

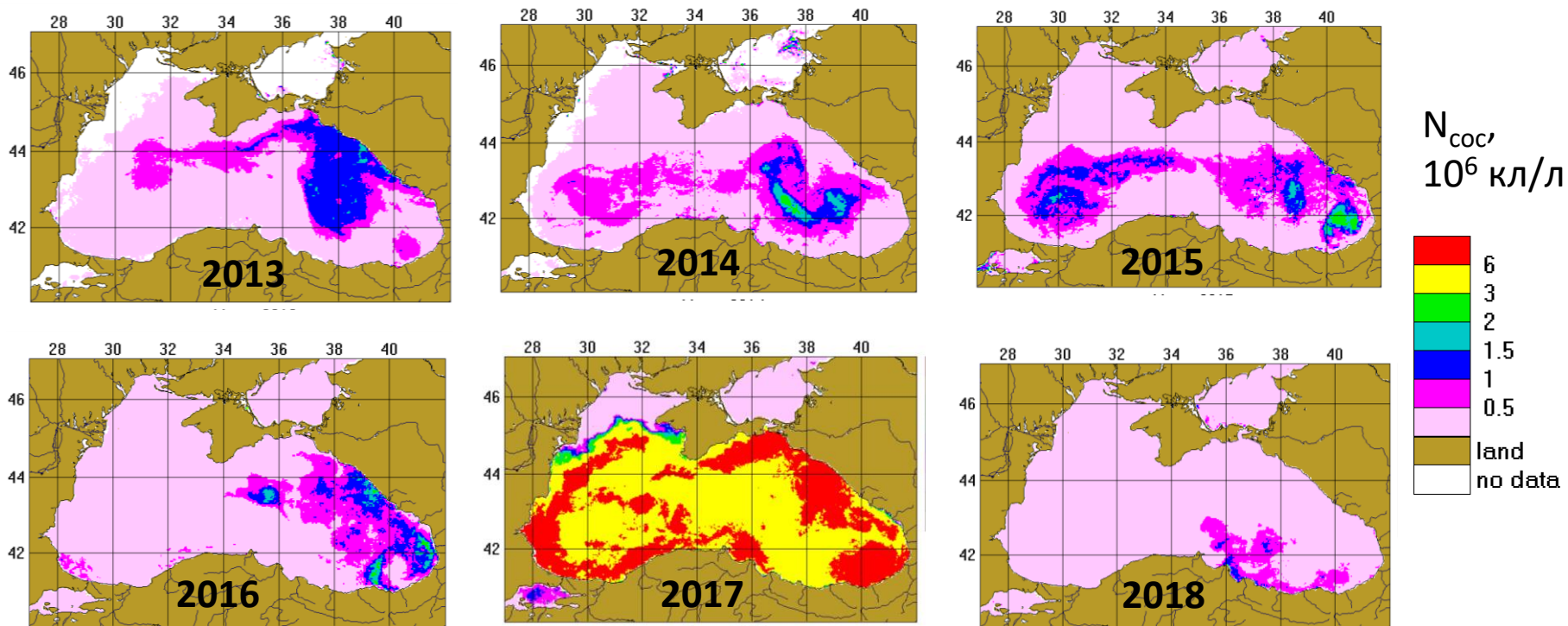
## **Модифицированный алгоритм оценки концентрации кокколитофорид в Черном море по данным дистанционного зондирования в случае интенсивного цветения**

Вазюля С.В.<sup>1</sup>, Дерягин Д.Н.<sup>1,2</sup>, Глуховец Д.И.<sup>1</sup>, Силкин В.А.<sup>1</sup>, Паутова Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

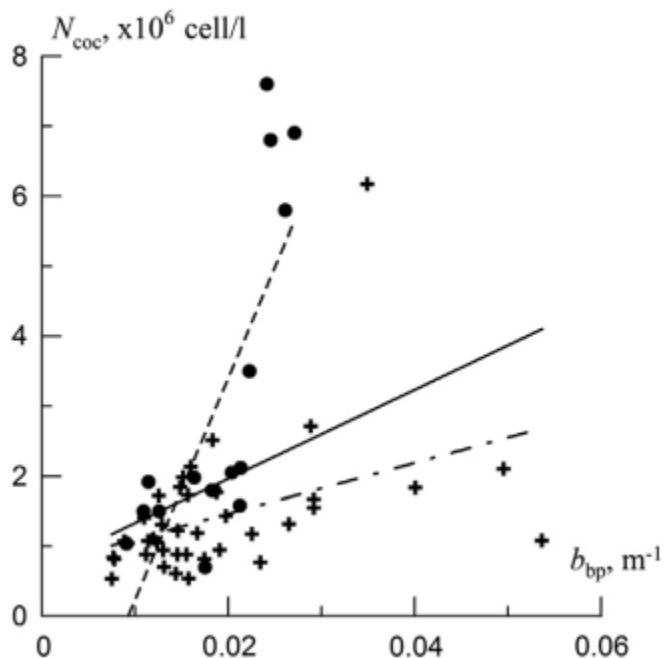
<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (НИУ),  
г. Долгопрудный

Одной из наиболее интересных особенностей Черного моря является систематически наблюдаемое в начале лета цветение кокколитофорид



Распределения величины концентрации кокколитофорид  $N_{\text{coc}}$  в Черном море в июне 2013-2018 гг. по данным MODIS (<http://optics.ocean.ru/>)

По данным биооптических измерений 2004-2008 гг. был создан региональный алгоритм оценки концентрации кокколитофорид  $N_{\text{coc}}$  (Korelevich et al., 2014)



Сопоставление величин  $N_{\text{coc}}$  и показателя рассеяния назад  $b_{\text{bp}}$

$$b_{\text{bp}} = b_{\text{bp\_bg}} + b_{\text{bp\_riv}} + b_{\text{bp\_coc}}$$

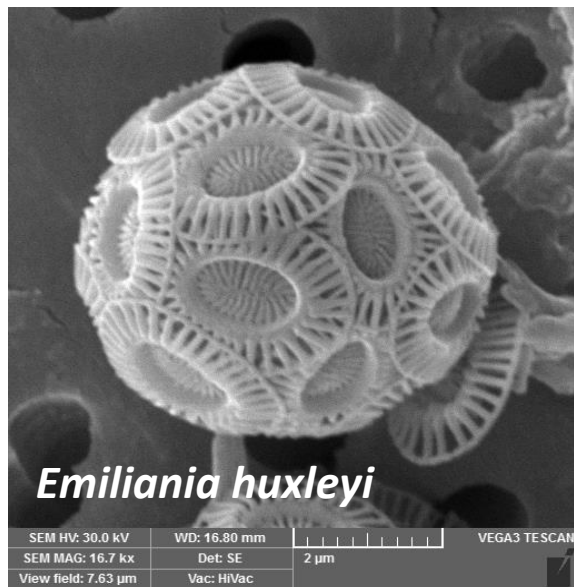
$$b_{\text{bp\_riv}} = K_{\text{riv}} (a_{\text{g}} - a_{\text{g\_bg}})$$

$$b_{\text{bp\_coc}} = K_{\text{coc}} N_{\text{coc}}$$

#### Особенности:

- Учитывает вклад терригенной взвеси
- Средняя концентрация  $N_{\text{coc}} \sim 1.5$  млн кл./л
- Не учитывалось кол-во кокколит
- Точность алгоритма  $\sim 1$  млн кл./л

Для модификации алгоритма использованы данные измерений в июне 2017 и 2022 гг.

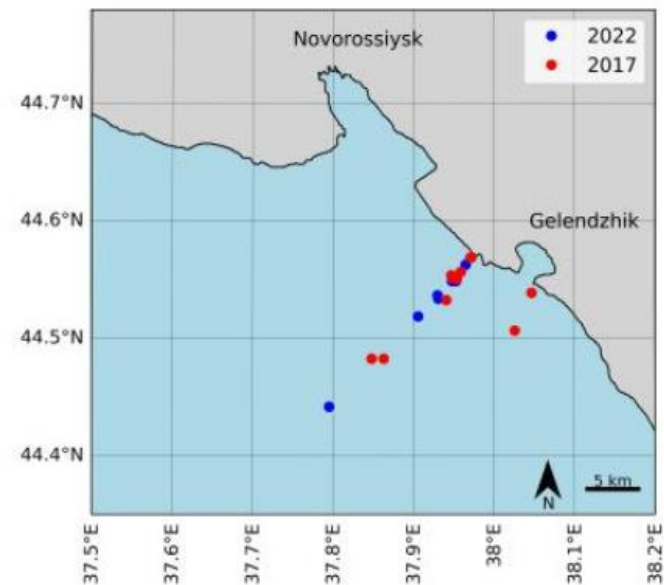


	$N_{cc}$ медиана	$N_{cc}$ максимум	$N_{cl}/N_{cc}$ медиана
<b>2017</b>	7.0	9.0	15.0
<b>2022</b>	5.4	13.0	2.2

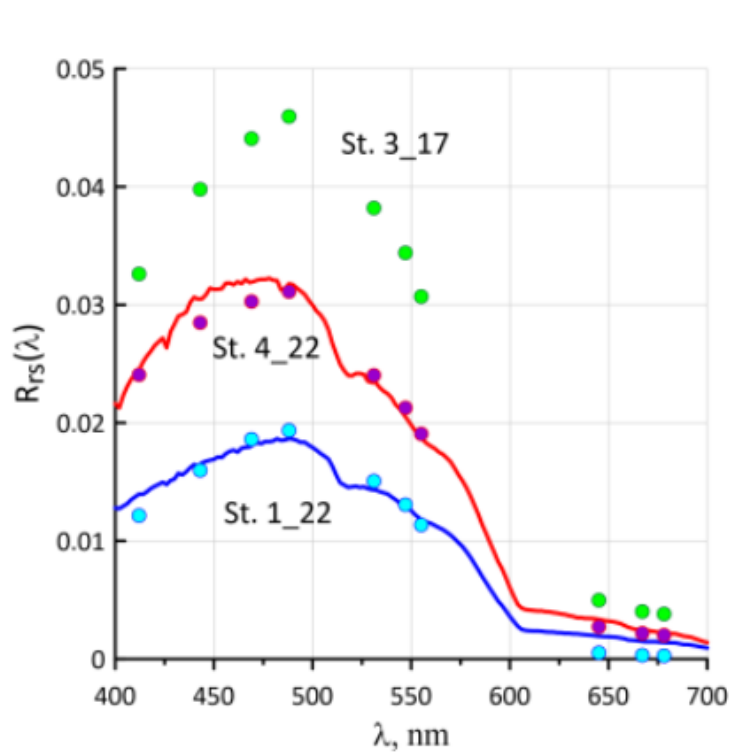
**Формула учета соотношения числа отделившихся кокколитов и клеток кокколитофорид**

$$N_{cc\_cl} = N_{cc} + N_{cl}/50 \text{ (Voss et al., 1998)}$$

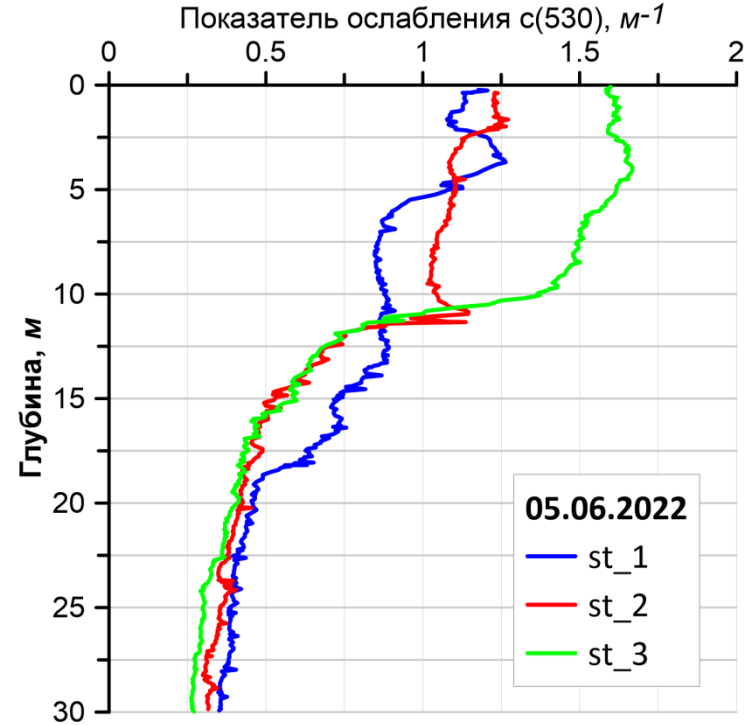
$N_{cc}$  – концентрация клеток,  $N_{cl}$  - кокколит



# Данные измерений гидрооптических природных и спутниковых измерений



Примеры спектров коэффициента яркости моря  $R_{rs}$ , измеренные плавающим спектрометрическим прибором (линии) и рассчитанные по данным MODIS (кружочки).



Примеры профилей показателя ослабления  $c(530)$ , измеренные прозрачномером ПУМ.

Для проверки чувствительности алгоритма к изменениям биооптических характеристик были проведены модельные расчеты с использованием программного обеспечения Hydrolight

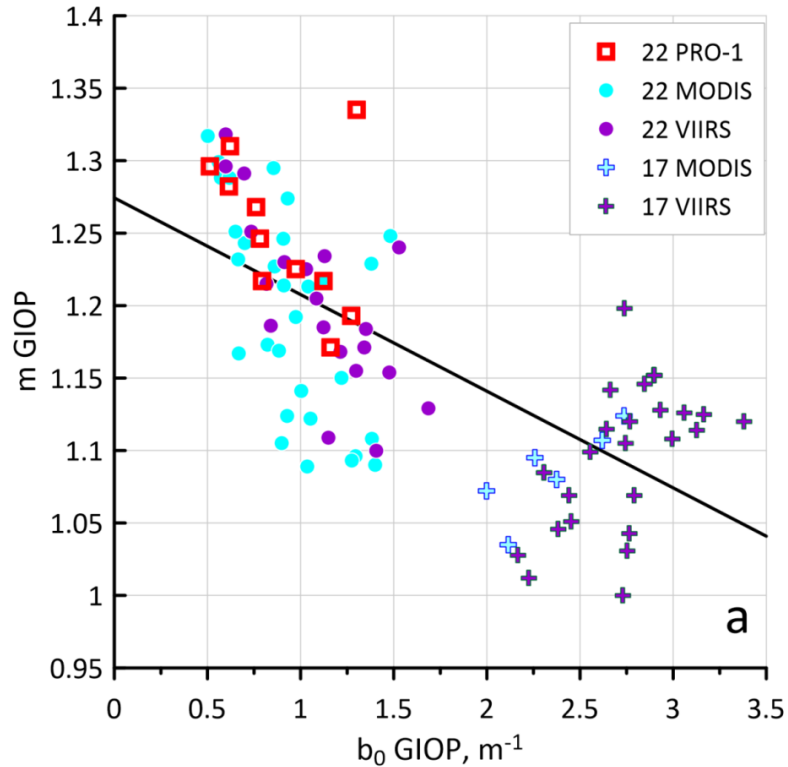
Модель HydroLight – 4 компонента:

1. Чистая морская вода
2. Фитопланктон - через концентрацию Chl
3. Поглощение ОРОВ - через  $a_g(443)$
4. Рассеяние взвесью - кокколитофоридами

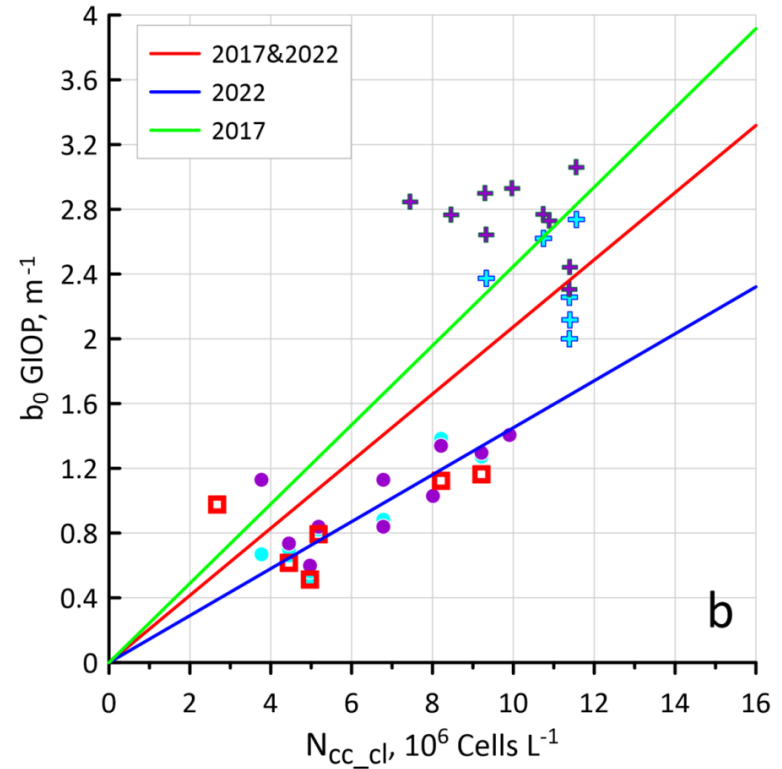
$$b_b/b = 0.02 \text{ [Tyrrel et al., 1999]}$$

$$b(\lambda) = \mathbf{b}_0 (550/\lambda)^m$$

# Параметры рассеяния кокколитофоридами в модели Hydrolight



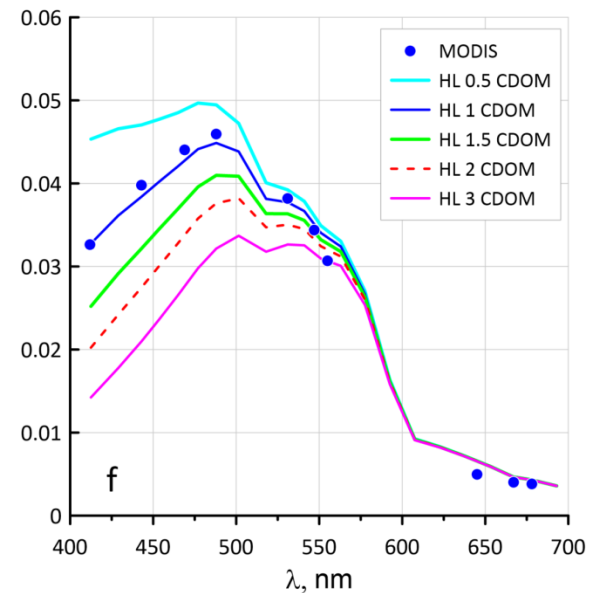
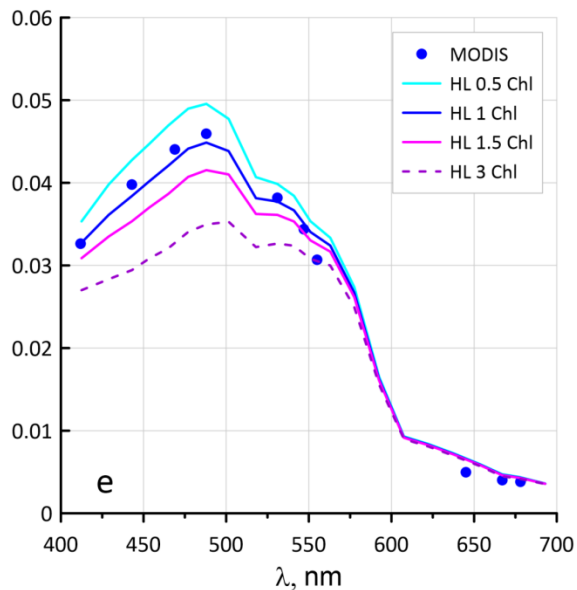
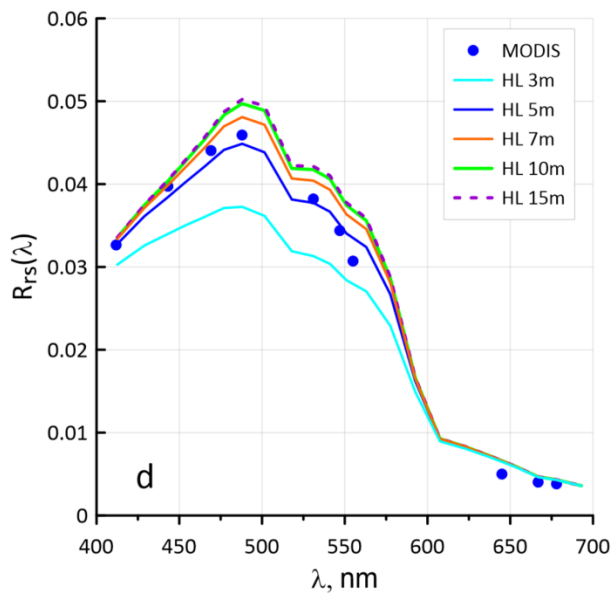
$$m = 1.274 - 0.067 \cdot b_0$$



$$b_0 = 0.207 \cdot N_{cc\_cl}, R^2 = 0.62$$

# Пример результатов моделирования. Ст. 3\_17 ( $N_{\text{COC}} = 13.0$ млн кл./л)

$Z_{\text{COC}} = 5$  м,  $\text{Chl} = 0.47$  мг/л,  $a_g(443) = 0.045$  м<sup>-1</sup>



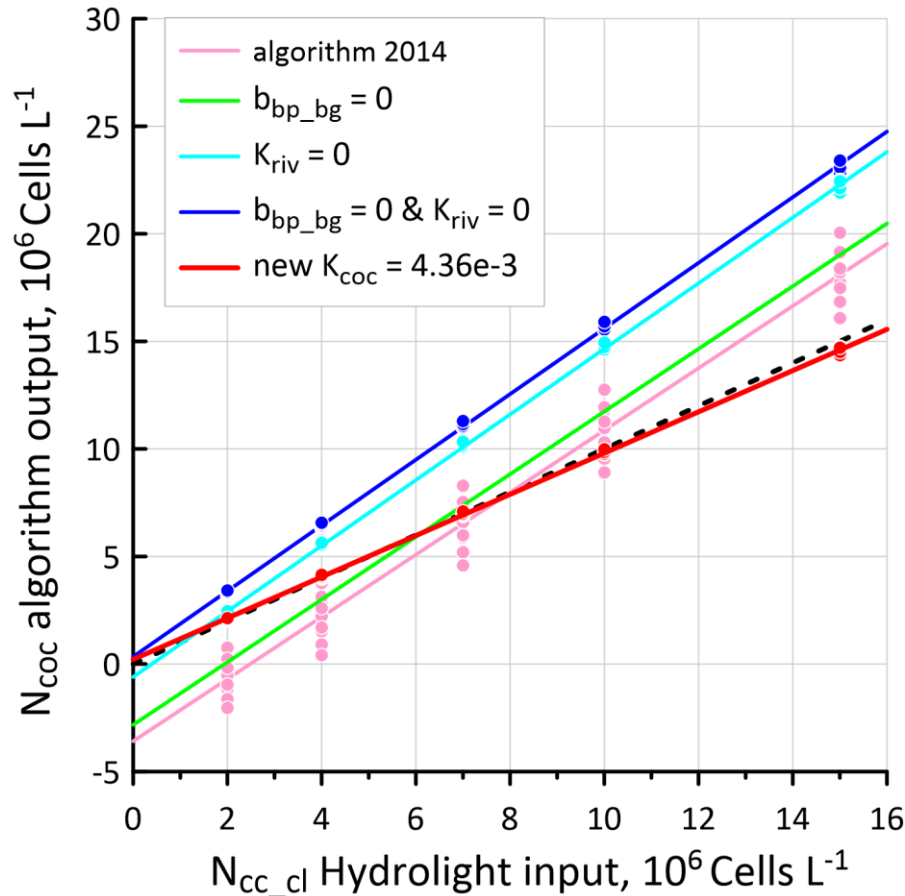
$Z_{\text{COC}}$	3	5	7	10
$N_{\text{COC}}$	11.0	14.3	15.7	16.4
$\Delta$	-16%	10%	21%	26%

X Chl	0.5	1	1.5	3
$N_{\text{COC}}$	15.2	14.3	13.6	11.8
$\Delta$	17%	10%	4%	-9%

X CDOM	0.5	1	1.5	2
$N_{\text{COC}}$	15.0	14.3	13.6	12.9
$\Delta$	15%	10%	5%	-1%

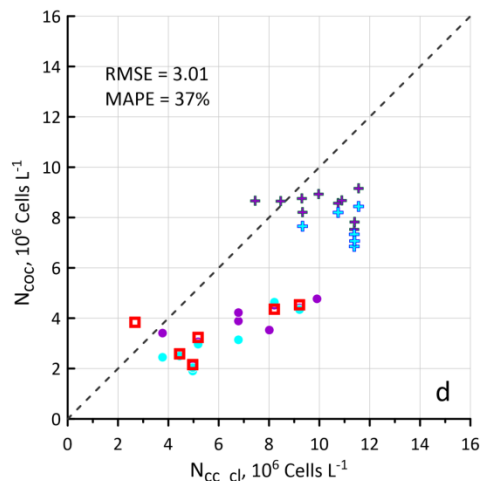
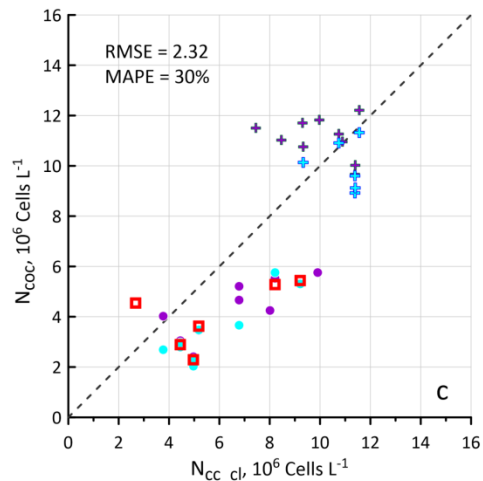
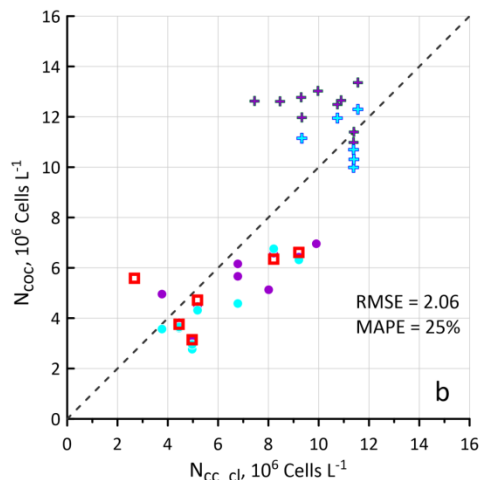
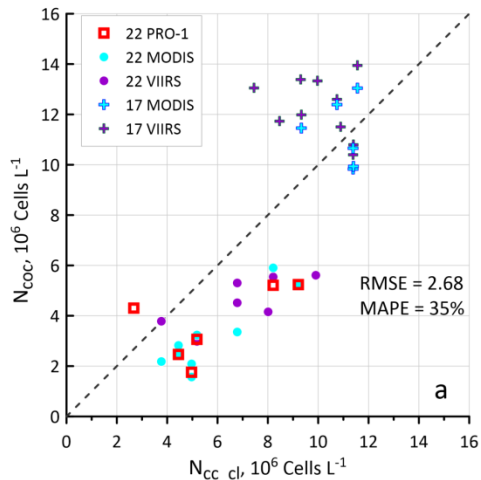


# Использование результатов моделирования Hydrolight для модификации алгоритма



Сопоставление входных значений  $N_{cc\_cl}$ , используемых в расчетах Hydrolight, и оценок величины  $N_{coc}$ , полученных в зависимости от параметров алгоритма. Кружками показаны отдельные расчеты, сплошными линиями - линейные регрессии, а пунктирной линией - идеальное соответствие 1:1.

# Подбор параметров регионального алгоритма для условий интенсивного цветения



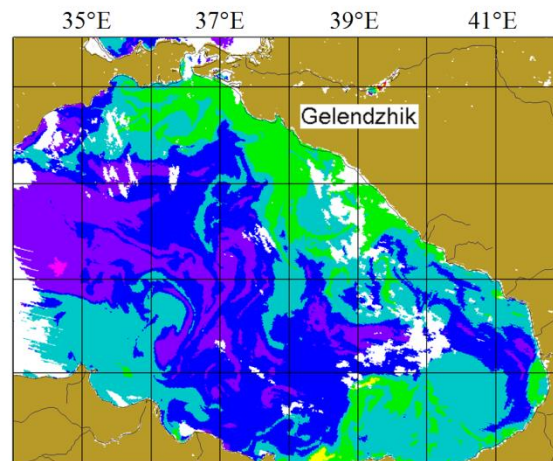
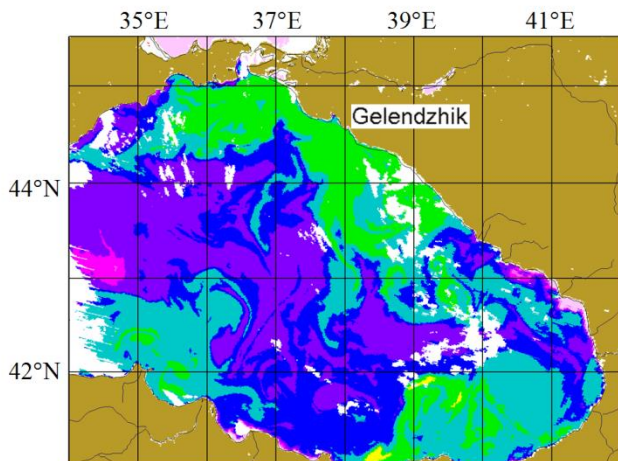
Сопоставление величин концентрации кокколитофорид  $N_{\text{coc}}$ , рассчитанных с различными параметрами регионального алгоритма, и измеренных величин  $N_{\text{cc\_cl}}$ :

- (a) – алгоритм 2014 г.
- (b) – вариант «10%»
- (c) – вариант «50%»
- (d) – вариант «10% 2017».

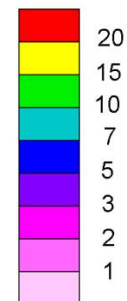
Пояснения в (Vazyulya et al., 2023).

# Примеры пространственных распределений $N_{\text{COC}}$ в восточной части Черного моря, рассчитанных с помощью старого (2014) и нового (2023) алгоритмов

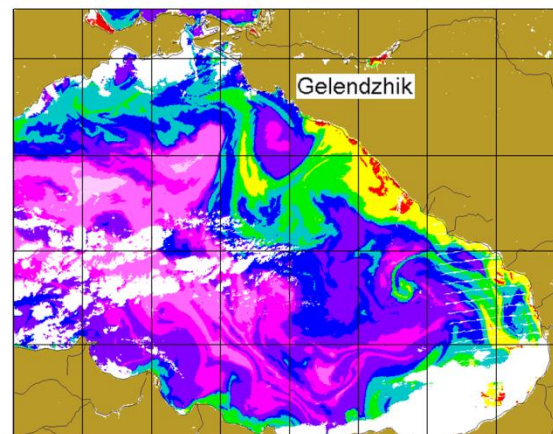
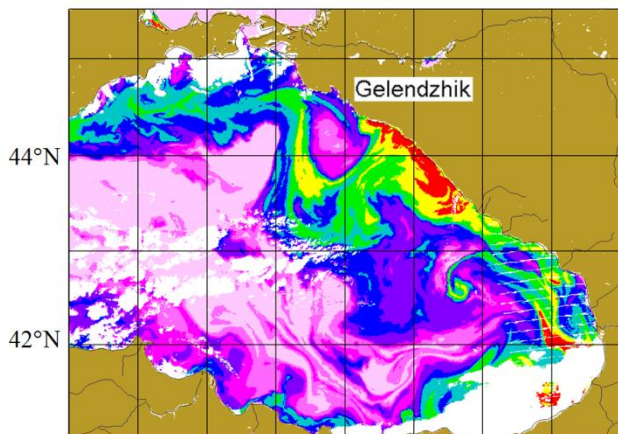
MODIS Terra  
08.06.2017



$N_{\text{COC}}$   
 $10^6 \text{ Cells L}^{-1}$



VIIRS  
17.06.2022



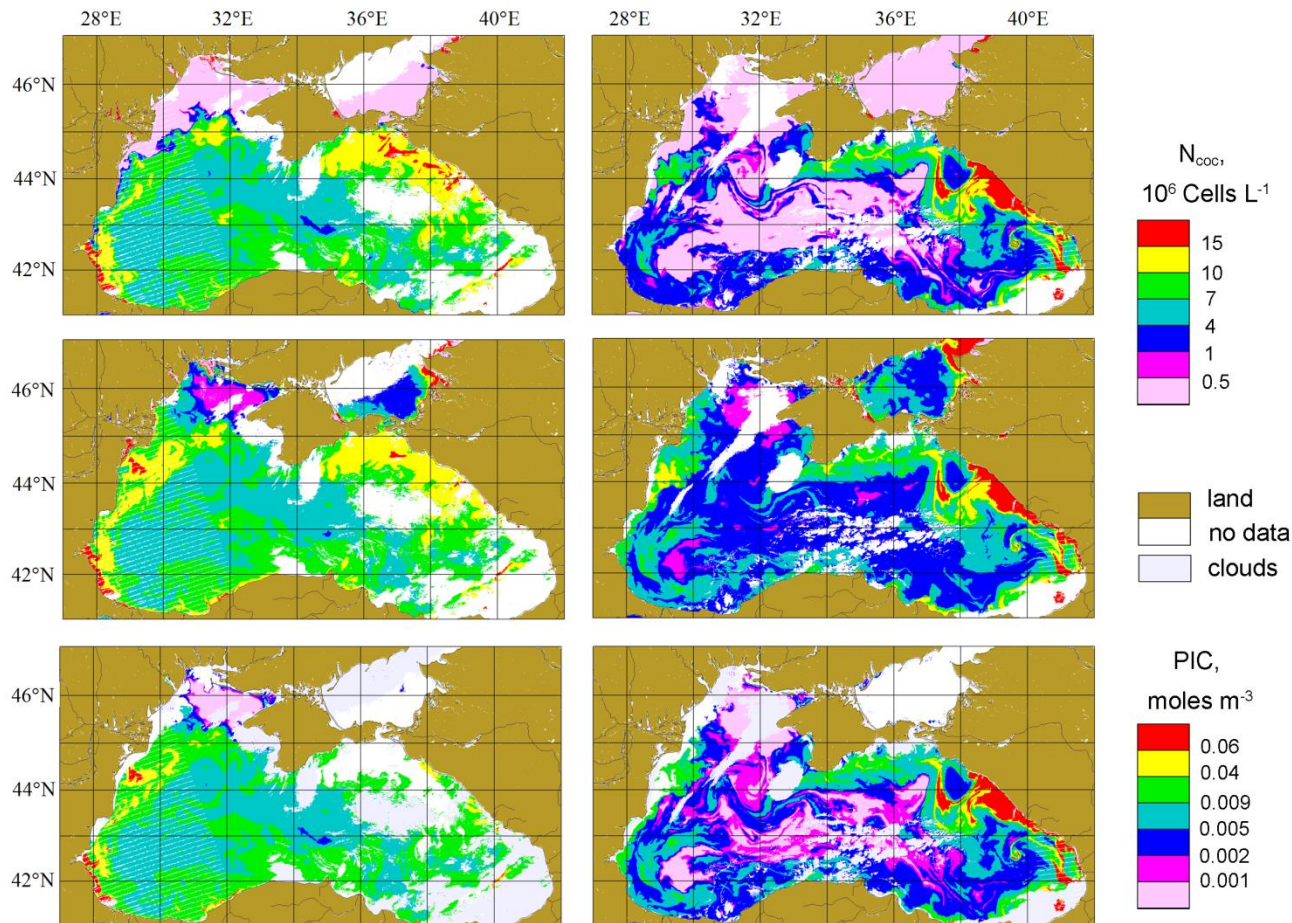
land  
no data

Algorithm 2014

Algorithm 2023

Обе версии алгоритма оценки  $N_{\text{COC}}$  показали хорошее соответствие PIC (particulate inorganic carbon) - стандартному продукту дистанционного зондирования.

Пространственные распределения величин  $N_{\text{COC}}$  в Черном море, рассчитанных по алгоритмам 2014 и 2023 гг. (верхний и средний ряды), и PIC (нижний ряд). Слева — по VIIRS за 12 июня 2017 г., справа — по VIIRS за 17 июня 2022 г.



## Заключение

- Массив данных in situ определений величин концентрации клеток кокколитофорид и кокколитов в годы интенсивного цветения (2017 и 2022) позволил провести модификацию регионального алгоритма оценки концентрации кокколитофорид по спутниковым данным (Kopelevich et al., 2014)
- Новая версия алгоритма (Vazyulya et al., 2023) получена с учетом соотношения количества отделившихся кокколитов и клеток кокколитофорид, которое значительно меняется во время цветения
- Обе версии алгоритма показали хорошее соответствие PIC (particulate inorganic carbon) - стандартному продукту дистанционного зондирования, обычно используемому для оценки вклада кокколитофоридных цветений в углеродный цикл
- Предложенный подход с разделением взвеси на две составляющие (терригенную и кокколитофоридную) может быть использован для создания региональных или сезонных алгоритмов оценки концентрации кокколитофорид в любом регионе Мирового океана в любой период. Необходимо лишь иметь данные натурных измерений концентрации кокколитофорид и одновременных корабельных или спутниковых измерений коэффициента яркости моря для выбранного региона и периода.
- Полученные результаты и программные коды двух версий регионального алгоритма представлены в статье (Vazyulya et al., 2023), бесплатно доступной по адресу: <https://doi.org/10.3390/rs15092219>

**Спасибо за внимание!**

