

**КРАСНЫЕ** ПРИЛИВЫ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ  
АЗОВСКОГО МОРЯ

С. В. Станичный , Н. В. Василенко, А. В. Медведева,  
А. А. Кубряков

МГИ, Севастополь

ИКИ 2024

Современные спутниковые системы дистанционного зондирования Земли позволяют получать регулярную информацию с пространственным разрешением до 10м на регулярной основе. Многоспектральные данные с учётом особенностей формирования излучения дают возможность восстанавливать ряд параметров экосистемы необходимых для контроля состояния морской среды.

### **Оптические данные высокого разрешения**

- MSI Sentinel-2 (10 m)
- OLI Landsat-8 (30 m)
- ETM+ Landsat-7 (30 m)
- TM Landsat-5 (30 m)

### **Данные среднего разрешения – оптический и ИК-диапазон**

- TIRS Landsat-8 (100 m)
- MODIS Aqua (250 / 500 m)
- MODIS Terra (500 m)
- VIIRS Suomi-NPP (375 m)
- VIIRS NOAA-20 (375 m)

### **Геостационар – SEVIRI**

4-6 км Температура

### **Данные радиолокационного зондирования**

- C-SAR Sentinel-1

**50 лет**

**ОДМИ**

Спектральные характеристики восходящего из морской воды излучения определяются свойствами чистой воды, гидрозолей и растворённых веществ. А именно, спектрами рассеяния и поглощения. И если для растворённого органического вещества и чистой воды зависимости достаточно детерминированы, то для гидрозолей органического происхождения (фитопланктона, в частности, цианобактерий) существенным образом зависят от состава пигментов, которые могут быть различными в различных видах. Бурное развитие фикоэритроцианин (ФЭЦ) содержащих водорослей обычно называют «красным приливом» из-за особенностей спектра поглощения ФЭЦ и наличия полос поглощения в зелёной и красной областях спектра. Воды с большим содержанием водорослей (цианобактерий) с таким пигментом, как правило, выглядят бурыми или красными. Ряд цианобактерий может выделять токсины различной направленности и оказывать негативное влияние на экосистемы. Использование данных дистанционного зондирования позволяет определять зоны развития («цветения») таких цианобактерий по спектральным особенностям восходящего излучения связанными с уменьшением коэффициента яркости в зелёной и красной областях спектра. Объект исследования в данной работе – Таганрогский залив Азовского моря, отличающийся высокими значениями хлорофилла «а» и наличием большого количества жёлтого вещества поглощающего в синей части спектра. Для исследования особенностей распределения проявления ФЭЦ-содержащих цианобактерий в Таганрогском заливе Азовского моря за 2017-2024 годы были использованы данные сканеров MSI L2, TIRS и OLCI L1. Предварительная обработка и анализ проводились с использованием EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>). Для выделения зон развития таких цианобактерий был предложен индекс, основанный на отношении яркости восходящего излучения в диапазонах 705 и 665 нанометров  $I=(R705-R665)/(R705+R665)$ , соответственно (4 и 5 каналы MSI и 8 и 11 для OLCI). Физический принцип выбора основывается на факте, что на длине волны 705 нм отсутствует поглощение фотосинтетическими пигментами. Большие значения индекса соответствовали зонам развития цианобактерий. Показано, что текстуры зон хорошо выделяются с использованием данных как 1, так и 2 уровней обработки.

Красные приливы в Таганрогском заливе наблюдаются ежегодно с середины июня по середину августа при температуре вод от 24о С. Акваторией первого проявления прилива, как правило, является северо-восточная часть Таганрогского залива вне собственно Донского плюма. Далее развитие наблюдается по всей акватории залива, с максимальными значениями в конвергентных зонах при слабых ветрах. Наибольшие области были заняты цианобактериями в 2018 и 2024 годах. Красный прилив формируется цианобактериями с положительной плавучестью сосредоточенными вблизи поверхности или на поверхности моря. Отметим, что поглощение солнечного излучения в зоне плавающих цианобактерий приводит к большему прогреву вод по сравнению с окружающими. Вероятными видами цианобактерий в таких условиях могут быть обнаруживаемые в Азовском море *Anabaena* или *Aphanizomenon flos-aquae*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода». Данные получены в рамках государственного задания FNNN-2024-0012.



**BLACK SEA**

**SEA of AZOV**

**Taganrog bay**

Мелководный залив с  
глубинами до 6м

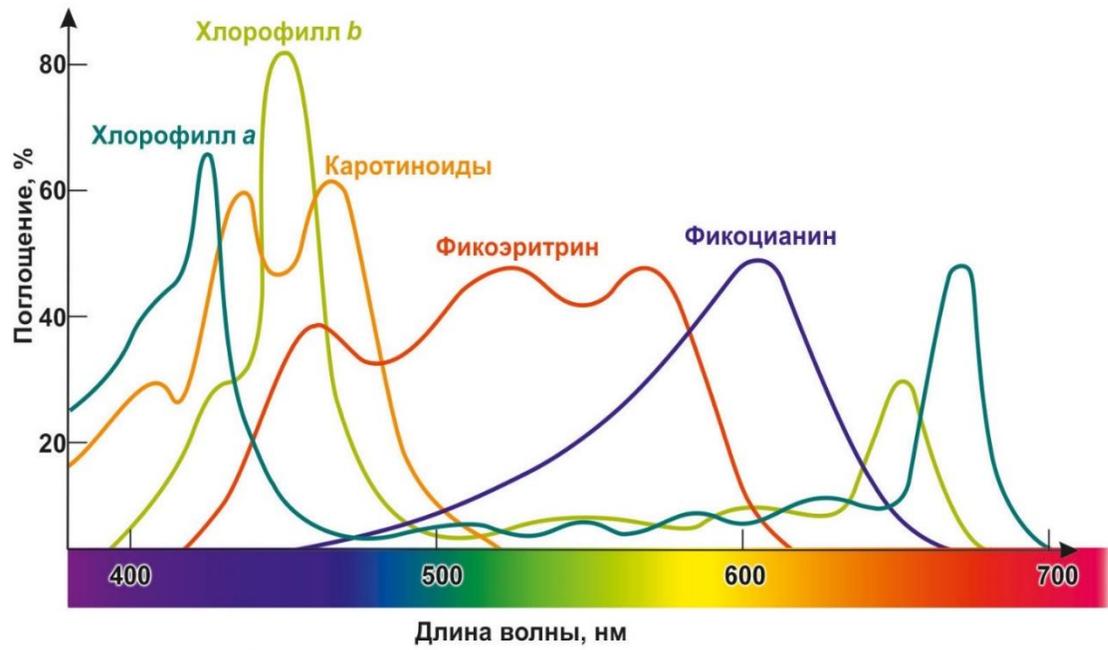
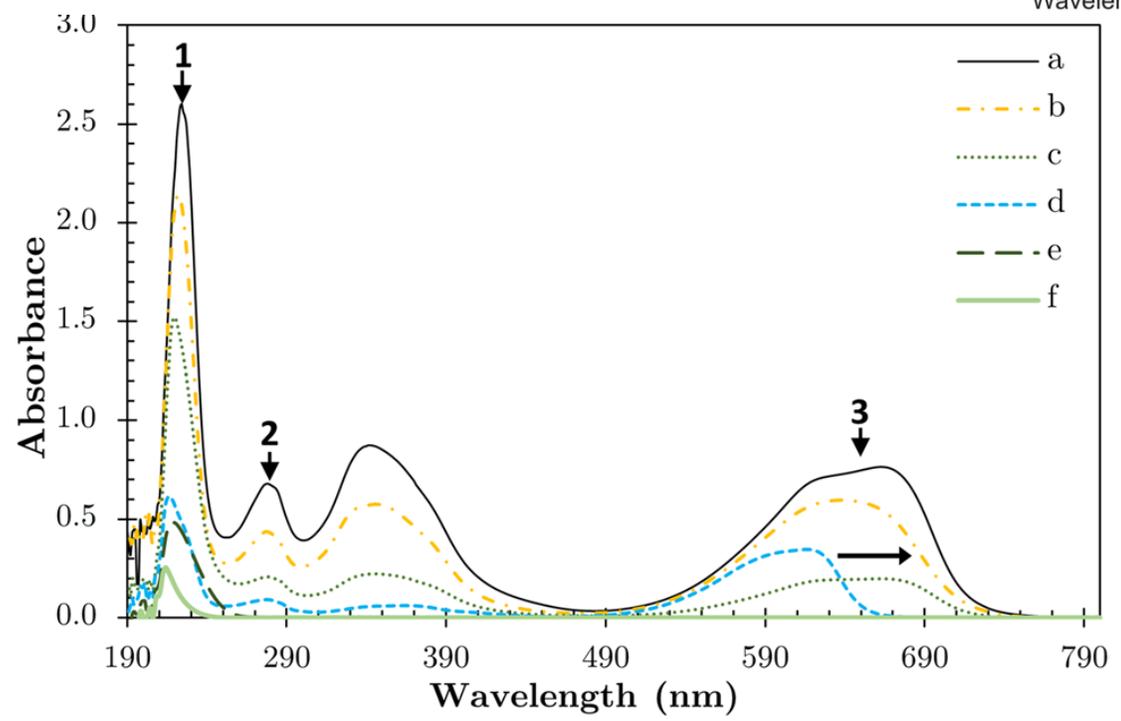
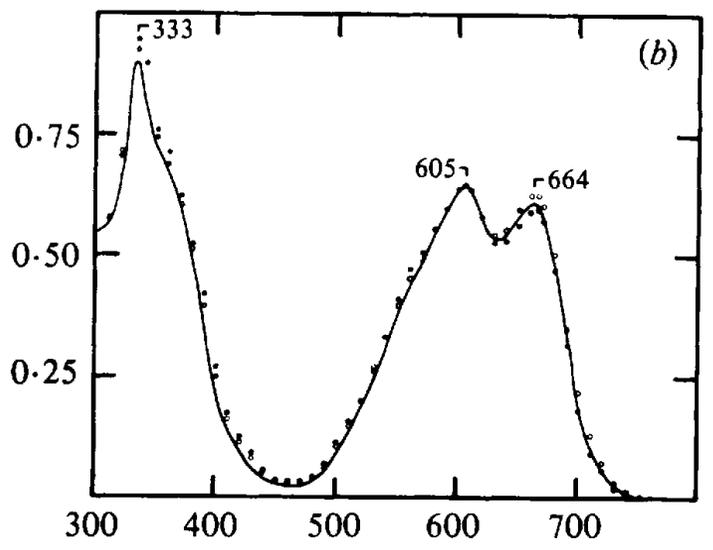
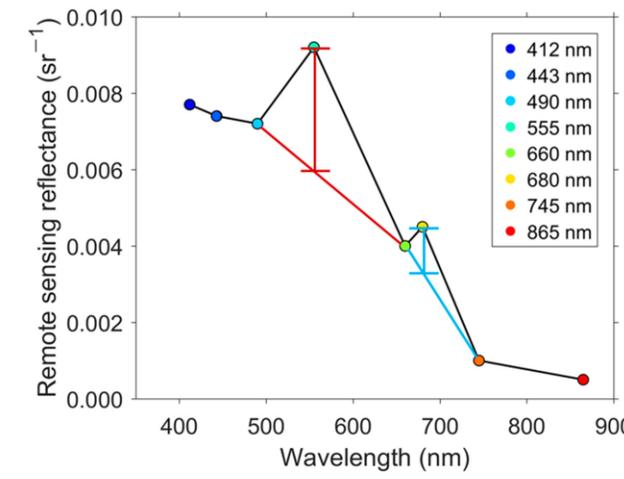
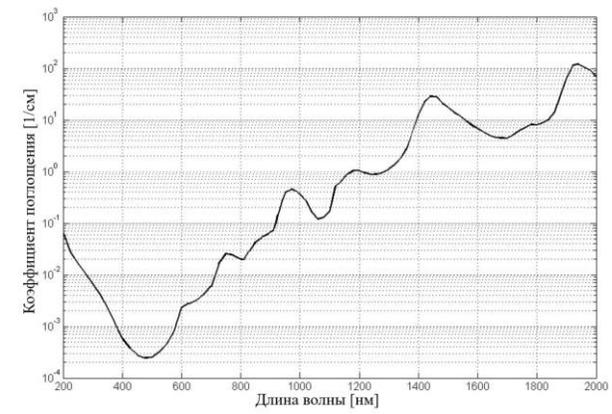


Рис. 22.2. Спектры поглощения фотосинтетических пигментов



Julie Billy, Jeremy Pruvo Development of a spectrophotometric method for quantification of C-phycocyanin in the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* st. *Journal of Applied Phycology* (2023) 35:1715–1726

BRYANT, D. A., GLAZER, A. N. & EISERLING, A. (1976). Characterization and structural properties of the major biliproteins of *Anabaena* sp. *Archives of Microbiology* 110, 6 1-75

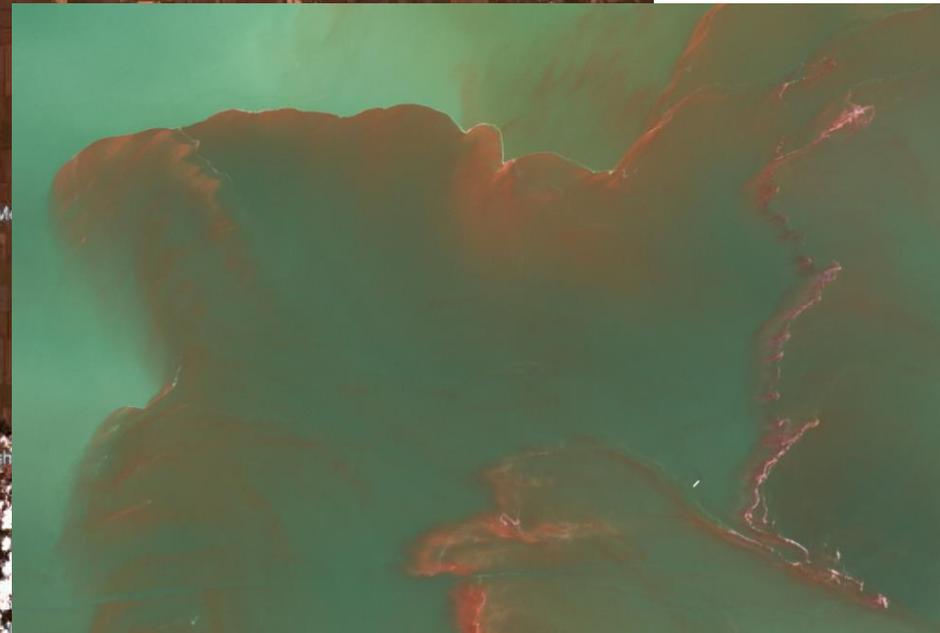


Стандартный RGB  
MSI



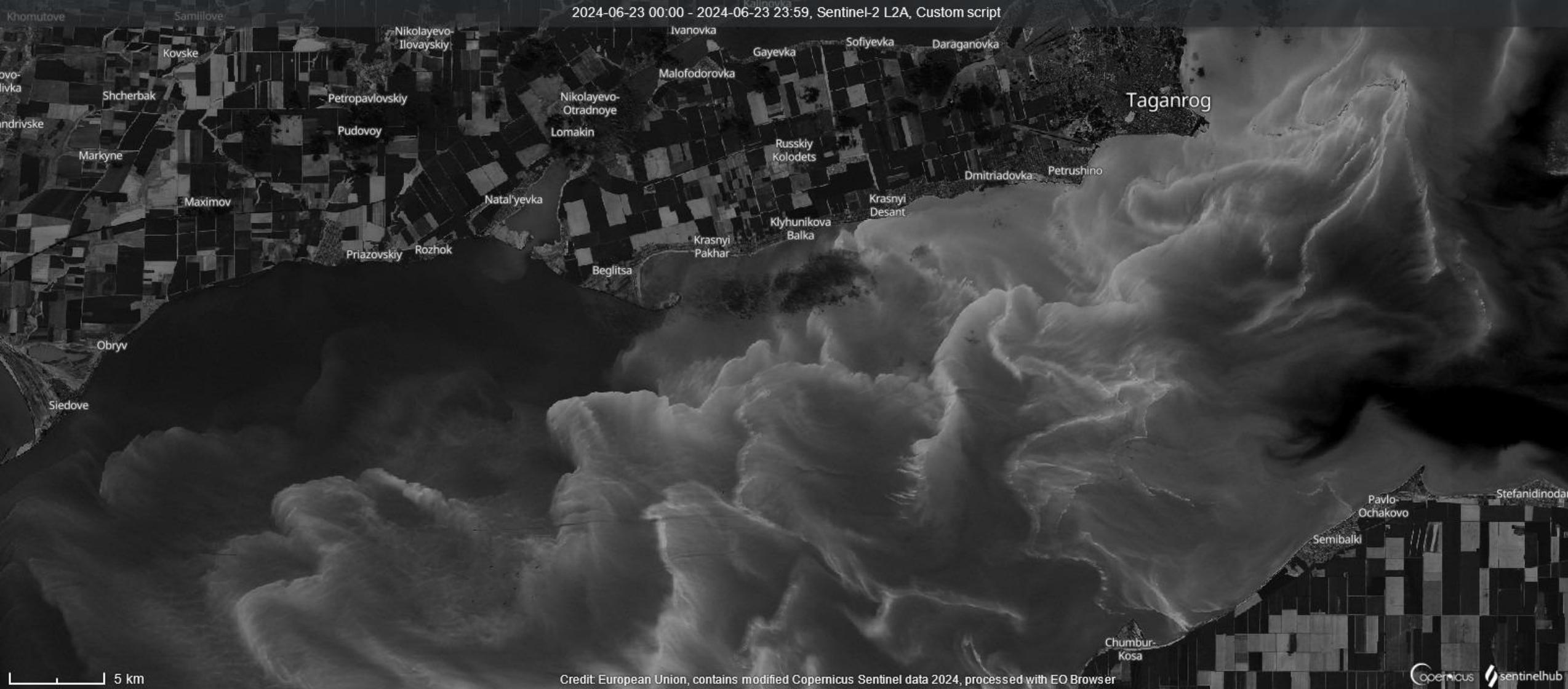
RGB(5,3,2)

Использование канала  
вне спектра поглощения  
пигментов позволяет  
выделить  
фикоэритроцианин  
содержащие  
цианобактерии



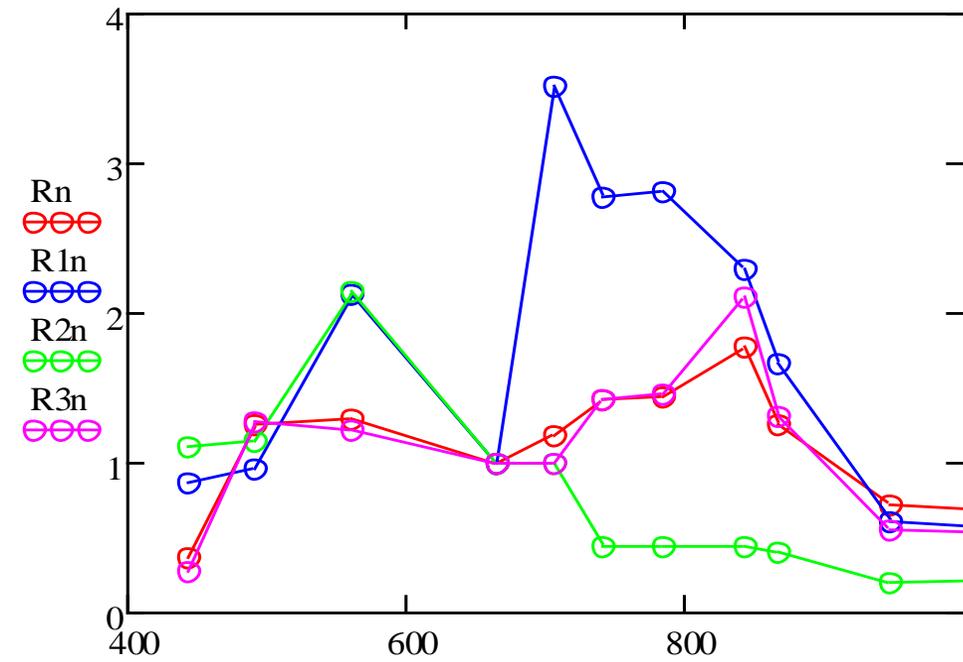
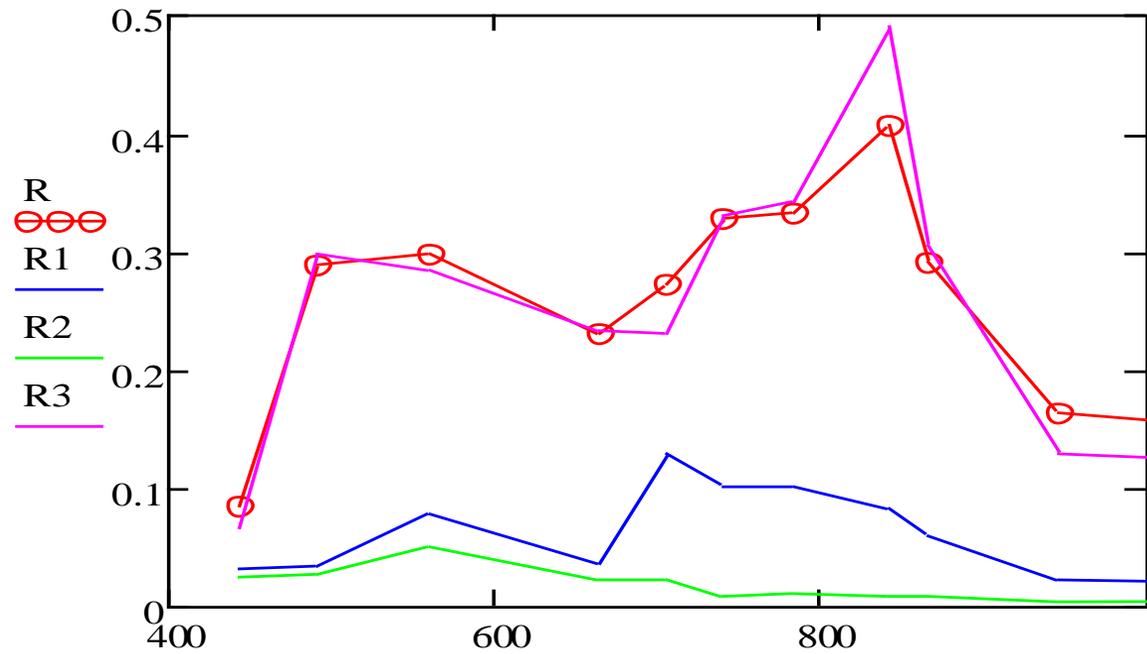


Using three visible channels ( $R_{rs443}$ ,  $R_{rs490}$ ,  $R_{rs555}$ ) of GOCI, Red tide index (RI) was suggested in the East China Sea where the red tide species of *Prorocentrum donghaiense* are abundant [30]. The RI has the following formulation:  $RI = (R_{rs555} - R_{rs443}) / (R_{rs490} - R_{rs443})$



Индекс для выделения фикоэритроцианин содержащих водорослей  $I = (R705 - R665) / (R705 + R665)$ .

## Спектры в выбранных точках MSI

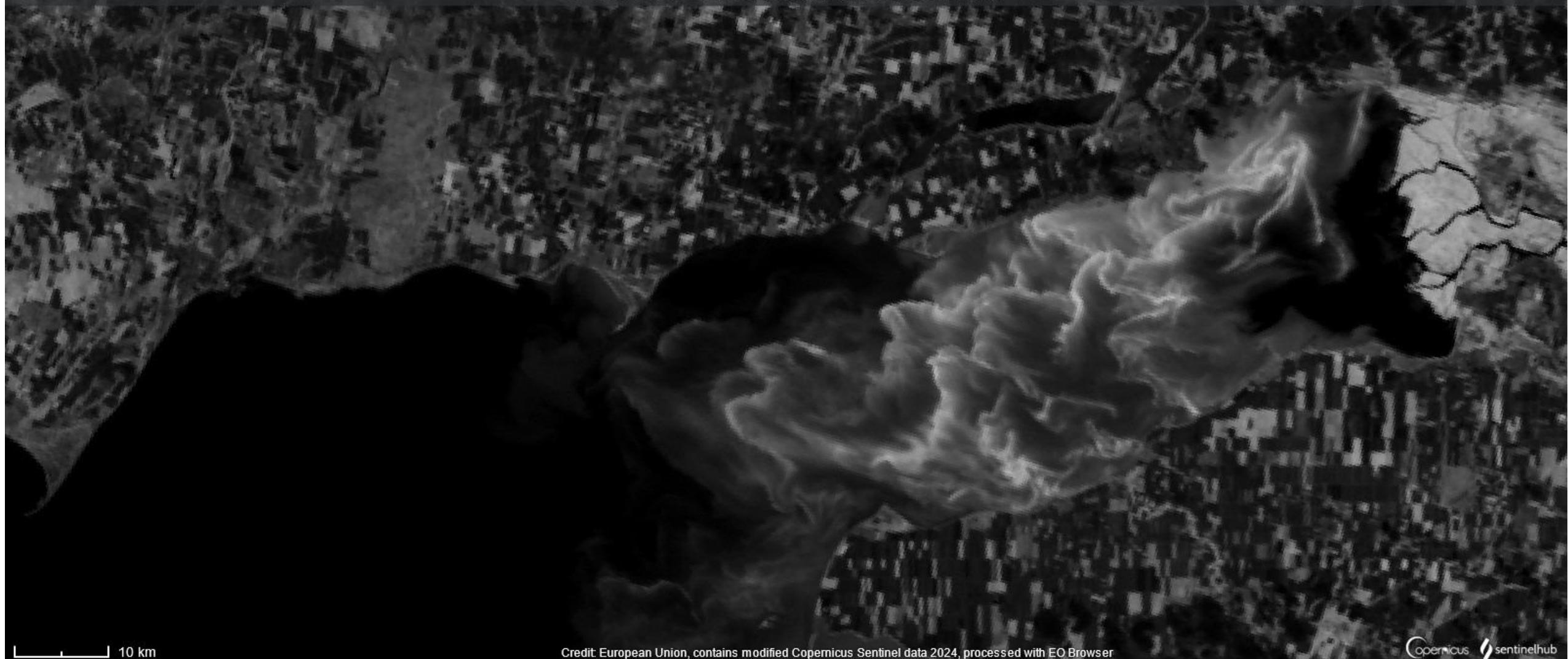


Красная линия – плавающий фитопланктон, фиолетовая зона содержащих только фикоцианин цианобактерий, синяя взвешенный и зеленая вне зоны цветения. Правый график – нормированные на R4 спектры.

Для цианобактерий содержащих одновременно фикоцианин и фикоэритрин зоны цветения скорее правильно называть не «красными», а «бурыми».



Индекс для данных Level1 OLCI также хорошо выделяет зоны цветения



10 km

Credit: European Union, contains modified Copernicus Sentinel data 2024, processed with EO Browser

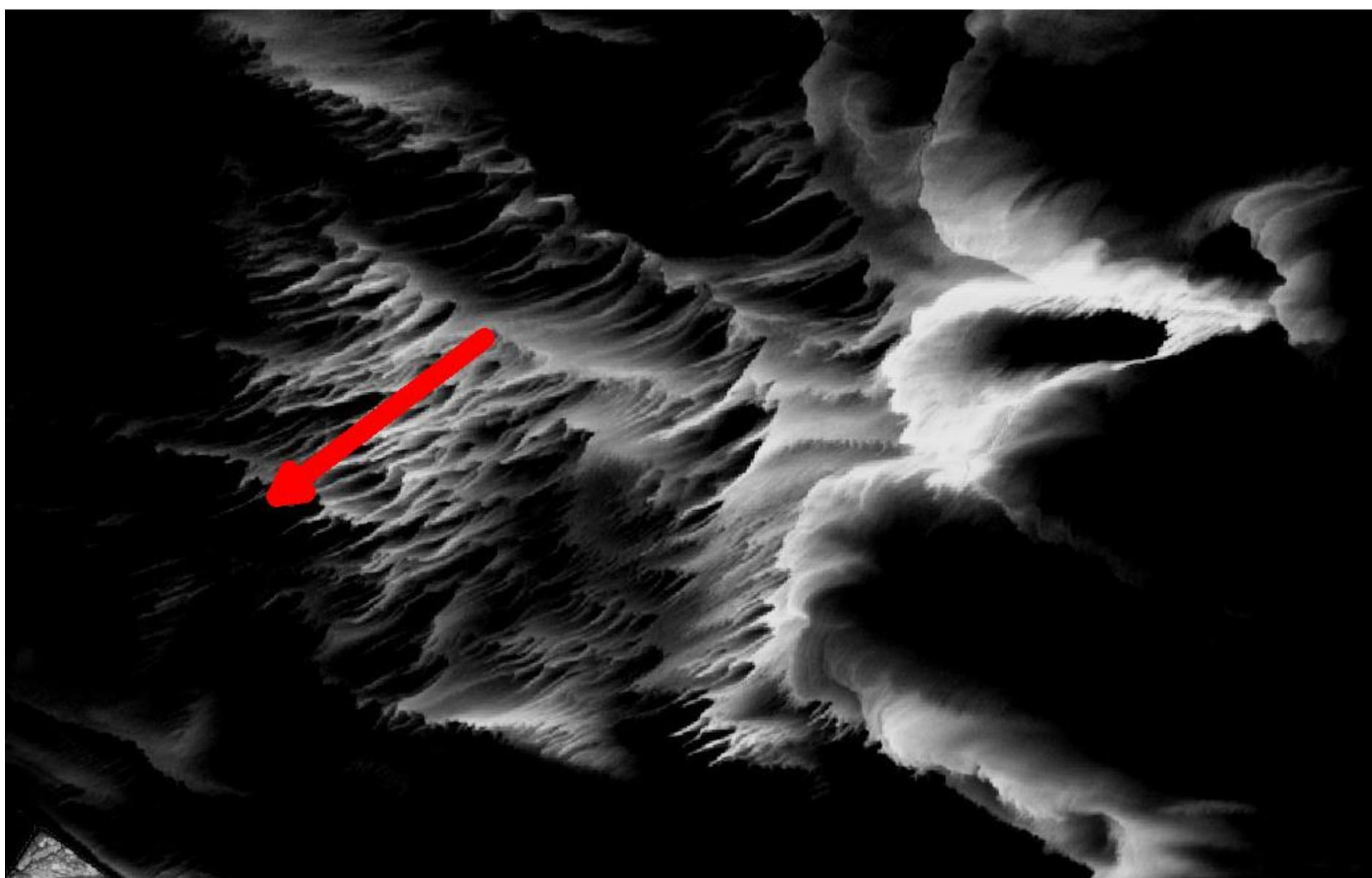


Индекс для данных Level1 OLCI

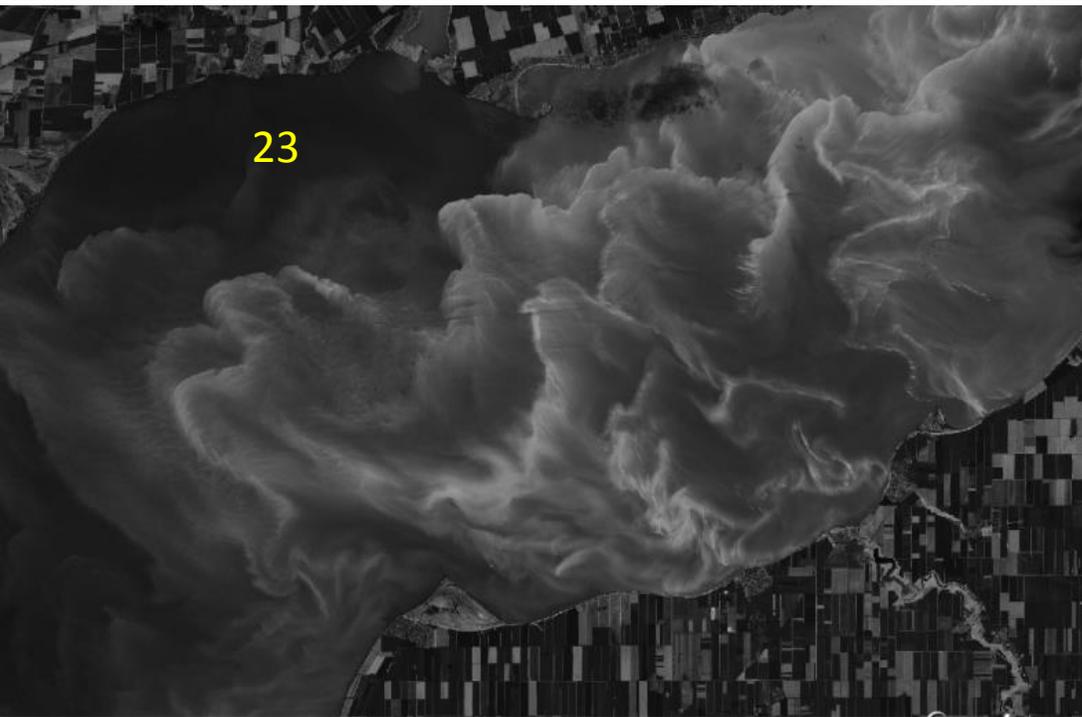
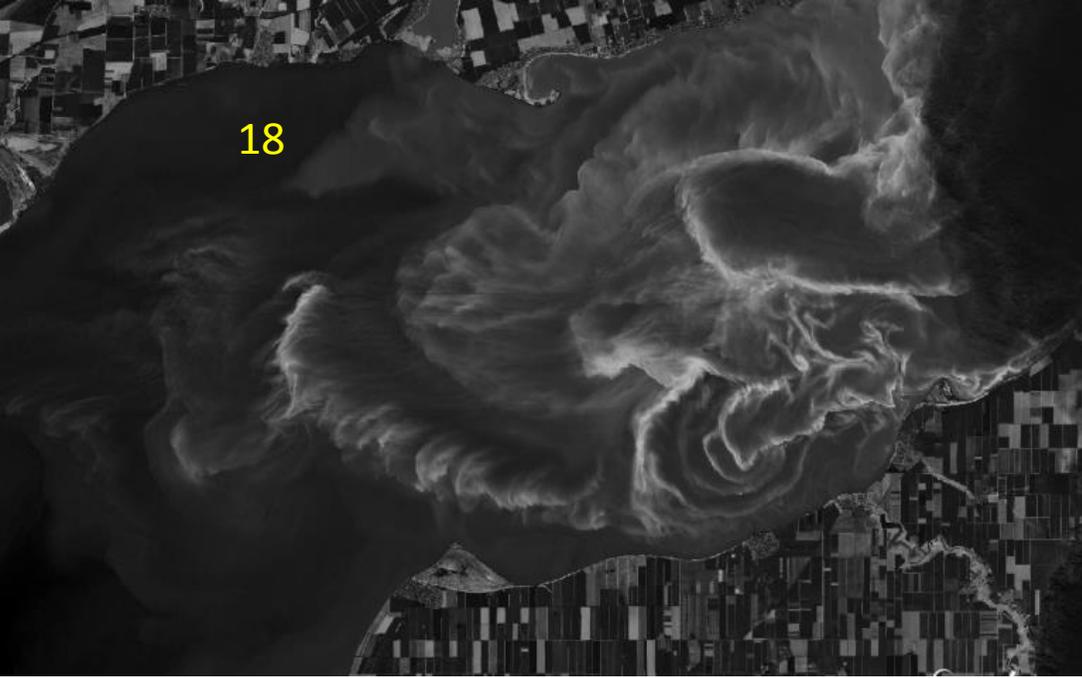


Credit: European Union, contains modified Copernicus Sentinel data 2024, processed with EO Browser

Водоросли имеют положительную плавучесть и сосредоточены в приповерхностном слое или на поверхности



Фрагмент снимка с  
плавающими ЦБ,  
красная стрелка –  
направление ветра

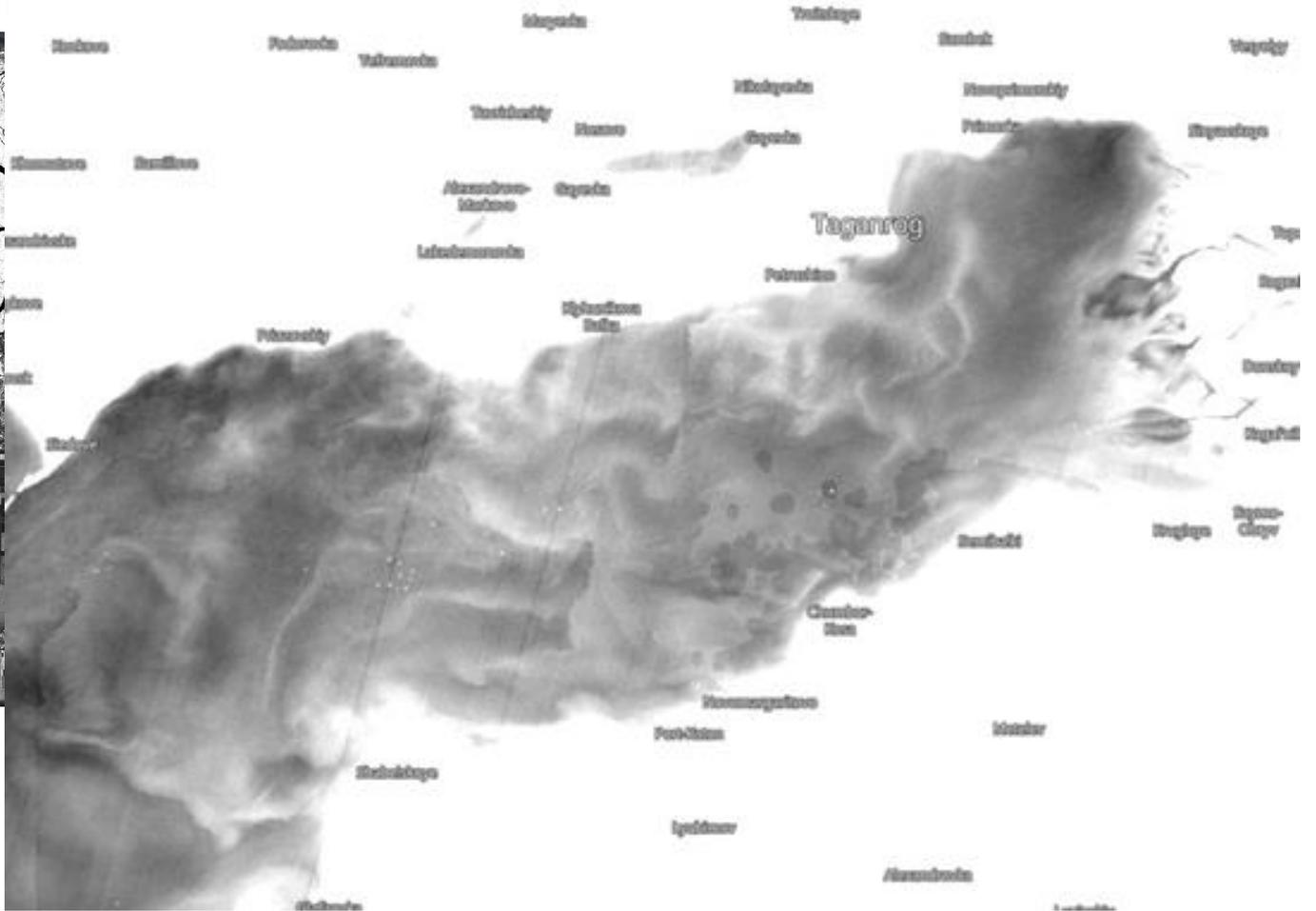


Снимки части Таганрогского залива за 18, 21 и 23 июня. Карты скорости ветра. При усилении ветра плавающие структуры разрушаются и не видны на снимках



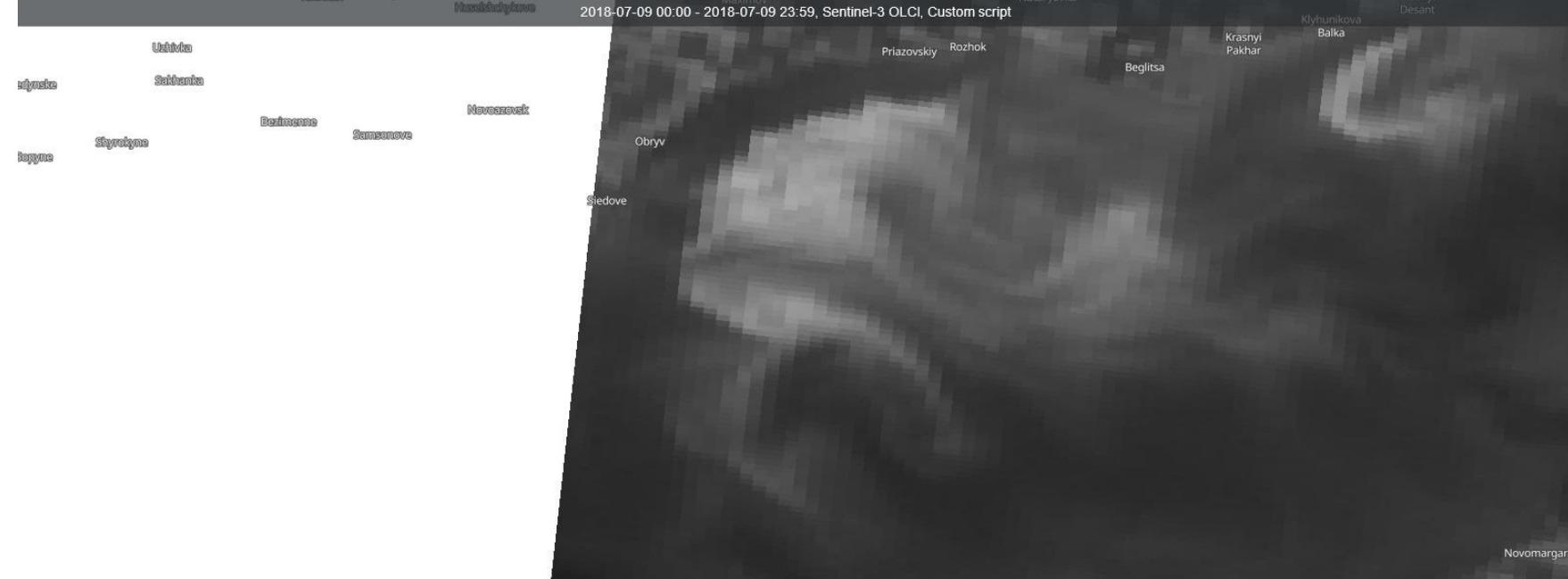


MSI Sentinel 2



TIRS Landsat 8

Зоны скопления цианобактерий прогреваются интенсивнее и видны в тепловых изображениях.



Индекс OLCI



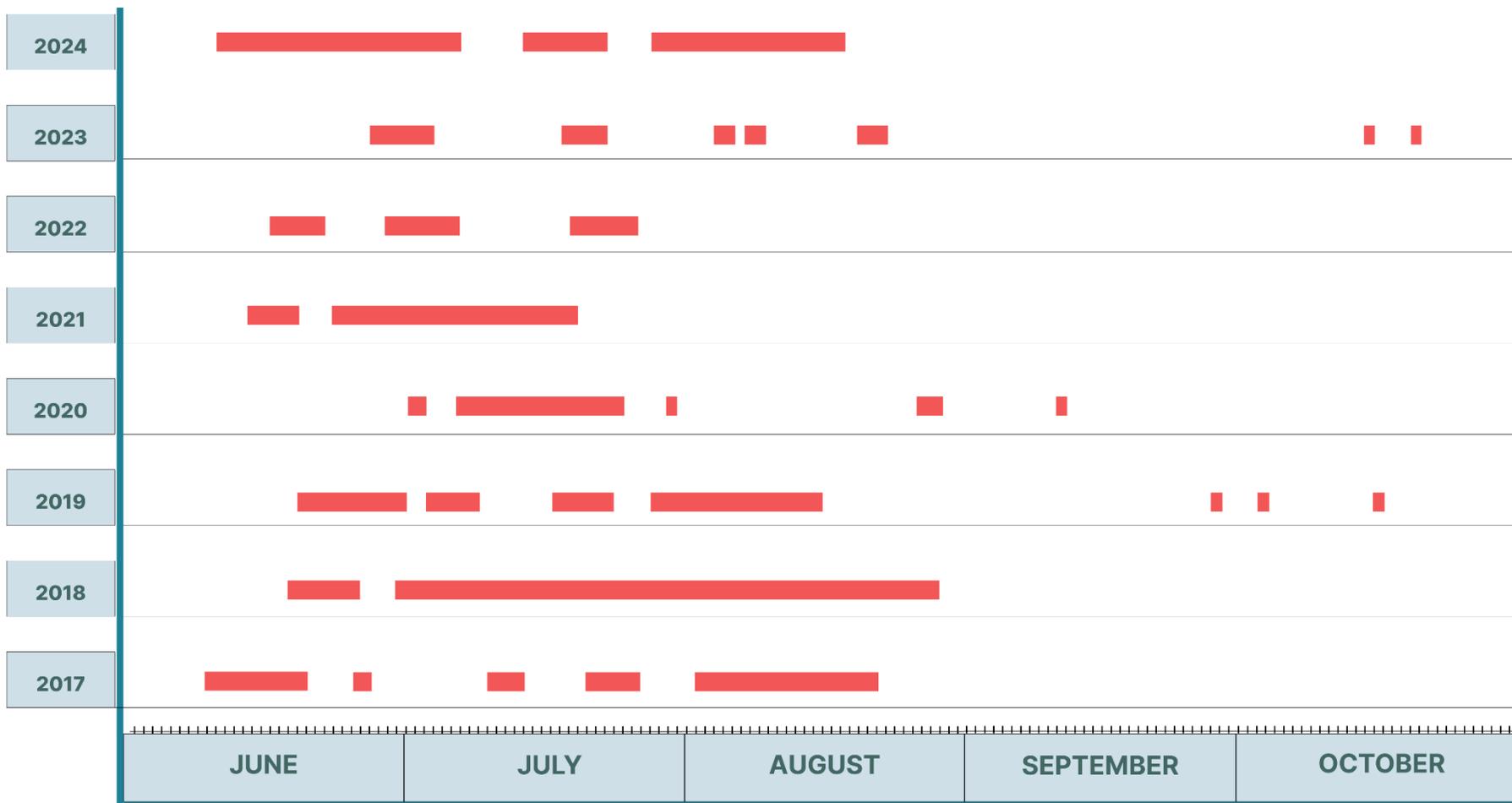
Температура TIRS Landsat



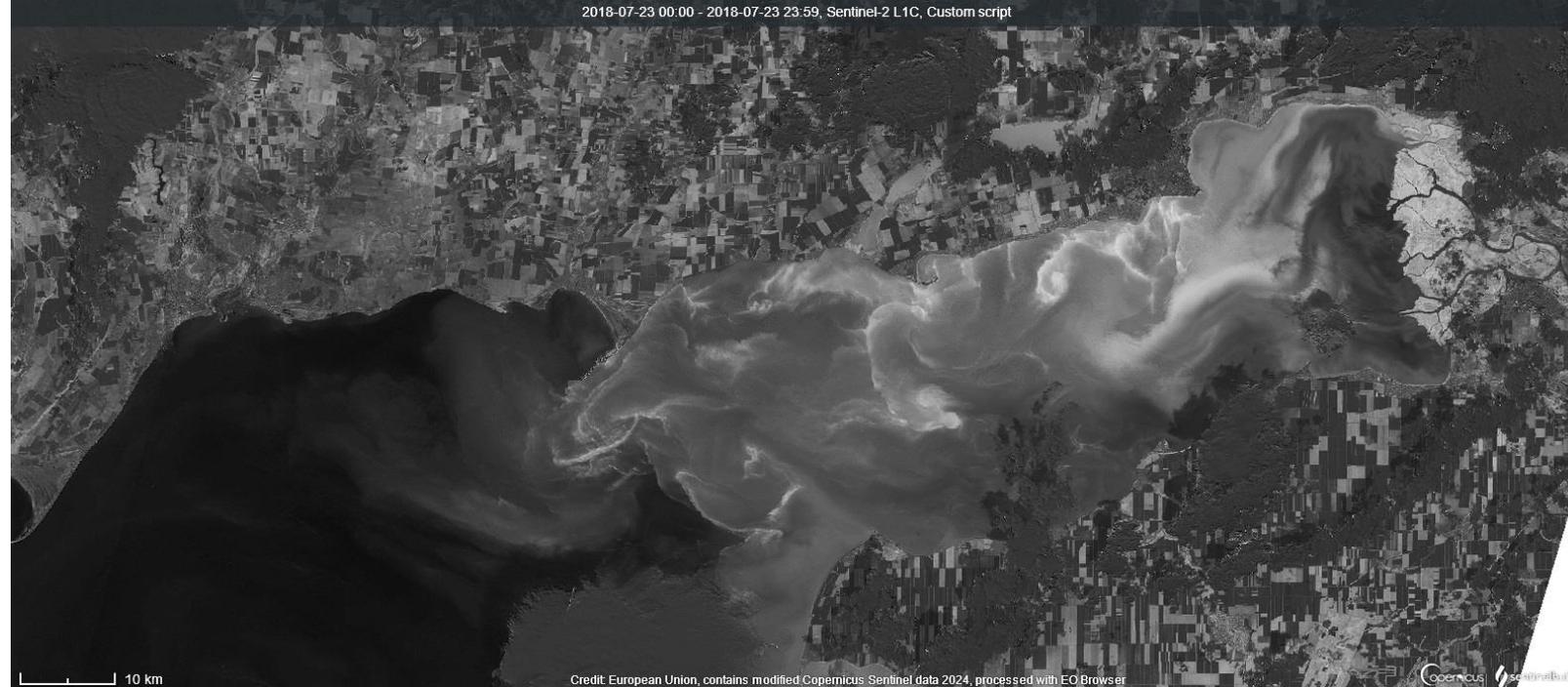
SAR\_C 15-23UTC и MSI 8-37 UTC  
данные за 18.07.24  
Плавающие цианобактерии уменьшают  
Шероховатость поверхности и могут  
проявляться на данных SAR-C



# OLCI –межгодовая изменчивость проявления фикоэритрин содержащих цианобактерий



2018-07-23 00:00 - 2018-07-23 23:59, Sentinel-2 L1C, Custom script



Credit: European Union, contains modified Copernicus Sentinel data 2024, processed with EO Browser  
2024-06-23 00:00 - 2024-06-23 23:59, Sentinel-2 L1C, Custom script



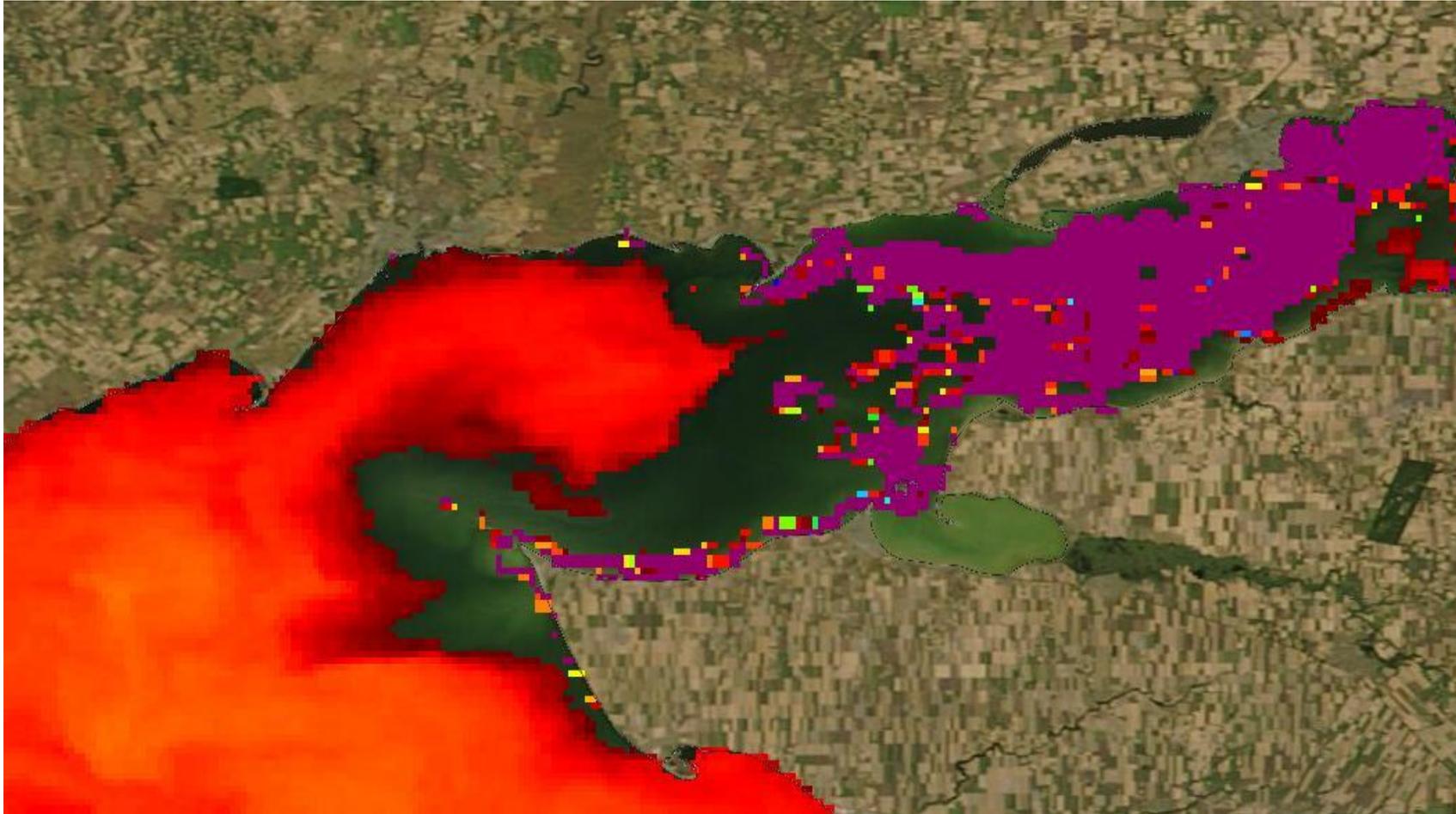
Максимальные площади проявления  
Зарегистрированы в 2018 и 2024 годах



Credit: European Union, contains modified Copernicus Sentinel data 2024, processed with EO Browser



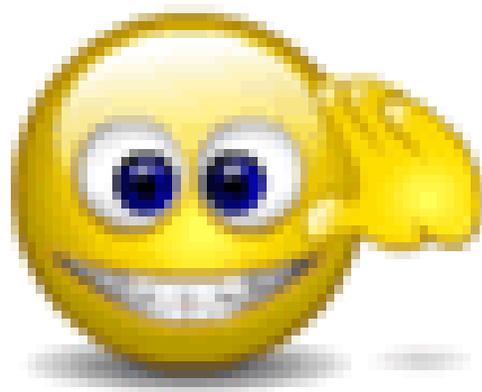
Спектральные особенности восходящего излучения в зонах развития цианобактерий приводят к существенным ошибкам в стандартных алгоритмах (типа ОСЗ) восстановления  $\text{Хл}_a$  использующими сине-зеленые индексы. Пример стандартного восстановления концентрации хлорофилла  $_a$  для OLCI показывает нереально низкие значения в зоне «цветения».



**Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода».**

# СПАСИБО

SSTANICHNY@MAIL.RU



**Мы рады сотрудничать с ВАМИ**

