

Ш е с т н а д ц а т а я
В с е р о с с и й с к а я
О т к р ы т а я
к о н ф е р е н ц и я

**"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**

12 - 16 ноября 2018 г.г. Москва, ИКИ РАН

Методика определения оптических свойств воды Горьковского водохранилища с высоким пространственным разрешением и результаты ее практического применения

**Мольков А А¹, Пелевин В В², Корчёмкина Е Н³, Алескерова А А³,
Федоров С В³, Коновалов Б В², Беляев Н А²**

¹ Институт прикладной физики РАН

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

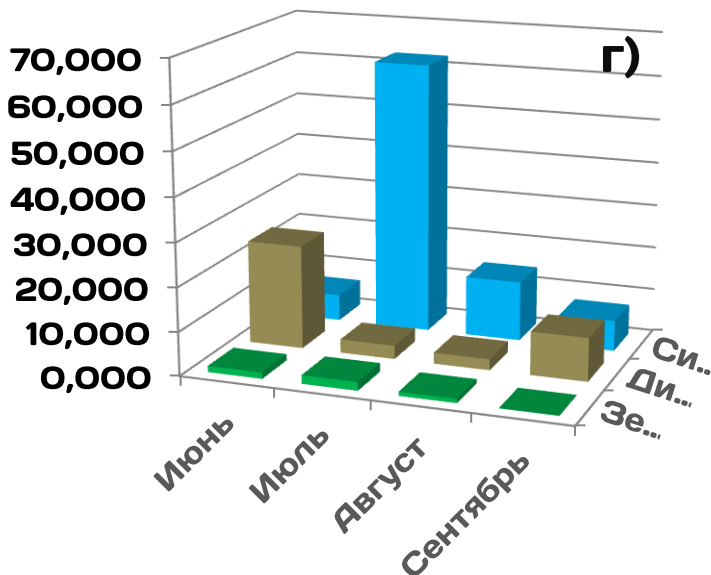
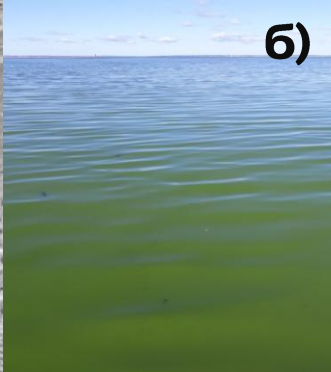
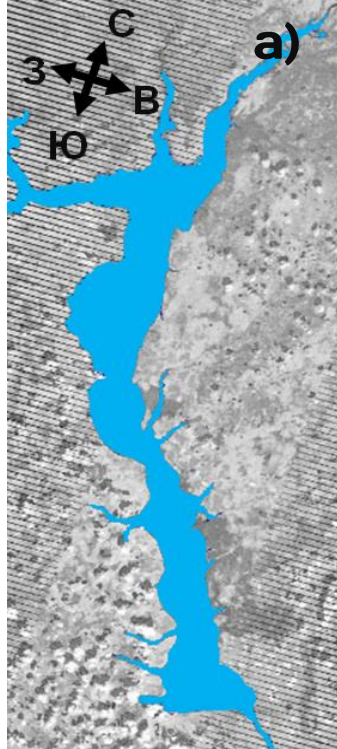
³ Морской гидрофизический институт РАН

1

МОТИВАЦИЯ

**В 2017г.
появилась
задача:**

Разработка
регионального
алгоритма
оценки
биопродуктивно
сти вод
Горьковского
водохранилища
с
использованием
данных
космических
сканеров цвета



Характеристики водохранилища

Длина ~ 85 км
Ширина ~ 6 - 15 км
Средняя глубина ~ 3.6 м
Максимальная глубина ~ 29 м
Средняя скорость течения ~ 4 см/с

Показатель поглощения:

$a(420) \sim 2 - 8 \text{ м}^{-1}$
 $a(530) \sim 0.5 - 2.5 \text{ м}^{-1}$
 $a(750) \sim 0.2 - 0.6 \text{ м}^{-1}$

Chl a ~ до 200 мкг/л
TOC ~ 11 - 16 мг/л
TSM ~ 4 - 8 мг/л

Подписи к рисункам:

- а) - карта
- б) - цветение
- в) - мёртвая рыба
- г) - сезонное распределение численности водорослей (С - сине-зеленые, Д - диатомовые, З - зеленые)

2 ПОДХОД

Что нужно?

✗ Натурные данные →

? Спутниковые изображения

✓ Модель и алгоритм

Провели 2 экспедиционные кампании

1-ая кампания

включала судовые измерения на **26** станциях, охватывающих пойму, русло и устья впадающих малых рек



Измерены: R_{rs}
Chl a,
CDOM (DOC),
TSM
AOT
+ сопутствующие измерения

НЕ измерялись:
 $a(\lambda)$
 $b(\lambda)$

Расстояние между станциями ~ **1 км**
Макс. скорость движения ~ **3 м/с**
Время перехода ~ **5 мин**
Время работы на станции ~ **10 мин**
Длительность работ в сутки ~ **9 ч**
Продолжительность работ ~ **7 дней**

Итого ~ 150 измерений за экспедицию

2-ая кампания

включала **СКОРОСТНЫЕ НЕПРЕРЫВНЫЕ** судовые **ЛИДАРНЫЕ** измерения по тому же маршруту



Измерены:
Chl a,
CDOM (DOC),
TSM

Макс. скорость движения ~ **8 м/с**
Длительность работ в сутки ~ **3 ч**
Продолжительность работ ~ **3 дня**
Частота зондирования ~ **2 Гц**
Разрешение ~ **4 м**
Километраж ~ **60 км/сутки**

Итого ~ 45 000 (!)
измерений за экспедицию
Но нет данных по R_{rs}

Спутниковые изображения

2

ПОДХОД

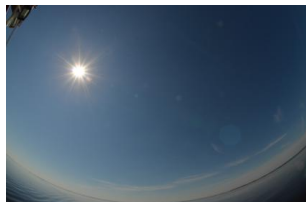
Что
нужно?

✗ Натурные
данные

? Спутниковые
изображения

✓ Модель и
алгоритм

Время: 09:00
(начало работ, выход в море)



Время: 11:00-11:30
(время пролета спутников)



Сложности:

- 1) Малое количество снимков за экспедицию
- 2) Еще меньше подходящих для обработки снимков (многие станции по треку попадают в зону облачности или тени)



Какой выход?

Одно из решений:
чаще
проводить
экспедиции

Результат:
в 2018 году
выполнено **30**
экспедиций по
26 станций в
период с мая по
август с
периодичностью
один-два раза в
неделю.

Получено около
700 спектров
 R_{rs} и около **700**
вертикальных
профилей **Chl-a**



ОБОРУДОВАНИЕ:

- 1) Флуорометр **BVE Moldaenke Fluoroprobe III с датчиком CDOM**
(частота записи от 10 Гц)
- 2) Спектрометр **OceanOptics USB 2000**
(пространственное разрешение 0.5 нм,
временное разрешение 2 Гц)
- 3) Погружной люксметр
- 4) Акустический доплеровский
профилограф **ADCP Monitor 1200 kHz**
- 5) Ультразвуковой цифровой анемометр
WindSonic
- 6) Плавучая лаборатория **“Геофизик”**



Другое решение

Спектрометр + лидар + большой скоростной катер

Результат:

~ 14 000

спектров R_{rs} и

~ 14 000

значений $Chl-a$,
 $CDOM$ (DOC) и

TSM за 2 дня

работы по 1

часу в день с

пространствен-
ным разреше-
нием 5м



Плюсы:

1) Нет привязки
к фарватеру

2) Мало влияние
волнения

3) Экспресс-сбор полевых
данных с больших
площадей с высоким
пространственным
разрешением

4

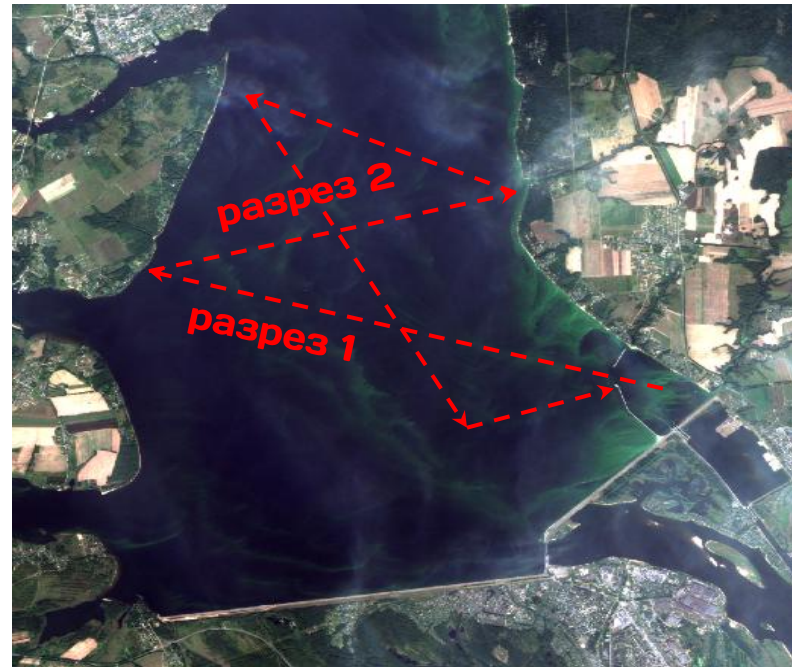
РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперимент проводился в течение часа вблизи момента пролета спутника) - около 11:00

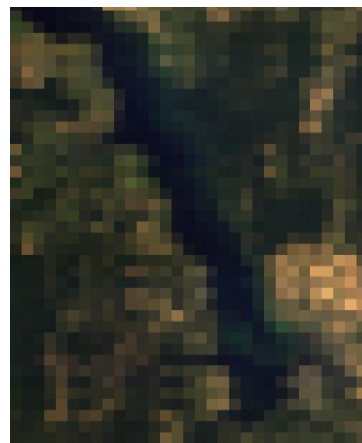
Начальное положение Солнца:
**163° (азимут),
33.3° (зенит),**
конечное:
**181° (азимут),
34.5° (зенит).**



21.09.18 (Sentinel 2B)



22.09.18 (MODIS Aqua и Terra)



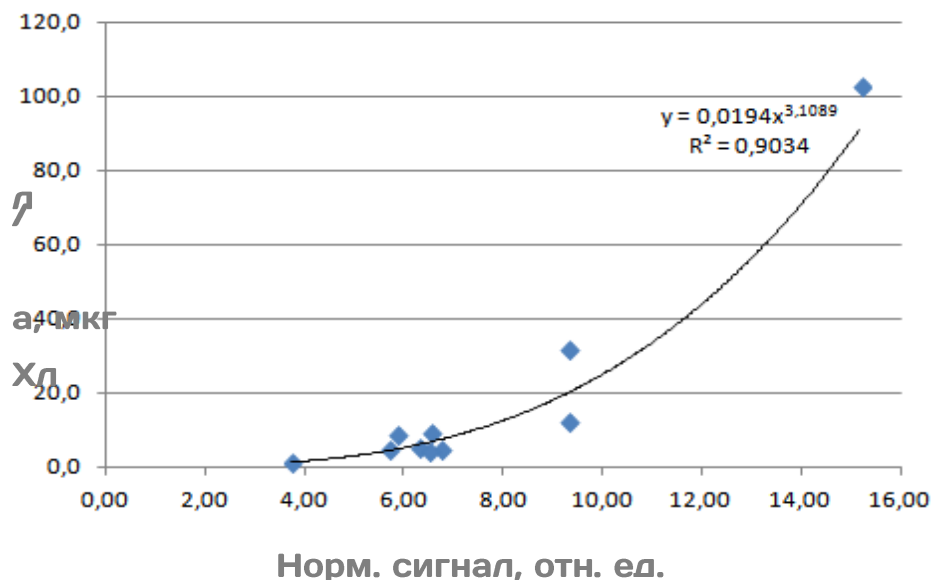
4

РЕЗУЛЬТАТЫ

Калибровка лидара выполнялась независимо от работы под спутник.

В качестве основы для калибровки сигнала флуоресценции были использованы результаты лабораторного анализа проб воды, отобранных в 10 точках водохранилища и охватывающих максимальную изменчивость концентраций

Калибровка лидара



1. Степенная зависимость между флуоресценцией и концентрацией хлорофилла, по-видимому, говорит о большом содержании хлорофилла в макро сине-зеленых водорослях, нитях, в изобилии присутствовавших в воде. Логично предположить, что этот, по сути взвешенный хлорофилл, не целиком участвует во флуоресценции при возбуждении узким лазерным пучком.
2. Возможно проявление эффекта насыщения флуоресценции



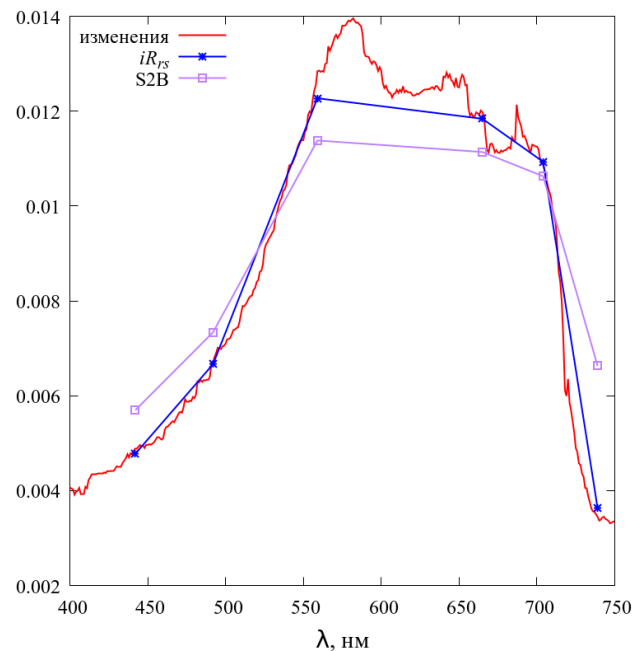
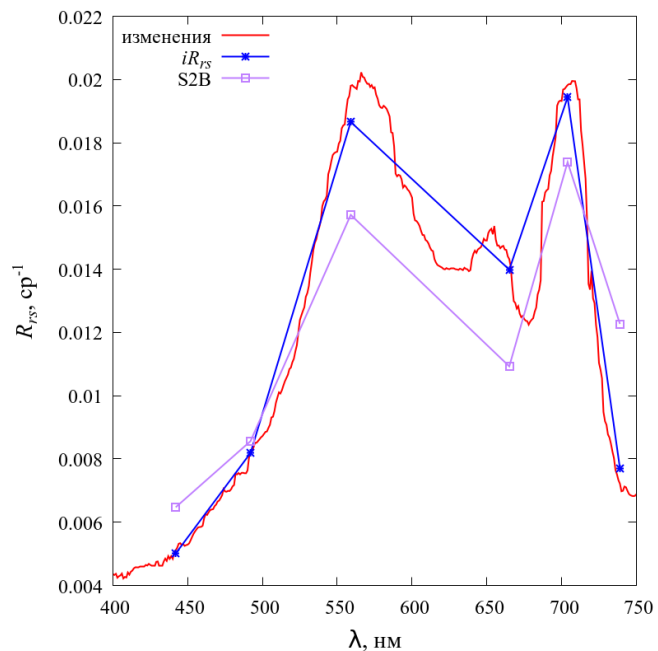
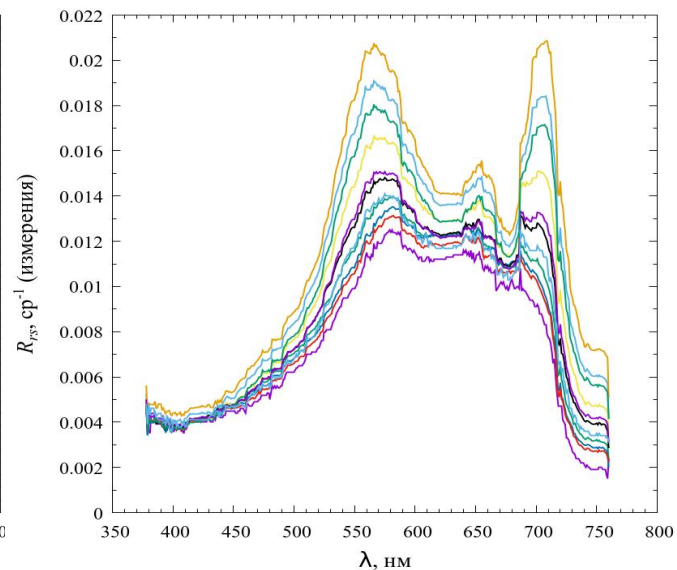
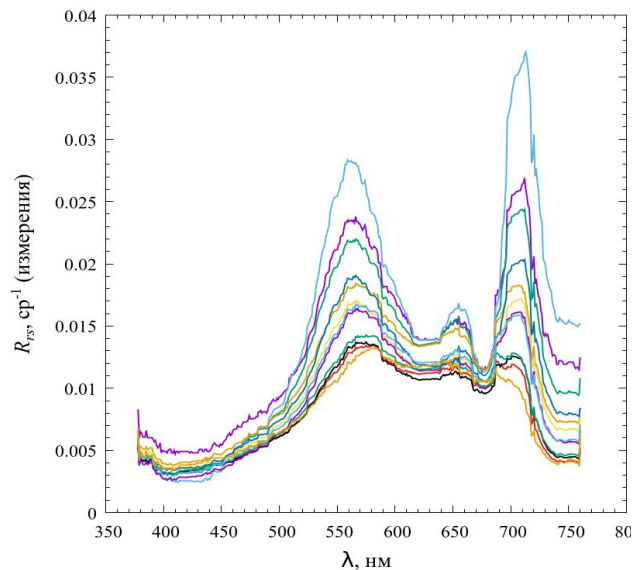
4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Верхний ряд:
Измеренные
коэффициенты яркости

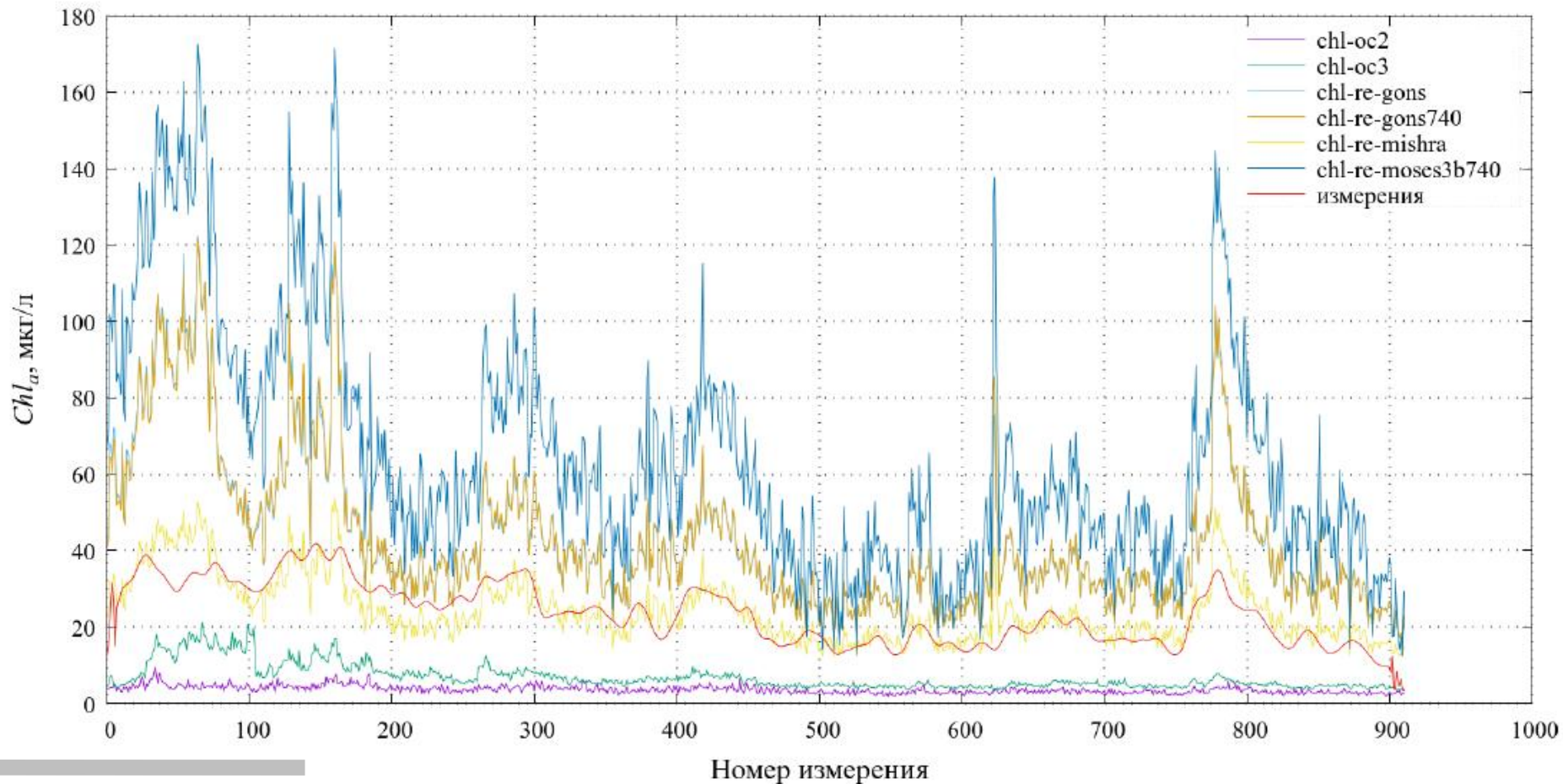
Комментарии к нижнему
слайду:

1. Все измерения, попавшие в один пиксель спутникового снимка, осреднялись.
2. Высокочастотные шумы сглаживались косинусным фильтром.
3. По судовым измерениям КЯ вычислялся "интегральный КЯ", эквивалентный спектральным каналам MSI

Спектры яркости



Выбор модели



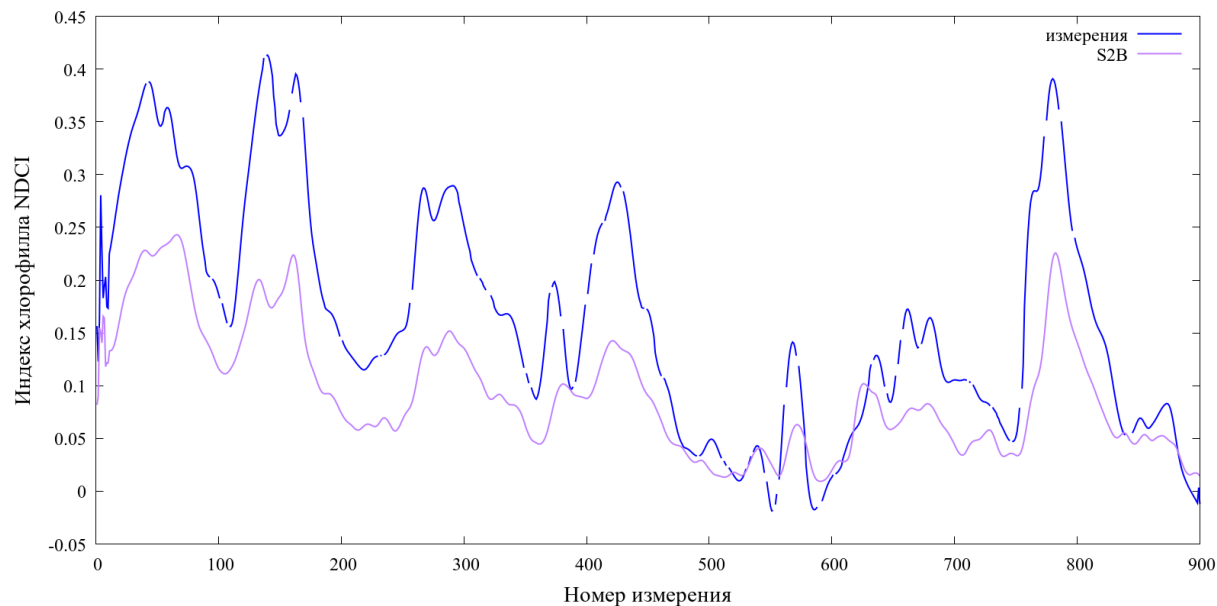
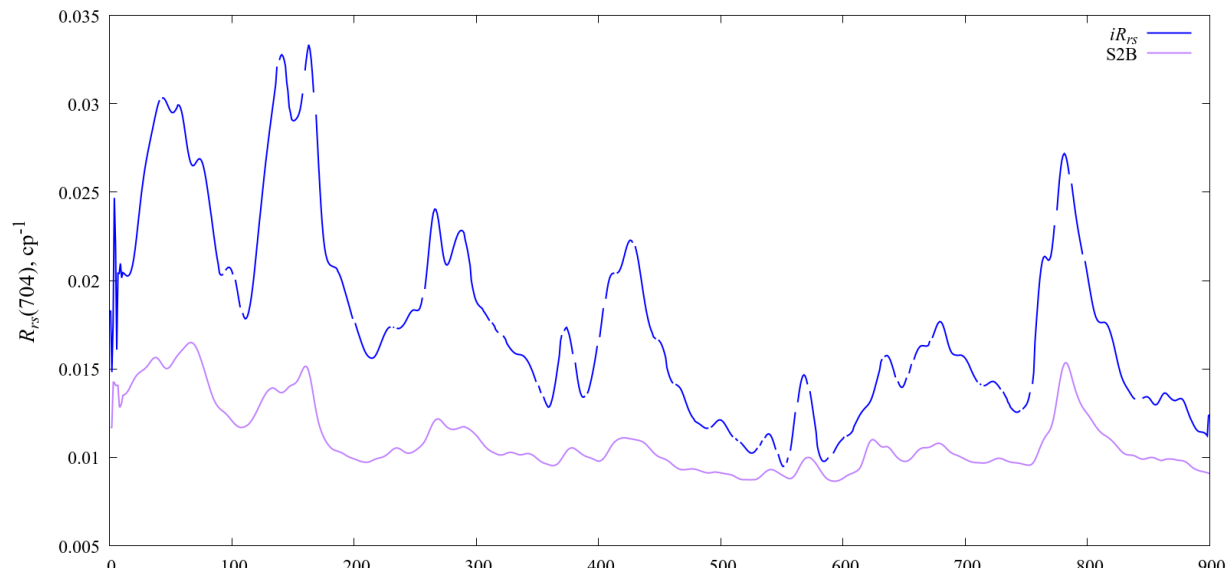
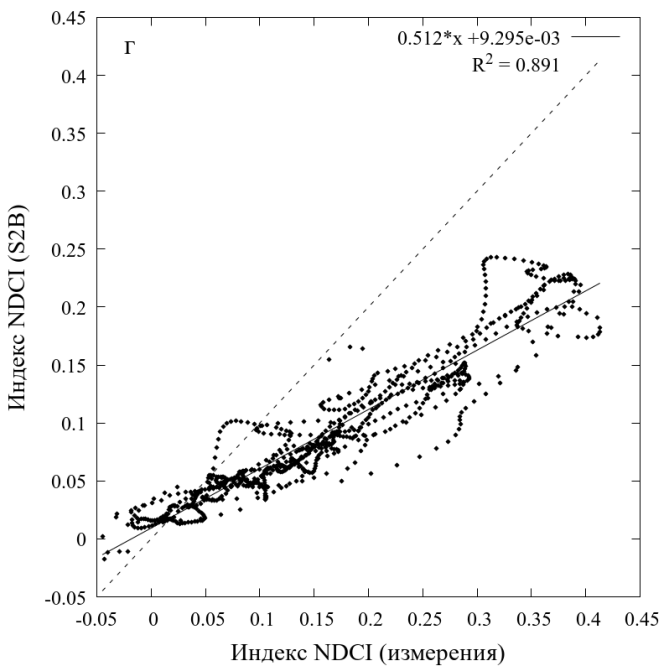
Расчет NDCI

4

РЕЗУЛЬТАТЫ

Использовался алгоритм
Mishra S. and Mishra D.R. 2012.
Normalized difference
chlorophyll index: A novel model
for remote estimation of
chlorophyll-a concentration in
turbid productive waters

$$NDCI = \frac{R_{rs}(704) - R_{rs}(665)}{R_{rs}(704) + R_{rs}(665)}$$



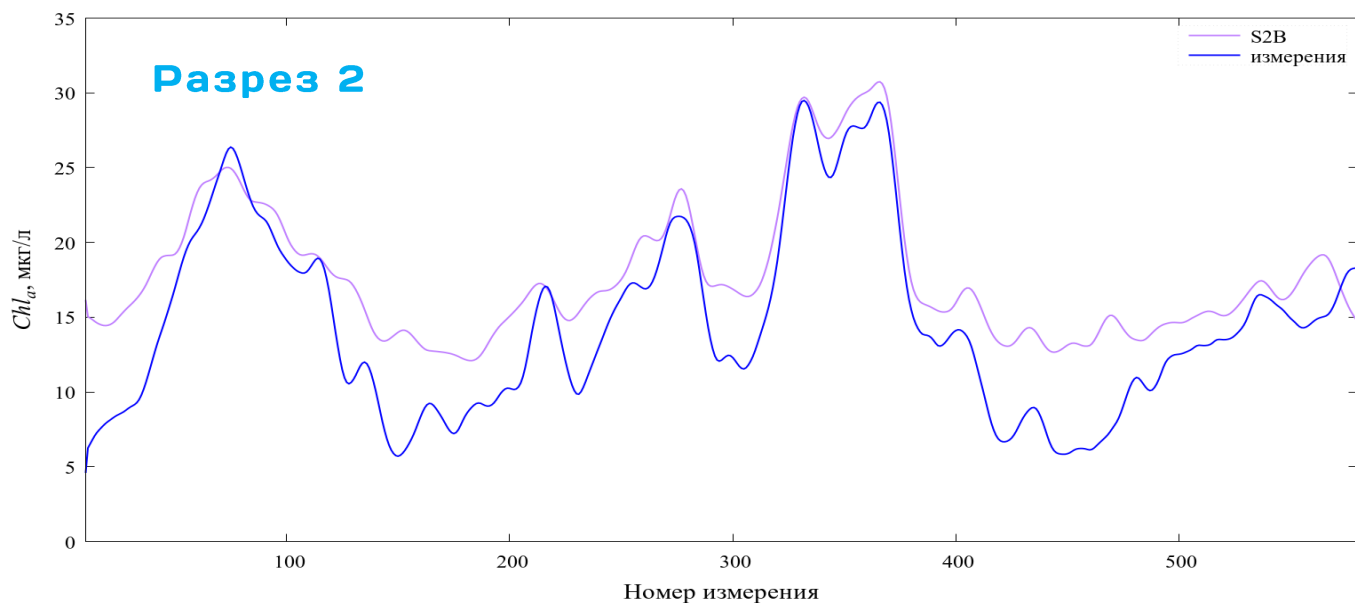
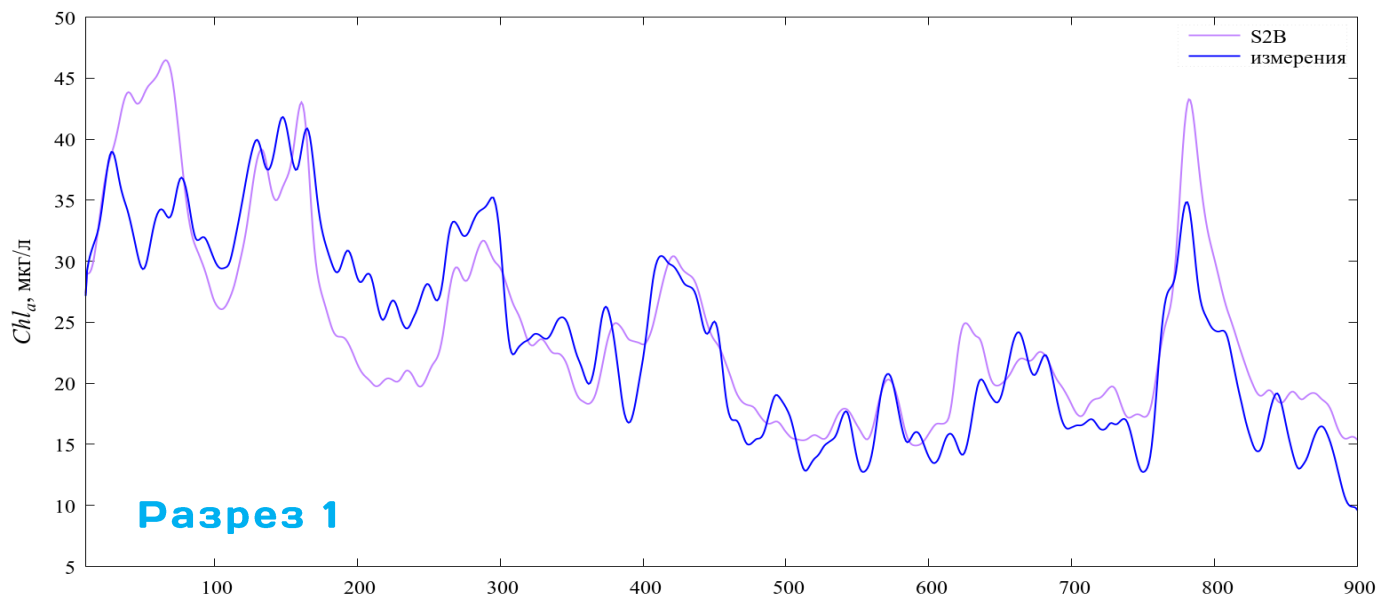
4

РЕЗУЛЬТАТЫ

Спутниковые и натурные значения достаточно хорошо согласуются, особенно при концентрациях хлорофилла более 20 мкг/л, а при концентрациях ниже 15 мкг/л восстановленные по спутниковым данным значения завышены примерно на 30%-50%.

Восстановление хлорофилла

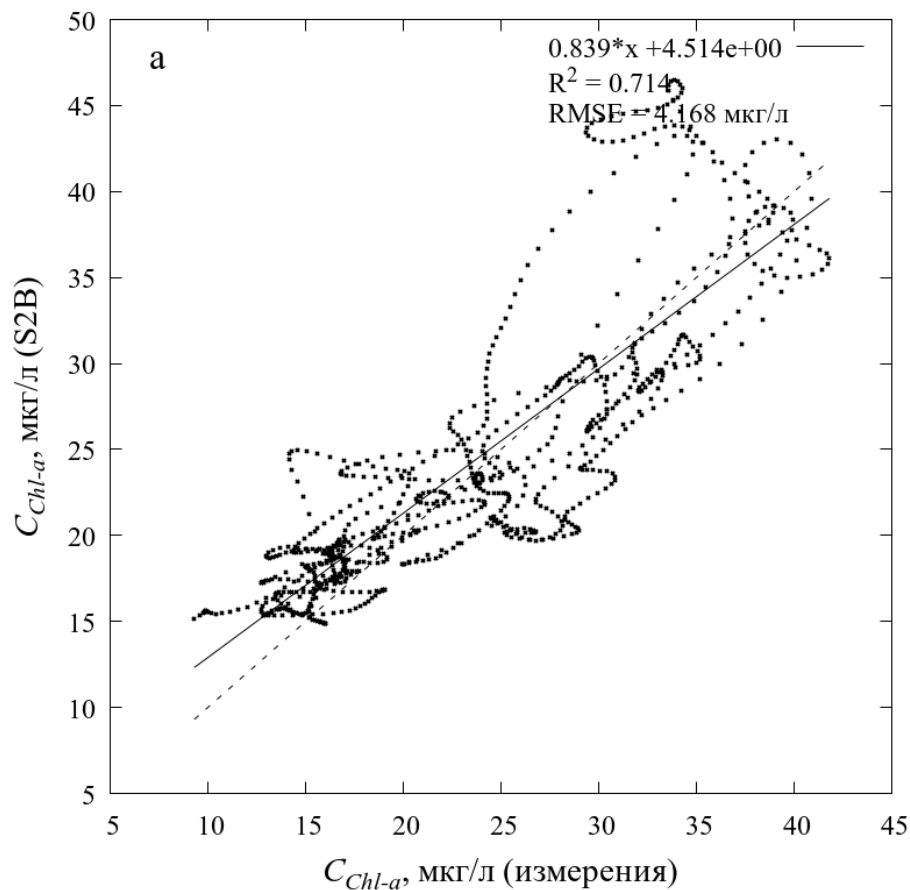
$$C_{chl-a} = 14.039 + 86.115 \cdot NDCI + 194.325 \cdot NDCI^2$$



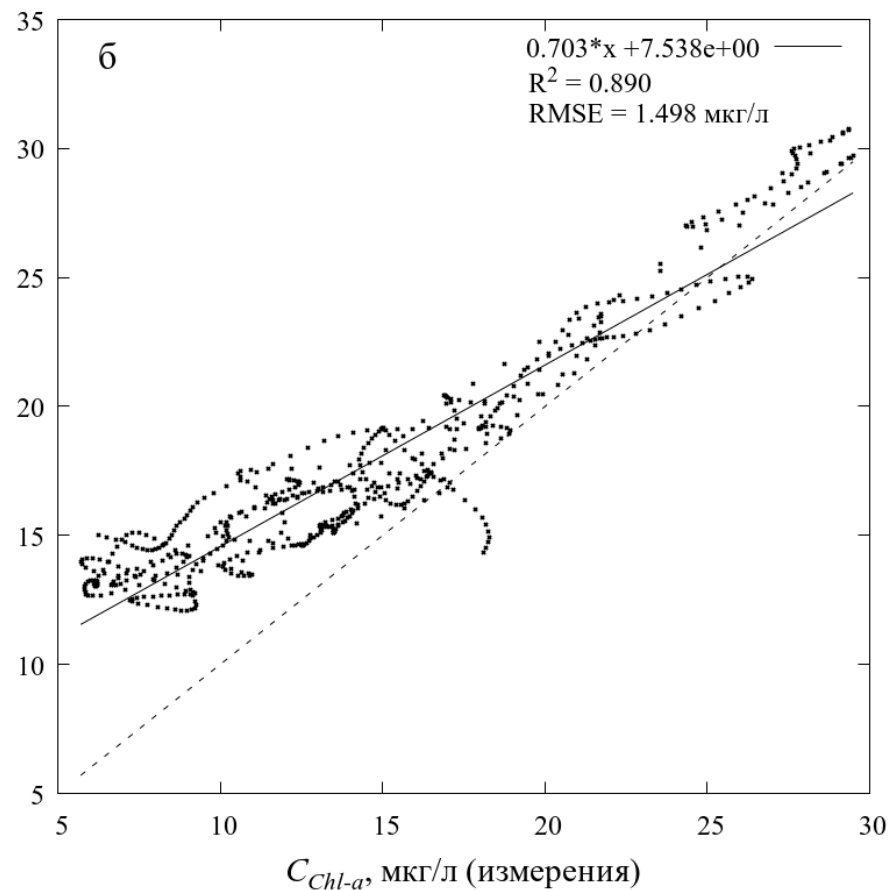
Восстановление хлорофилла

4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Разрез 1



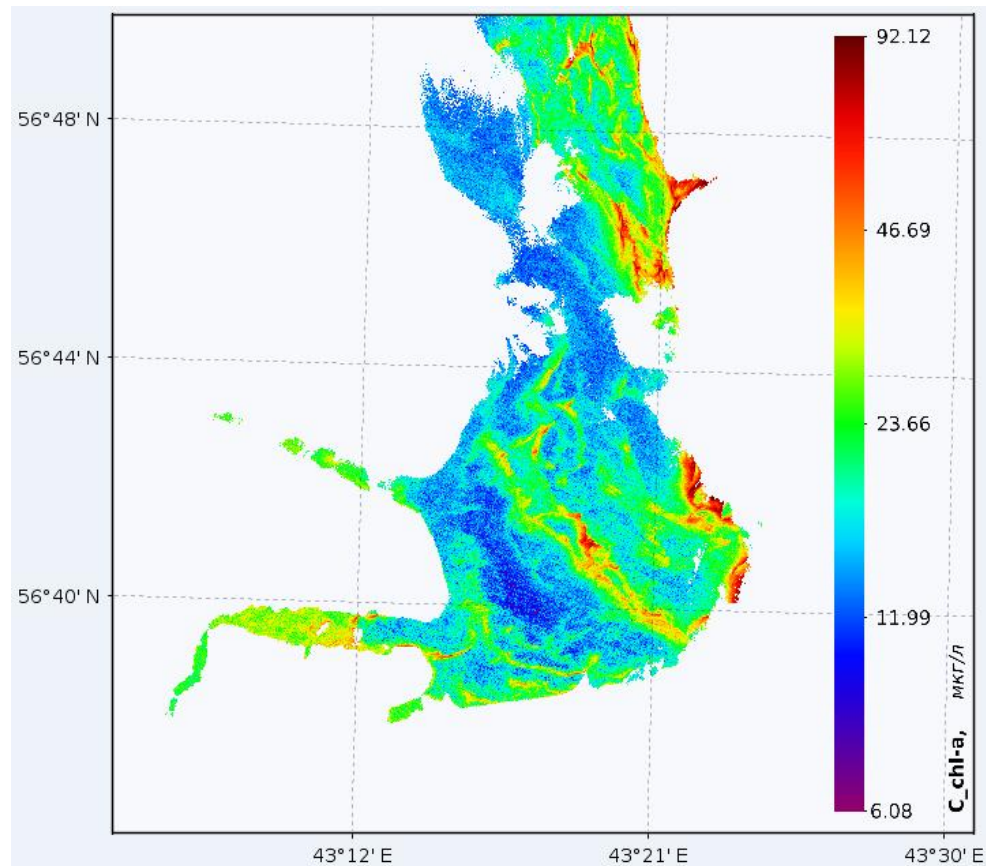
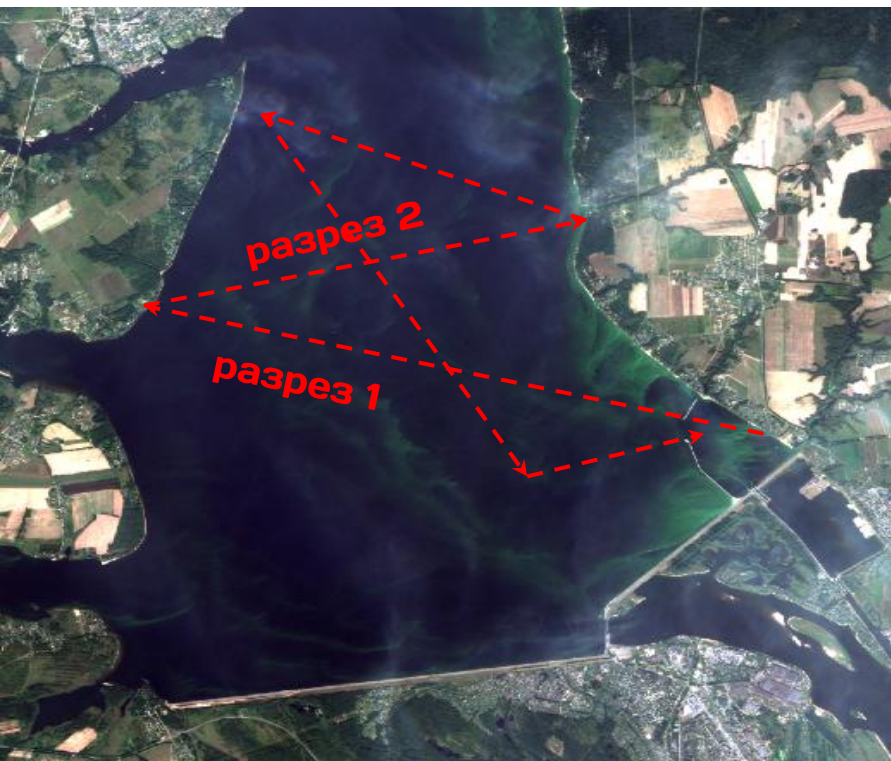
Разрез 2



4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Восстановление хлорофилла

Представлен результат восстановления двумерного распределения хлорофилла а для исследуемого района водохранилища, демонстрирующего даже мелкомасштабные области интенсивного цветения.



ВЫВОДЫ:

1. Предложен способ экспресс-сбора полевых данных с высоким пространственным разрешением в подспутниковых экспериментах, **пригодный для внутренних водоемов (неглубоких водохранилищ, озер, рек)**
2. Апробирован на акватории **Горьковского водохранилища** и предложен к внедрению в практику лимнологического мониторинга способ валидации спутниковых измерений с помощью дистанционного подспутникового оперативного зондирования
3. Продемонстрированы **результаты восстановления хлорофилла а по натурным и спутниковым данным** и установлена **высокая корреляция** между ними.



Особая благодарность выражается **Костицыну Д.А.** за участие в работах и предоставление моторной яхты для научных исследований

Спасибо за внимание!
