



# Оценка концентрации хлорофилла в Карском море с учетом положения поверхностного опресненного слоя

Салинг И.В.<sup>1</sup>, Вазюля С.В.<sup>1</sup>, Глуховец Д.И.<sup>1,2</sup>

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

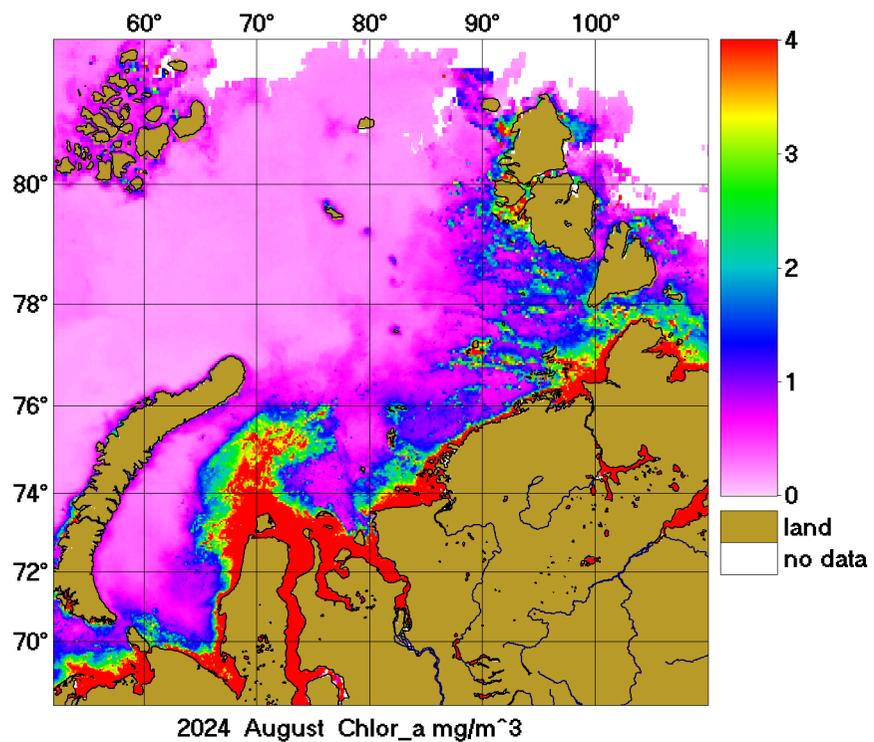
<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный, Россия

e-mail: [sahlingiv@gmail.com](mailto:sahlingiv@gmail.com)

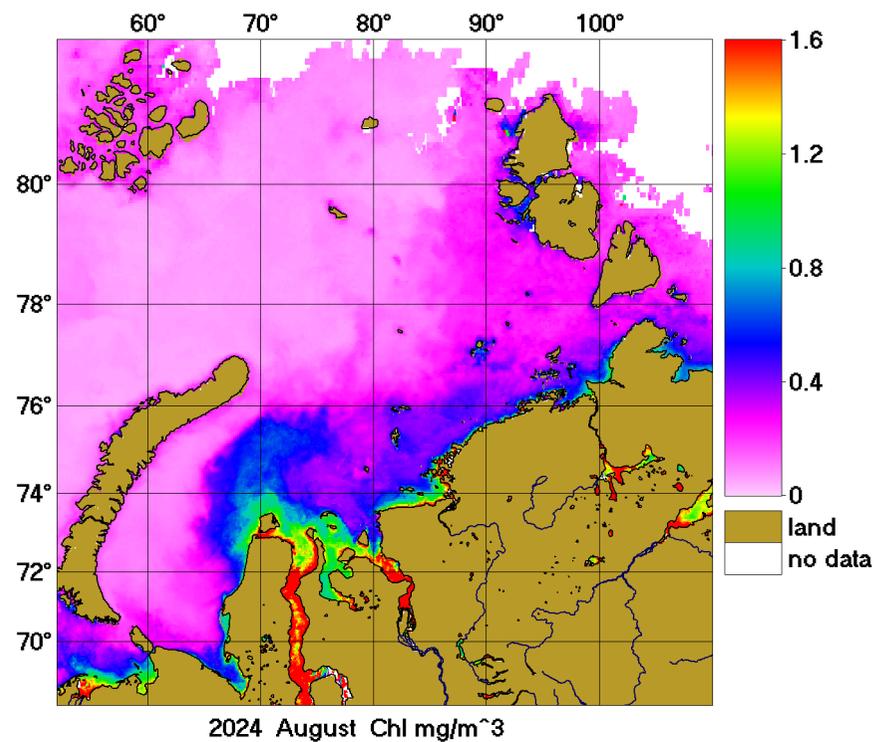
## Введение

- Важная особенность Карского моря – сильное влияние речного стока на поверхностный слой воды, в результате которого значительную часть акватории занимают опресненные воды (Зацепин и др., 2010), характеризующиеся высоким содержанием окрашенного растворенного органического вещества ОРОВ (Glukhovets et al., 2020).
- Эта особенность приводит к существенному завышению результатов оценки концентрации хлорофилла (Хл) по данным спутниковых сканеров цвета, получаемых с использованием стандартных биооптических алгоритмов.
- Для более точной оценки концентрации Хл в Карском море в Лаборатории оптики океана Института океанологии РАН на основе экспедиционных данных созданы и верифицированы региональные алгоритмы (Копелевич и др., 2018).
- В 2024 г. была выполнена модификация регионального алгоритма K24 для оценки концентрации Хл в Карском море (Vazyulya et al., 2024).
- В работе (Vazyulya et al., 2024) предложены сезонные версии алгоритма (июнь-июль, август-сентябрь).
- Результаты применения регионального алгоритма K24 представлены в Атласе биооптических характеристик Лаборатории оптики океана ИО РАН ([optics.ocean.ru](http://optics.ocean.ru)).

## Распределения среднемесячных значений концентрации хлорофилла *Chl* (мг/м<sup>3</sup>), рассчитанные с помощью разных алгоритмов



Стандартный алгоритм NASA  
<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>



Алгоритм ЛОО  
*Vazyulya, et al., 2024, https://optics.ocean.ru*

## Данные

### Судовые

Измеренные данные концентрации хлорофилла (*Chl in situ*) 10 рейсов Института океанологии РАН с 2007 по 2022 гг.

*Chl in situ* < 2 мг/м<sup>3</sup>, поскольку алгоритм не работает для больших концентраций. Как правило, такие концентрации собраны в водах с особыми условиями, например, в эстуариях рек, для них необходимо выводить отдельные алгоритмы.



### Спутниковые

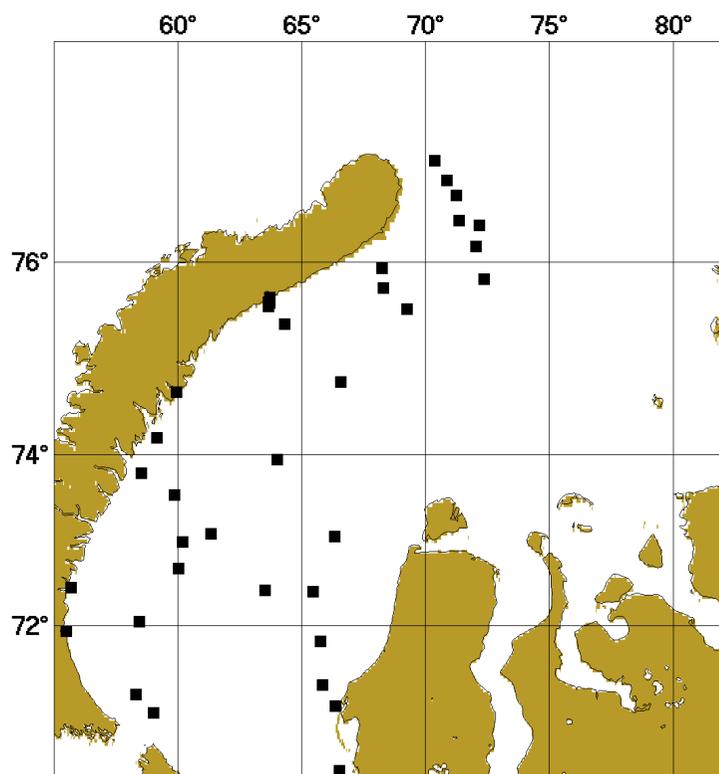
MODIS-Aqua и Terra  
(<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)

Критерии отбора данных:

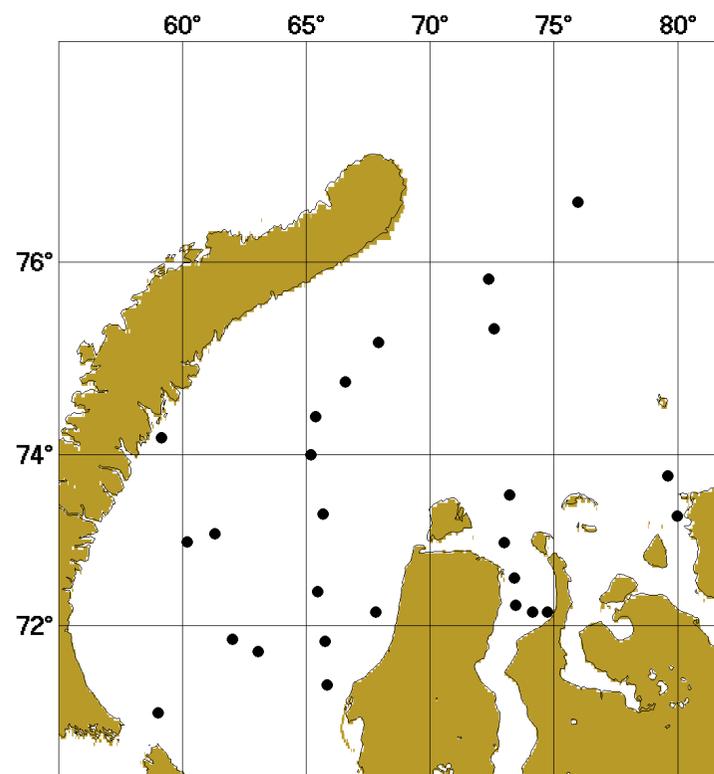
- флаги LAND, CLDICE, STRAYLIGHT и HISOLZEN
- $R_{rs}(448-678) > 0$
- Временной диапазон  $\Delta T \leq 24$  часа



## Расположение станций, данные с которых были использованы в работе

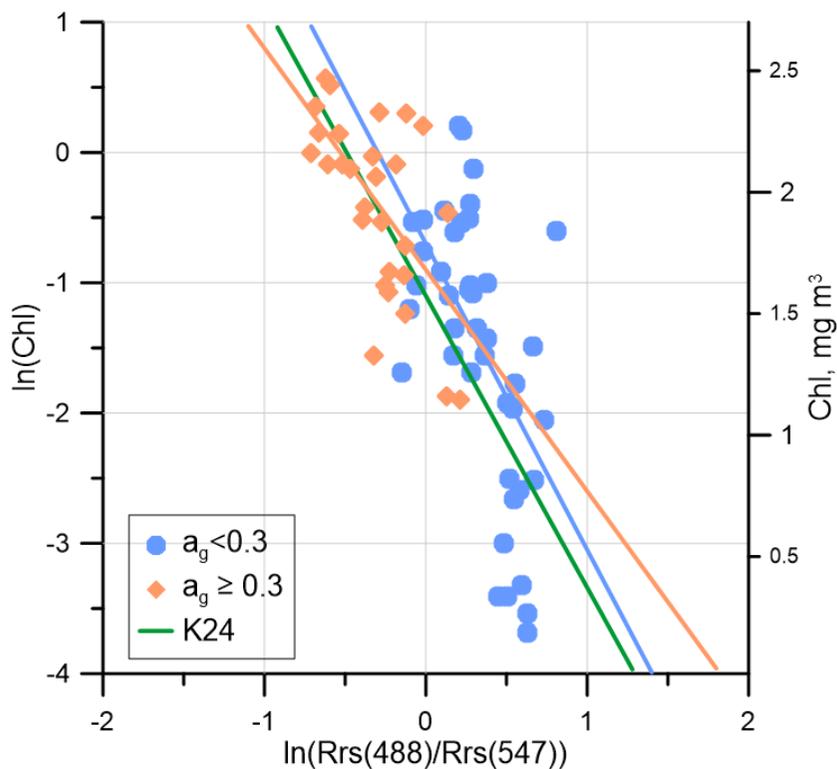


$a_g(443) < 0.3$   
Вне ПОС



$a_g(443) \geq 0.3$   
Внутри ПОС

## Сопоставление величин концентрации хлорофилла, измеренных *in situ*, со значениями индекса цвета, рассчитанных по данным MODIS в Карском море



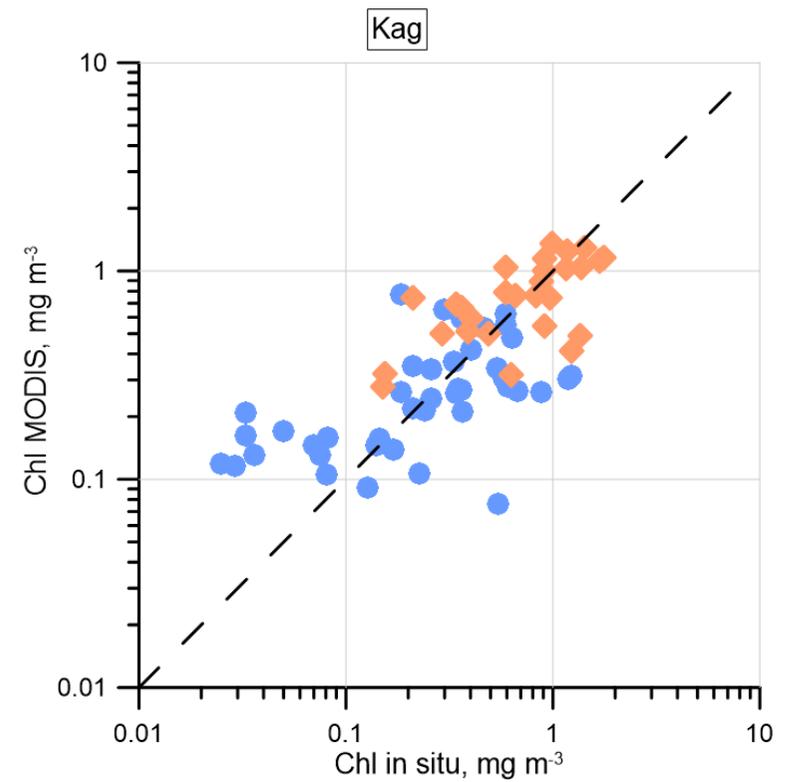
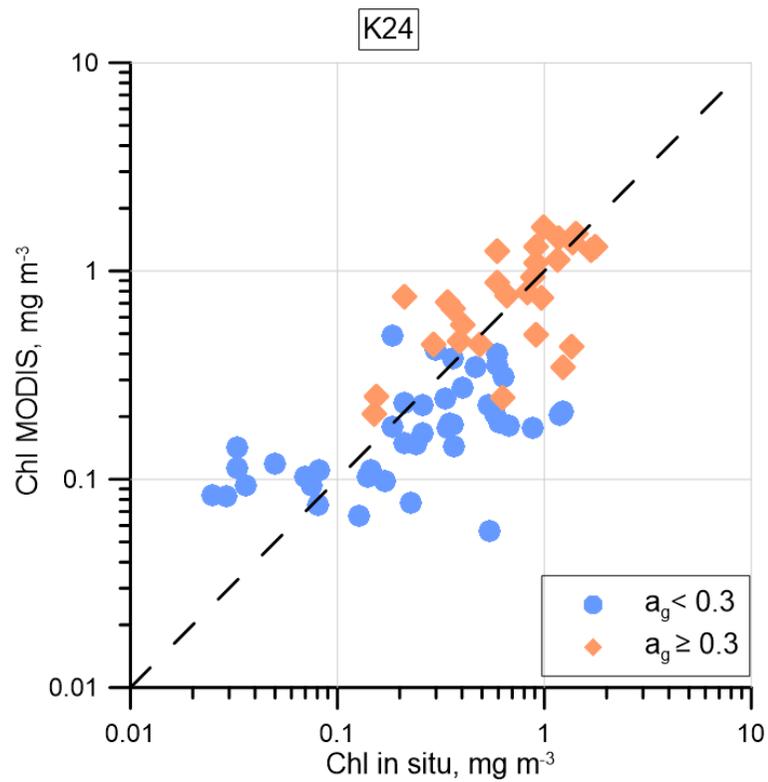
Линиями показаны различные алгоритмы для расчета концентрации хлорофилла

Статистические параметры связи Хл и индекса цвета в Карском море (усредненные для каждой станции)

Массив	Формула	R <sup>2</sup>	N
К24*	$\ln(\text{Chl}) = -2.2 \ln[\text{Rrs}(488)/\text{Rrs}(547)] - 1.1$	0.71*	24*
К <sub>аg</sub> а <sub>g</sub> < 0.3	$\ln(\text{Chl}) = -2.35 \ln[\text{Rrs}(488)/\text{Rrs}(547)] - 0.67$	0.3	43
К <sub>аg</sub> а <sub>g</sub> ≥ 0.3	$\ln(\text{Chl}) = -1.7 \ln[\text{Rrs}(488)/\text{Rrs}(547)] - 0.9$	0.4	28

\*Vazyulya, et al., 2024 Алгоритм К24 был разработан по массиву данных с временным интервалом  $\Delta T \leq 5$  часов

## Соответствие между измеренными и рассчитанными по спутниковым данным величинами Chl



## Параметры соответствия между натурными и спутниковыми оценками Chl для разных алгоритмов обработки спутниковых данных

Массив данных	Формула	$R^2$	RMSE, мг/м <sup>3</sup>	RE, %	<Chl>, мг/м <sup>3</sup>
$a_g < 0.3$ N=43 <Chl in situ> =0.33	Chlor_a	0.3	0.79	420	0.86
	K24	0.3	0.30	70	0.28
	Kag ( $a_g < 0.3$ )	0.3	0.28	90	0.19
$a_g \geq 0.3$ N=28 <Chl in situ> =0.81	Chlor_a	0.4	6.26	730	5.6
	K24	0.4	0.39	48	0.84
	Kag ( $a_g \geq 0.3$ )	0.4	0.36	49	0.79

$R^2$  – коэффициент детерминации;

RMSE – абсолютная ошибка;

RE – относительная ошибка;

<Chl> – средние значения концентрации хлорофилла

## Выводы

- Выполнен анализ связи между величинами *in situ* Хл и индекса цвета по спутниковым данным в зависимости от места проведения измерений (в поверхностном опресненном слое (ПОС) или вне её). Для этого проведено разделение массива данных в зависимости от значения показателя поглощения желтым веществом  $a_g(443)$ : случаю  $a_g > 0,3 \text{ м}^{-1}$  соответствуют воды ПОС, при  $a_g < 0,3 \text{ м}^{-1}$  считается, что влияние речного стока отсутствует.
- Получены формулы для расчета концентрации хлорофилла внутри и вне ПОС. Использование новых формул не приводит к увеличению точности оценки концентрации Хл как внутри ПОС, так и вне его.
- При этом использование регионального алгоритма К24 в области ПОС приводит к меньшим ошибкам, чем расчеты в областях вне этого слоя.
- В дальнейшем для разделения водных масс будет использована соленость

# Спасибо за внимание!

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024-0015.

## Список литературы:

1. *Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М.* Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. 2010. Т.50. № 5. С. 698-708.
2. *Glukhovets D.I., Goldin Y.A.* Surface desalinated layer distribution in the Kara Sea determined by shipboard and satellite data // *Oceanologia*. 2020. V. 62. P. 364-373. DOI:10.1016/j.oceano.2020.04.002
3. *Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Каралли П.Г., Юшманова А.В.* Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998-2017 гг. М.: ИО РАН, 2018.
4. *Vazyulya S.V., Sahling I.V., Glukhovets D.I., Demidov A.B.* Regional algorithms for chlorophyll concentration estimation in the Kara Sea from MODIS ocean color data // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2024. (в печати)
5. Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И. Атлас биооптических характеристик российских морей по данным спутниковых сканеров цвета / Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И. [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://optics.ocean.ru> (дата обращения: 11.11.2024).