

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ ПО ДАННЫМ КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ

Е. Н. Корчёмкина, Е. Б. Шибанов

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
2, ул. Капитанская, Севастополь, 99011, Украина*

E-mail: lisenik@mail.ru

Используемый метод заключается в решении обратной задачи биооптики моря на основе данных спектра коэффициента яркости моря. Нестандартный способ параметризации оптических свойств морской воды реализован в итерационном алгоритме. Показано, что условие постоянства коэффициента яркости на длине волны 400 нм позволяет стабилизировать работу алгоритма. Построены карты распределения хлорофилла в районе Южного берега Крыма. Полученные величины концентраций соответствуют типичным для прибрежных районов Черного моря в летний период. Ил. 4. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: коэффициент яркости, дистанционное зондирование, хлорофилл.

Целью дистанционного зондирования является определение концентраций примесей морской воды по данным измерений восходящего излучения моря. Наиболее удобной гидрооптической характеристикой для проведения глобальных дистанционных исследований биооптических свойств поверхностных вод является коэффициент яркости моря. Спектр восходящего излучения зависит от взвешенных и растворенных в воде органических веществ, при этом количество неизвестных характеристик среды существенно превышает количество измеренных параметров. Оценка характеристик водных масс по данным коэффициента яркости моря представляет собой классическую обратную задачу.

При дистанционных спутниковых исследованиях состояния океанских вод на больших акваториях широко использовались так называемые эмпирические алгоритмы решения обратной задачи восстановления биооптических характеристик водных масс [1]. К сожалению, расчеты по простым эмпирическим формулам не дают хороших результатов при исследовании акваторий с небольшой изменчивостью индекса цвета. Кроме того, сопоставление результатов эмпирических алгоритмов с корабельными наблюдениями концентрации хлорофилла в Черном море показало их существенное рассогласование [2]. Поэтому создание регионального алгоритма обработки данных цветковых сканеров является актуальной проблемой для Черного моря.

Аналитический подход к решению обратных задач имеет большую информативность, потому что позволяет восстанавливать не только концентрации оптически активных примесей морской воды, но и особенности их спектров поглощения, а также величину обратного рассеяния взвеси для зеленой области спектра. Кроме того, при этом повышается точность вычислений благодаря использованию большего числа каналов.

Анализ данных спутниковых сканеров цвета моря предполагает учет вклада атмосферы в восходящую яркость, поскольку доля сигнала моря в общем сигнале мала. Стандартные методы атмосферной коррекции предполагают равенство нулю яркости моря в инфракрасной части спектра. Последующая модельная экстраполяция значения атмосферной дымки в видимую область может приводить к серьезным ошибкам в последующем определении коэффициента яркости в коротковолновой области. Данные восходящего излучения на 412 и 443 нм, измеренные со спутника, обычно не анализируются [3] вследствие увеличения количества ошибок с уменьшением длины волны. Наличие даже приблизительной оценки особенностей отражения света морем на границе диапазона измерений в синей области позволило бы значительно повысить точность атмосферной коррекции в других спектральных каналах, например, как это было показано в [4]. В качестве параметризации предлагается использовать условие постоянства коэффициента яркости на длине волны 412 нм. Выполнение данного условия возможно, если величина показателя обратного рассеяния линейно связана с поглощением на длине волны 412 нм. Это предположение статистически выполняется, по крайней мере, для летнего периода в открытой части Черного моря, что было подтверждено данными Международного подспутникового эксперимента [5].

Задачами нашей работы являются создание регионального аналитического алгоритма решения обратной задачи биооптики моря по данным коэффициента яркости и исследование влияния предлагаемой методики коррекции данных на результаты восстановления биооптических характеристик морской воды.

1. Методика. Экспериментальные исследования проводились на океанографической платформе в Качивели (44°23' с. ш., 33°59' в. д.) в

2002 – 2004 гг. в летний период. Параллельно проводились стандартные биологические определения по пробам вод с разных горизонтов.

В эксперименте на океанографической платформе измерения коэффициента яркости моря проводились с помощью разработанного в лаборатории отдела оптики МГИ НАН Украины универсального спектрофотометра [6]. В нем предусмотрена возможность измерения углового распределения спектральной яркости восходящего излучения моря или яркости небосвода, нормированных на спектральную облученность поверхности моря. Прибор обеспечивает высокую точность измерений в широком спектральном диапазоне, охватывающем всю видимую область спектра.

После измерения общего коэффициента яркости поверхности моря в поле зрения канала яркости устанавливается заполненная водой кювета с поглощающими стенками и дном для получения в условиях той же освещенности характеристик отражения только водной поверхности. Спектры коэффициента яркости поверхности в последующем вычитаются из спектров общего коэффициента яркости с целью определения коэффициента яркости воды, что обеспечивает также компенсацию приборной погрешности [6]. При помощи универсального спектрофотометра были получены спектры коэффициента яркости в интервале длин волн 390-700 нм с шагом 5 нм.

2. Модель. Для решения обратных задач восстановления оптических свойств морской воды по коэффициенту яркости моря необходимо установить взаимно однозначное соответствие между измеренной величиной коэффициента яркости и первичными гидрооптическими характеристиками. Обычно для этого используется выражение для коэффициента яркости ρ оптически однородного полубесконечного слоя вида

$$\rho = k \frac{b_b}{a}, \quad (1)$$

где b_b - показатель обратного рассеяния морской воды; a - показатель поглощения; k - константа, зависящая от индикатриссы рассеяния и условий освещения. И a и b_b - суть функции длины волны, которые определяются количественным и качественным составом веществ, растворенных и взвешенных в воде. Точность математического описания оптических свойств морской воды мала вследствие наличия многих определяющих факторов и их природной изменчивости. Поскольку диапазоны изменчивости широки, детализация модели путем увеличения числа параметров не приведет к улучшению результатов. Для восстановления биооптических свойств, содержащихся в морской воде компонентов, необходимо выбрать

несколько параметров, являющихся как информативными, так и достаточно общими. Поэтому в качестве параметров модели выбраны общая концентрация пигментов фитопланктона, поглощение неживой органикой и рассеяние взвесью.

Представим поглощение морской воды $a(\lambda)$ в виде

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_p(\lambda) + a_{dm}(\lambda), \quad (2)$$

где λ - длина волны; $a_w(\lambda)$ - поглощение чистой морской воды [7]; $a_p(\lambda)$ - поглощение взвешенными частицами; $a_{dm}(\lambda)$ - поглощение растворенным органическим веществом. В свою очередь поглощение взвешенным веществом можно представить как

$$a_p(\lambda) = a_d(\lambda) + a_{ph}(\lambda), \quad (3)$$

где $a_d(\lambda)$ - поглощение детритом; $a_{ph}(\lambda)$ - поглощение клетками фитопланктона. Поскольку форма спектра поглощения детрита идентична спектру поглощения растворенным веществом, на основании (3) представим (2) в виде

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_{ddm}(\lambda), \quad (4)$$

где $a_{ddm}(\lambda)$ - поглощение неживой органикой. Считается общепринятым, что спектр поглощения растворенным органическим веществом $a_{dm}(\lambda)$ чаще всего описывается формулой

$$a_{dm}(\lambda) = C_{ddm} \exp(-\alpha(\lambda - \lambda_0)), \quad (5)$$

где C_{ddm} - поглощение неживой органикой на длине волны λ_0 , а α равно в среднем $0,015 \text{ nm}^{-1}$. Известно, что значение параметра α может существенно отклоняться от среднего. По данным [8] для прибрежных вод используются значения α в диапазоне $0,015-0,02 \text{ nm}^{-1}$.

Спектральный показатель $a_{ph}(\lambda)$ также нельзя считать постоянным, потому что удельное поглощение фитопланктона ($a_{ph}^*(\lambda) = a_{ph}(\lambda) / C_{chl}$) зависит от количества пигментов и соотношения между фотосинтетическими и вспомогательными пигментами в клетке, причем количественные изменения в популяции фитопланктона влияют на спектр удельного поглощения таким образом, что при увеличении содержания пигментов в клетке максимум поглощения на 440 нм сглаживается.

Поглощение клетками фитопланктона записывается в виде

$$a_{ph}(\lambda) = C_{chl} a_{ph}^*(\lambda), \quad (6)$$

где $a_{ph}^*(\lambda)$ - удельное поглощение, которое также статистически зависит и от C_{chl} . В нашей

работе использовалась функция $a_{ph}^*(\lambda)$ по модели [9] при $C_{chl} = 0,75 \text{ мг/м}^3$.

Рассеяние в морской воде формируется за счет рассеяния самой чистой водой и рассеяния на частицах биологической и минеральной взвеси, которое зависит главным образом от их концентраций и распределения частиц по размерам. Спектральный показатель рассеяния воды хорошо известен, а спектр обратного рассеяния частиц взвеси можно аппроксимировать степенной зависимостью Ангрстрема, тогда модель обратного рассеяния морской водой можно представить в виде

$$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda), \quad (7)$$

где $b_b(\lambda)$ - общий показатель обратного рассеяния; $b_{bw}(\lambda)$ - показатель обратного рассеяния чистой воды; $b_{bp}(\lambda)$ - показатель обратного рассеяния частиц взвеси.

Для решения обратной задачи предложено 3-х параметрическое представление свойств морской воды, основанное на проведенном выше анализе особенностей рассеяния и поглощения. Модель поглощения морской водой приведена к виду

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + C_{chl}a_{ph}^*(\lambda) + C_{ddm}e^{-\alpha(\lambda-\lambda_0)}, \quad (8)$$

где $a_{ph}^*(\lambda)$ - удельное поглощение пигментами. Модель обратного рассеяния учитывает свойства чистой воды и частиц взвеси

$$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda_0) \frac{\lambda_0}{\lambda}. \quad (9)$$

Подставляя (8) и (9) в (1), получаем

$$\rho = k \frac{b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda_0) \frac{\lambda_0}{\lambda}}{a_w(\lambda) + C_{chl}a_{ph}^*(\lambda) + C_{ddm}e^{-\alpha(\lambda-\lambda_0)}}. \quad (10)$$

3. Алгоритм. С математической точки зрения вычисление параметров модели по экспериментальным данным сводится к поиску минимума выражения

$$f = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} [\rho_e(\lambda) - \rho_m(\lambda)]^2 \quad (11)$$

как функции переменных $b_{bp}(\lambda_0)$, C_{ddm} и C_{chl} на всем спектральном диапазоне, т. е. к решению системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{ddm})}{\partial b_{bp}} = 0; \\ \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{ddm})}{\partial C_{chl}} = 0; \\ \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{ddm})}{\partial C_{ddm}} = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Такая минимизация дает решение математической задачи, не принимая во внимание приближенность модели. Сводя к минимуму отклонения экспериментальных данных от модельных спектров, мы устраняем только случайную погрешность эксперимента, считая модельные представления абсолютно достоверными. Однако модель не описывает и не может описать все возможные особенности поглощения и рассеяния растворенных и взвешенных веществ.

Полосы поглощения желтого вещества и пигментов фитопланктона перекрываются. При этом большим концентрациям хлорофилла соответствуют большие концентрации растворенной органики только в среднем. Поэтому не всегда возможно определить, чем обусловлена форма спектра коэффициента яркости: наличием желтого вещества или пигментами фитопланктона.

В разработанном алгоритме эта проблема решается путем выделения участков в видимой области; концентрация каждого вещества определяется на том спектральном участке, где его поглощение проявляется наиболее существенно по сравнению с влиянием других компонентов. Это дает возможность различить спектры поглощения, основываясь на известных общих закономерностях их поведения. Поглощение желтого вещества будет определяться в синей области спектра, а поглощение пигментов фитопланктона – в области максимума их удельного поглощения. Обратное рассеяние взвесью будет рассчитываться в диапазоне 460 – 650 нм. Математически это выглядит как разделение системы уравнений следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial f(C_{chl}, C_{ddm}, b_{bp})}{\partial b_{bp}} \Big|_{\lambda_1=460}^{\lambda_2=650} = 0; \\ \frac{\partial f(C_{chl}, C_{ddm}, b_{bp})}{\partial C_{chl}} \Big|_{\lambda_1=420}^{\lambda_2=460} = 0; \\ \frac{\partial f(C_{chl}, C_{ddm}, b_{bp})}{\partial C_{ddm}} \Big|_{\lambda_1=390}^{\lambda_2=395} = 0, \end{cases} \quad (13)$$

причем минимизация для каждого участка выполняется по одной переменной. Остальные параметры считаются постоянными в данном участке спектра, что значительно упрощает вычисления.

На первом этапе определяется минимум выражения (11) как функции переменной $b_{bp}(\lambda_0)$ при $\lambda_1 = 460$ нм и $\lambda_2 = 650$ нм, считая в первом приближении концентрации растворенного органического вещества и пигментов равными нулю. Затем, преобразуя выражение (11), минимизируем его как функцию C_{chl} и рассчитываем концентрацию пигментов в области 420 - 460 нм на

основе полученного значения рассеяния взвесью; аналогично находится и значение концентрации растворенной органики C_{ddm} в области 390 - 395 нм.

На втором и последующих этапах значения $b_{bp}(\lambda_0)$ определяются, используя величины C_{chl} и C_{ddm} , рассчитанные ранее. Таким образом, получаем итерационный алгоритм, позволяющий при заданных a и C_{chl0} рассчитывать параметры C_{ddm} , $b_{bp}(\lambda_0)$ и C_{chl} . Для достижения условия остановки $|C_{chl}^i - C_{chl}^{i-1}| < 0,001$ требуется около 10 итераций.

Поскольку спектр поглощения пигментами содержит информацию о биологическом состоянии фитопланктона, рассчитывались также и спектры удельного поглощения фитопланктона $a_{ph}^*(\lambda)$

$$a_{ph}^* = \frac{1}{C_{chl}} \left[\frac{k \cdot b_b(\lambda)}{\rho_e(\lambda)} - a_w(\lambda) - C_{ddm} e^{-\alpha(\lambda-\lambda_0)} \right]. \quad (14)$$

4. Коррекция. Используемая коррекция спектров заключалась в приведении значений коэффициента яркости на концах диапазона измерений к постоянным значениям $\rho^*(400)=c_1=0,77\%$, $\rho^*(700)=c_2=0,03\%$. При этом величина коэффициента яркости в синей области не имеет существенного значения, так как она мала по сравнению с общим сигналом. Поэтому постоянные значения определялись как средние по всем имеющимся измерениям. Для этого вводилось поправочное слагаемое $C(\lambda)$, имеющее спектральный ход, соответствующий спектральному поведению света неба

$$\rho^*(\lambda) = \rho(\lambda) + C(\lambda), \quad (15)$$

где

$$C(\lambda) = \frac{a(c_1, c_2)}{\lambda^2} + b(c_1, c_2). \quad (16)$$

Коэффициенты a и b вычислялись для каждого полученного спектра по формулам

$$a = \frac{\Delta_{700} - \Delta_{400}}{\frac{1}{700^2} - \frac{1}{400^2}}, \quad b = \Delta_{700} - \frac{a}{700^2}, \quad (17)$$

где $\Delta_{400} = C(400) = \rho^*(400) - \rho(400)$;

$\Delta_{700} = C(700) = \rho^*(700) - \rho(700)$.

5. Результаты. На рис. 1 представлены результаты сравнения измеренных спектров коэффициента яркости с расчетными при выполнении коррекции. Модельные спектры хорошо аппроксимируют экспериментальные данные.

По сравнению с результатами расчетов по эмпирическим формулам ОС4 [1] наблюдается лучшая корреляция модельных концентраций пигментов с биологическими данными (рис. 2). Кроме того, численные значения восстановленных концентраций ближе к измеренным биологическими методами. Влияние коррекции на результаты восстановления проявляется таким образом, что модельные значения концентраций численно больше соответствуют биологическим данным, а разброс данных относительно линии регрессии становится меньше.

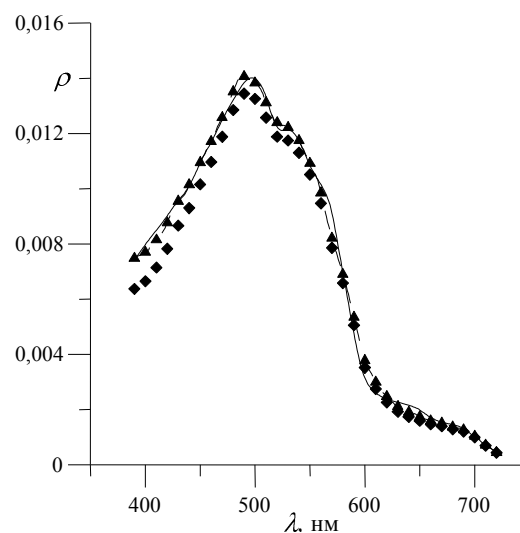


Рис. 1. ◆ - экспериментальный и — - модельный спектры коэффициента яркости при выполнении коррекции ▲

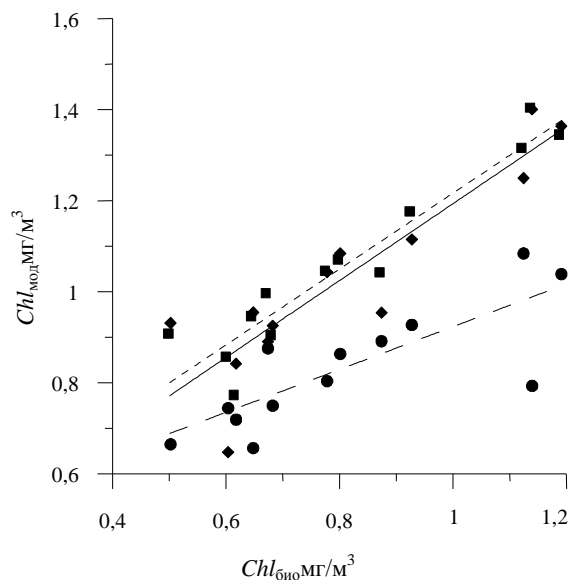


Рис. 2. Сравнение концентраций пигментов, восстановленных без коррекции (◆, уравнение регрессии $y=0,84x+0,35$ (—), коэффициент корреляции $R^2=0,80$); с коррекцией (■, $y=0,84x+0,38$ (---), $R^2=0,91$); эмпирическим методом ОС-4 (●, $y=0,47x+0,45$ (-.-.-), $R^2=0,63$) с биологически измеренной концентрацией хлорофилла

Восстановленные спектры поглощения пигментов фитопланктона имеют форму, характерную для поглощения хлорофилла. Кроме того, на них присутствуют локальные максимумы на длинах волн 570 и 412 нм, что заметно по сравнению с исходным спектром [9] (рис. 3). Полученные дополнительные максимумы должны быть вызваны некоторыми процессами в море, так как излучение неба не имеет локальных особенностей на данных участках спектра. Известно, что полоса поглощения на 570 нм соответствует поглощению цианобактериями, а пик на 412 нм могут давать различные пигменты, например, продукты распада хлорофилла.

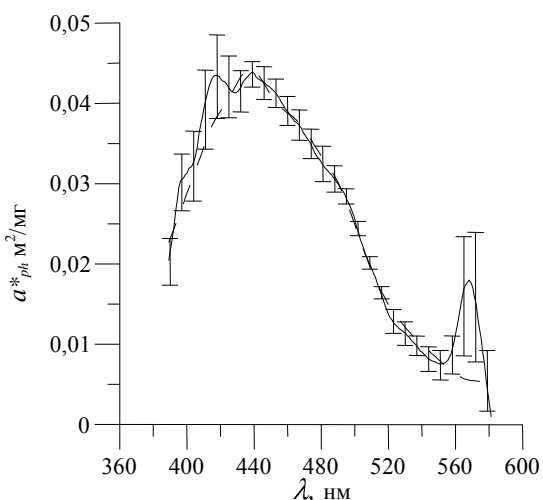


Рис. 3. Расчетный (—) и исходный (---) [9] спектры поглощения пигментов

Дополнительный максимум на 412 нм в спектре поглощения пигментов не обязательно обусловлен наличием специфических веществ в клетках. Эти вещества могут входить в состав растворенной органики или детрита, но поскольку поглощение их жестко задается моделью, то особенности их спектров были восприняты как побочные пики поглощения пигментов.

На рис. 4 сравниваются карты распределения концентрации хлорофилла, построенные по спутниковым данным *SeaWiFS*. Полученные значения соответствуют типичным для исследуемого района [8]. На карте, рассчитанной стандартным методом ОС-4 (рис. 4,а), отсутствует часть данных, соответствующая отрицательным значениям $\rho(412)$. Потеря данных обусловлена принципиальными сложностями определения характеристик аэрозоля в коротковолновой области по измерениям в инфракрасном диапазоне. Изолинии концентрации пигментов повторяют форму провала в данных, так что структура изолиний восстановленного хлорофилла в этой области скорее обусловлена ошибками атмосферной коррекции,

чем распределением хлорофилла в море. Также наблюдается уменьшение концентраций хлорофилла до 0 - 0,2 мг/м³ около побережья Ялты. Однако низкие значения концентраций характерны только при сгоне, которого не наблюдалось во время подспутникового эксперимента. Использование предлагаемой коррекции позволяет избежать потери данных с отрицательными значениями в синей области, которые возникают при больших ошибках атмосферной коррекции (рис. 4,б). Структура поля концентраций хлорофилла более типична для исследуемого района, величины концентраций составляют в среднем 0,7 мг/м³. Распределение хлорофилла почти однородно в открытой части моря, вблизи берега наблюдаются несколько максимумов концентрации. Эти максимумы хорошо соответствуют выносу минеральных и органических веществ с городскими и промышленными стоками.

Выводы. Проведение спектральных измерений коэффициента яркости в видимом диапазоне позволяет решить обратную задачу биооптики моря и определить спектры поглощения компонентов морской воды. Предлагаемая модель оптических свойств морской воды дает удовлетворительную оценку концентрации хлорофилла и поглощения желтым веществом.

Получен алгоритм, позволяющий восстанавливать концентрации пигментов фитопланктона. Восстановленные величины концентраций хорошо коррелируют с экспериментальными данными. Алгоритм устойчив к случайным ошибкам и слабо подвержен влиянию погрешностей модели.

По сравнению с эмпирическими алгоритмами предложенный метод дает лучшее соответствие результатов с данными биологических определений.

Предлагаемая коррекция экспериментальных данных позволяет повысить устойчивость решения обратной задачи и уменьшить влияние погрешностей измерения на результаты восстановления концентраций примесей морской воды. Проверка подобного преобразования на экспериментальных данных за три года исследования показала, что такое улучшение не является сезонным явлением. Используемое для коррекции постоянство коэффициента яркости при $\lambda=400$ нм представляет собой дополнительное условие для уточнения влияния рассеяния атмосферным аэрозолем в коротковолновой области видимого диапазона на суммарную восходящую яркость.

Спектр поглощения фитопланктона обнаруживает дополнительные максимумы, некоторые из которых превышают основной максимум поглощения хлорофилла "а". Исследование полученных спектров поглощения фитопланктона позволяет определять наличие микроорганизмов, не

обнаруживаемых стандартными биологическими методами. Хотя спектры поглощения пигментов получены при модельных допущениях и не могут считаться абсолютно достоверными, они содер-

жат дополнительную информацию о поглощении морской воды *in situ*, которую затруднительно получить стандартными методами вследствие малости поглощения.

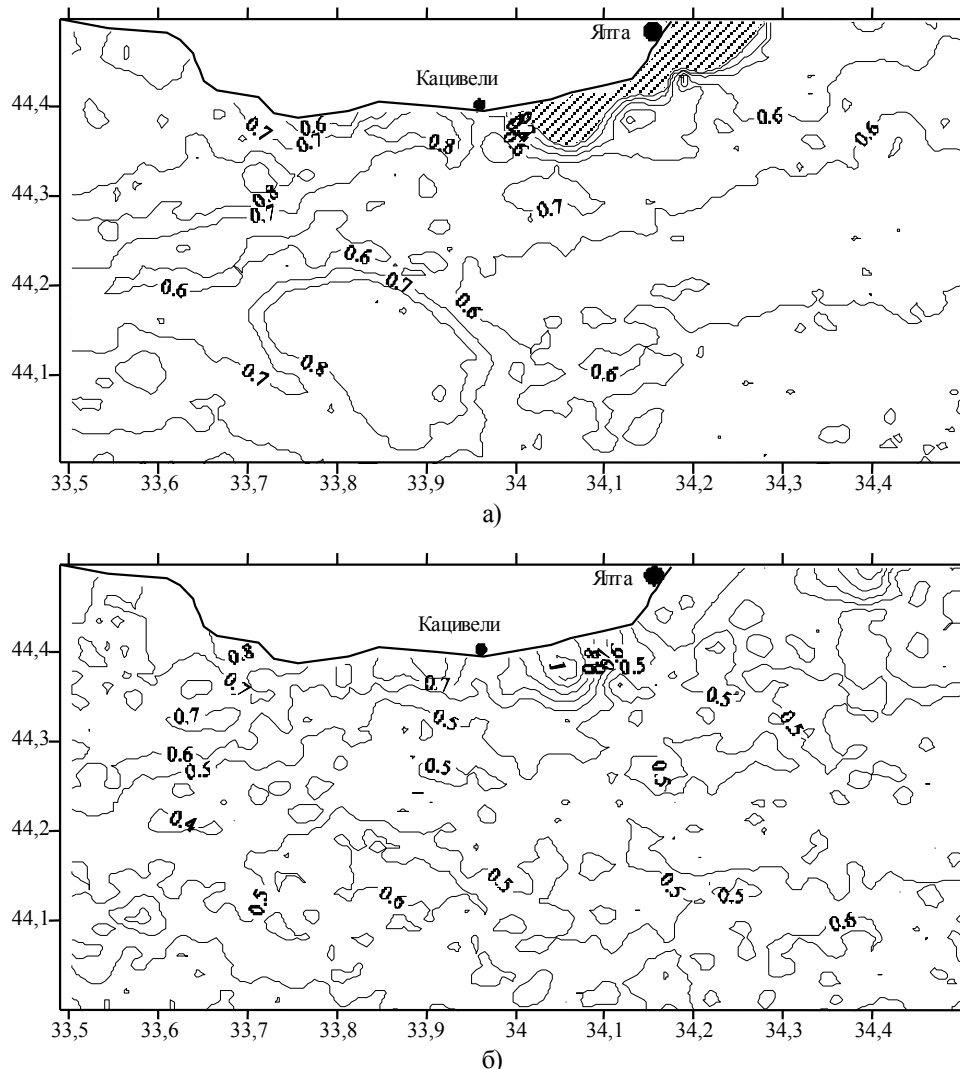


Рис. 4. Распределение концентрации хлорофилла по спутниковым данным за 01.09.04, восстановленные с применением: а) - стандартного алгоритма ОС-4 (область с отсутствующими данными заштрихована); б) - предлагаемой методики

По спутниковым данным с применением разработанного ранее аналитического алгоритма были восстановлены концентрации примесей морской воды. Построены карты распределения хлорофилла в исследуемом районе. Полученные величины концентраций соответствуют типичным для исследуемого района в летний период.

1. 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.
2. Суетин В. С., Суслин В. В., Королев С. Н. и др. Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море летом 1998 г. по данным спутникового прибора SeaWiFS // Морской гидрофизический журн. - 2002. - № 6. - С. 44-54.

3. Суетин В. С., Сычев Е. Н., Суслин В. В. и др. Устранение аэрозольных искажений при анализе данных наблюдений Черного моря цветным сканером CZCS со спутника Nimbus-7 // Морской гидрофизический журн. - 1997. - № 4. - С. 71-79.
4. Паршиков С. В., Ли М. Е. Дистанционное зондирование оптически активных примесей с применением коротковолнового участка спектра // Автоматизированные системы контроля состояния морской среды. - Севастополь: МГИ НАН Украины. - 1992. - С. 65-78.
5. Chamí M., Shybanov E. B., Khomenko G. A. et al. Spectral variation of the volume scattering function measured over the full range of scattering angles in a coastal environment // Appl. Optics. - 2006. - 45, No. 15. - P. 3605-3619.
6. Ли М. Е., Мартынов О. В. Измеритель коэффициента яркости для подспутниковых измерений биооптических параметров вод // Экологическая безопасность прибреж-

- ных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь: МГИ НАН Украины. - 2000. - С. 163-173.
7. *Smith R. C., Baker K. S.* Optical properties of clearest natural waters (200 - 800 nm) // *Appl. Opt.* - 1981. - 20. - P. 77-184.
 8. *Чурилова Т. Я., Берсенева Г. П.* Поглощение света фитопланктоном, детритом и растворенным органическим веществом в прибрежном районе Черного моря (июль - август 2002 г.) // *Морской гидрофизический журн.* - 2004. - № 4. - С. 39-50.
 9. *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. - P. 13321-13332.

REGIONAL ANALYTICAL ALGORITHM FOR
SEAWATER INHERENT OPTICAL PROPERTIES
RETRIEVING USING SPECTRA OF
REFLECTANCE

Е. Н. Korchemkina, Е. В. Shybanov

The method used consists in solving of inverse problem of marine bio-optics on the base of sea reflectance spectrum. Non-standard parameterization of seawater optical properties is realized in iterative algorithm. The condition of reflectance constancy at the wavelength 400 nm is shown to stabilize the algorithm processing. Maps of chlorophyll concentration distribution are

plotted for region of South Coast of Crimea. Obtained concentration values are typical for coastal zone of Black Sea in summer period.

Key words: reflectance, remote sensing, chlorophyll.

РЕГІОНАЛЬНИЙ АНАЛІТИЧНИЙ АЛГОРИТМ
ВІДНОВЛЕННЯ ПЕРВИННИХ
ГІДРООПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МОРСЬКОЇ ВОДИ ЗА СПЕКТРОМ
КОЕФІЦІЄНТА ЯСКРАВСТІ

О. М. Корчомкіна, Є. Б. Шибанов

Використовуваний метод полягає в рішенні зворотної задачі біооптики моря на основі даних спектру коефіцієнта яскравості моря. Нестандартний спосіб параметризації оптичних властивостей морської води, реалізований в ітераційному алгоритмі. Показано, що умова постійності коефіцієнта яскравості на довжині хвилі 400 нм дозволяє стабілізувати роботу алгоритму. Побудовано карти розподілу хлорофілу в районі Південного берега Криму. Одержані величини концентрацій відповідають типовим для прибережних районів Чорного моря в літній період.

Ключові слова: коефіцієнт яскравості, дистанційне зондування, хлорофіл.

Рукопись поступила 7 февраля 2008 г.