

## Проявление эффектов солнечного блика при определении оптических параметров воды в Черном море по спутниковым измерениям

© 2016 В.С. Суетин, С.Н. Королев, А.А. Кучерявый

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

Поступила в редакцию 14.12.2015 г.

Рассмотрены характерные примеры проявлений влияния солнечного блика на результаты определения оптических параметров воды в Черном море по данным спутникового прибора *MODIS*. Установлено, что при использовании комплексного метода *GIOP* концентрация хлорофилла *a* и показатели поглощения света фитопланктоном и желтым веществом определяются с большими погрешностями даже при умеренном по силе блике. При этом вызванные бликом искажения в спектрах показателей полного поглощения и обратного рассеяния меньше, но тоже отчетливо выражены.

**Ключевые слова:** спутниковые наблюдения, Черное море, солнечный блик, оптические характеристики, хлорофилл *a*.

**Введение.** Информация, поступающая от работающих в космосе оптических приборов такого типа, как *SeaWiFS*, *MODIS* и т. п., может быть полезной при решении многих научных и практических задач, связанных с изучением и контролем разнообразных процессов изменчивости состояния морских акваторий [1, 2]. Установленная на спутнике аппаратура с высокой точностью регистрирует уходящее в космос излучение различных длин волн видимого диапазона спектра. При этом выполняются систематические глобальные наблюдения в широкой полосе обзора с пространственным разрешением ~1 км. Получаемые данные и результаты их обработки по единым универсальным методикам накапливаются в архивах *NASA*, открытых для общего свободного доступа через Интернет (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Чтобы эффективно использовать такие данные, необходимо иметь правильное понимание их достоверности и учитывать действие разнообразных факторов, от которых она может зависеть. Одним из таких факторов является солнечный блик [3].

Блик приводит к росту регистрируемой на спутнике суммарной яркости системы море – атмосфера и зависит от волнения на поверхности моря, скорости приводного ветра, угловой структуры съемки и освещения моря солнечными лучами, а также от оптических свойств атмосферы. Угловая структура определяется особенностями конструкции прибора, орбиты спутника и изменениями положения Солнца на небосводе в зависимости от времени суток и календарной даты съемки.

Блик по-разному проявляется в измеряемом излучении различных длин волн, поэтому связанные с ним эффекты могут приводить к большим ошиб-

кам при определении параметров моря с использованием таких комплексных методов, как, например, *Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties (GIOP)* [4].

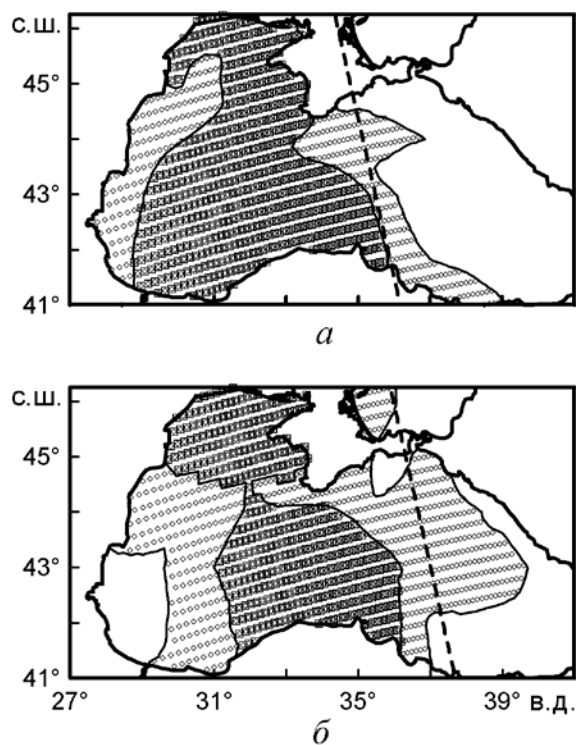
С целью изучения возникающих при этом вопросов рассмотрим примеры результатов совместных наблюдений Черного моря приборами *SeaWiFS* и *MODIS*. Используемые ниже данные *MODIS* получены прибором, установленным на спутнике *Aqua*. В течение длительного времени *MODIS* и *SeaWiFS* независимо работали на двух спутниках с различными параметрами орбиты и выполняли съемки совпадающих участков моря под разными углами с небольшой разницей по времени.

Вследствие конструкционных особенностей этих приборов интенсивность проявлений солнечного блика в их показаниях существенно различается. Для ослабления эффектов блика *SeaWiFS* оснащен механизмом наклона плоскости сканирования в сторону, противоположную направлению на Солнце; *MODIS* не имеет такого механизма, поэтому получаемые с его помощью результаты в большей мере подвержены бликовым эффектам. Сопоставление данных, полученных двумя приборами, позволяет понять основные закономерности проявлений влияния блика на результаты спутниковых наблюдений.

**Тестовый материал.** В ходе обработки показаний установленной на спутнике аппаратуры определяются параметры, характеризующие свойства атмосферы и воды в верхнем слое моря. Прежде всего это коэффициенты яркости морской поверхности  $R_{rs}(\lambda)$  для ряда длин волн излучения  $\lambda$ , концентрация хлорофилла  $a$ , оптическая толщина аэрозольной составляющей атмосферы  $\tau_a$  для опорной длины волны  $\lambda_0$ , показатель Ангстрема  $\alpha$ , характеризующий спектральную зависимость величины  $\tau_a$ . Ниже будут рассматриваться также результаты вычисления показателей поглощения  $a(\lambda)$  и обратного рассеяния  $b_b(\lambda)$  света в море.

Помимо основных параметров в числе продуктов обработки спутниковых данных содержатся специальные вспомогательные индикаторы – так называемые флаги, которые могут принимать значения 0 или 1. Для указания измерений с вероятными проявлениями солнечного блика служат флаги 4 и 21. В рассматриваемых ниже тестовых данных все другие флаги имеют нулевые значения, говорящие о том, что эти данные не содержат явных дефектов или искажений, кроме тех, которые могут быть связаны с бликом. Полное описание системы флагов можно найти на сайте *NASA*. Равным 1 флагом с номером 21 отмечается область слабого блика, флагом с номером 4 – зона более сильного блика. При обработке отсчетов, отмеченных этими флагами, вносится дополнительная коррекция, учитывающая обусловленные бликом искажения. Для определения числовых значений флагов 4 и 21 и для выполнения коррекции проводятся модельные расчеты связанных с бликом эффектов [3]. При этом блик представляется в виде аддитивной добавки к измеряемой в космосе яркости системы море – атмосфера, а необходимая для расчетов скорость ветра задается согласно сопутствующим метеорологическим данным. На этапе формирования итоговых массивов третьего уровня (формата *Level-3*) флаг 4 выступает в качестве маски для отбраковки данных, мало пригодных для практического использования.

О том, насколько важную роль играют связанные с бликом эффекты, можно судить по представленным на рис. 1 примерам, полученным по результатам съемок Черного моря прибором *MODIS* 9.06.2003 г. и 12.05.2007 г. В эти дни в данных *MODIS* область блика покрывает больше половины площади моря и на значительной ее части флаг 4 равен 1. Штриховыми линиями на рис. 1 показано расположение отсчетов с равным 0 углом сканирования (подспутниковые траектории). По отношению к этим линиям зона блика смещена к западу; при увеличении угла сканирования блик ослабевает и полностью отсутствует вблизи краев полосы обзора.

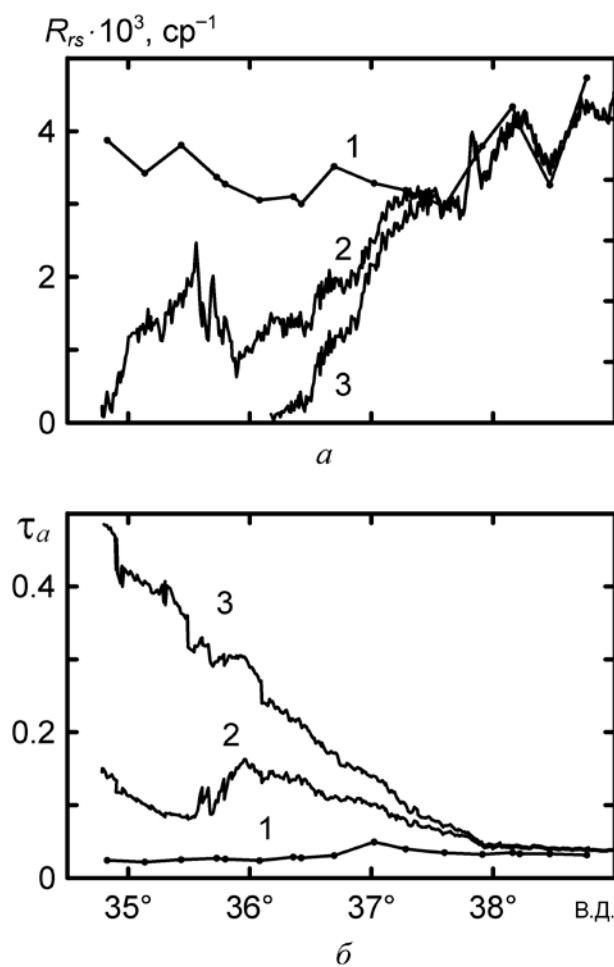


**Рис. 1.** Расположение участков Черного моря, в которых флаги 4 и 21 равны 1 по результатам съемок прибором *MODIS* 9.06.2003 г. (а) и 12.05.2007 г. (б). Флагу 4 соответствует более густая штриховка

Анализ многих других подобных примеров, полученных прибором *MODIS* в разные годы, говорит о том, что показанные на рис. 1 пространственные распределения блика отражают обычные условия в Черном море для периода с мая по июль – август. Ранней весной и осенью размеры участков с отличными от 0 флагами 4 и 21 уменьшаются, а в зимние месяцы в наблюдениях Черного моря оба флага почти всегда равны 0. Приведенные на рис. 1 примеры интересны тем, что в эти дни значительная часть Черного моря была свободна от облачности и обеспечена результатами практически одновременных съемок приборами *MODIS* и *SeaWiFS*. Для рассматриваемых ниже тестовых участков моря разница по времени между данными двух приборов

не превышает 15 мин. При этом в данных *SeaWiFS* флаги 4 и 21 равны 0 на всей площади моря, за исключением небольшого участка на юго-западе, в котором для 9.06.2003 г. флаг 21 равен 1.

**Особенности результатов для 12.05.2007 г.** На рис. 2 показано сопоставление результатов определения коэффициента яркости морской поверхности  $R_{rs}(412)$  при  $\lambda = 412$  нм и оптической толщины аэрозольной составляющей атмосферы  $\tau_a$  при  $\lambda = \lambda_0$  ( $\lambda_0 = 865$  нм для *SeaWiFS*,  $\lambda_0 = 869$  нм для *MODIS*) на разрезе по  $43,125^\circ$  с. ш. по данным двух приборов. При построении этих графиков использованы попадающие в полосу шириной 1,1 км отсчеты *SeaWiFS* формата *GAC* с пространственным разрешением  $\sim 4$  км и данные *MODIS* полного разрешения  $\sim 1$  км.



**Рис. 2.** Результаты определения  $R_{rs}(412)$  (а) и  $\tau_a$  при  $\lambda = \lambda_0$  (б) на разрезе по  $43,125^\circ$  с. ш. по данным двух приборов от 12.05.2007 г.: 1 – *SeaWiFS*; 2 и 3 – *MODIS* (1 и 2 – стандартные продукты из архива *NASA*, 3 – вариант расчетов без коррекции солнечного блика)

В дополнение к содержащимся в архиве *NASA* стандартным продуктам обработки на этом рисунке приведены еще и результаты специальных расчетов

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 3 2016 55

тов по программе *SeaDAS* [5] с отключением процедуры коррекции солнечного блика в показаниях прибора *MODIS*. При этом использована последняя версия *SeaDAS 7.2*, выпущенная в 2015 г.

В восточной части разреза блик отсутствует и наблюдается хорошее совпадение в показаниях двух приборов, тогда как в западной части эффекты блика в данных *MODIS* приводят к существенным расхождениям. Процедура коррекции блика лишь частично их снижает. В дальнейшем анализе используются только такие данные, в которых учтена эта коррекция.

Согласно информации *NCEP*, в этом районе моря 12.05.2007 г. скорость ветра была в пределах 2 – 6 м/с. Для всех представленных на рис. 2 данных *MODIS* флаг 21 равен 1. Флаг 4 равен 1 к западу от  $36,1^\circ$  в. д.

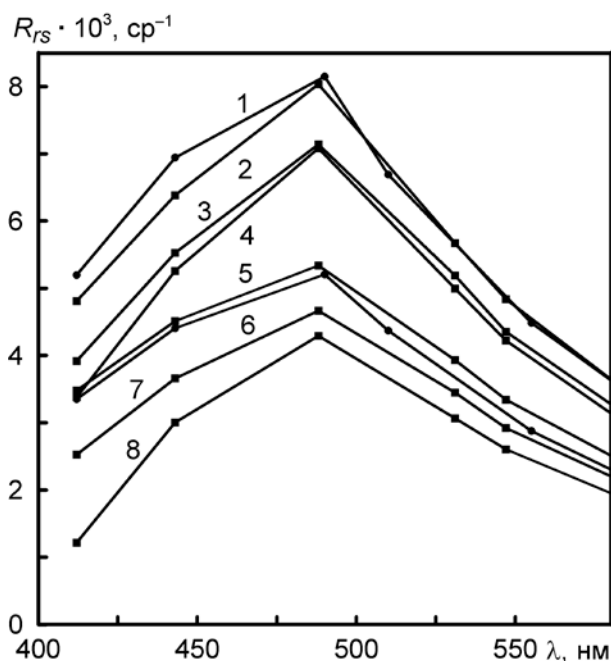
В точке с координатами  $43,125^\circ$  с. ш.,  $36,7^\circ$  в. д. *MODIS* имеет строго вертикальное направление визирования, в крайних точках графиков на рис. 2 углы сканирования одинаковы по абсолютной величине и составляют  $\sim 16^\circ$ . Отсчитываемый от вертикального направления угол наблюдения моря прибором *SeaWiFS* изменялся в интервале  $22,3 - 38^\circ$ .

Зенитный угол Солнца для данных каждого прибора почти не менялся и составлял  $\approx 28 - 31^\circ$ . Относительный азимутальный угол (по модулю) между направлениями из наблюдаемой точки на Солнце и в сторону спутника в крайней западной точке приведенных на рис. 2 графиков для данных *MODIS* и *SeaWiFS* равнялся  $133$  и  $86^\circ$  соответственно, а в крайней восточной точке –  $40$  и  $44^\circ$ . Анализируя приведенные здесь числовые значения углов, легко понять, каким образом геометрические условия наблюдений оказывают влияние на эффекты блика.

Данные *SeaWiFS* указывают на то, что в рассматриваемом районе моря 12.05.2007 г. реальные значения  $\tau_a$  имели низкий уровень, а  $R_{rs}(\lambda)$  почти не менялись, и поэтому можно сделать вывод, что проявления влияния блика на результаты обработки данных *MODIS* имеют очевидный однозначный характер.

**Интерпретация результатов спектральных измерений.** Проявления влияния солнечного блика на результаты определения спектральных зависимостей  $R_{rs}(\lambda)$  иллюстрируются показанными на рис. 3 примерами. Эти примеры специально выбраны для наглядного сопоставления результатов, полученных по измерениям двумя приборами в ситуациях без блика и с не слишком сильным бликом в данных *MODIS*.

В табл. 1 приведены соответствующие координаты, а также результаты определения  $\tau_a$  при  $\lambda = \lambda_0$  и концентрации хлорофилла  $a$  в воде. Эта величина здесь обозначена как  $C_{as}$ , для ее вычисления по спутниковым измерениям использован принятый в *NASA* традиционный способ [6]. Пространственное расположение отсчетов для 9.06.2003 г. схематически показано на рис. 4, а для 12.05.2007 г. его легко представить, судя по приведенным на рис. 2 графикам. Следует заметить, что рис. 4 отражает не реальные значения  $\tau_a$  и  $R_{rs}(412)$ , а результаты их определения по данным *MODIS*, искаженные влиянием блика. На этих картах отчетливо прослеживается та же тенденция, что и на представленных на рис. 2 графиках – вследствие действия блика с ростом  $\tau_a$  происходит снижение  $R_{rs}(412)$ .



**Рис. 3.** Сопоставление спектральных зависимостей  $R_{rs}(\lambda)$ , полученных по измерениям приборами *MODIS* и *SeaWiFS* в различных условиях 9.06.2003 г. (1 – 4) и 12.05.2007 г. (5 – 8). Номера кривых соответствуют вариантам в табл. 1

На рис. 3 и в табл. 1 варианты 1 – 4 относятся к 9.06.2003 г., варианты 5 – 8 – к 12.05.2007 г. Варианты 1 и 6 получены по данным *SeaWiFS*, а все остальные – по данным *MODIS*. Здесь для *SeaWiFS* показаны только два примера, так как для других отсчетов приводить результаты обработки данных *SeaWiFS* нет необходимости, поскольку они практически совпадают с вариантами 1 и 6.

Т а б л и ц а 1

**Характеристики тестовых данных**

Варианты	Дата	Координаты		Флаг 4	$C_{as}$ , мг·м <sup>-2</sup>	$\tau_a$
		°с. ш.	°в. д.			
1	9.06.2003 г.	44,015	35,450	0	0,51	0,051
2	9.06.2003 г.	44,015	35,460	0	0,53	0,047
3	9.06.2003 г.	44,006	34,944	1	0,54	0,098
4	9.06.2003 г.	44,393	35,461	0	0,52	0,118
5	12.05.2007 г.	43,125	38,455	0	0,57	0,039
6	12.05.2007 г.	43,128	38,466	0	0,52	0,033
7	12.05.2007 г.	43,128	37,037	0	0,57	0,102
8	12.05.2007 г.	43,122	35,137	1	0,54	0,101

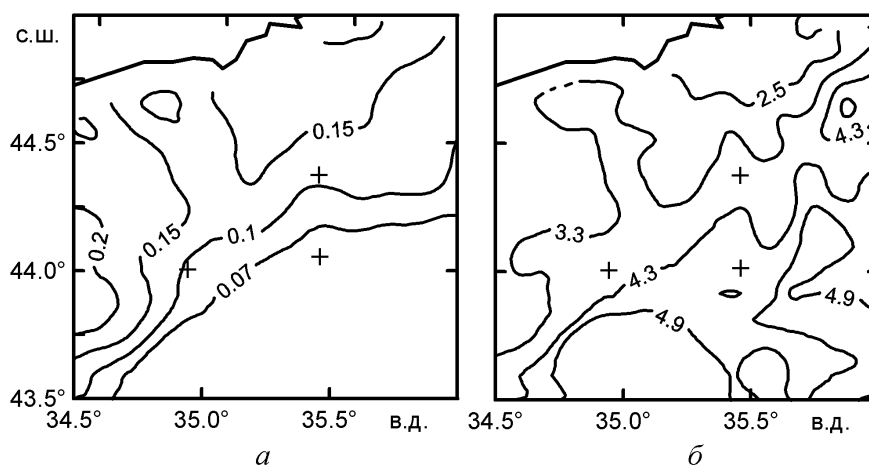


Рис. 4. Расположение тестовых отсчетов (крестики) и пространственные распределения результатов определения  $\tau_a$  при  $\lambda = 869$  нм (а) и  $R_{rs}(412) \cdot 10^3$  ср<sup>-1</sup> (б) по данным MODIS от 9.06.2003 г.

Варианты 1 и 2 служат примерами измерений при отсутствии блика в данных двух приборов 9.06.2003 г.; аналогичным образом для 12.05.2007 г. такими примерами являются варианты 5 и 6. В этих примерах спектры  $R_{rs}(\lambda)$ , полученные разными приборами, почти не отличаются,  $\tau_a$  имеет низкий уровень и флаг 4 равен 0. При этом на равенство 1 флага 21 можно не обращать внимания.

Варианты 3 и 8 непосредственным образом демонстрируют эффекты, связанные с бликом. Для них по данным MODIS флаг 4 равен 1,  $\tau_a$  имеет повышенный уровень. Из сопоставления этих примеров с вариантами без блика можно заключить, что действие блика приводит к снижению  $R_{rs}(\lambda)$  для всех длин волн.

Варианты 4 и 7 интересны тем, что для них по данным MODIS флаг 4 равен 0, и тем не менее они тоже подвержены существенным искажениям из-за действия блика. Это утверждение вытекает из сопоставления спектров  $R_{rs}(\lambda)$  на рис. 3 и подтверждается повышенным уровнем  $\tau_a$ . По-видимому, нулевые значения флага 4 в этих примерах обусловлены не совсем точным заданием необходимой для его определения скорости ветра.

Приведенные в табл. 1 значения  $\tau_a$  могут служить в качестве характеристики интенсивности бликовых эффектов. Судя по данным SeaWiFS, реальная оптическая толщина аэрозоля в оба дня имела низкие значения, близкие к минимальным наблюдаемым в регионе Черного моря. Исходя из их сравнения с результатами определения  $\tau_a$  по данным MODIS можно заключить, что в рассматриваемых примерах проявляется умеренный по силе блик. Заметим, что параметры аэрозоля играют важную роль, так как они используются при выполнении атмосферной коррекции спутниковых измерений, и поэтому от того, насколько точно они соответствуют реальной атмосфере, будет зависеть достоверность определения других параметров.

Для всех вариантов в табл. 1 значения  $C_{as}$  практически одинаковы, следовательно, результаты применения традиционного метода расчета содержания хлорофилла *a* оказались устойчивыми к действию блика.

Вместе с тем известно, что этот метод применительно к Черному морю часто приводит к большим ошибкам [7 – 10]. Более точные результаты могут быть получены при использовании таких комплексных методов, как *GIOP* [4]. В отличие от традиционного метода, в котором для расчетов содержания хлорофилла *a* в воде используются измерения по двум спектральным каналам спутникового прибора, в методе *GIOP* учитывается полный набор каналов. При этом обеспечивается контроль эффектов, связанных с независимой изменчивостью всех основных факторов, оказывающих влияние на оптические свойства воды.

Помимо содержания хлорофилла *a* методом *GIOP* определяются также спектральные зависимости показателей поглощения  $a(\lambda)$  и обратного рассеяния  $b_b(\lambda)$  света в приповерхностном слое воды. Кроме того, вычисляются переменные составляющие, описывающие поглощение света фитопланктоном  $a_{ph}(\lambda)$  и растворенным в воде желтым веществом  $a_{dg}(\lambda)$  (в комбинации с поглощением детритом).

По своему смыслу *GIOP* близок к тем методам, которые ранее были использованы при анализе космических наблюдений Черного моря в работах [8, 11 – 13]. В последние годы этот метод реализован в применяемой в *NASA* операционной системе обработки спутниковых данных.

В табл. 2 приведены результаты определения этих параметров для показанных на рис. 3 спектров  $R_{rs}(\lambda)$ . При подготовке этой таблицы были использованы материалы из архива *NASA* и расчеты по программе *SeaDAS*. Через  $C_{ag}$  обозначена концентрация хлорофилла *a*, вычисленная методом *GIOP*. Номера тестовых вариантов здесь совпадают с приведенными в табл. 1. На рис. 5 показаны эффекты блика на том же разрезе, что и на рис. 2.

Т а б л и ц а 2

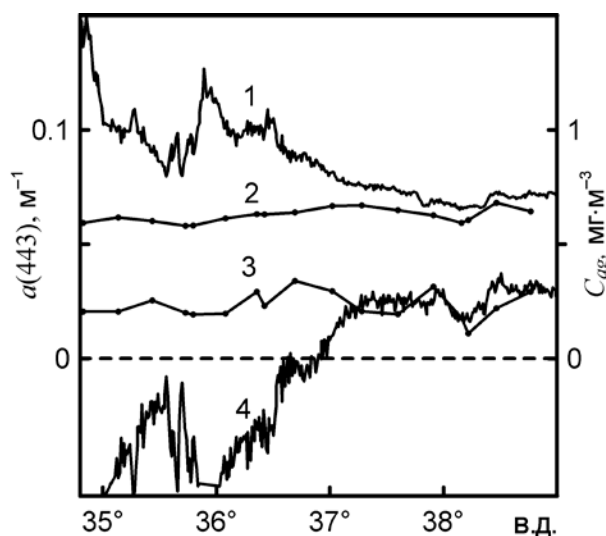
**Результаты определения оптических параметров морской воды и концентрации хлорофилла *a* с использованием метода *GIOP***

Варианты	$a(443), \text{ м}^{-1}$	$b_b(443), \text{ м}^{-1}$	$a_{ph}(443), \text{ м}^{-1}$	$a_{dg}(443), \text{ м}^{-1}$	$C_{ag}, \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2}$
1	0,064	0,0087	0,012	0,045	0,22
2	0,068	0,0088	0,011	0,051	0,20
3	0,074	0,0081	0,008	0,060	0,14
4	0,076	0,0079	-0,001	0,071	-0,02
5	0,073	0,0064	0,016	0,050	0,29
6	0,068	0,0059	0,012	0,050	0,22
7	0,081	0,0058	0,006	0,069	0,12
8	0,102	0,0054	-0,029	0,124	-0,52

В ситуациях без блика (варианты 1, 2 и 5, б) по данным двух приборов получены почти одинаковые результаты, которые вполне согласуются с обычными условиями в это время года в глубоководной части Черного моря



[11, 12, 14, 15]. Заметим, что в точках, для которых в табл. 2 не приведены результаты обработки данных *SeaWiFS*, эти результаты почти не отличаются от тех, которые получены для вариантов 1 и 6.



**Рис. 5.** Сопоставление результатов обработки данных приборов *MODIS* (1 и 4) и *SeaWiFS* (2 и 3) методом *GIOP* на разрезе по  $43,125^\circ$  с. ш. Показатель поглощения  $a(443)$  – 1 и 2; концентрация хлорофилла  $a$  – 3 и 4

При определении составляющих поглощения света  $a_{ph}(\lambda)$ ,  $a_{dg}(\lambda)$  и концентрации хлорофилла  $a$  даже умеренный по силе блик приводит к большим ошибкам. Получаемые  $a_{ph}(\lambda)$  и  $C_{ag}$  заметно занижены и даже могут иметь лишённые смысла отрицательные значения. При этом ошибки в полном поглощении  $a(\lambda)$  меньше, но тоже отчетливо выражены. Блик приводит к завышению  $a(\lambda)$  и  $a_{dg}(\lambda)$ . При использовании *GIOP* для получения надежных результатов необходимо иметь более точные исходные спектры  $R_{rs}(\lambda)$ .

Ошибки определения показателя обратного рассеяния  $b_b(\lambda)$  в рассмотренных примерах невелики, но можно утверждать, что основная тенденция заключается в кажущемся снижении  $b_b(\lambda)$ .

**Заключение.** Таким образом, рассмотренные примеры позволяют понять основные особенности проявления влияния солнечного блика на результаты обработки данных спутникового прибора *MODIS* с использованием комплексного метода *GIOP*. Благодаря специальному отбору тестовых измерений и сопоставлению показаний приборов *SeaWiFS* и *MODIS* обеспечена строгая однозначность интерпретации этих примеров.

Полученные результаты показывают важность бликовых эффектов, которые проявляются в данных не только прибора *MODIS*, но и других подобных приборов, лишённых механизма наклона плоскости сканирования. К их числу относится, например, работающий в космосе современный прибор *VIIRS*. При этом оказывается, что критерии браковки искажений, применяемые в настоящее время при операционной обработке спутниковых измерений в *NASA*,

не в полной мере обеспечивают их устранение. Поэтому итоговые результаты применения метода *GIOP*, содержащиеся в архиве *NASA* в формате *Level-3*, могут содержать серьезные ошибки.

Выполненный анализ будет полезным при разработке более эффективных способов интерпретации спутниковых наблюдений. Заметим, что ситуации с высокой интенсивностью блика легко выделяются и могут исключаться из практического использования, тогда как в случаях с не слишком сильными проявлениями блика возникает неопределенность, требующая более внимательного подхода. Приведенные примеры дают представление об основных тенденциях, которые характеризуют чувствительность результатов применения метода *GIOP* по отношению к вызываемым бликом умеренным по силе возмущениям.

Авторы выражают благодарность группе обработки спутниковой информации *NASA GSFC* (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) за предоставленную возможность использования эмпирического материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McClain C.R., Feldman G.C., Hooker S.B. An overview of the SeaWiFS project and strategies for producing a climate research quality global ocean bio-optical time series // *Deep-Sea Res. Part II*. – 2004. – 51. – P. 5 – 42.
2. Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology / Ed. T. Platt, N. Hoepffner, V. Stuart and C. Brown // *Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group*. – Canada, Dartmouth: IOCCG, 2008. – № 7. – 141 p.
3. Wang M., Bailey S.W. Correction of sun glint contamination on the SeaWiFS ocean and atmospheric products // *Appl. Opt.* – 2001. – 40. – P. 4790 – 4798.
4. Werdell P.J., Franz B.A., Bailey S.W. et al. Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties // *Ibid.* – 2013. – 52. – P. 2019 – 2037.
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. O'Reilly J.E., Maritorena S., Mitchell B.G. et al. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS // *J. Geophys. Res.* – 1998. – 103. – P. 24937 – 24953.
7. 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. Флинга. – М.: Наука, 2002. – С. 417 – 432.
8. 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.
9. Суетин В.С., Суслин В.В., Кучерявый А.А. и др. Особенности интерпретации данных дистанционных оптических наблюдений Черного моря с помощью прибора SeaWiFS // *Морской гидрофизический журнал*. – 2001. – № 2. – С. 71 – 80.
10. Oguz T., Ediger D. Comparison of in situ and satellite-derived chlorophyll pigment concentrations, and impact of phytoplankton bloom on the suboxic layer structure in the western Black Sea during May – June 2001 // *Deep-Sea Res. Part II*. – 2006. – 53. – P. 1923 – 1933.

11. Суетин В.С., Суслин В.В., Королев С.Н., Кучерявый А.А. Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море летом 1998 года по данным спутникового прибора *SeaWiFS* // Морской гидрофизический журнал. – 2002. – № 6. – С. 44 – 54.
12. Суетин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В., Кучерявый А.А. Сравнительный анализ методов определения оптических параметров Черного моря по данным спутниковых измерений // Там же. – 2011. – № 2. – С. 33 – 42.
13. Суетин В.С., Королев С.Н., Кучерявый А.А. Использование спутниковых наблюдений для определения спектральных зависимостей оптических характеристик вод Черного моря // Там же. – 2014. – № 3. – С. 77 – 86.
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 // Там же. – 2004. – 44, № 3. – С. 389 – 398.

## **Sun glint manifestation at evaluating the Black Sea water optical parameters using satellite measurements**

**V.S. Suetin, S.N. Korolev, A.A. Kucheryaviy**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*

Typical examples of manifestations of a sun glint effect upon the results of evaluating the Black Sea water optical parameters using the satellite instrument *MODIS* data are considered. It is found that application of the complex technique *GIOP* induces (even at moderate sun glint) significant errors in evaluating the chlorophyll *a* concentration and the coefficients of light absorption by phytoplankton and yellow substance. At that, the glint-induced distortions in the spectra of the total absorption and backscattering coefficients are smaller, but distinctly pronounced.

**Keywords:** satellite remote sensing, Black Sea, sun glint, optical characteristics, chlorophyll *a*.