

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДАХ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Корчёмкина Е.Н.¹, Мольков А.А.², Капустин И.А.²

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь (1), Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород (2)

E-mail: ekorchemkina@gmail.com

Создание алгоритмов для дистанционного определения содержания естественных примесей в водах пресноводных водоемов является актуальным ввиду того, что в каждом внутреннем водоеме создается особый биооптический режим, обусловленный выносами минеральной взвеси и органических веществ, в частности, удобрений, промышленных и бытовых стоков. В результате совместного влияния указанных факторов формируются благоприятные условия для обильного цветения воды, что представляет как опасность для жизнедеятельности человека и животных, так и трудность при обработке данных дистанционного зондирования.

Экспериментальные измерения

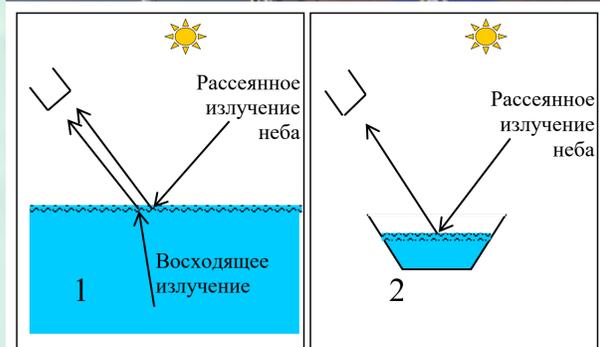
С целью сбора гидро- и био-оптических данных с 1.08 по 6.08.2016 и с 23.06 по 30.06.2017 были проведены совместные экспедиции МГИ и ИПФ РАН в южной части Горьковского водохранилища.

В ходе экспедиций были получены следующие данные:

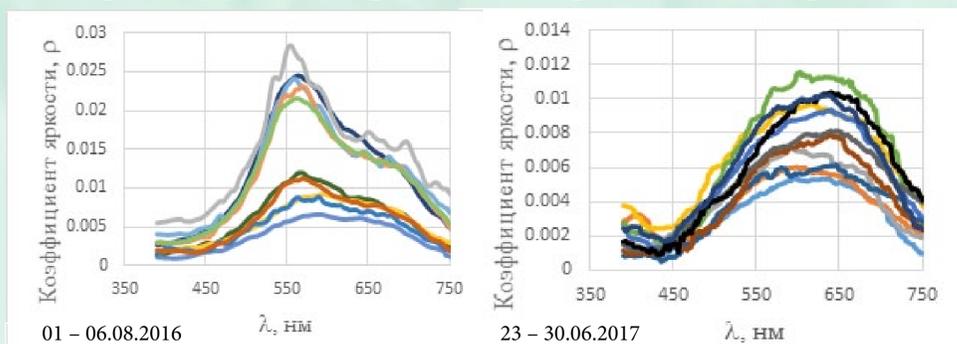
- определены концентрации хлорофилла, общей взвеси и растворенного органического вещества в пробах;
- проведены оптические измерения (коэффициент яркости (КЯ), прозрачность воды по мутномеру и STD-зонду, содержание клеток синезеленых водорослей по STD-зонду, глубина видимости белого диска, прозрачность атмосферы).



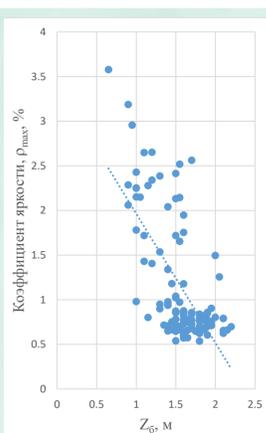
Измерения КЯ воды осуществлялись спектрофотометром, разработанным в отделе оптики моря МГИ РАН. КЯ определяется с шагом 1 нм и с погрешностью в среднем по спектру 3%. Для компенсации отраженной компоненты измеряются спектры восходящего излучения тонкого слоя воды в кювете с поглощающими стенками и дном. Для вычисления КЯ восходящая яркость тонкого слоя воды вычитается из яркости водоема, результат делится на яркость белого экрана.



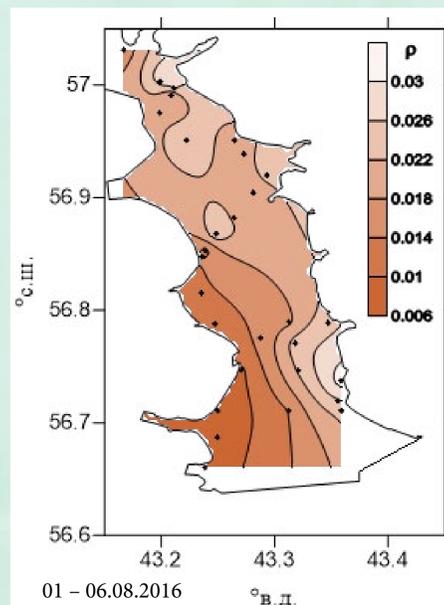
Спектры коэффициента яркости воды Горьковского водохранилища



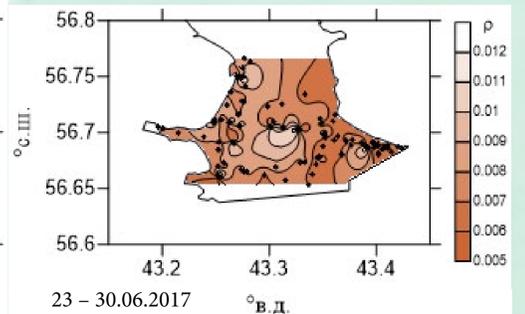
Исходя из особенностей формы спектров, видно, что восходящая яркость вод в августе определялась в основном растворенной органикой и детритом, тогда как в июне на спектрах хорошо заметен провал в области 440 нм, обусловленный поглощением пигментами фитопланктона. При этом значения яркости в августе заметно превышали значения в июне, что можно объяснить повышенным содержанием взвешенного вещества в августе по сравнению с июнем. Наблюдалась типичная обратная зависимость максимальных значений КЯ с глубиной видимости белого диска.



Работа выполнена в рамках грантов РФФИ №14-45-01049 «Разработка регионального алгоритма определения биооптических характеристик прибрежных вод Черного моря по данным дистанционного зондирования», № 14-45-01610 «Новый подход к определению биооптических свойств вод по измерениям спектральных характеристик флуоресценции и рассеяния света в морской среде», 15-45-02531 «Исследование гидрологии Горьковского водохранилища с целью формирования геофизического информационного портала с открытым доступом», РФФИ № 17-77-10120 «Разработка биооптических алгоритмов на основе новых физических моделей световых полей для эвтрофных пресных вод внутренних водоемов с целью их спутникового мониторинга».

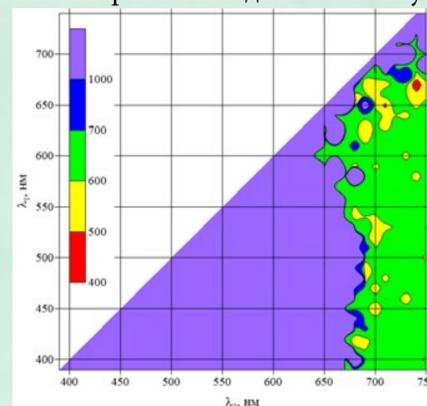


Карты максимальных значений КЯ показывают, что наименее прозрачные воды приносятся мелкими притоками Волги, в них основным оптически значимым компонентом является РОВ. В остальной части бассейна КЯ определяется как РОВ, так и взвешенным веществом.



Алгоритм расчета концентраций компонентов воды

Для определения концентраций примесей был адаптирован существующий аналитический алгоритм, позволяющий рассчитывать концентрации хлорофилла, растворенного органического вещества и минеральной взвеси. Основная идея состоит в вычислении концентраций каждого оптически значимого компонента в отдельном спектральном интервале. Для определения интервалов проведен численный эксперимент на синтезированных данных со случайным шумом.

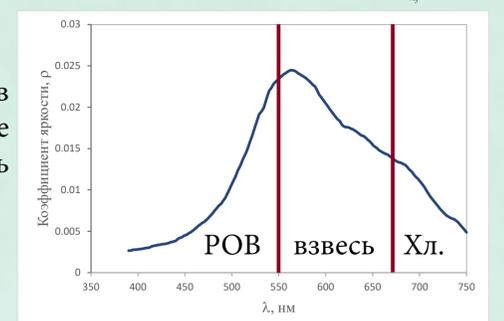


$$\rho = k \frac{b_b}{a} \quad \rho = k \frac{b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda_0) \left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right)^v}{a_w(\lambda) + C_{chl} a_{chl}^*(\lambda) + C_{dom} e^{-S(\lambda-\lambda_0)}}$$

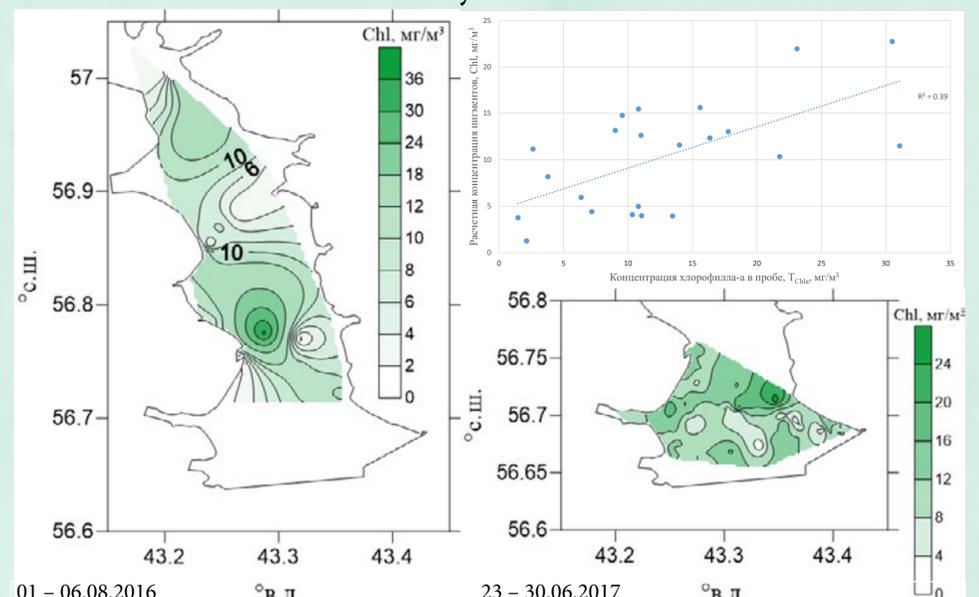
$$f = \sum_{\lambda_i} [\rho_c(\lambda_i) - \rho_m(\lambda_i)]^2$$

$$\begin{cases} \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{dom})}{\partial b_{bp}} = 0 \\ \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{dom})}{\partial C_{chl}} = 0 \\ \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{dom})}{\partial C_{dom}} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{dom})}{\partial C_{chl}} \Big|_{\lambda_1} = 0 \\ \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{dom})}{\partial b_{bp}} \Big|_{\lambda_2} = 0 \\ \frac{\partial f(b_{bp}, C_{chl}, C_{dom})}{\partial C_{dom}} \Big|_{\lambda_3} = 0 \end{cases}$$

Использование отдельных участков позволяет стабилизировать решение обратной задачи и упростить вычисления. Диапазоны длин волн: РОВ: 390 - 550 нм; Взвесь: 550 - 670 нм; Пигменты: 670 - 740 нм.



Результаты



Алгоритм позволяет рассчитывать концентрации хлорофилла с погрешностью около 50%. Для отладки и валидации работы алгоритма требуется дальнейший сбор данных комплексных контактных оптических и биологических измерений.