

Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

# Применение гиперспектральных спутниковых данных для определения присутствия сине-зеленых водорослей в Черном и Азовском морях

Морозов Е. А\*, Алескерова А. А., Кубряков А. А.

МГИ РАН

18 ноября 2020

# Некоторые гиперспектральные спутниковые датчики

- HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) - МКС, 2009-2014
- ГСА (ГиперСпектральный Аппарат) - Ресурс, 2013 -
- OCI (Ocean Color Instrument) - PACE, 2022

# План презентации

часть 1

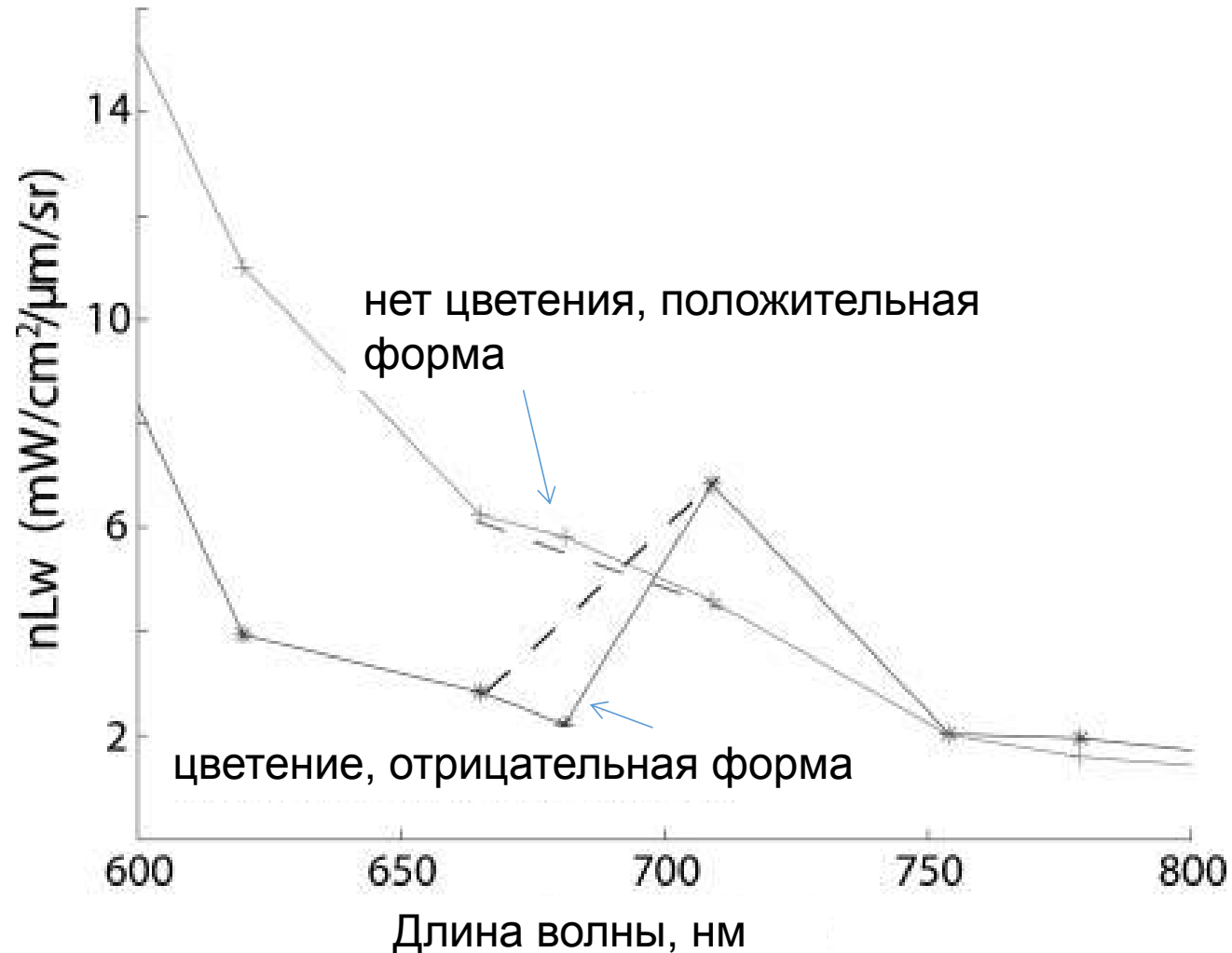
3 алгоритма, НІСО (датчик для цвета вод, атмосферная коррекция)

часть 2

2 алгоритма, ГСА (датчик для земли, без атмосферной коррекции)

# CI - Cyanobacteria Index (680 nm) Индекс цианобактерий

Wynne и др., 2005, 2008

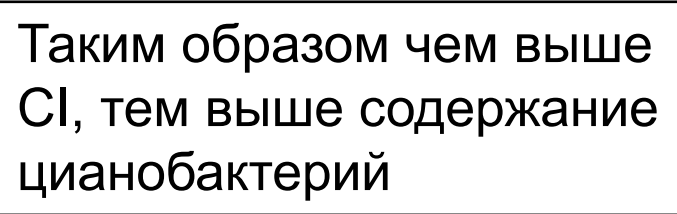


# CI - Cyanobacteria Index (680 нм) Индекс цианобактерий

$$S(679) = R(679) - R(662) - \{R(708) - R(662)\} * \frac{(679 - 662)}{(708 - 662)}$$

R - Коэффициент отражения для дистанционного зондирования или  
Восходящая из воды яркость излучения

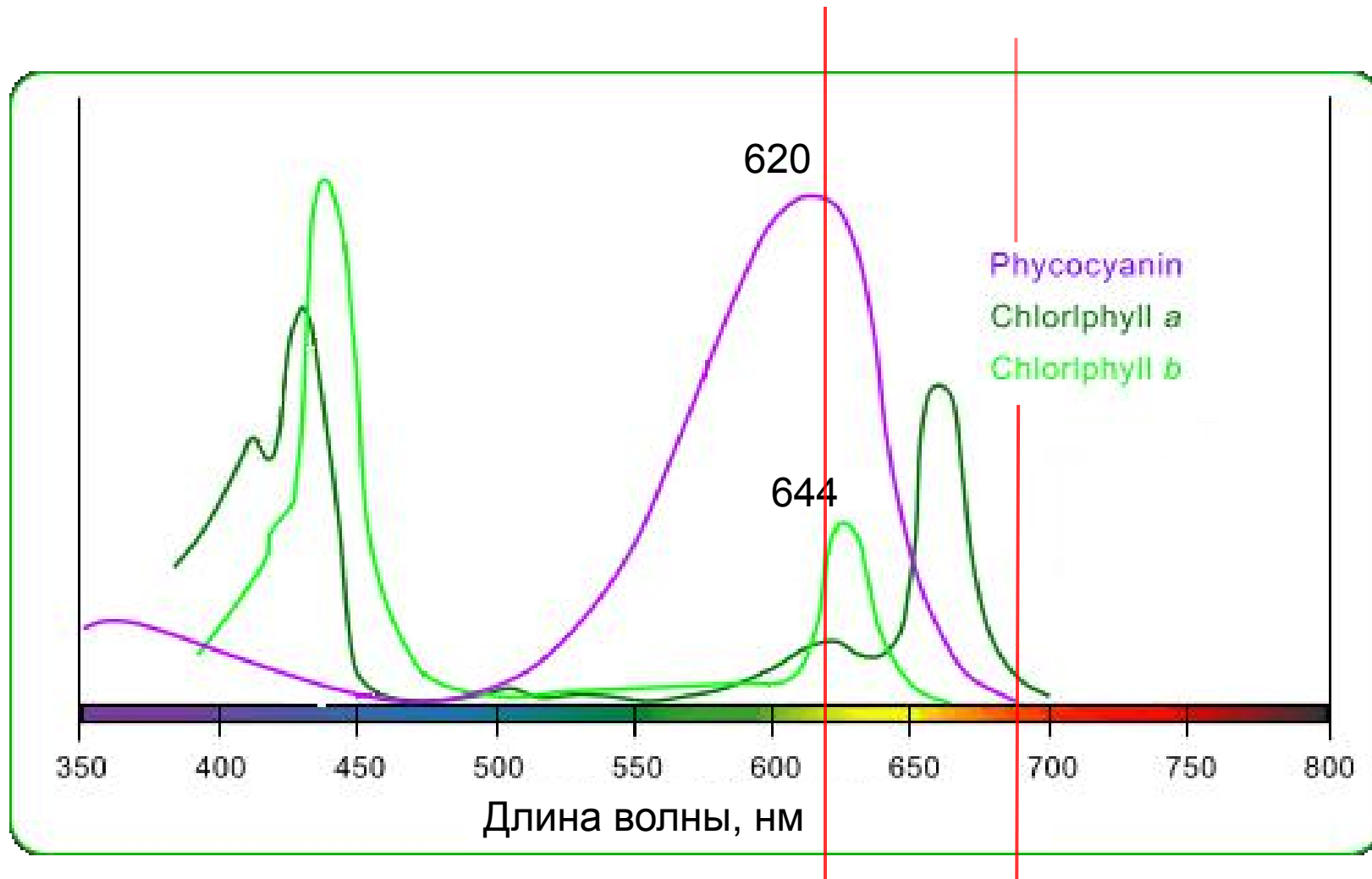
$$CI = -1 * S$$



Таким образом чем выше  
CI, тем выше содержание  
цианобактерий

# Фикоцианин

поглощение,  
относительные  
единицы



# Pchl - Phycocyanin Index (620 nm)

## Индекс фикоцианина

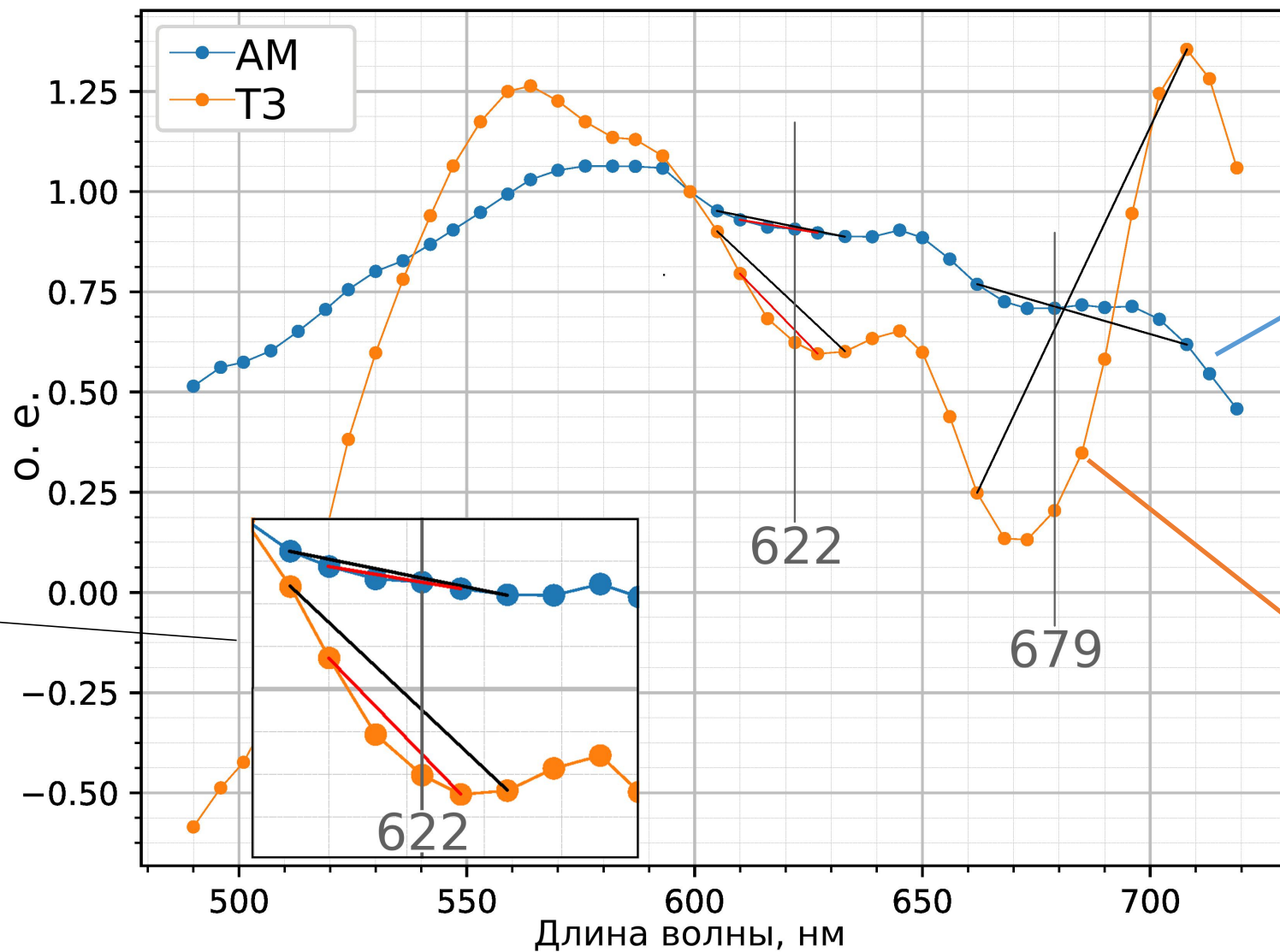
$$S(622) = R(622) - R(610) - \{R(633) - R(610)\} * \frac{(616 - 610)}{(633 - 610)}$$

610 nm  
622 nm  
633 nm

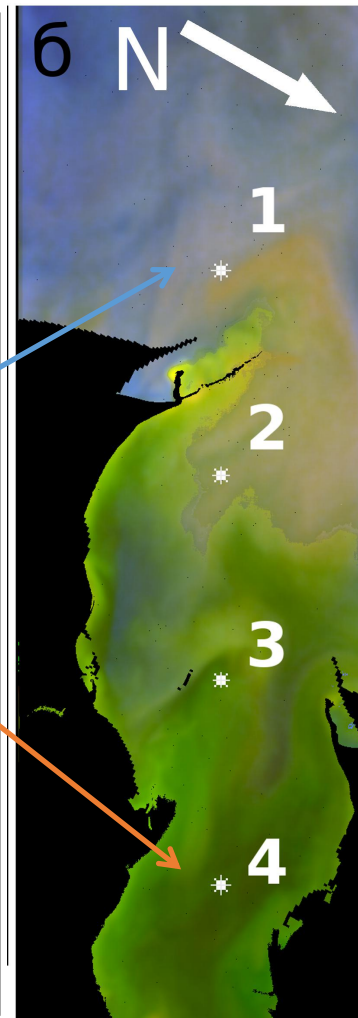
$$Pchl = -1 * S$$

Идентификация фикоцианина способом аналогичным Wynne et al., 2005, 2008

# СИ и РСІ для данных НІСО



$r=0,76$  Черном море  
 $r=0,87$  в Таганрогском заливе





# Полуэмпирический алгоритм

$$a_{\text{chl}}(665) = \left( \left\{ \left[ \frac{R(709)}{R(665)} \right] [a_w(709) + b_b] \right\} - b_b - a_w(665) \right) \gamma^{-1}$$

$$a_{\text{PC}}(620) = \left( \left\{ \left[ \frac{R(709)}{R(620)} \right] [a_w(709) + b_b] \right\} - b_b - a_w(620) \right) \delta^{-1} - [(\varepsilon) a_{\text{chl}}(665)]$$

$a_{\text{chl}}(665)$  = поглощение хлорофилла-а на 665 нм

$a_{\text{PC}}(620)$  = поглощение фикоцианина на 620 нм

$R(\lambda)$  = коэффициент отражения на длине волны

$a_w(\lambda)$  = поглощение чистой водой (Buiteveld et al., 1994)

$$a_w(709) = 0,727 \text{ m}^{-1}$$

$$a_w(665) = 0,401 \text{ m}^{-1}$$

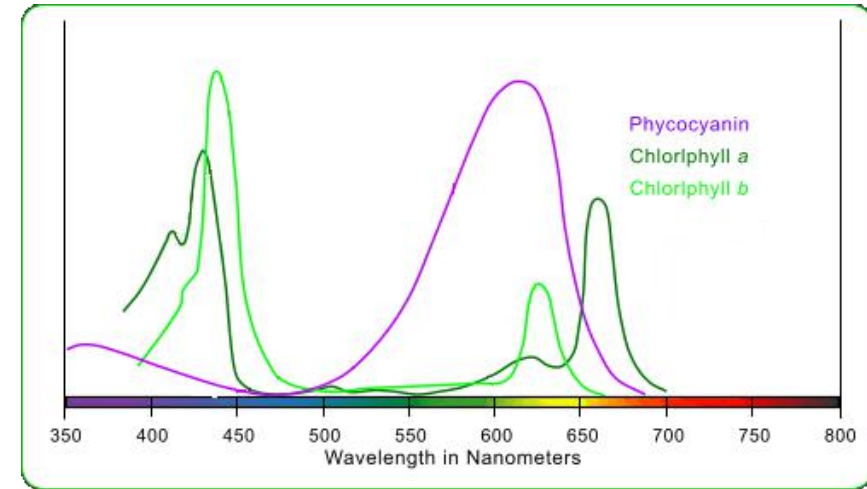
$$a_w(620) = 0,281 \text{ m}^{-1}$$

$$a_w(778) = 2,71 \text{ m}^{-1}$$

$$b_b = [a_w(778) \alpha R(778)] [\gamma' - \alpha R(778)]^{-1}$$

$\alpha = 0.60$ , рефракция поверхностью воды

$\gamma' = 0.082$ ,  $\gamma = 0.68$ ,  $\delta = 0.84$ ,  $\varepsilon = 0.24$  - эмпирические коэффициенты



Kaylan Randolph et al 2008 / Simis et al., 2005

# Полуэмпирический алгоритм

$$[PC] = \frac{a_{PC}(620)}{a_{PC}^*(620)}$$

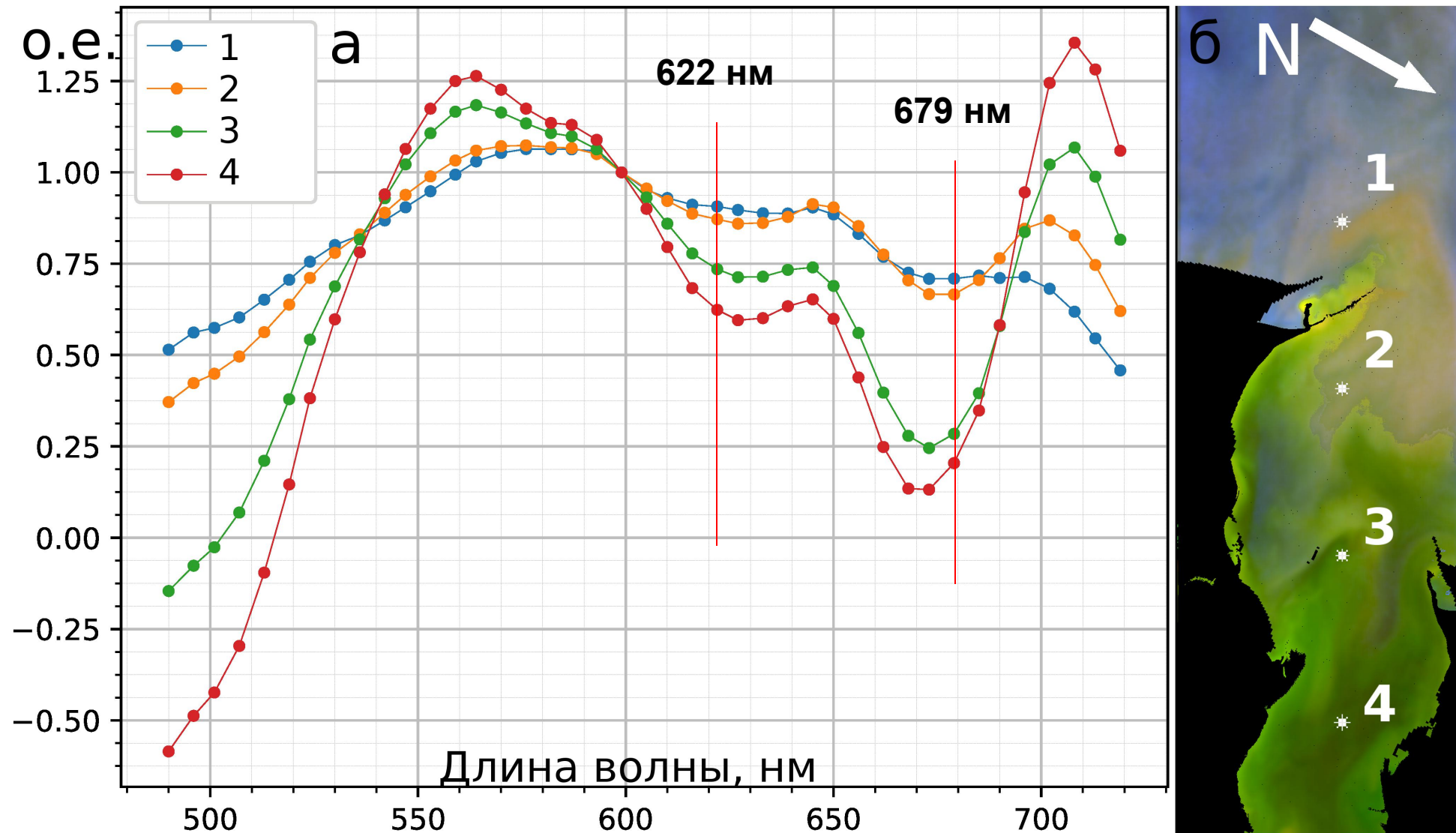
$a_{PC}(620)$  коэффициент поглощения фикоцианина на 620 нм

$a_{PC}^*(620)$  0.0070 m<sup>2</sup> mg PC<sup>-1</sup> , средний удельный коэффициент поглощения фикоцианина на 620 нм для различных озер и водохранилищ в Испании и Голландии(из Simis et al., 2006)

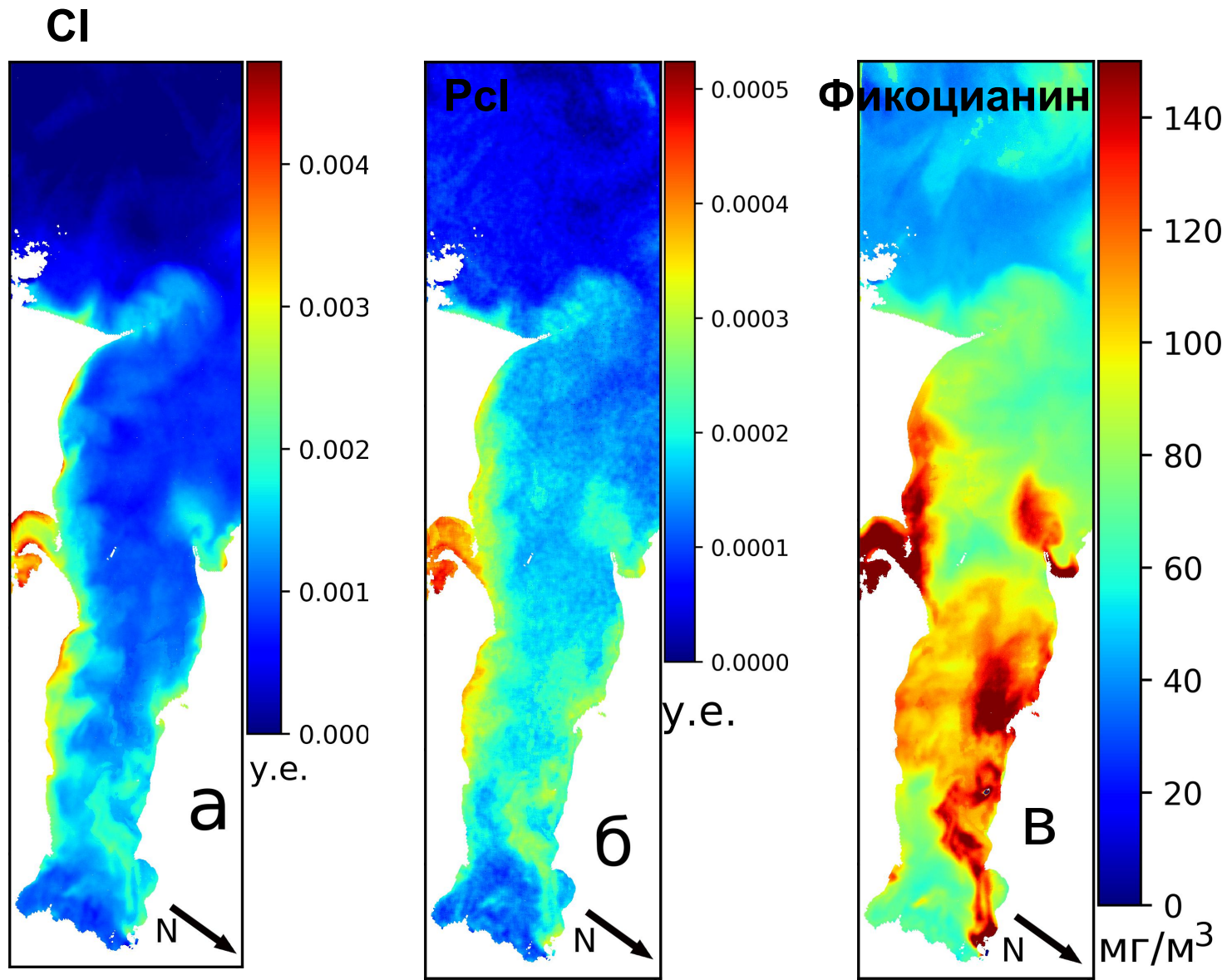
# Изображения НИСО



# Градиент в Таганрогском заливе



# Сравнение пространственных распределений

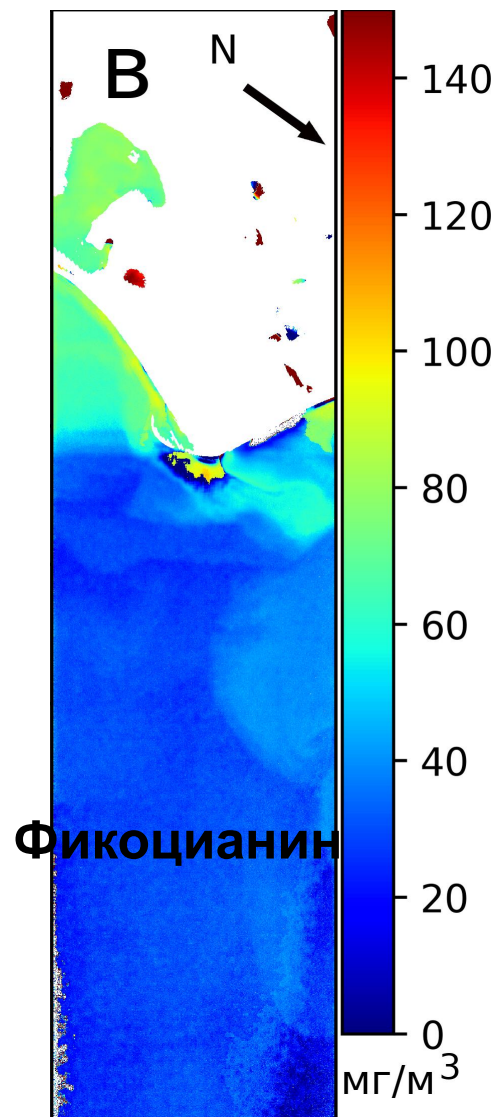
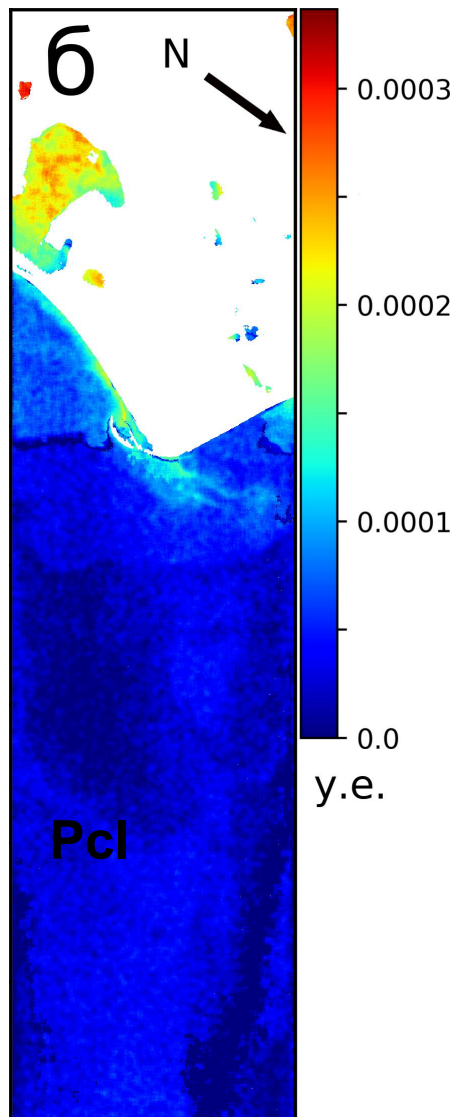
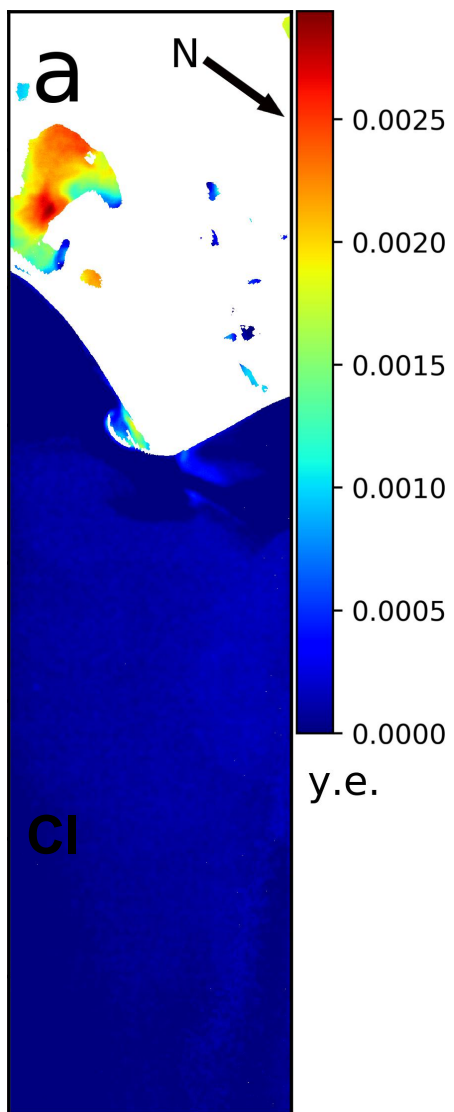


Таганрогский залив.  
27 июня 2013 г.

	Pchl	Концентрация Фикоцианина
CI	0.937	0.798
Pchl		0.890

# Сравнение пространственных распределений

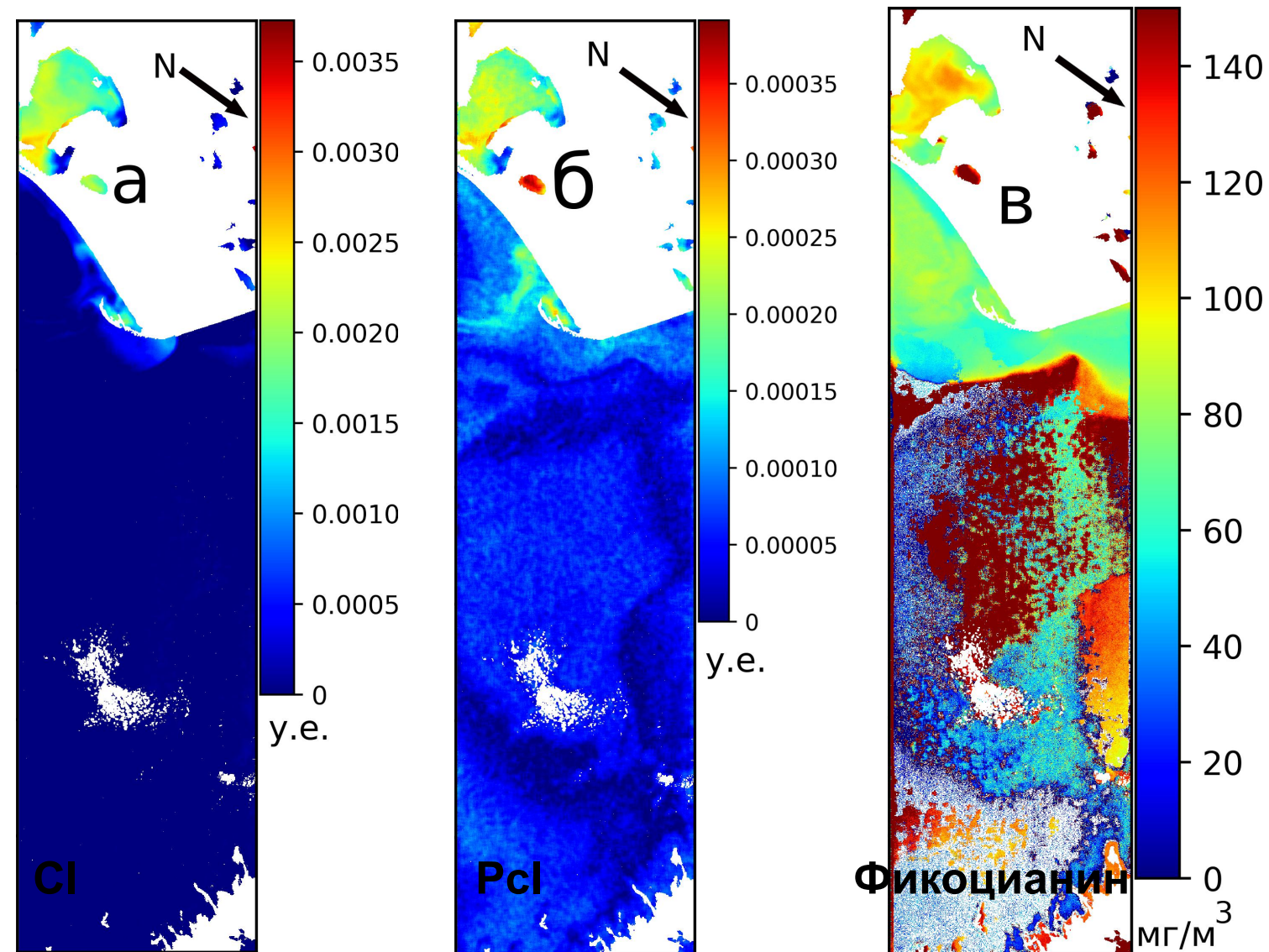
Северо-запад Черного моря  
10 июля 2014 г.



	Pchl	Концентрация Фикоцианина
CI	0.707	0.465
Pchl		0.669

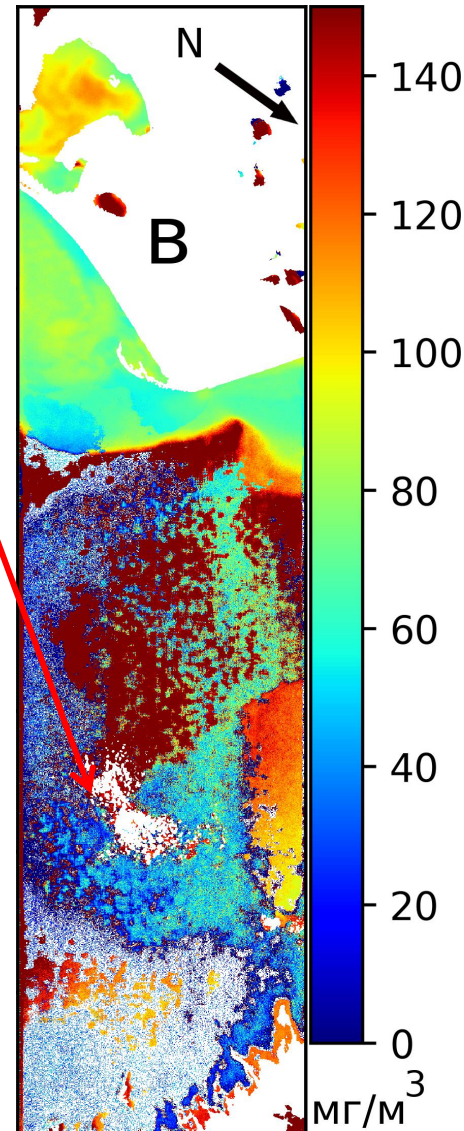
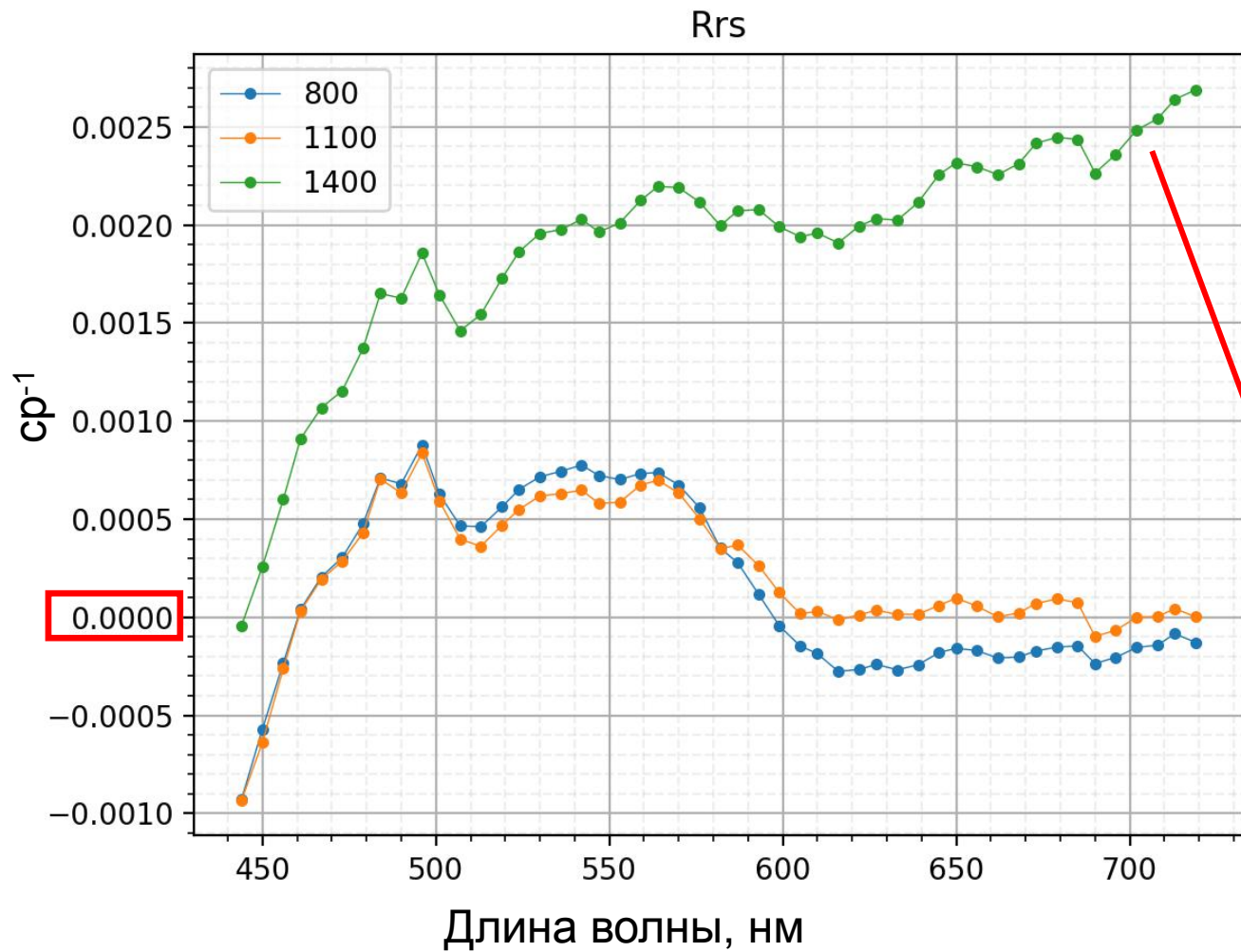
# Сравнение пространственных распределений

Северо-запад Черного моря  
9 сентября 2014.



	Pc1	Концентрация Фикоцианина
CI	0.808	-0.036
Pc1		0.072

# Ошибки атмосферной коррекции



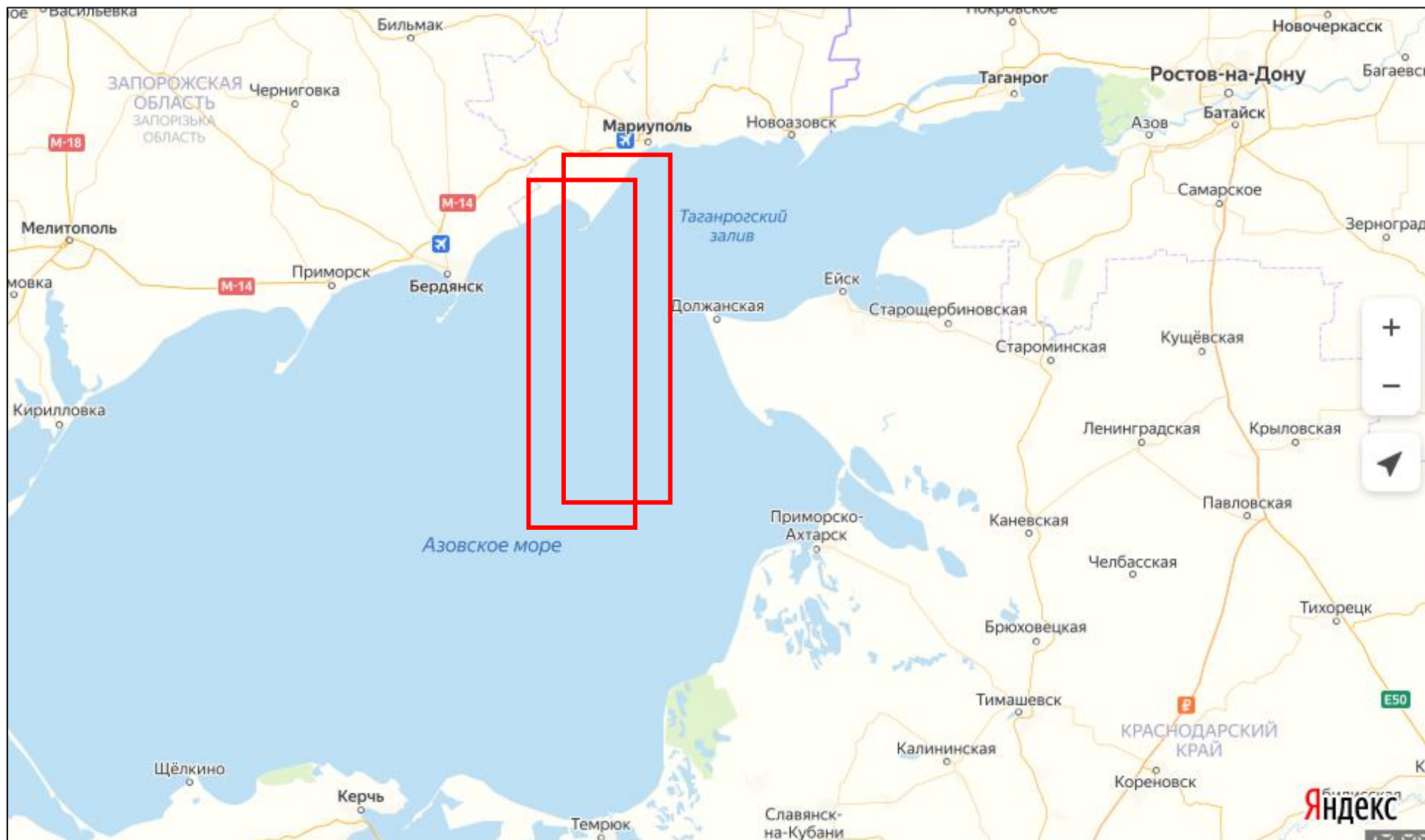
Северо-запад Черного моря  
9 сентября 2014.



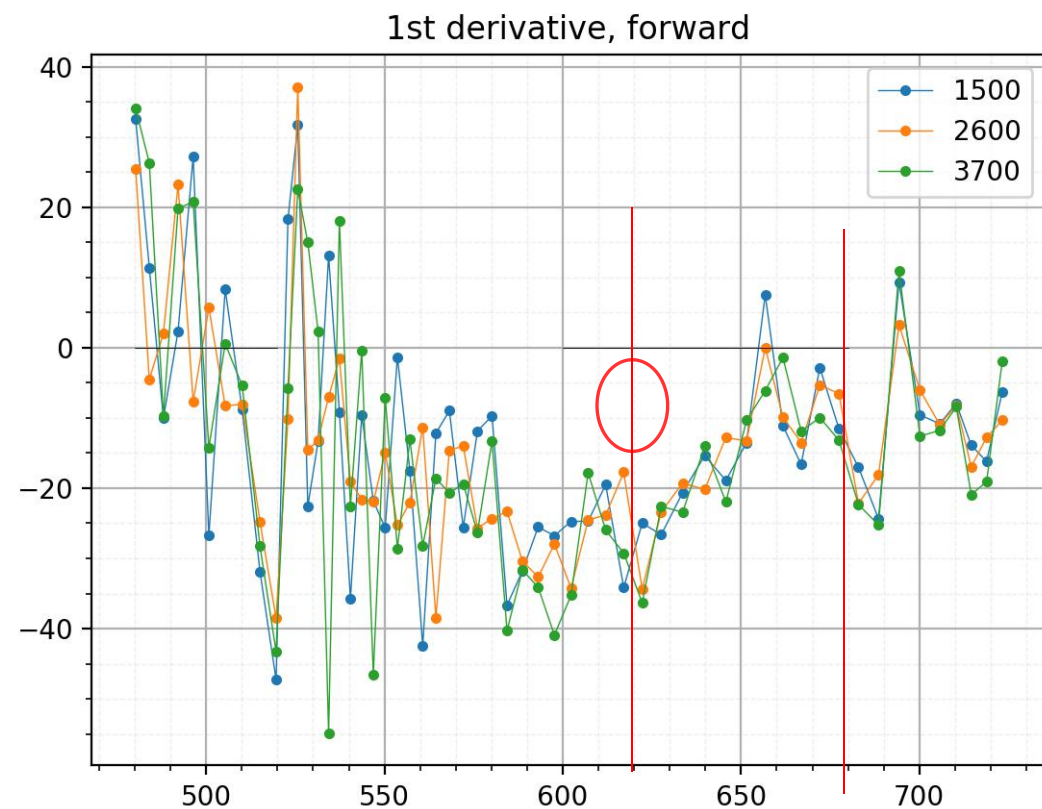
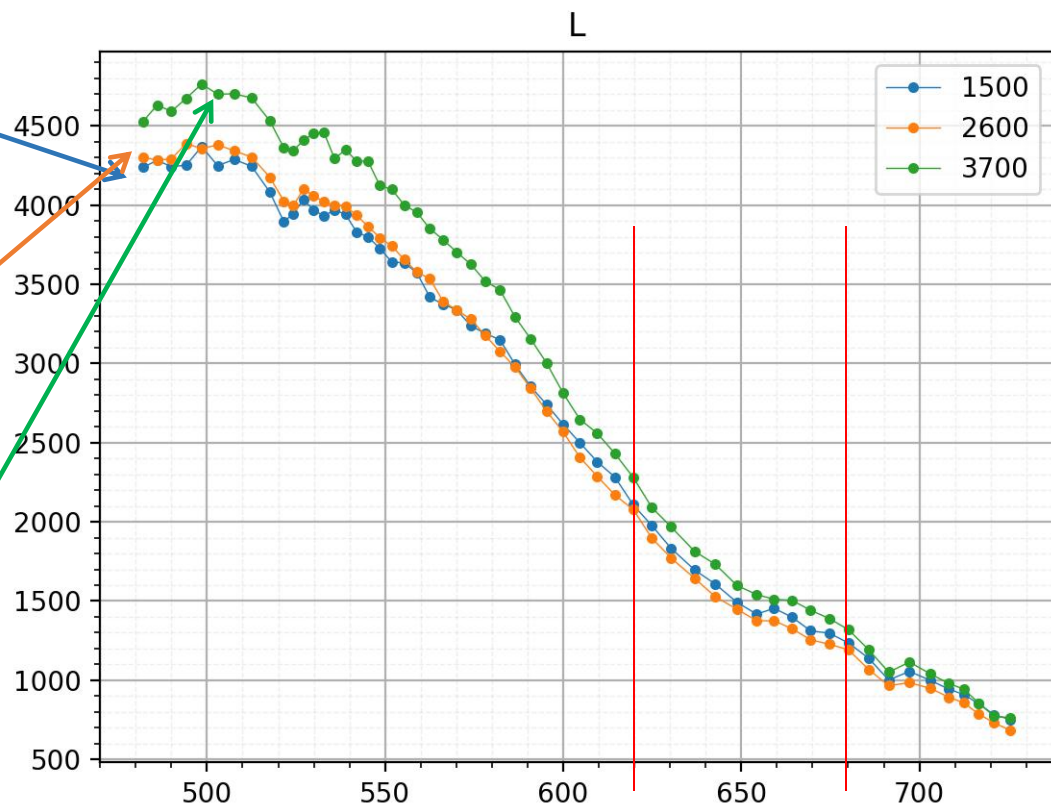
ГСА

Cl, Pcl

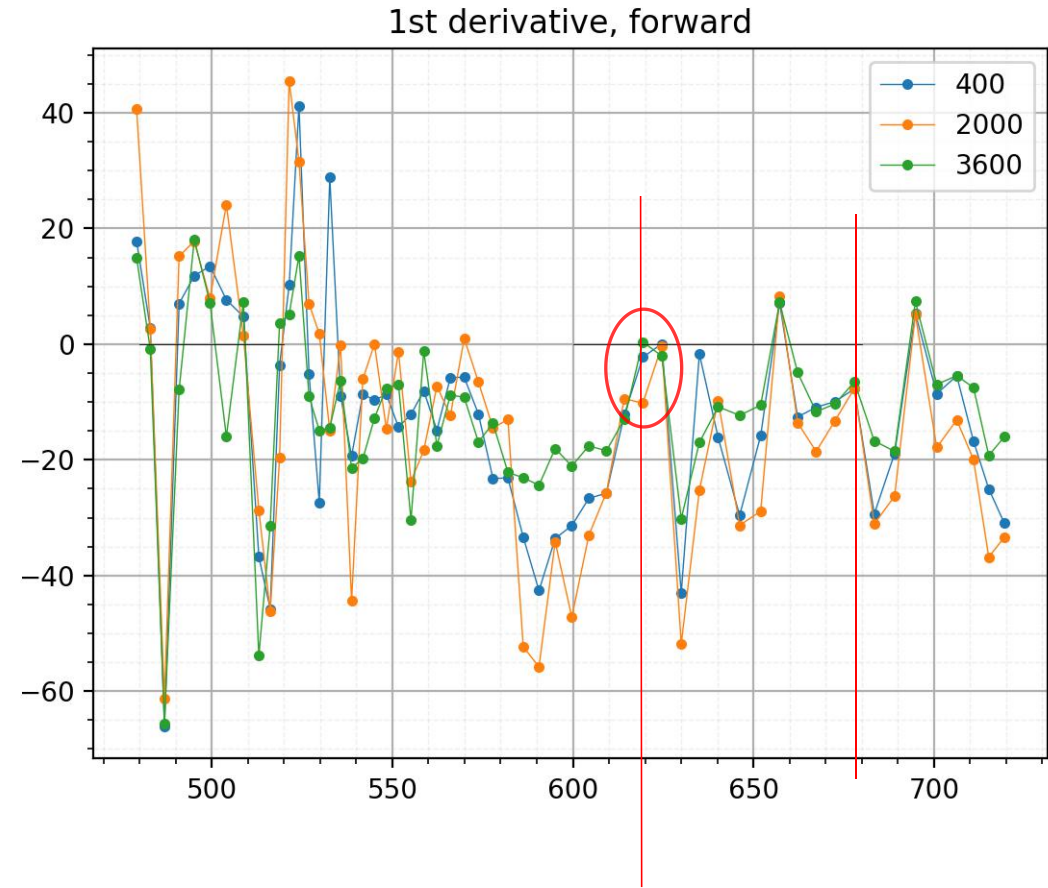
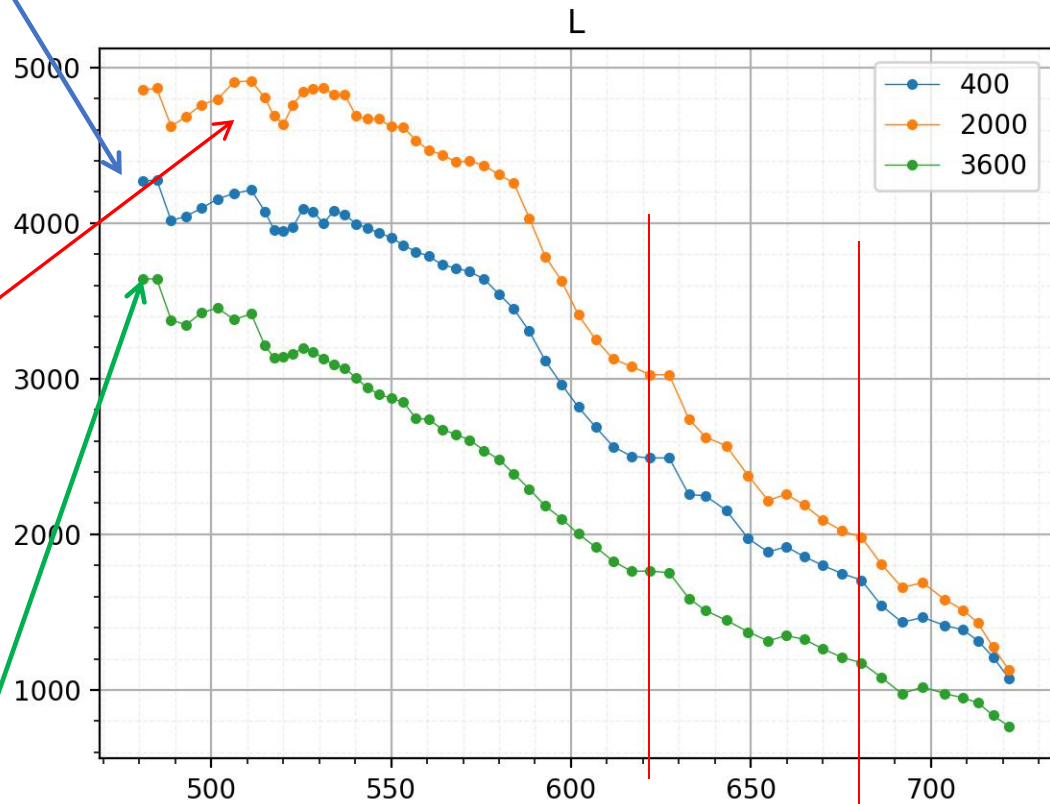
# Белосарайская коса, Азовское море



# 2019-03-29



# 2017-06-04



2019-03-29

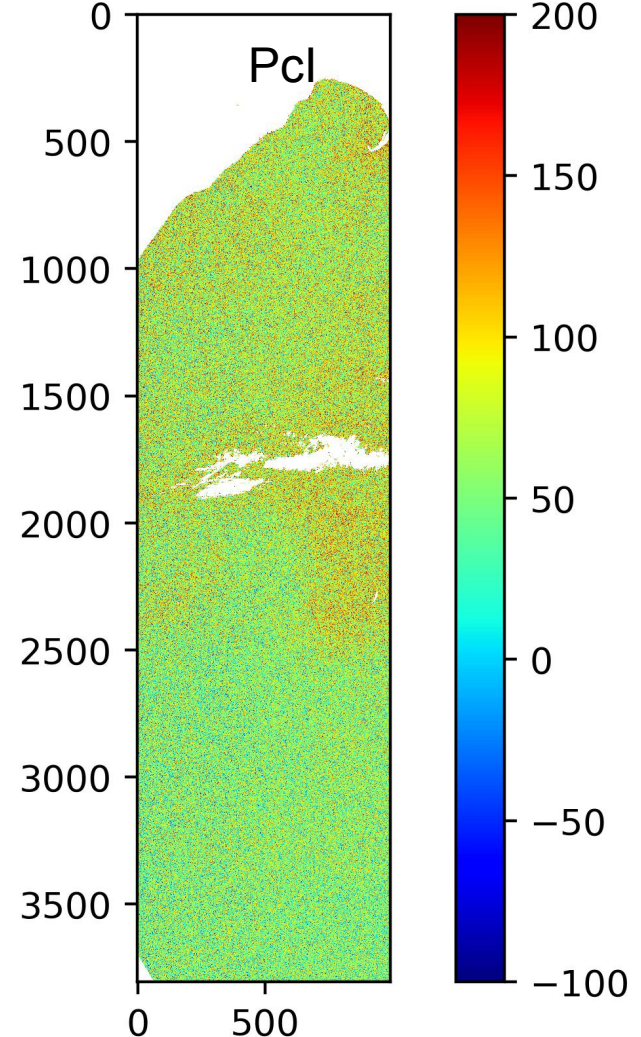
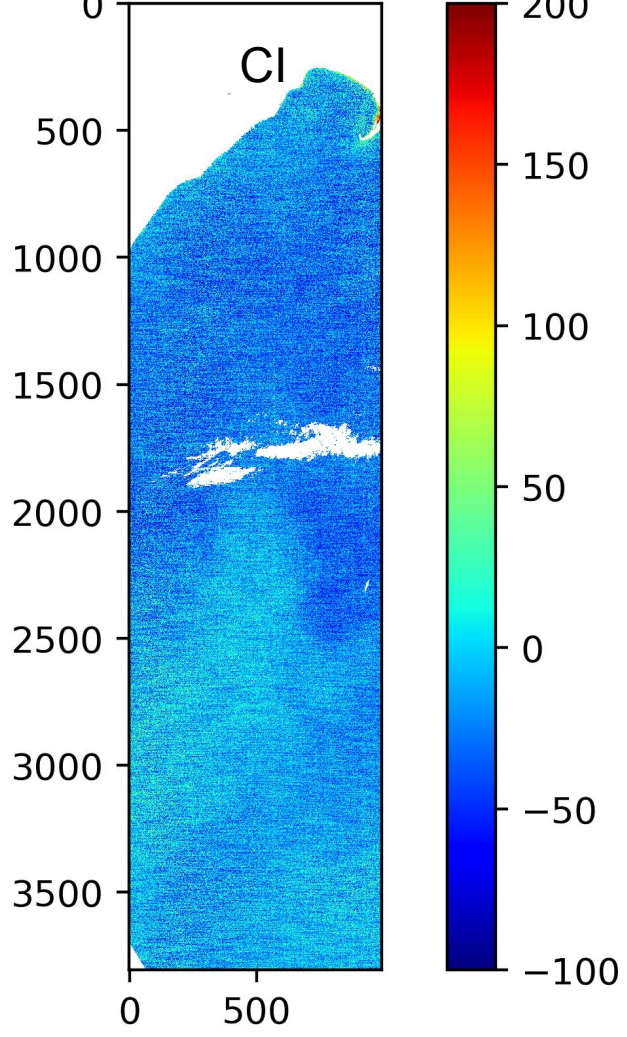
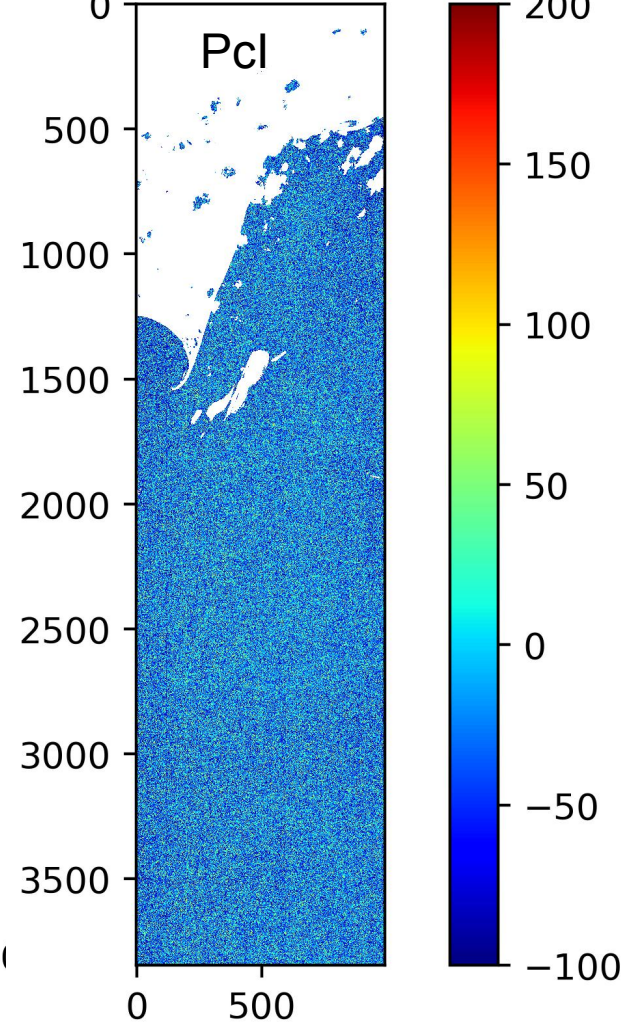
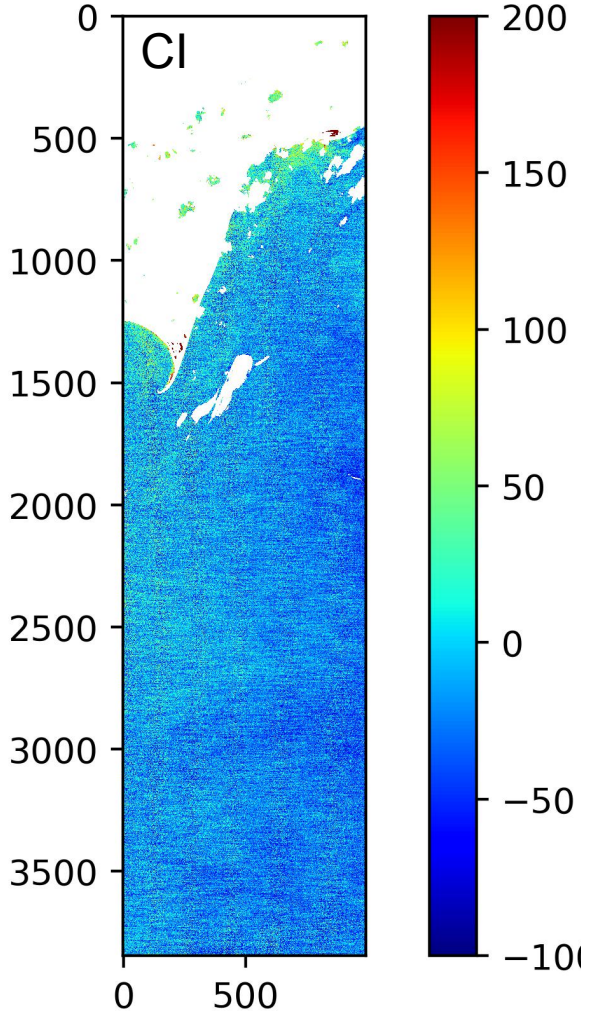
2017-06-04

659.22 680.15 708.27

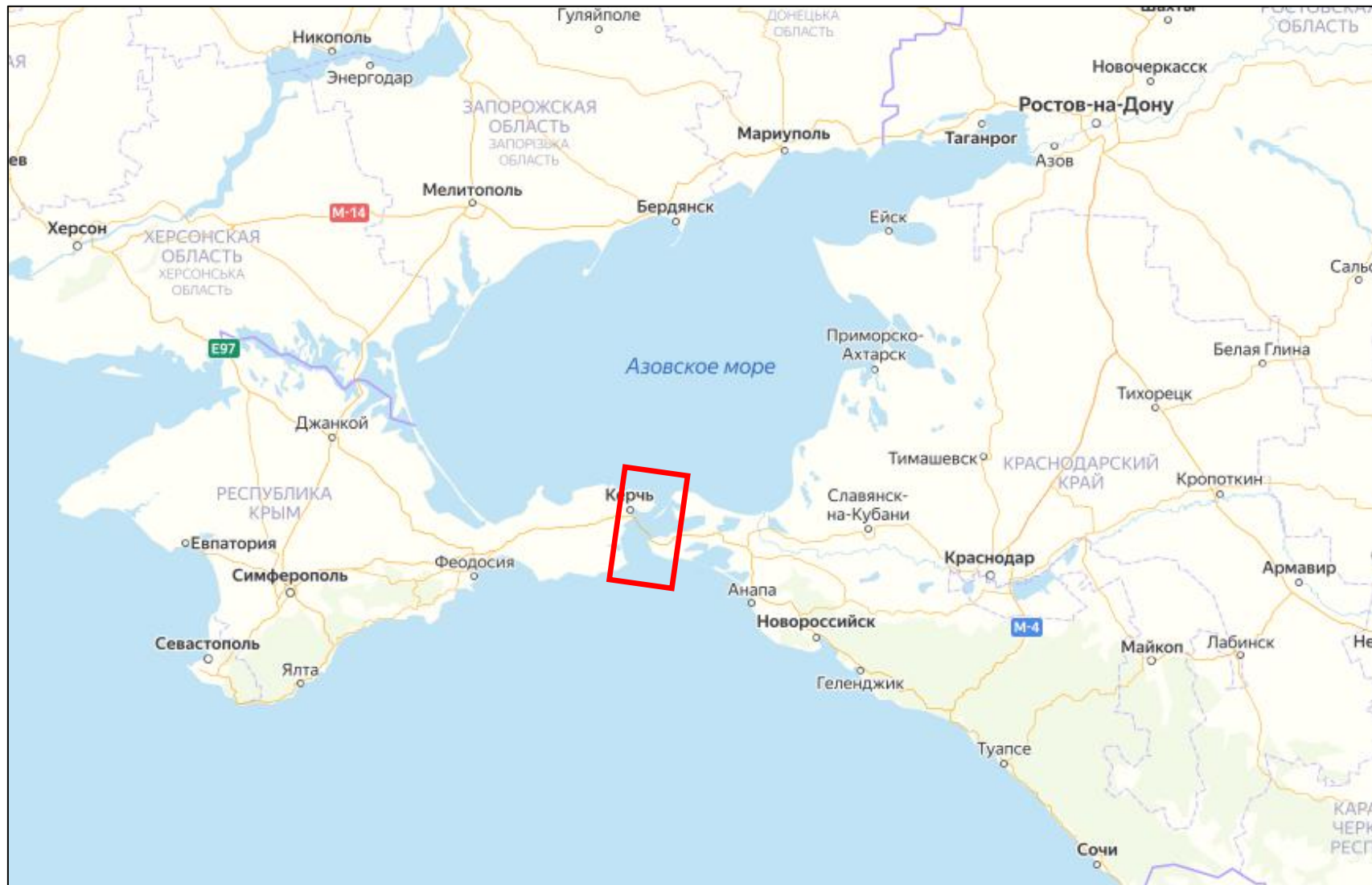
609.53 614.53 630.30

664.75 680.66 708.84

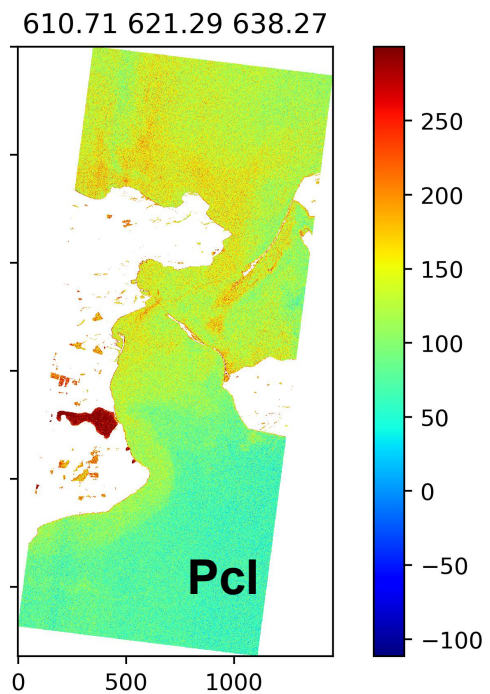
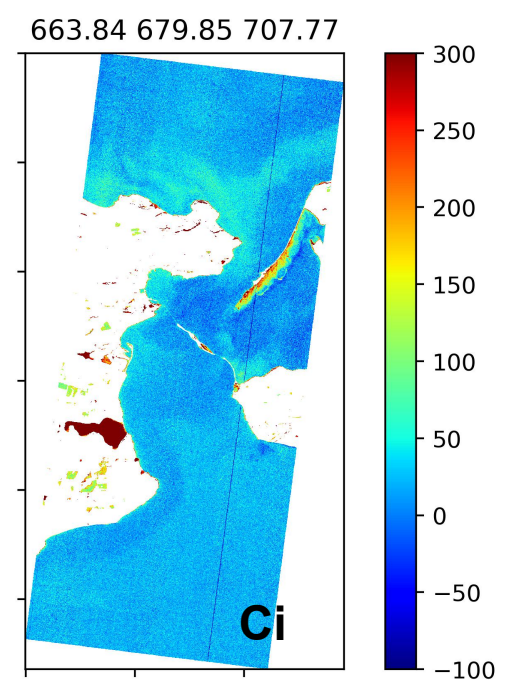
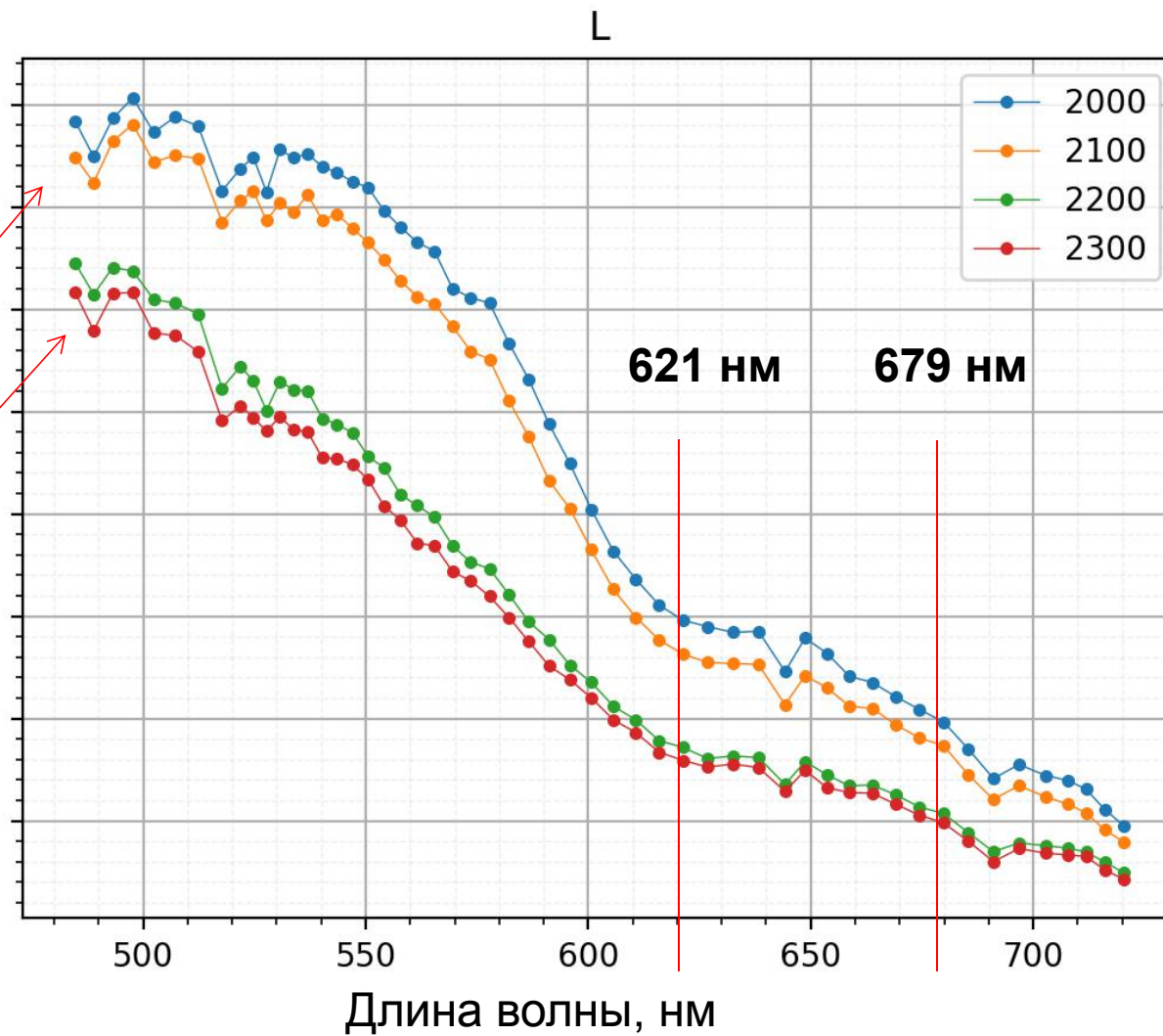
606.80 616.77 627.27



# Керченский Пролив



# Керченский пролив 2017-04-03



# Выводы

- Разработанный алгоритм (PcI) и адаптированные для данного исследования алгоритмы (C1 и полуэмпирический) позволяют исследовать цианоактиерии
- Алгоритмы на основе формы спектра устойчивы к ошибкам атмосферной коррекции
- Алгоритмы на основе формы спектра не работают данными без атмосферной коррекции столь же хорошо, по крайней мере, без дополнительных процедур обработки
- Оба типа гиперспектральных данных могут быть использованы для мониторинга состава фитопланктонного сообщества

с атмосферной коррекцией - НІСО  
без атмосферной коррекции - ГСА



**Спасибо!**