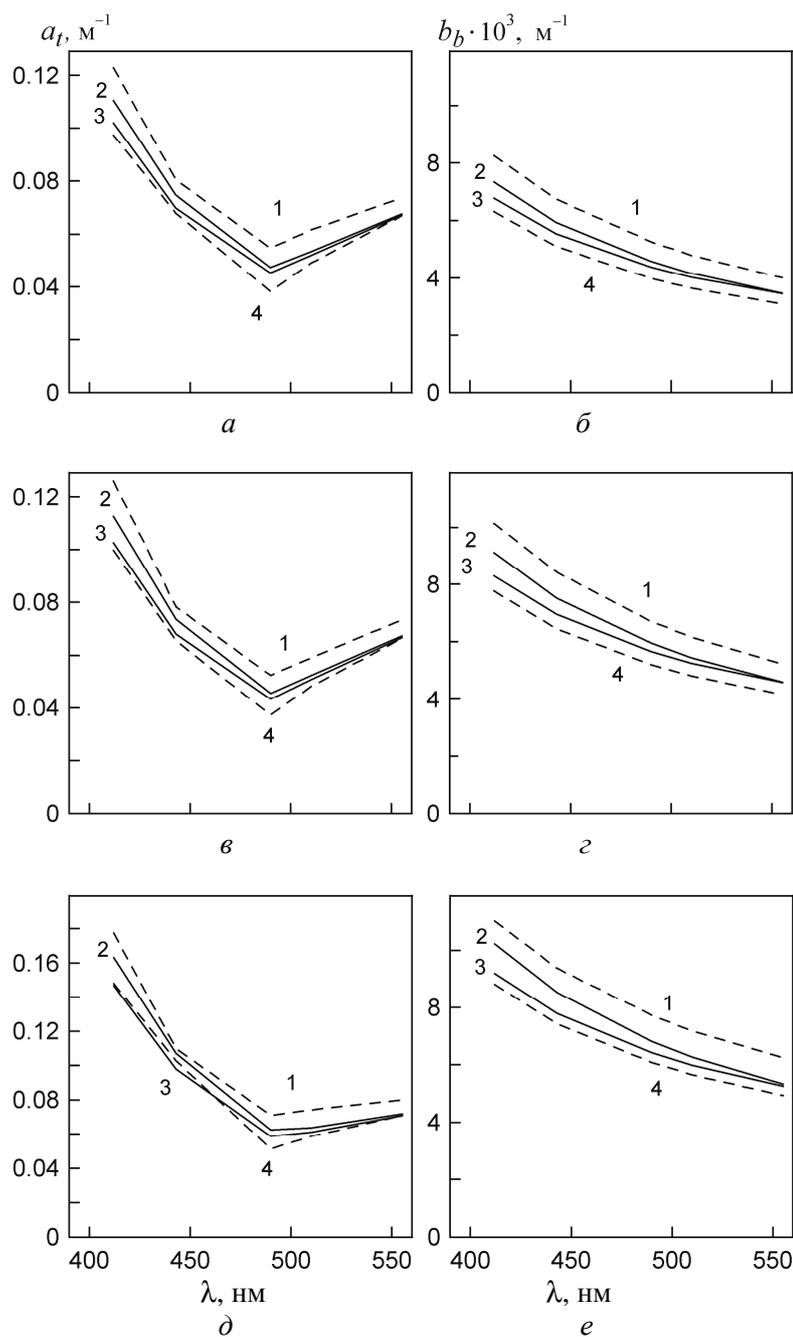
Т а б л и ц а 2

Результаты тестовых расчетов оптических характеристик воды и концентрации хлорофилла a методом *BK99* для 2 августа 2002 г. при различных фиксированных значениях параметра S

$S, \text{нм}^{-1}$	$a_t(443), \text{м}^{-1}$	$a_t(510), \text{м}^{-1}$	$b_b(555), \text{м}^{-1}$	$C_a, \text{мг}\cdot\text{м}^{-2}$	$D, \text{мВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мкм}^{-1}\cdot\text{ср}^{-1}$
0,015	0,113	0,0725	0,00605	0,006	0,0199
0,017	0,106	0,0652	0,00550	0,167	0,0215
0,019	0,103	0,0625	0,00529	0,399	0,0226
0,021	0,102	0,0614	0,00521	0,634	0,0227

На рис. 3 изображены графики $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$, полученные для $\lambda = 412, 443, 490, 510$ и 555 нм . Здесь, как и на рис. 1, соответствующие точки соединены ломаными линиями. Следует заметить, что в рассматриваемых нами примерах и в других подобных случаях нетрудно экстраполировать функции $a_t(\lambda)$ и

$b_b(\lambda)$ в область $\lambda > 555$ нм и сделать более детальную промежуточную интерполяцию по λ .



Р и с. 3. Результаты расчетов величин $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ по разным алгоритмам (1 – QAA; 2 и 3 – ВК99 при $n = 1,5$ и $1,0$; 4 – GSM) для трех тестовых примеров: *a*, *б* – 17.08.1998 г.; *в*, *г* – 14.07.2002 г.; *д*, *е* – 02.08.2002 г.

Все спектры $a_t(\lambda)$ имеют практически одинаковую форму; аналогичным образом близки по форме также и все спектры $b_b(\lambda)$. Кроме того, при любых λ имеют место уже отмеченные выше соотношения между $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ в разные дни (см. табл. 1). Легко видеть, что по всем алгоритмам получены близкие результаты. Например, для тестовых измерений 17 августа 1998 г. $a_t(443)$ попадает в интервал $0,068 - 0,081 \text{ м}^{-1}$. Отличие между вариантами расчетов по методу *BK99* при $n = 1,0$ и $1,5$ еще меньше.

Данные из табл. 1 близки к графикам на рис. 3, рассчитанным по методу *BK99*, что вполне естественно, так как они получены по формулам, которые в работе [1] были выведены на основе *BK99*. Значения величин $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$, найденные по алгоритму *QAA*, несколько выше других; ниже всех значения, полученные с использованием метода *GSM*. Возможно, это обусловлено действием упомянутого выше поправочного коэффициента, равного $0,75$.

Применение *BK99* обеспечивает хорошую точность аппроксимации эмпирических спектров $L_{wN}(\lambda)$; для всех трех дней $D \leq 0,026 \text{ мВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мкм}^{-1}\cdot\text{ср}^{-1}$. Кроме того, положительные и отрицательные невязки $\delta L_{wN}(\lambda_j)$ чередуются между соседними спектральными каналами, а их средние значения по спектру равны нулю с точностью до четвертого знака после запятой. Таким образом, величины $\delta L_{wN}(\lambda_j)$ обладают шумоподобным характером. Вместе с тем по методу *GSM* достигается меньшая точность; для разных дней имеем $D = 0,058 - 0,071 \text{ мВт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мкм}^{-1}\cdot\text{ср}^{-1}$. По-видимому, причина заключается в том, что, согласно работе [12], в водах Черного моря поглощение света фитопланктоном $a_{ph}(\lambda)$ в большинстве случаев хорошо описывается формулой из статьи [13], тогда как по алгоритму *GSM* функция $a_{ph}(\lambda)$ параметризована несколько иначе. В то же время в методе *BK99* $a_{ph}(\lambda)$ учитывается именно по формуле из статьи [13].

Заметим, что в силу специфики алгоритма *QAA* при его реализации модельные значения $L_{wN}(\lambda)$ в точности равны эмпирическим, и значит говорить об оценках величины D нет смысла.

Полученные числовые значения $a_t(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$ близки к известным из литературы результатам прямых измерений характеристик поглощения и рассеяния света в Черном море.

Для $\lambda = 440 \text{ нм}$ в работе [12] определена статистическая оценка составляющей показателя поглощения света желтым веществом $a_g(440) = 0,097 \pm \pm 0,026 \text{ м}^{-1}$. Эта оценка получена по пробам *in situ*, собранным в открытом море в различные годы и сезоны, в том числе и в августе 1998 г. Следовательно, логично предположить, что рассмотренным нами данным измерений за 17 августа 1998 г. приближенно соответствует нижняя граница указанного интервала, т. е. $a_g(440) \approx 0,071 \text{ м}^{-1}$. Далее, из результатов работ [14, 15] для этого дня следует, что $a_{ph}(440) \approx 0,015 \text{ м}^{-1}$; и, согласно [12], компонента поглощения света детритом $a_d(440) \approx 0,005 \text{ м}^{-1}$. Наконец, с учетом составляющей $a_w(440) \approx 0,007 \text{ м}^{-1}$ в итоге получается оценка $a_t(440) \approx 0,098 \text{ м}^{-1}$. Ее отличие от величины $a_t(440)$, полученной методом *QAA* (см. рис. 3), меньше 20%.

По данным измерений *in situ* на океанографической платформе в пос. Кацивели 2 августа 2002 г. было получено $b_b(555) \approx 0,0055 \text{ м}^{-1}$ [16]. Этот результат с высокой точностью совпадает с приведенными в табл. 1 и на рис. 3 значениями $b_b(555)$, вычисленными для 2 августа 2002 г. по спутниковым данным.

Таким образом, при благоприятных атмосферных условиях спутниковые измерения могут быть использованы для определения спектральных характеристик поглощения и обратного рассеяния света в Черном море. Полученные результаты позволяют лучше понять особенности применения в этих целях различных алгоритмов обработки спутниковых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суетин В.С., Суслин В.В., Королев С.Н. и др. Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море летом 1998 года по данным спутникового прибора *SeaWiFS* // Морской гидрофизический журнал. – 2002. – № 6. – С. 44 – 54.
2. 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 // *Appl. Opt.* – 2002. – 41, № 27. – P. 5755 – 5772.
3. Maritorena S., Siegel D.A., Peterson A.R. Optimization of a semianalytical ocean color model for global-scale applications // *Ibid.* – 2002. – 41, № 15. – P. 2705 – 2714.
4. 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* / Ed. P.Malanotte-Rizzoli, V.N. Eremeev. – Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. – P. 313 – 326.
5. Baith K., Lindsay R., Fu G. et al. *SeaDAS*: Data Analysis System Developed for Ocean Color Satellite Sensors // *Eos Trans. AGU.* – 2001. – 82. – P. 202.
6. Суетин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В., Кучерявый А.А. Проявления атмосферных искажений в данных спутникового прибора *SeaWiFS* в окрестности океанографической платформы в Кацивели летом 2002 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, ИГН НАН Украины, ОФ ИнБЮМ НАН Украины. – 2004. – Вып. 11. – С. 174 – 183.
7. Суетин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В., Кучерявый А.А. Уточненная интерпретация данных наблюдений Черного моря спутниковым прибором *SeaWiFS* осенью 1998 года // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – № 2. – С. 68 – 79.
8. Суетин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В., Кучерявый А.А. Проявления пылевого аэрозоля в результатах оптических наблюдений Черного моря из космоса // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, ИГН НАН Украины, ОФ ИнБЮМ НАН Украины. – 2008. – Вып. 16. – С. 202 – 211.
9. 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.
10. Suslin V.V., Suetin V.S., Korolev S.N., Kucheryavyi 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.
11. 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.

12. *Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Рылькова О.А.* Параметризация поглощения света основными оптически активными компонентами в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, ИГН НАН Украины, ОФ ИнБЮМ НАН Украины. – 2008. – Вып. 16. – С. 190 – 201.
13. *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. – 100, № С7. – P. 13321 – 13332.
14. *Чурилова Т.Я., Берсенева Г.П., Георгиева Л.В.* Изменчивость биооптических характеристик фитопланктона в Черном море // Океанология. – 2004. – 44, № 1. – С. 11 – 27.
15. *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.
16. *Кортаев Г.К., Хоменко Г.А., Шами М. и др.* Международный подспутниковый эксперимент на океанографической платформе (пос. Качивели) // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 3. – С. 28 – 38.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 24.11.09
После доработки 21.12.09

АНОТАЦІЯ Показана можливість визначення спектральних характеристик поглинання і зворотного розсіяння світла в Чорному морі за даними супутникового приладу *SeaWiFS*. Використані спеціальним чином відібрані дані спостережень за сприятливих атмосферних умов. Установлено, що результати розрахунків за різними методами майже не відрізняються і слабо залежать від модельних параметрів спектрального ходу показників поглинання світла жовтою речовиною і розсіяння частинками суспензії.

Ключові слова: Чорне море, оптичні параметри, спектральні характеристики, супутникові вимірювання.

ABSTRACT Based on the satellite instrument *SeaWiFS* data shown is the possibility of determining spectral characteristics of light absorption and backscattering in the Black Sea. Specially selected observational data obtained at favorable atmospheric conditions are used. It is found that the results of calculations carried out by different methods are almost similar and weakly depend upon the model parameters describing spectral variation of coefficients of light absorption by yellow substance and its scattering by suspension particles.

Keywords: Black Sea, optical parameters, spectral characteristics, satellite measurements.