

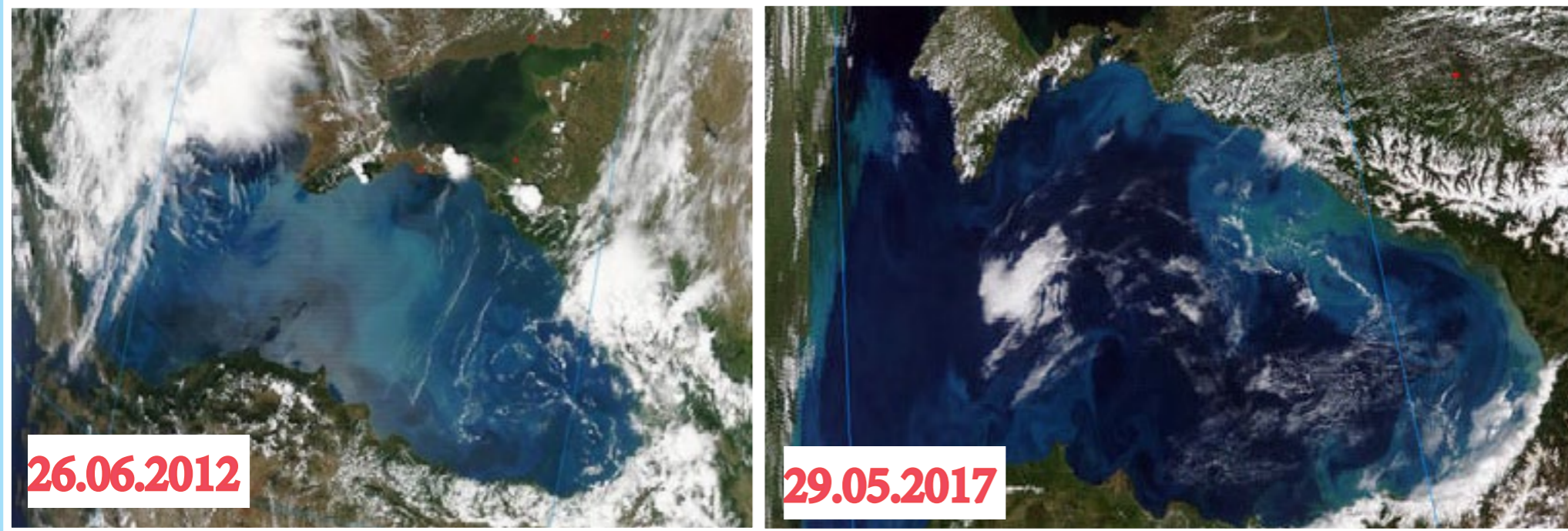
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПИГМЕНТОВ ФИТОПЛАНКТОНА И ВЗВЕСИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ВО ВРЕМЯ КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМИ ДИСТАНЦИОННЫМИ И КОНТАКТНЫМИ МЕТОДАМИ

Е.Н. Корчёмкина

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь. E-mail: ekorchemkina@gmail.com

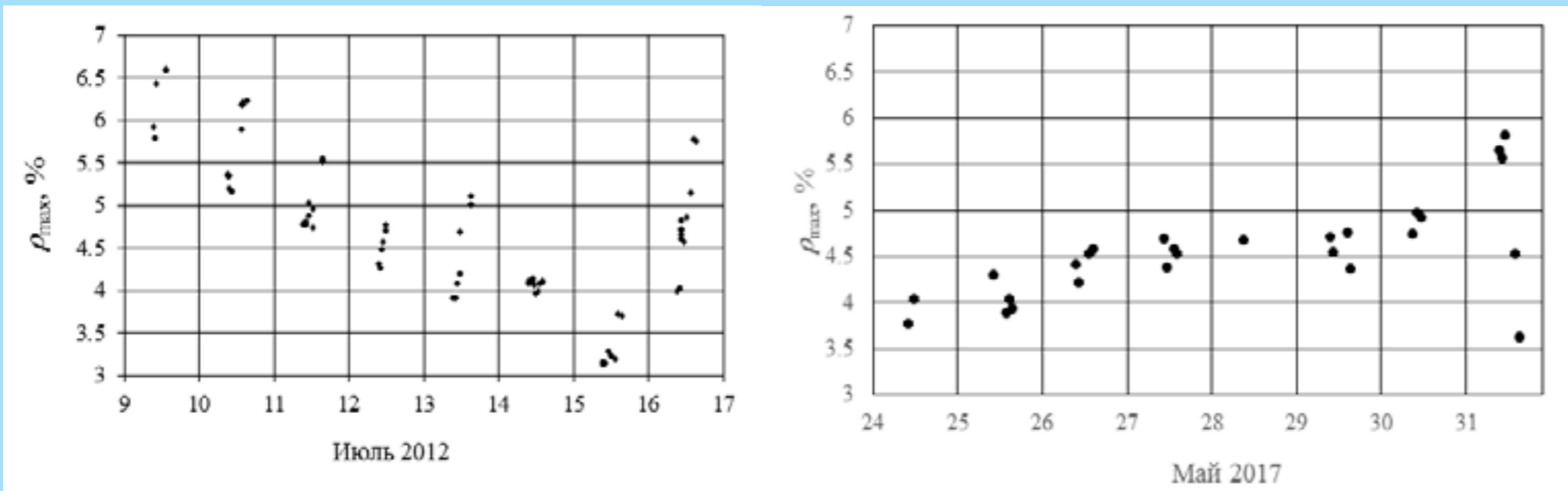
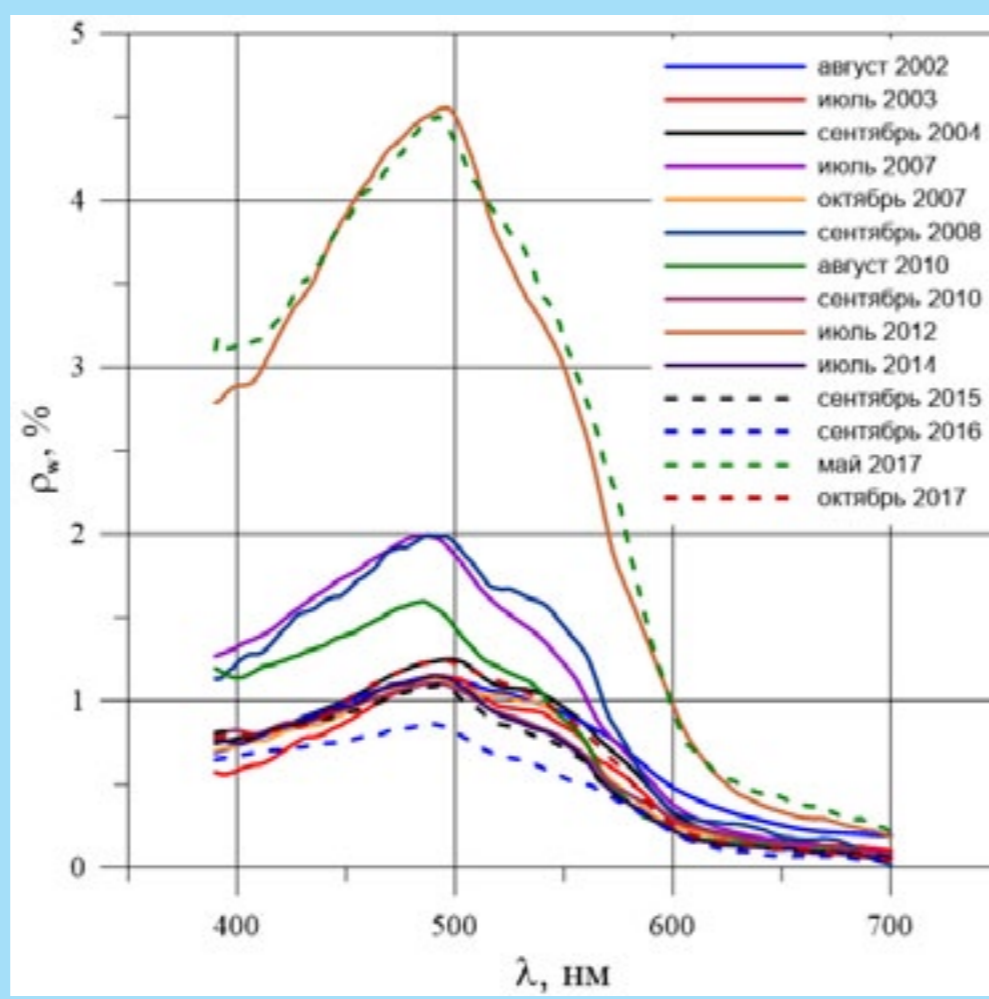


Кокколитофориды *Emiliania huxleyi* представляют собой одноклеточные водоросли с размером клеток 5 – 8 мкм, с известковыми дисками (кокколитами) размером 1 – 2 мкм. В Черном море *Emiliania huxleyi* составляют 90 – 99% от общей численности кокколитофорид. Цветение их приводит к многократному возрастанию количества крупной минеральной взвеси в воде и, как следствие, – к увеличению рассеяния света.



Измерения коэффициента яркости

Разработанный в отделе оптики и биофизики моря МГИ спектрофотометр позволяет измерять коэффициент яркости моря в спектральном диапазоне 390 – 720 нм, с шагом измерений 1 нм и погрешностью до 3%. Спектры имели форму, характерную для вод Черного моря, с явно выраженным максимумом на длине волны ~ 490 нм, однако величины коэффициента яркости завышены в 3 – 4 раза по сравнению с характерными для данного сезона.



Алгоритм расчета концентраций компонентов воды

Для определения концентраций примесей был использован региональный полуаналитический 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, что позволяет стабилизировать решение обратной задачи и упростить вычисления.

Параметр	Спектральный участок, нм	Спектральные каналы, нм
C_{dom}	390 – 420	412
C_{chl}	420 – 460	443
$b_{bp}(550)$	460 – 650	469 – 678

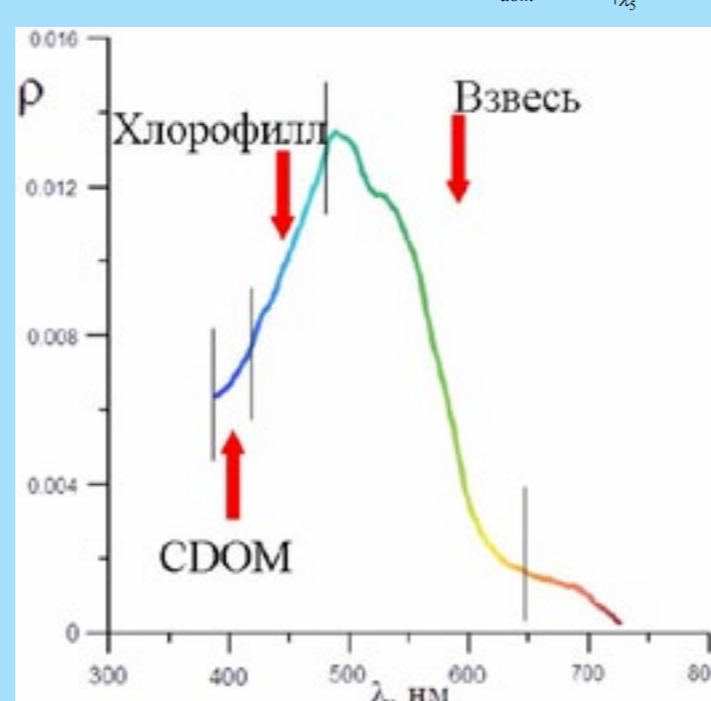
$$\rho = k \frac{b_b}{a}$$

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

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

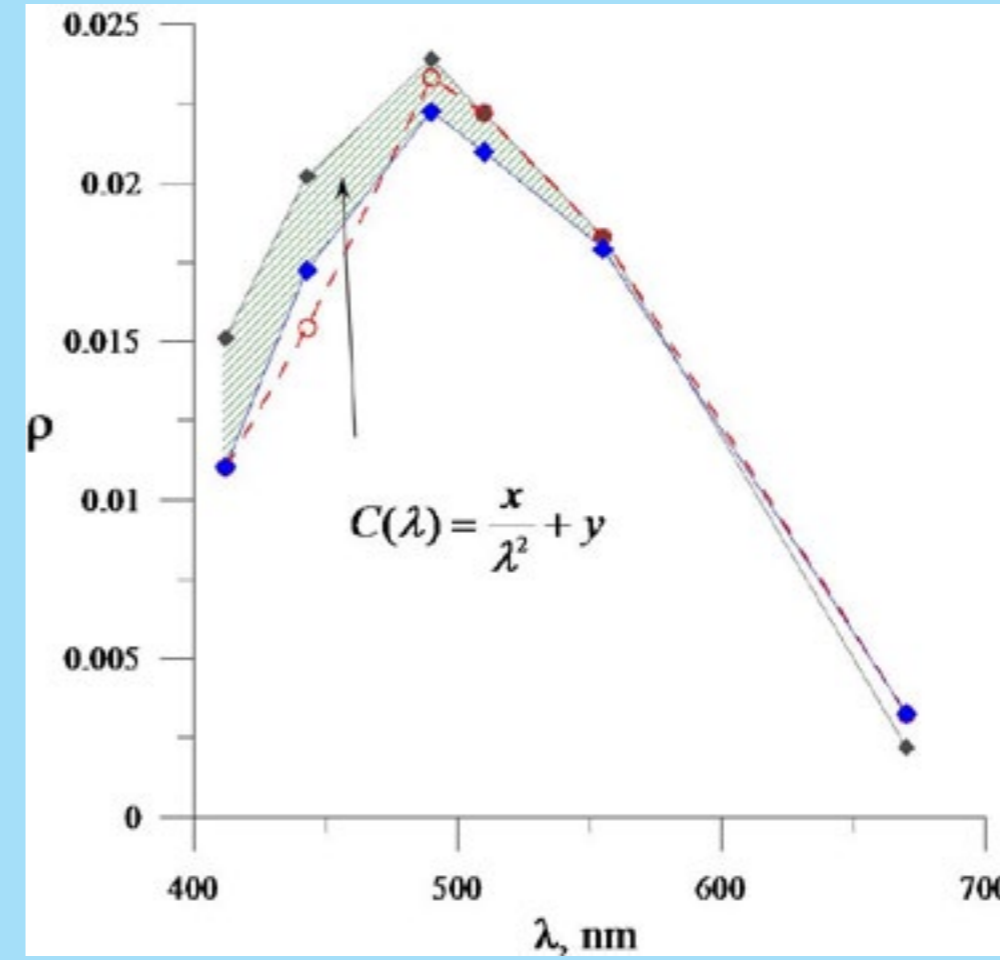
$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial b_{bp}} = 0 & \frac{\partial f}{\partial C_{chl}} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial C_{chl}} = 0 & \frac{\partial f}{\partial C_{dom}} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial C_{dom}} = 0 & \frac{\partial f}{\partial b_{bp}} = 0 \end{cases}$$

Проблема при решении данной обратной задачи заключается в том, что спектральный ход поглощения неживой органикой и рассеяния взвесью практически одинаков. Таким образом, используя метод наименьших квадратов, невозможно разделить вклады органики и взвеси. Выделение участков с доминирующим вкладом органики и взвеси, в которых влияние остальных компонент можно считать неселективным, позволяет сделать задачу более четко обусловленной.



Спутниковые данные

В работе использованы данные, полученные сканерами MODIS-Aqua и MODIS-Terra. Обработка производилась при помощи упомянутого полуаналитического регионального алгоритма.

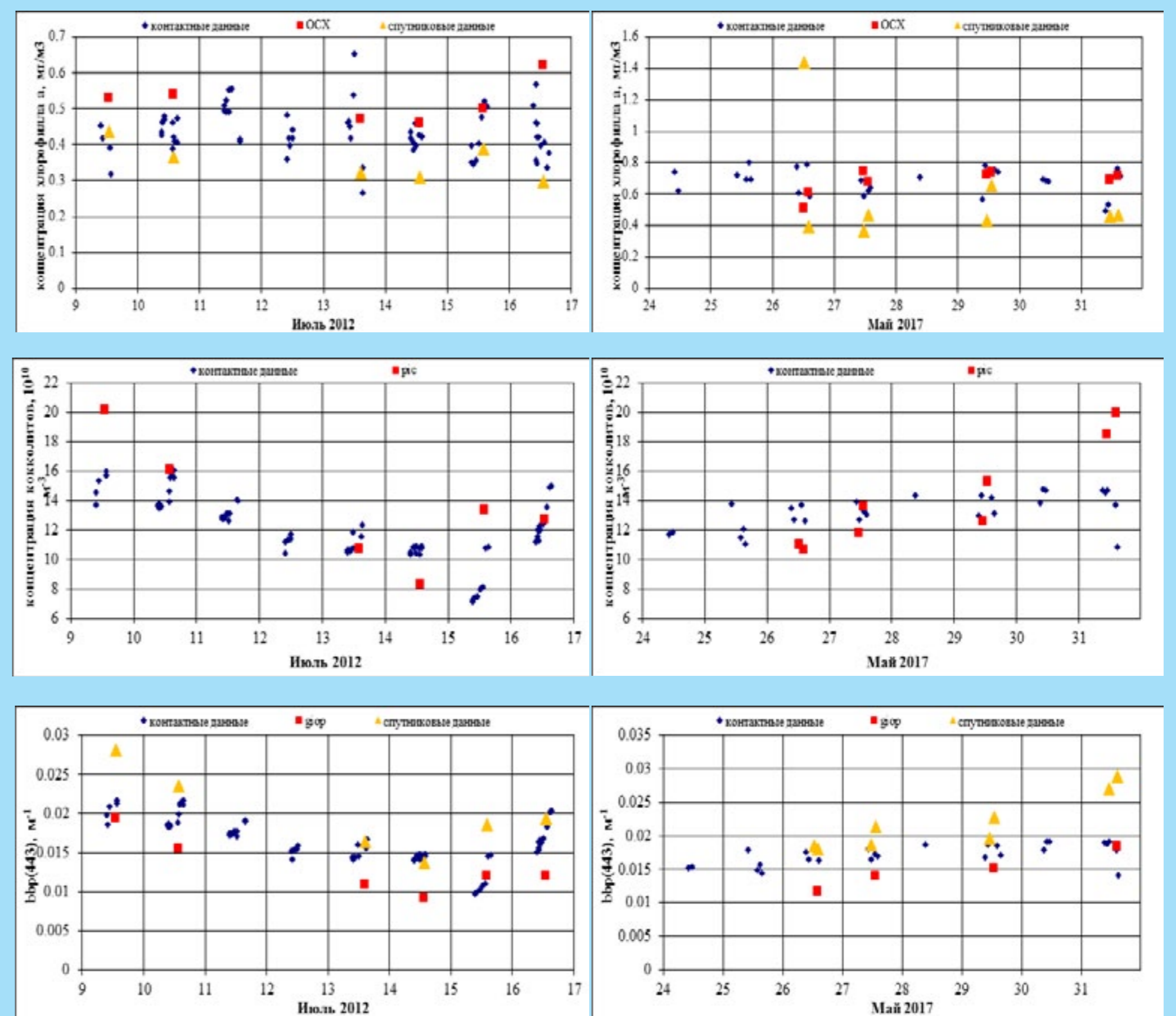


При обработке предварительно были скорректированы возможные ошибки стандартной атмосферной коррекции при помощи разработанного авторами метода (Корчёмкина Е.Н. и др., ИЗК, №6, 2009). В нем для коррекции значения Rrs в коротковолновых каналах используется упрощенная двухпараметрическая модель коэффициента яркости моря, позволяющая по измерениям в зеленой части спектра оценить значение в канале 412 нм.

Кроме того, в работе использованы концентрация хлорофилла, рассчитанная по алгоритму ОСХ, обратное рассеяние на частицах по модели GIOP и содержание неорганического углерода. Они сопоставлялись с аналогичными величинами, рассчитанными по контактными измерениями. Значения ρ_{ic} и b_{br} для сравнения были пересчитаны в численную концентрацию кокколитов.

$$b_{b_cocc}(546) = 1.1 \cdot 10^{-13} N_{cocc} \quad \rho_{ic} \cdot \mu(C) = m_{C_cocc} N_{cocc}$$

Результаты



Результаты сравнения показывают, что при кокколитофоридном цветении возрастает влияние взвеси на оптические свойства черноморских вод, таким образом снижая влияние растворенной органики. Благодаря этому стандартные спутниковые алгоритмы и региональные дают сходный результат. В целом видно, что значения в июле 2012 года лежат на одном уровне с маем 2017 года. Однако в 2012 году концентрации кокколитов имеют тенденцию к снижению, а в 2017 году к росту. Максимум яркости моря в 2012 и в 2017 году наблюдался в июне.

Оба периода измерений (9 – 16 июля 2012 года и 23 - 31 мая 2017 года) характеризуются следующими значениями биооптических параметров:

- значения коэффициента яркости достигали 3,2 – 6,6% в максимуме при характерных 1 – 1,5%;
- концентрация хлорофилла, составляла ~ 0,5 мг/м³, что превышает средние значения для летнего периода. Причина такого повышения может заключаться в массовом развитии других видов фитопланктона наряду с кокколитофоридами;
- расчетная концентрация минеральной взвеси (включая кокколиты) составляла ~ 1.2 · 10¹¹ м⁻³, что по порядку величин соответствует цветениям, зафиксированным в 1992 и 2006 гг.