

Е.Н.Корчемкина, А.А.Латушкин

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННОГО
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ВЗВЕСИ ПО СПЕКТРАЛЬНОМУ
ПОКАЗАТЕЛЮ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА**

Предлагается способ определения поглощения и рассеяния оптически значимыми примесями морской воды на основе данных измерений показателя ослабления направленного света в 9-ти спектральных каналах, охватывающих диапазон с 370 до 660 нм. Полученные распределения рассеяния морской взвесью хорошо соответствуют данным, получаемым другими методами.

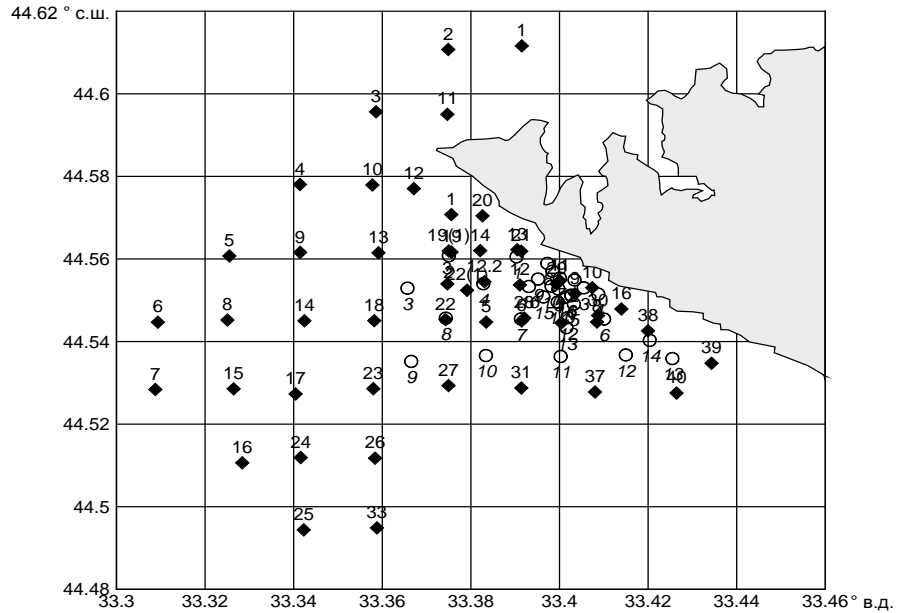
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *показатель ослабления направленного света, растворенное органическое вещество, взвесь, полуаналитический алгоритм*

В Морском гидрофизическом институте РАН (МГИ) широко применяются методы и аппаратура для измерений показателя ослабления света (ПОС), которые в течение многих лет использовались при проведении натуральных гидрооптических исследований. Выбор этой первичной гидрооптической характеристики, в качестве одного из параметров, необходимых при проведении подспутниковых гидрооптических измерений, не случаен. Измерения вертикальных профилей ПОС позволяют получить оперативную детальную информацию о вертикальной биооптической структуре природных вод, а также дают возможность отбирать пробы на оптимальном числе горизонтов.

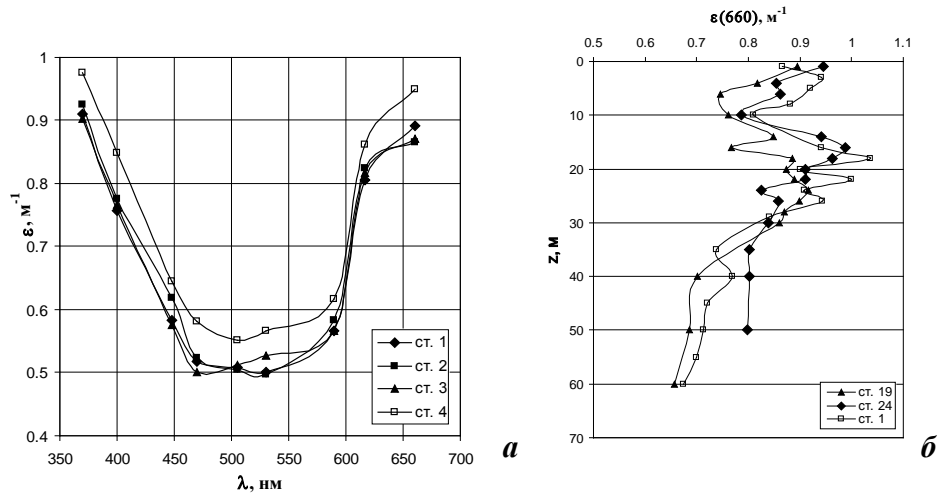
Для решения задач оперативного мониторинга в отделе оптики и биофизики моря МГИ был разработан и изготовлен малогабаритный спектральный измеритель показателя ослабления света, предназначенный как для проведения исследований вертикальных профилей полей прозрачности (зондирующий режим), так и в составе проточных систем, при попутных исследованиях с судов, либо со стационарных платформ [1]. Также, благодаря оперативности получения данных, можно в кратчайшие сроки определять состав и биопродуктивность вод, а также идентифицировать источники поступления загрязняющих веществ и пути их распространения в прибрежных акваториях.

Однако связь измеряемых оптических параметров с биологическими характеристиками не всегда однозначна, и для успешного решения обратной задачи, заключающейся в определении концентраций примесей по данным ПОС, необходимо задействовать по возможности большее количество информации. В данной работе предлагается способ расчета концентраций взвеси и растворенного органического вещества в воде по измерениям ПОС в девяти спектральных участках (370; 400; 447,5; 470; 505; 530; 590; 617 и 660 нм).

В работе рассматриваются данные, полученные в двух рейсах НИС «Бирюза» 28 – 31 июля и 9 – 10 сентября 2015 г., а также на океанографической платформе 23 – 24 сентября 2015 г. Расположение станций показано на рис.1, примеры полученных данных – на рис.2.



Р и с . 1 . Расположение станций рейсов НИС «Бирюза» в июле (ромбы) и сентябре (кружки) 2015 г.



Р и с . 2 . Типичные спектры (а) и профили (б) показателя ослабления.

С учетом оптически активных компонентов океанской воды, влияющих на поглощение и рассеяние света, показатель ослабления света c определяется следующим образом:

$$c(\lambda) = a_{\text{чв}}(\lambda) + a_{\text{взв}}(\lambda) + a_{\text{жв}}(\lambda) + b_{\text{чв}}(\lambda) + b_{\text{взв}}(\lambda), \quad (1)$$

где $b_{\text{чв}}(\lambda)$ и $a_{\text{чв}}(\lambda)$ – рассеяние и поглощение чистой водой [2], $b_{\text{взв}}(\lambda)$ и $a_{\text{взв}}(\lambda)$ – рассеяние и поглощение взвесью, $a_{\text{жв}}(\lambda)$ – поглощение растворенными органическими соединениями (желтым веществом). С учетом принятых в литературе параметризаций [3] можно записать

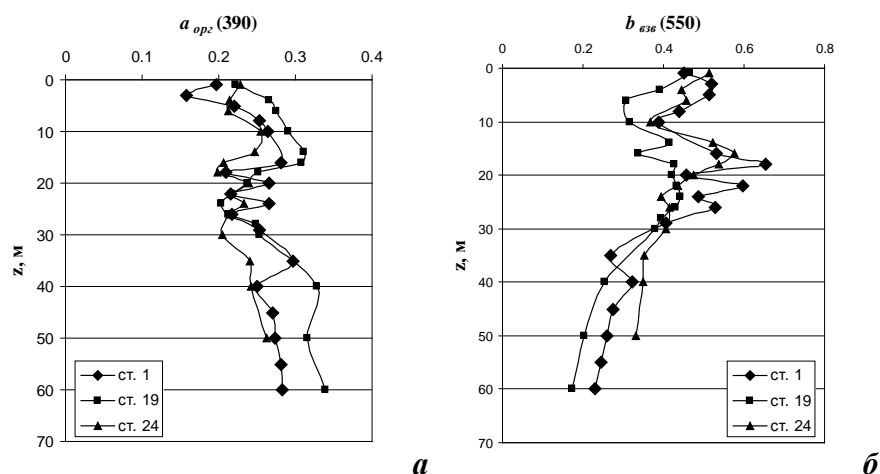
$$c(\lambda) = a_{\text{чв}}(\lambda) + b_{\text{чв}}(\lambda) + a_{\text{орг}}(390)e^{-S(\lambda-390)} + b_{\text{взв}}(550)\left(\frac{500}{\lambda}\right), \quad (2)$$

где сумма поглощения растворенным и взвешенным органическим веществом представлена третьим слагаемым. Для упрощения задачи мы пренебрегаем поглощением минеральной взвеси. Параметр S по литературным данным [3] равен 0,018. Таким образом, неизвестными в этом уравнении являются $a_{\text{орг}}^*(390)$ и $b_{\text{взв}}(550)$, которые связаны с концентрациями неживой органики и минеральной взвеси соответственно.

Проблема при решении данной обратной задачи заключается в том, что спектральный ход поглощения неживой органикой и рассеяния взвесью практически одинаков и представляется монотонно убывающей функцией. Таким образом, используя метод наименьших квадратов для нахождения неизвестных в уравнении (2), невозможно разделить вклады органики и взвеси. Эта проблема была решена путем разделения всего диапазона измерений на участки с доминирующим вкладом органики и взвеси, как это было сделано для коэффициента яркости в работе [4].

Полученные результаты представлены на рис.3. На всех станциях наблюдалось характерное увеличение поглощения неживой органикой и уменьшение рассеяния с глубиной. Кроме того, полученные значения рассеяния хорошо коррелируют с ПОС(660), $R^2 = 0,88$. Это косвенно свидетельствует о том, что найденные значения поглощения и рассеяния верны с точностью до постоянного множителя, таким образом, их легко можно связать с концентрациями соответствующих примесей. Для этого разработанный алгоритм нуждается в калибровке на основе данных непосредственных измерений концентраций взвеси и неживой органики.

Пространственное распределение эффективных значений рассеяния минеральной взвесью приведено на рис.4, а. В целом наблюдается достаточно логичное распределение, где максимумы рассеяния, а значит и концентрации взвеси, лежат в прибрежной зоне, а с удалением от берега наблю-



Р и с . 3 . Рассчитанные профили поглощения неживым органическим веществом и рассеяния взвесью.

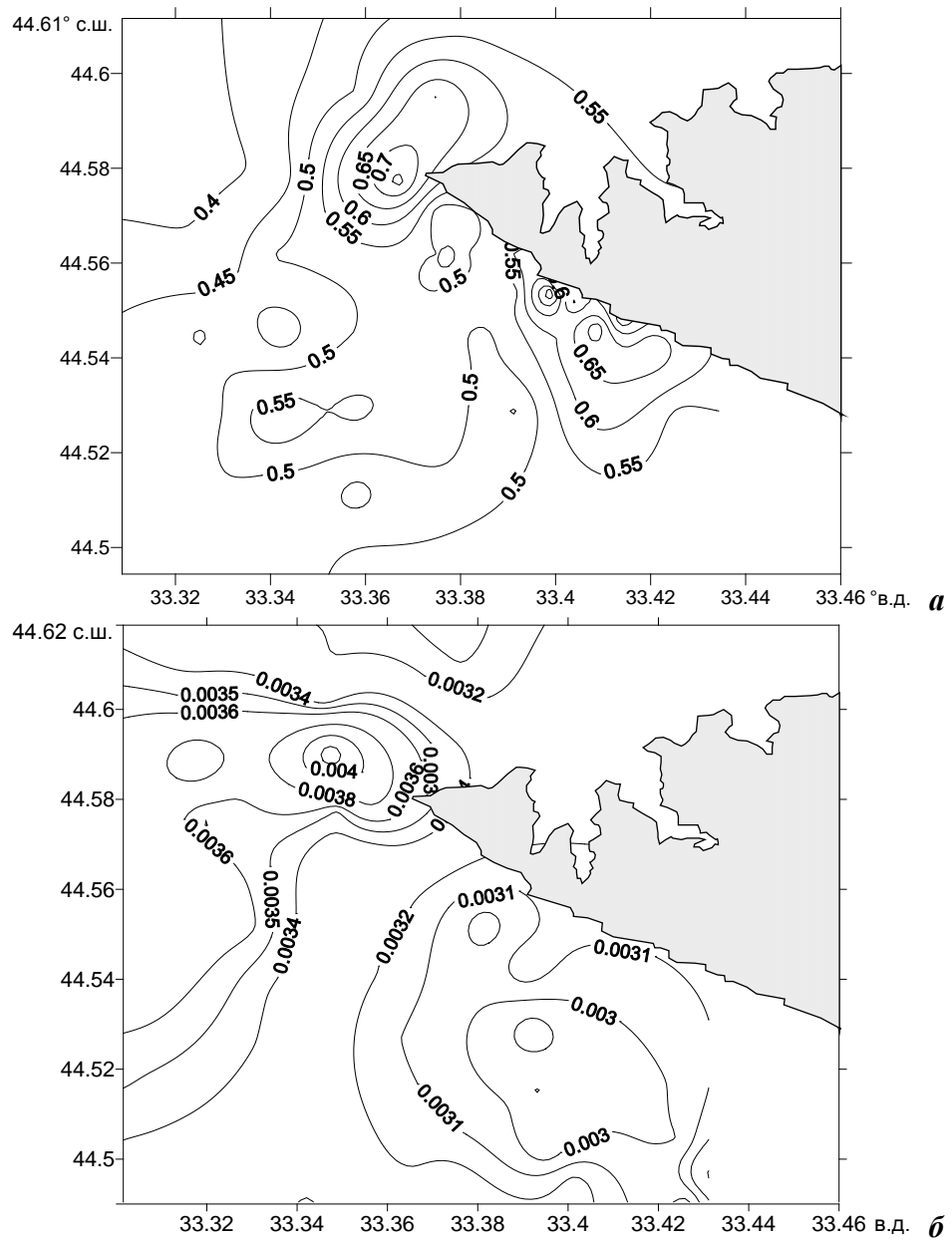


Рис. 4. Пространственное распределение рассеяния взвесью $b_{BZB}(550)$ по данным рейса НИС «Бирюза» 28 – 31 июля 2015 г. (а) и распределение полного обратного рассеяния $b_b(551)$ за 29 июля 2015 г. по данным сканера *MODIS-Aqua* (б).

дается снижение полученных значений. Качественно сходная картина наблюдается в пространственном распределении полного обратного рассеяния морской водой по данным спутникового сканера *MODIS-Aqua* (рис.4, б).

Заключение. Представленный метод позволяет оперативно оценивать концентрацию или рассеяние минеральной взвесью по данным ПОС. До-

полнительно он предоставляет возможность получения значений поглощения неживым органическим веществом, что имеет большое значение для вод типа II, к которым относится Черное море. В дальнейшем планируется оптимизировать алгоритм путем использования ограниченного числа спектральных каналов для работы с четырехканальным аналогом измерителя ПОС.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 14-45-01610 «Новый подход к определению биооптических свойств вод по измерениям спектральных характеристик флюоресценции и рассеяния света в морской среде».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Латушкин А.А.* Многоканальный измеритель коэффициента ослабления света для проведения океанографических подспутниковых исследований // Управление и мехатронные системы.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2013.– С.231-236.
2. *Pope R.M., Fry E.S.* Absorption spectrum 380 – 700 nm of pure water. II. Integrating cavity measurements // *Appl. Optics.*– 1997.– 36, № 33.– P.8710-8723.
3. *Churilova T., Suslin V., Berseneva G., et al.* Parameterization of light absorption by phytoplankton, nonalgal particles and coloured dissolved organic matter in the Black Sea // *Proc. IV International Conf. «Current problems in optics of natural waters».*– Nizhny Novgorod, 2007.– P.70-74.
4. *Korchemkina E.N., Shybanov E.B.* Special minimization technique for analytical algorithms of chlorophyll retrieval // *Proc. V International Conf. «Current problems in optics of natural waters».*– Saint-Petersburg, 2009.– P.73-77.

Материал поступил в редакцию 12.02.2016 г.
После доработки 22.08.2016 г.

E.N.Korchemkina, A.A.Latushkin

DETERMINATION OF THE CONCENTRATION OF DISSOLVED ORGANIC MATTER AND MINERAL PARTICLES FROM THE SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT

A method to determine the absorption and scattering of significant sea water constituents based of measurements of the attenuation of direct light in 9 spectral bands covering the range from 370 to 660 nm. The obtained values for the absorption of dissolved organic matter and suspended matter scattering correspond well to data obtained by other methods.

KEYWORDS: *spectral attenuation coefficient dissolved organic matter, mineral particles, semi-analytical algorithm*