

# Алгоритм использования информации, получаемой при сканировании вдоль трассы полета, для атмосферной коррекции данных спутникового сканера цвета

С.В. Шеберстов, С.В. Вазюля, О.В. Копелевич

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36  
E-mail: [oleg@ocean.ru](mailto:oleg@ocean.ru)*

Представлен алгоритм атмосферной коррекции, основанный на использовании информации, получаемой при сканировании вдоль трассы полета спутника. Показана возможность определения скорости ветра по данным спутникового сканера. Исследована устойчивость предлагаемого алгоритма.

**Ключевые слова:** спутниковый сканер цвета океана, орбита, атмосферная коррекция, аэрозоль, солнечный блик, яркость излучения.

## Введение

ФГУП «РНИИ КП» в рамках программы «РОСС-1» разрабатывает многозональное сканирующее устройство МСУ-О, которое будет осуществлять как традиционную съемку путем сканирования поперек трассы полета в восьми спектральных диапазонах, так и одновременно вдоль трассы в трех спектральных диапазонах [1]. Сканер предполагается запустить на космическом аппарате (КА) «Метеор-№3».

Сканирование вдоль трассы позволяет наблюдать одну и ту же точку на поверхности океана под различными углами. Данные об угловой зависимости яркости восходящего излучения на верхней границе атмосферы дают возможность исследовать такие факторы, как атмосферный аэрозоль, солнечный блик, облачность и др. Существует большое число работ, посвященных спутниковому сканеру MISR, установленному на КА Terra и осуществляющему наблюдение каждого пикселя изображения под углами  $\pm 70.5^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 45.6^\circ$ ,  $\pm 26.1^\circ$ ,  $0^\circ$  [2-5]. Однако основное внимание авторов алгоритмов обработки данных MISR направлено на исследование свойств аэрозоля и облаков, а не на биооптические характеристики морской воды.

Цель настоящей работы – разработка алгоритма атмосферной коррекции, т.е. определение спектральной яркости выходящего из воды излучения по данным спутникового сканера цвета, с использованием информации, получаемой при сканировании вдоль трассы полета спутника. Основное внимание обращается на возможность использования результатов сканирования вдоль трассы для корректного учета вклада солнечного блика, т.е. прямого солнечного излучения, отраженного от поверхности воды. При этом мы исходили из предполагаемых параметров орбиты КА «Метеор №3». Выполнено моделирование спутниковых данных с использованием материалов натурных измерений в экспедициях ИОРАН на Каспийском море в 2003 – 2008 гг.

## Малопараметрическая модель яркости на верхней границе атмосферы

Задачу атмосферной коррекции при сканировании вдоль трассы можно сформулировать так: требуется найти спектральную зависимость коэффициента яркости водной толщи под поверхностью моря  $\rho(\lambda)$  [6] по известным значениям яркости на верхней границе атмосферы  $L_i(\lambda_i, \omega_k)$ , где  $\omega_k$  - набор углов сканирования вдоль трассы.

Задача решается методом наименьших квадратов: минимизируется сумма квадратов разностей измеренной яркости  $L_t$  и модельной  $\hat{L}_t$ , зависящей от нескольких параметров. Используемая комплексная модель основывается на суперпозиции вкладов в спектральную яркость восходящего излучения на верхней границе атмосферы  $L_t$  от рэлеевского и аэрозольного рассеяния в атмосфере, излучения, отраженного от взволнованной морской поверхности, и излучения, вышедшего из водной толщи:

$$L_t(\lambda_i) = L_r(\lambda_i) + L_a(\lambda_i) + T(\lambda_i, \mu) \cdot L_g(\lambda_i) + t(\lambda_i, \mu) \cdot L_{wc}(\lambda_i) + t(\lambda_i, \mu) \cdot t(\lambda_i, \mu_0) \cdot L_{wN}(\lambda_i) \mu_0, \quad (1)$$

где  $\mu$  и  $\mu_0$  – косинусы зенитных углов направления наблюдения и Солнца соответственно,  $L_r(\lambda_i)$  и  $L_a(\lambda_i)$  – яркости, обусловленные молекулярным рассеянием в атмосфере (рэлеевское рассеяние) и многократным рассеянием аэрозолями, включая взаимодействие рэлеевского и аэрозольного рассеяния (оба члена включают отражение диффузного излучения небосвода от морской поверхности);  $L_g(\lambda_i)$  – яркость, обусловленная зеркальным отражением прямых солнечных лучей (солнечные блики),  $L_{wc}(\lambda_i)$  – яркость, обусловленная пеной;  $T(\lambda_i, \mu)$  и  $t(\lambda_i, \mu)$  – направленное и диффузное пропускание излучения атмосферой на пути от поверхности моря до спутникового датчика;  $t(\lambda_i, \mu) = t_r(\lambda_i) \cdot t_a(\lambda_i)$  – произведение рэлеевского и аэрозольного коэффициентов пропускания. Для каждого из них используется приближенная формула:

$$t_{r,a} = \exp[-\tau_{r,a}(1 - \omega_{r,a} F_{r,a}) / \cos \theta], \quad (2)$$

где  $\tau_{r,a}$  – оптическая толщина,  $\omega_{r,a}$  – альbedo однократного рассеяния,  $F_{r,a}$  – доля рассеяния вперед для рэлеевского или аэрозольного слоя, соответственно. Нормализованная яркость  $L_{wN}$  излучения, вышедшего из водной толщи, с хорошей точностью может быть выражена через искомую величину  $\rho$  и солнечную постоянную  $F_0$  [7]:

$$L_{wN}(\lambda) = F_0(\lambda) 0.165 \cdot \rho(\lambda) / (1 - 0.497 \rho(\lambda)) \quad (3)$$

Далее, для простоты, будем опускать  $F_0(\lambda)$ , т.е. рассматривать яркости, нормированные на  $F_0$ .

Для аэрозольной яркости  $L_a(\lambda_i)$  применялась двухпараметрическая линейная модель:

$$L_a(\lambda_i) = c_{af} L_{af}(\lambda_i) + c_{ac} L_{ac}(\lambda_i) \quad (4)$$

где  $L_{af}(\lambda_i)$  и  $L_{ac}(\lambda_i)$  – базисные функции;  $c_{af}$  и  $c_{ac}$  – параметры модели, определяемые в процессе атмосферной коррекции. Модель была разработана на основе данных AERONET и верифицирована по данным SeaWiFS [8]. Величины  $L_{af}(\lambda_i)$  и  $L_{ac}(\lambda_i)$  для различных геометрий наблюдения были рассчитаны точным методом.

Вклад прямого солнечного излучения, отраженного от морской поверхности, в яркость, измеряемую спутниковым сканером цвета, можно представить как:

$$L_g(\lambda) = \exp\left(-\tau\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu_0}\right)\right) r_g(\lambda), \quad (5)$$

где  $\mu = \cos \theta_z$ ,  $\mu_0 = \cos \theta_0$ ,  $\theta_z$  – угол между вертикалью и направлением на спутник,  $\theta_0$  – зенитный угол Солнца,  $\tau$  – оптическая толщина атмосферы на данной длине волны  $\lambda$ ,  $r_g(\lambda)$  – коэффициент яркости блика, т.е. усредненный по распределению уклонов коэффициент отражения от поверхности воды.

Для расчета коэффициента яркости блика использовалось приведенное в [9] выражение:

$$r_g = r_{Fr}(\mu_f, n_w) \frac{1}{\mu} \frac{\mu_f^4}{(\mu + \mu_0)^4} \frac{1}{\pi \sigma^2} \exp\left(-(\zeta / \sigma)^2\right) S(\mu) S(\mu_0), \quad (6)$$

где  $r_{Fr}$  – коэффициент отражения от гладкой поверхности воды,  $n_w$  – показатель преломления,

$$\mu_f = \sqrt{\frac{1 + \mu\mu_0 + \sqrt{1 - \mu^2} \sqrt{1 - \mu_0^2} \cos(\varphi - \varphi_0)}{2}}, \quad \zeta = \frac{4\mu_f - (\mu + \mu_0)^2}{(\mu + \mu_0)^2},$$

$\varphi$  и  $\varphi_0$  – азимутальные углы направлений на сенсор и Солнце соответственно,  $\sigma$  – параметр функции распределения уклонов поверхности,  $\sigma = \sqrt{0.0049U}$  [9],  $U$  – скорость ветра, м/с,  $S(\mu)$  – фактор затенения [9], который существенно отличается от единицы только при  $\mu \ll \sigma$ .

## Пространственные распределения яркости солнечного блика

Для построения модельных распределений коэффициента яркости блика необходимо задать орбиту космического аппарата (КА), а также углы сканирования в продольном (вдоль траектории спутника)  $\theta_l$  или поперечном направлении  $\theta_s$ . Для заданных параметров орбиты, углов сканирования и времени можно рассчитать координаты точки наблюдения, зенитный угол  $\theta_z$  и азимутальный угол  $\varphi$ .

Будем предполагать, что КА движется по круговой солнечно-синхронной орбите, высота орбиты  $H$ , наклонение орбиты  $i$  (для солнечно-синхронных орбит  $i > 90^\circ$ ), местное время пересечения экватора (для нисходящего узла)  $t_e$ , период обращения спутника  $P$ . Для полного задания движения спутника необходимо задать еще один параметр – это может быть долгота пересечения экватора  $\omega_e$  или время  $t_p$  прохождения над точкой с заданными координатами. Для солнечно-синхронной орбиты значение параметра  $r_g$  зависит только от широты пикселя, даты и углов сканирования – для каждого пикселя, достаточно удаленного от полюса, однозначно определяются значения углов  $\theta_s$ ,  $\theta_l$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_0$ , а следовательно (при заданной скорости ветра) и коэффициент яркости блика. Таким образом, существует возможность для заданной даты и скорости ветра построить двумерный массив  $r_g(\psi_s^i, \theta_s^j)$  (сканирование вдоль траектории) или  $r_g(\psi_s^i, \theta_s^j)$  (поперечное сканирование). Полученные массивы можно представить графически в виде изолиний коэффициента яркости блика или, произвольно задавая параметр  $\omega_e$  (долгота нисходящего узла), сопоставить каждому значению угла сканирования определенную географическую долготу и представить распределение коэффициента яркости блика в виде географической карты в заданной проекции.

Расчет модельных распределений коэффициента яркости блика для нового сканера осуществлялся с помощью специально разработанного программного обеспечения. Как отмечалось выше, величина солнечных бликов и возможность их попадания в приемник зависит от орбиты спутника, широты места, времени года и скорости ветра. Для контроля получающихся результатов вначале расчет был проведен для сканера цвета MODIS-Aqua. На рисунке 1 показано сравнение пространственного распределения солнечного блика, рассчитанного для этого сканера для реальной скорости ветра 6 октября 15:25-15:30 с реальной потерей данных из-за блика (белый эллипс на левом рисунке). Видно очень хорошее совпадение обоих распределений – атмосферная коррекция невозможна при величине коэффициента яркости блика больше 0.02, когда измеряемая яркость на верхней границе атмосферы почти полностью определяется бликом. Блик меньше 0.001 можно считать пренебрежимо малым.

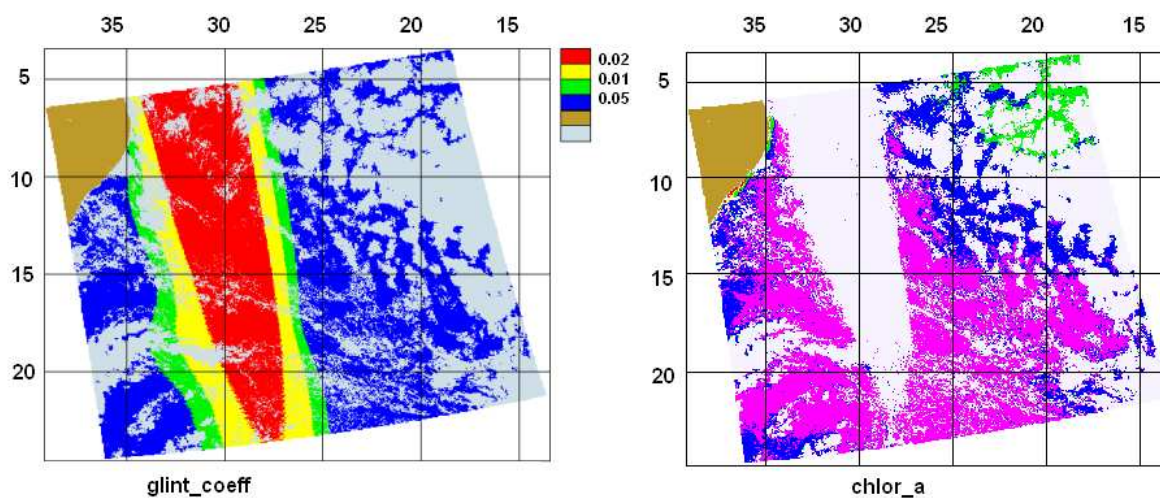


Рис. 1. Пространственное распределение солнечного блика для сканера цвета MODIS-Aqua, рассчитанное для реальной скорости ветра для орбиты 6 октября 15:25-15:30 (левый рисунок) и реальная потеря данных из-за блика (белый эллипс на правом рисунке)

На рисунке 2 представлены пространственные распределения солнечного блика, рассчитанные для разных скоростей ветра (1, 3, 5, 7 и 10 м/с) для летнего солнцестояния 22 июня. Были заданы следующие параметры орбиты: орбита солнечно-синхронная, нисходящая круговая, высота – 832 км, наклонение –  $98.068^\circ$ , период – 101.3 мин, время пересечения экватора (местное) – 10:00.

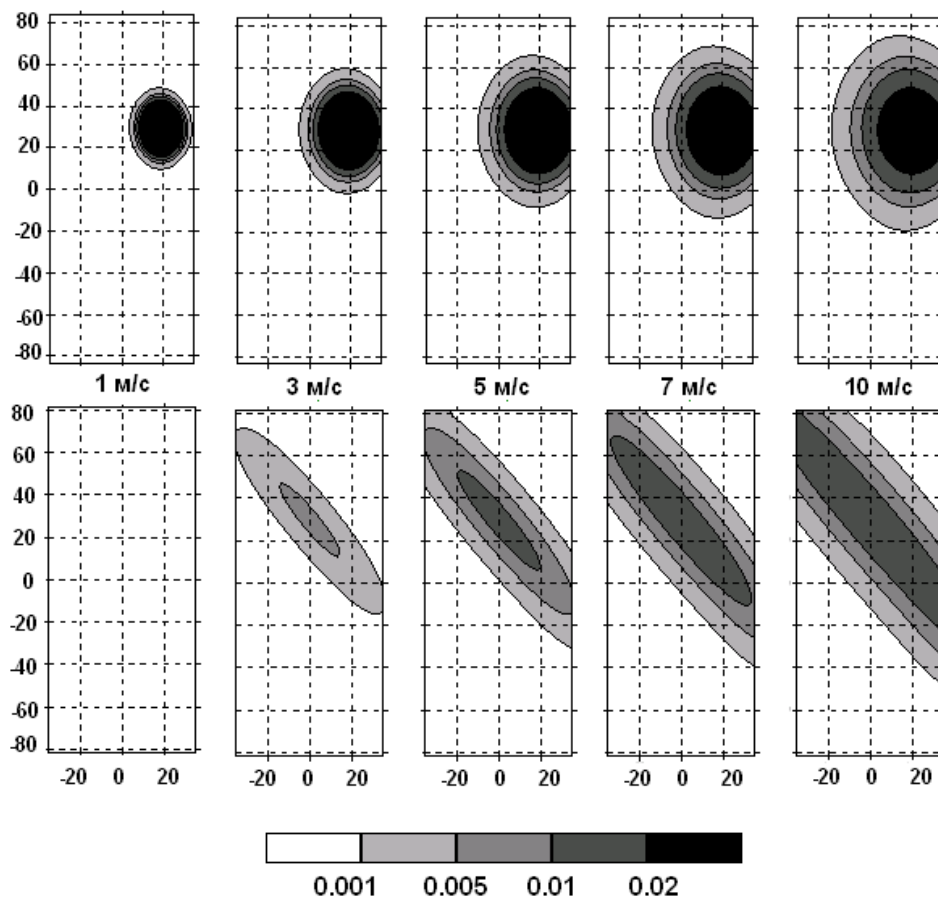


Рис. 2. Солнечный блик при сканировании вдоль (верхние рисунки) и поперек (нижние) трассы планируемого спутника «Метеор №3» 22 июня

Для каждого не слишком большого значения широты  $\omega$ , любой долготы  $\psi$  и угла сканирования  $\theta < 62^\circ$  можно подобрать такую орбиту, что в определенный момент времени на нисходящем витке будет осуществляться сканирование точки с координатами  $(\omega, \psi)$ .

Если взять для определенности широту  $42^\circ$ , то видно, что при сканировании поперек трассы ярко выраженный блик, приводящий к потере данных, всегда существует к востоку от орбиты; при скорости ветра 10 м/с он охватывает диапазон углов сканирования примерно от  $5^\circ$  до  $35^\circ$ . При сканировании вдоль трассы такой сильный блик при рассматриваемых скоростях ветра не наблюдается, но уже при скорости ветра 5 м/с блик изменяется в широких пределах – от пренебрежимо малых значений  $< 0.001$  к северу (при углах начиная примерно от  $15^\circ$ ) до более 0.01 к югу (в диапазоне углов примерно от  $5^\circ$  до  $15^\circ$ ).

Расчеты, выполненные для зимнего сезона, показывают, что в рассматриваемой нами северной половине Каспийского моря (выше  $42^\circ$  с.ш.), для предполагаемой орбиты и рассматриваемой акватории, блик пренебрежимо мал даже при скорости ветра 10 м/с. Во время весеннего или осеннего равноденствия блик проявляется для скорости ветра не меньше 10 м/с.

Рассматривая сканирование вдоль трассы, следует учитывать то обстоятельство, что за счет вращения Земли точка наблюдения совпадает с подспутниковой точкой только при наблюдении в надир, т.е. для угла сканирования  $\omega=0$ . Для углов  $\pm 35^\circ$  отклонение может достигать 20 км (рисунок 3).

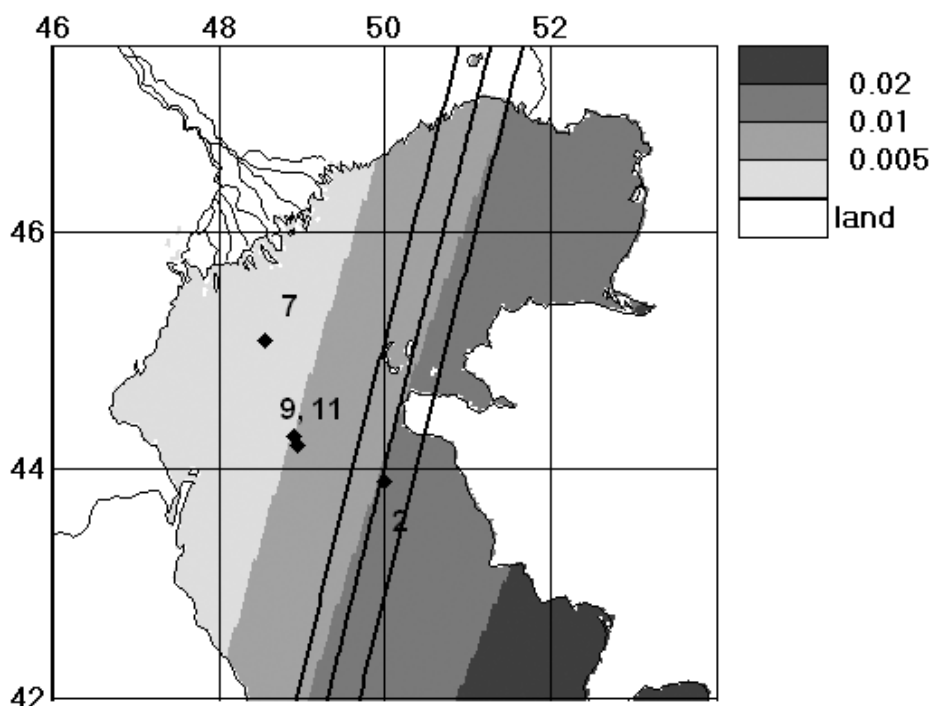


Рис. 3. Траектория планируемого спутника «Метеор №3» на фоне карты распределения яркости солнечного блика 26 июля 2006 г. Центральная линия – траектория подспутниковой точки, слева траектория точки наблюдения при угле сканирования  $35^\circ$  (назад), справа при угле  $-35^\circ$  (вперед). Ромбики показывают положение станции 9 в экспедиции 2003г. и станций 2, 7, 11 в экспедиции 2006 г.

### Расчет яркости на верхней границе атмосферы

Вклады аэрозольной яркости, солнечного блика и яркости излучения, вышедшего из водной толщи, при сканировании вдоль трассы моделировались с использованием формул (1-4) для четырех станций в Каспийском море, где одновременно были проведены измерения спутниковым сканером цвета SeaWiFS (станции 9, 2003 г., 2, 7 и 11, 2006 г. (рисунок 3))

Для коэффициента яркости водной толщи использовались его значения, измеренные посредством плавающего спектрорадиометра [10], и затем по формуле (5) рассчитывались значения  $L_w(\lambda_i)$ . Используя эти значения, по данным спутникового сканера SeaWiFS, полученным одновременно с судовыми, рассчитывали значения аэрозольной яркости  $L_a(\theta_o, \theta, \varphi)$ , которые затем аппроксимировались двухпараметрической моделью аэрозоля (3). Средняя по спектру относительная ошибка аппроксимации для первых трех из вышеупомянутых станций не превышала 5%, для станции 11 она составила 8%.

Полученные коэффициенты разложения  $c_{af}$  и  $c_{ac}$  были использованы для оценки вклада аэрозольной яркости  $L_a$  в яркость, измеряемую новым сканером на верхней границе атмосферы при сканировании вдоль орбиты.

Все приведенные ниже примеры относятся к станции 2\_2006 г., для которой скорость ветра  $U=10.2$  м/с, (по данным метеорологического центра NCEP),  $\rho(443)=0.0138$ ,  $\rho(555)=0.0131$ ,  $\rho(865)=0$ ,  $c_{ac}=0.49$ ,  $c_{af}=0.415$ .

## Решение обратной задачи

В качестве исходной информации используются значения  $L_t(\lambda_i)$  для трех длин волн  $\lambda_i = 443, 555$  и  $865$  нм (это длины волн, которые выбраны для сканирования вдоль трассы) и для нескольких углов сканирования  $\omega_k$ . Незвестных параметров – шесть: это коэффициенты яркости водной толщи  $\rho(443), \rho(555), \rho(865)$ ; коэффициенты  $c_{ac}, c_{af}$ , не зависящие от длины волны и от угла; скорость ветра  $U$ .

Для решения обратной задачи использовалась численная минимизация квадратичной формы

$$S(\rho_{443}, \rho_{555}, \rho_{865}, c_{ac}, c_{af}, U) = \sum \sum (L_t(\lambda_i, \omega_k) - \hat{L}_t)^2, \quad (7)$$

где  $U$  – скорость ветра,  $c_{ac}, c_{af}$  – параметры аэрозольной модели (4),  $\lambda_i$  – длина волны,  $\omega_k$  – угол сканирования вдоль трассы. Источником ошибок при решении задачи атмосферной коррекции могут служить следующие факторы:

- 1) Недостаточная точность модели аэрозоля. Этот вопрос обсуждался выше.
- 2) Решение прямой задачи: формула (1), даже если предположить справедливость используемой модели аэрозоля, не вполне точно описывает процессы многократного рассеяния света в атмосфере.
- 3) Не исключена возможность существования нескольких минимумов величины  $S$ . Эта проблема, как будет показано ниже, решается правильным выбором углов сканирования в формуле (7).
- 4) Величина  $S$  может слабо зависеть от некоторых параметров. В этом случае небольшие неточности измерения величины  $L_t$  могут привести к значительным ошибкам при определении искомым величин.

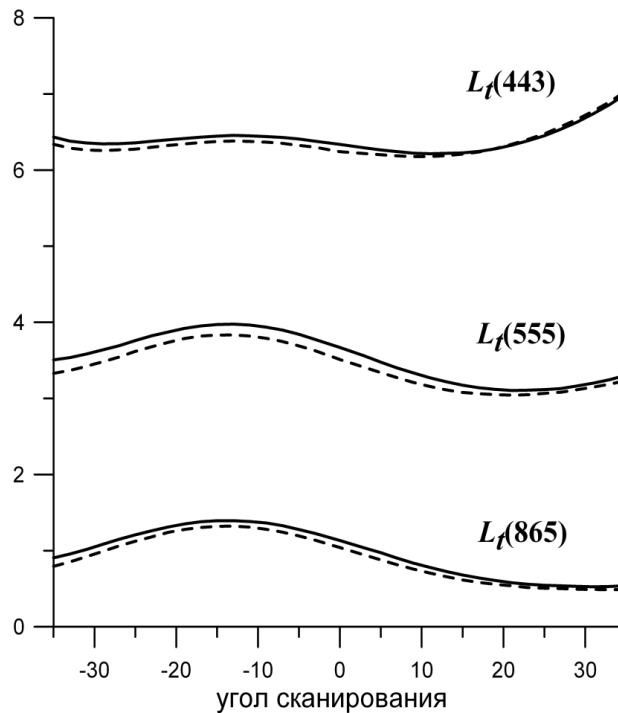


Рис. 4. Результаты расчетов яркости восходящего излучения на верхней границе атмосферы в зависимости от угла сканирования точным (сплошные линии) и приближенным (штриховые) методами

Для оценки точности модели (1), прямая задача (вычисление яркости на верхней границе атмосферы) решалась методом дискретных ординат [11]. Результаты расчета представлены на рисунке 4. Разность между результатами расчетов точным и приближенным методами не превышает 3%, что подтверждает обоснованность применения простых формул (1 – 5).

Зависимость вклада солнечного блика от скорости ветра не монотонна, поэтому величина  $S$  в (6) при неудачном выборе углов сканирования реально может иметь два локальных минимума. Избежать этого можно выбирая углы сканирования так, чтобы значения параметра  $\zeta$  в формуле (5) для различных углов сканирования не были слишком близкими.

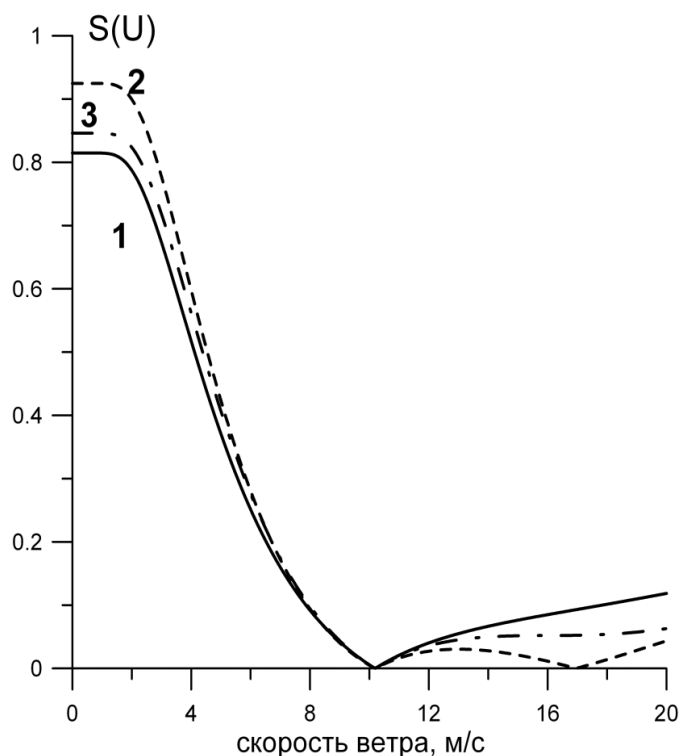


Рис. 5. Квадратичная форма  $S(c, U)$  как функция скорости ветра для различных наборов углов сканирования. 1 –  $-15^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ , 2 –  $-20^\circ, -20^\circ, -10^\circ, 0^\circ$

На рисунке 5 изображены графики зависимостей  $S$  от скорости ветра при фиксированных в точке абсолютного минимума значениях коэффициентов  $c_{af}$ ,  $c_{ac}$  аэрозольной модели (4) и коэффициента яркости водной толщи  $\rho$ . Кривая 1 демонстрирует существование единственного минимума, соответствующего реальной скорости ветра, при достаточно полном наборе углов сканирования. В противоположном случае, при единственном угле  $\omega$  или наборе углов, достаточно близких, зависимость  $S(U)$  выглядит как кривая с двумя минимумами (кривая 2 на рисунке 5). Промежуточный случай представлен кривой 3 – кроме отчетливо выраженного минимума имеется почти плоский участок в области 14 – 20 м/с.

### Статистическая оценка устойчивости алгоритма

Для проверки устойчивости нашего алгоритма атмосферной коррекции использовался метод статистического моделирования. Яркость на верхней границе атмосферы  $L_t(\lambda)$  ( $\lambda = 443, 555, 865$  нм) вычислялась в соответствии с принятой моделью по формуле (1) для различных значений параметров – скорости ветра, параметров воды и атмосферы, геометрии задачи.

Для проверки устойчивости алгоритма к вычисленным значениям величины  $L_t$  добавлялось случайное слагаемое, распределенное по Гауссу с заданной относительной дисперсией  $\sigma^2$ . Другими словами, для решения обратной задачи использовалось распределение  $L_t(\lambda_i)(1 + \sigma N(0,1))$ , где  $N(0,1)$  – нормально распределенная случайная величина с нулевым средним и единичной дисперсией.

Полученные в результате решения обратной задачи величины  $U$  и  $\rho_i$  также являются случайными; их среднее и дисперсия характеризуют устойчивость алгоритма атмосферной коррекции.

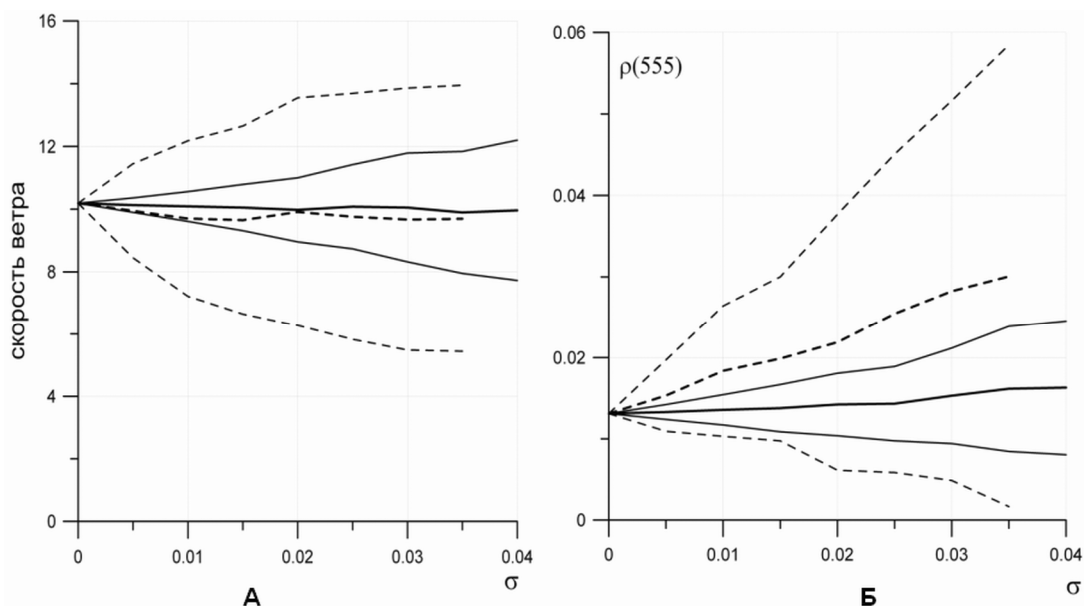


Рис. 6. Зависимости от параметра  $\sigma$  средних восстановленных величин скорости ветра  $U$  (А) и коэффициента яркости  $\rho(555)$  (Б) с их доверительными интервалами при разных наборах углов сканирования: сплошные линии – (  $-35, -20, -10, 10, 20, 35^\circ$ ), штриховые линии – (  $-15, -10, 0, 10, -15^\circ$ )

На рисунке 6 представлены зависимости от параметра  $\sigma$  средних восстановленных величин скорости ветра  $U$  и коэффициента яркости  $\rho(555)$  с их доверительными интервалами ( $U \pm \delta U$  и  $\rho \pm \delta \rho$ , где  $\delta U$  и  $\delta \rho$  - среднеквадратичные отклонения величин  $U$  и  $\rho$ ) при разных наборах углов сканирования. Анализ рисунков показывает, что при ограниченном наборе углов ( $-15, -10, 0, 10, -15^\circ$ ) ошибки определения скорости ветра и особенно коэффициента яркости могут быть достаточно велики. Если исходить из минимального значения случайной ошибки  $\sigma$ , равной 0.01, то и в этом случае ошибка определения скорости ветра может быть более 2 м/с, а ошибка определения  $\rho(555)$  – около 0.015. Причем ошибка возникает и в определении среднего значения  $\rho(555)$  – около 0.005.

При полном наборе углов (  $-35, -20, -10, 10, 20, 35^\circ$ ) ошибки для  $\sigma = 0.01$  оказываются вполне приемлемыми: для скорости ветра  $\sim 0.5$  м/с, для  $\rho(555)$  -  $\sim 0.002$ .

Однако при использовании максимальных значений углов сканирования вдоль трасс увеличивается расстояние между наблюдаемыми точками, вследствие вращения Земли (рисунок 3), и, соответственно ужесточается требование пространственной однородности оптических свойств воды вблизи рассматриваемой точки. Эта проблема требует отдельного рассмотрения.

### Заключение

Выполненное моделирование возможного влияния солнечного блика на обработку данных разрабатываемого сканера цвета показало, что в летний сезон это влияние может быть очень существенно даже при небольших скоростях ветра в широтном поясе  $20-40^\circ$  с.ш, а при скоростях ветра порядка 10 м/с оно охватывает всю область от тропических до субарктических широт.

Данные сканирования вдоль трассы могут успешно использоваться для учета солнечного блика при использовании всего диапазона углов сканирования от  $-35^\circ$  до  $+35^\circ$ .



Важная проблема, которая при этом возникает, вследствие конструктивных особенностей нового сканера, - смещение наблюдаемые под разными углами точек вследствие вращения Земли. Проблема эта не существенна при горизонтальной однородности оптических свойств воды вблизи рассматриваемой точки, но требует специального рассмотрения, если распределение оптических свойств неоднородно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант ОФИ-Ц № 07-05-13555.

## Литература

1 *Акимов Н.П., Гектин Ю.М., Соловьев А.М.* Повышение точности измерения цветности акваторий при использовании аппаратуры дистанционного зондирования. // Пятая Юбилейная Открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2007 г. Сборник тезисов конференции.

2 *Gordon H.R.* Atmospheric correction in ocean color imagery in the Earth Observing System era // *J.Geophys.Res* 1997, v102 N D14 P 17081 – 17106.

3 *Martonchik J.V., Diner D.J.* Retrieval of Aerosol Optical Properties from Multi-Angle Satellite Imagery // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 1992, v.30 NO pp. 223 – 230.

4 *Kahn R., Banerjee P., McDonald D., Diner D.J.* Sensitivity of multiangle imaging to aerosol optical depth and to pure-particle size distribution and composition over ocean // *Journ. Geophys. Res.* 1998, v. 103 NO D24 pp. 32195-32213.

5 *Vermette E.F., Roger J., Sinyuk A., Aleous N, Dubovik O.* Fusion of MODIS-MISR aerosol inversion for estimation of aerosol absorption // *Remote Sensing of Environment* 107 (2007). P. 81–89.

6 *Копелевич О.В., Буренков В.И., Шеберстов С.В., Прохоренко О.В.* Разработка региональных алгоритмов атмосферной коррекции данных спутниковых сканеров цвета // *Настоящий сборник.*

7 *Lee Z., Carder K.L., Mobley C.D., Steward R.G., and Patch J.S.* Hyperspectral remote sensing for shallow waters. I. A semianalytical model. // *Applied Optics.* 1998. v.37. P. 6329-6338.

8 *Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Vazyulya S.V. et al.* New approach to atmospheric correction of satellite ocean color data // *Proc. SPIE.* Vol.6615. 661502 (Apr.13, 2007).

9 *Nakajima T, Tanaka M.* 1983, Effect of wind-generated waves on the transfer of solar radiation in the atmosphere-ocean system // *J. Quant. Spectrosc. & Radiat. Transfer*, vol. 29, № 6, pp 521-537.

10 *Артемьев В.А., Буренков В.И., Ворпман М.И. и др.* Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология // *Океанология.* 2000. Т. 40. №1. С. 148-155.

11 *Sheberstov S.V., Nabiullina M.V., Lukianova E.A.* Numerical modeling of radiative transfer in ocean-atmosphere system with wind-roughened surface. *Proceedings of the II international conference “Current Problems in Optics of Natural Waters” St. Petersburg 2003*, pp. 90 -95.

## Algorithm of using information received at along-track scanning for atmospheric correction of satellite ocean color data

**S.V. Sheberstov, O.V. Kopelevich, S.V. Vazyulya**

*Institute of Oceanology RAS  
36 Nakhimovsky Avenue, Moscow, 117997  
E-mail: [oleg@ocean.ru](mailto:oleg@ocean.ru)*

The algorithm of atmospheric correction based on use of the information received at scanning along track of the satellite is presented. Possibility of wind speed determination by using data of satellite scanner is shown. Algorithm stability is investigated.

**Keywords:** ocean color scanner, orbit, atmospheric correction, aerosol, solar glint, radiance.