

**Метод восстановления сезонных временных серий  
мультиспектральных спутниковых индикаторов на основе  
LOWESS и кросс-канальной оптимизации для оценки  
сельскохозяйственной растительности**

Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Дунаева Е.А., Барталёв С.А.



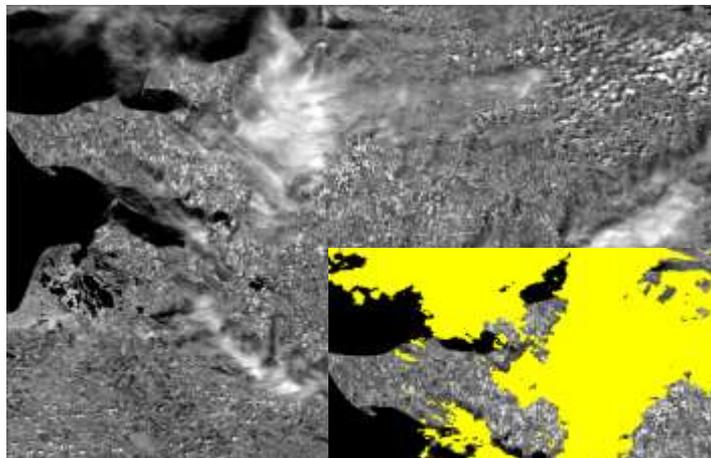
# Подходы к восстановлению временных серий

---

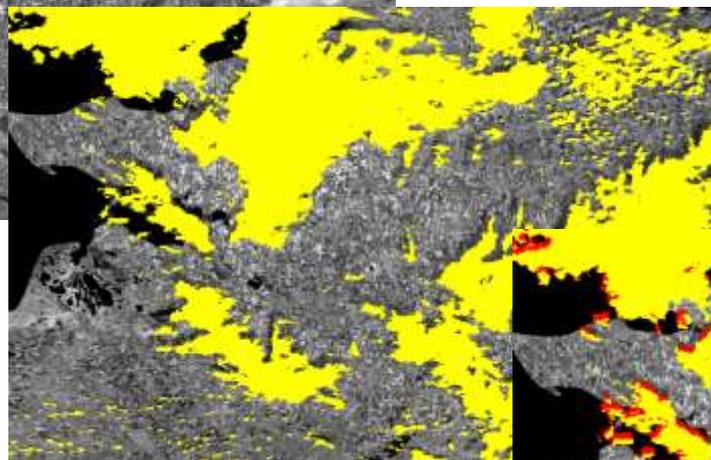
- ▶ Наиболее распространенная схема:
    1. Построение композитного изображения
    2. Интерполяция значений временной серии композитных изображений
-

# Подходы к восстановлению временных серий

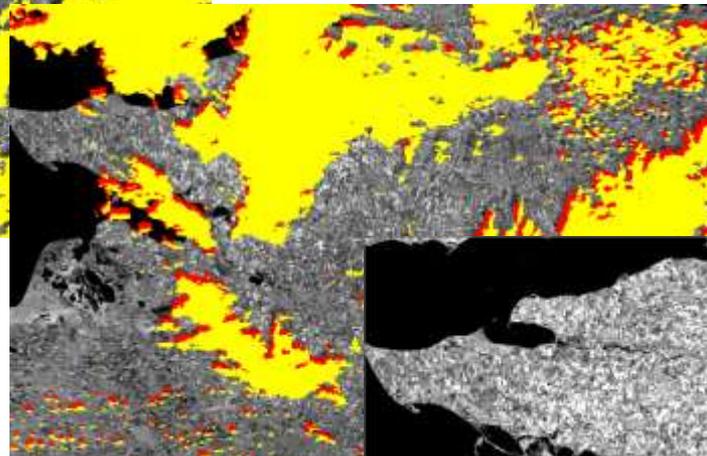
---



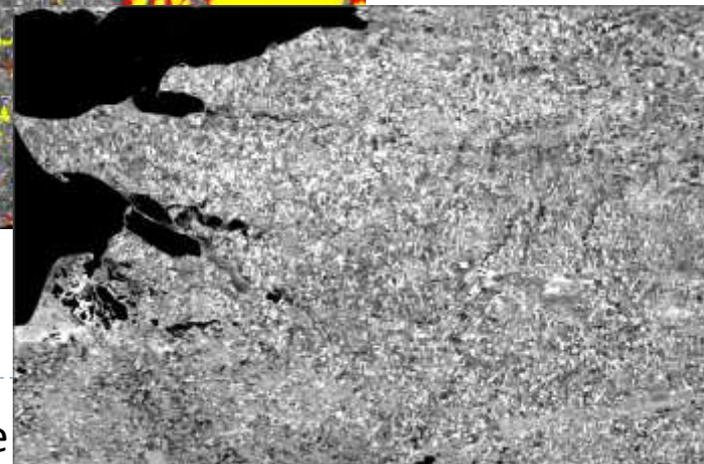
Ежедневные продукты MODIS



Детектирование облаков



Детектирование теней



---

Временное композирование

# Подходы к восстановлению временных серий

---

## ▶ Наиболее распространенная схема:

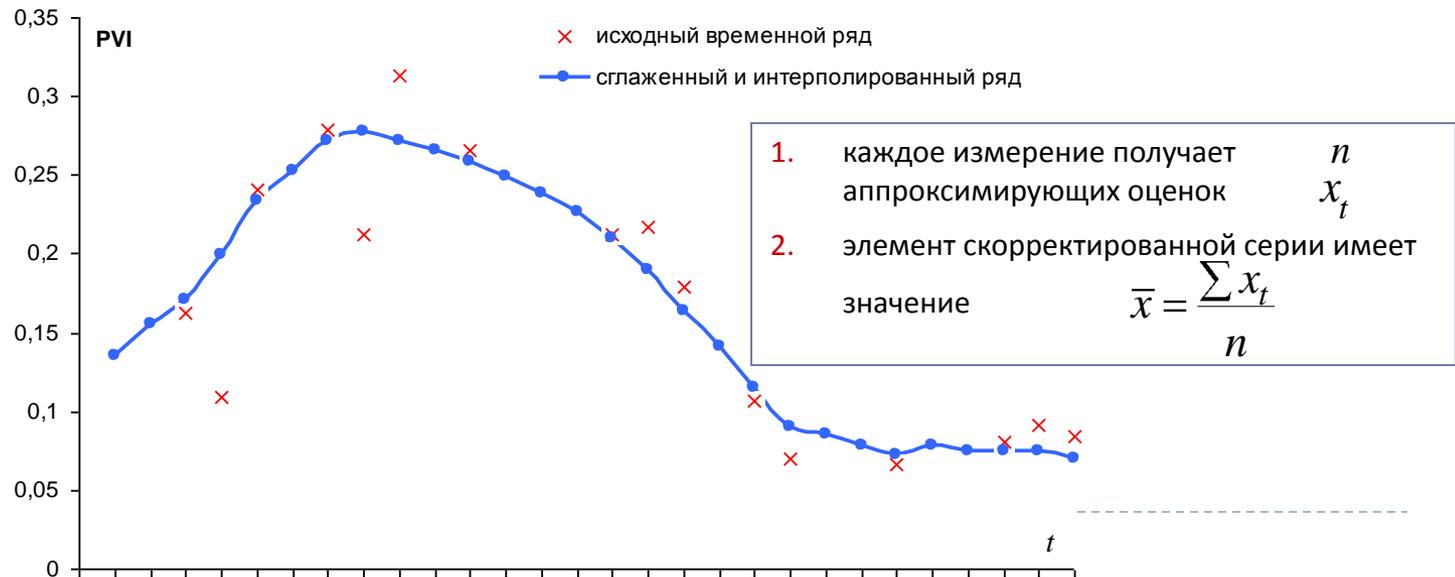
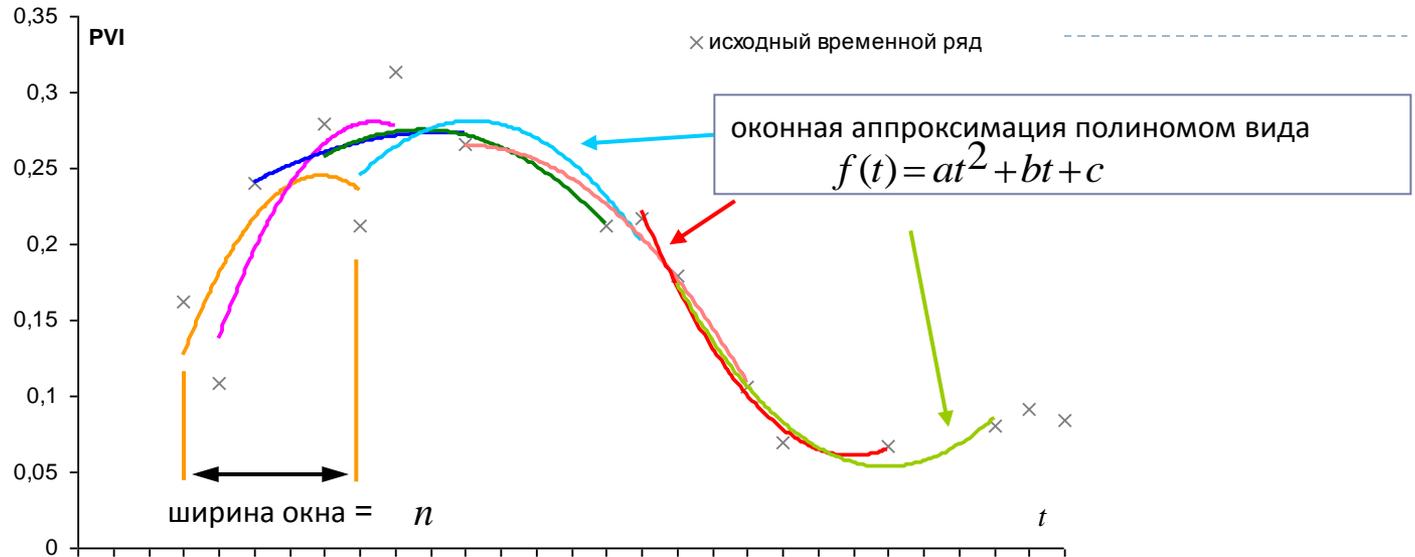
### 1. Построение композитного изображения

- ▶ осреднение безоблачных измерений за фиксированные интервалы времени
- ▶ по сравнению с исходными изображениями, качество композитного изображения выше
- ▶ число измерений в единицу времени становится меньше, а значит снижается объём данных на выходе
- ▶ таким образом, дальнейшая обработка требует меньше вычислительных ресурсов
- ▶ снижается точность датировки измерения
- ▶ необходимо построение маски облачности и теней для каждого снимка, ошибки которых далее суммируются с ошибками интерполяции

### 2. Интерполяция временной серии композитных изображений

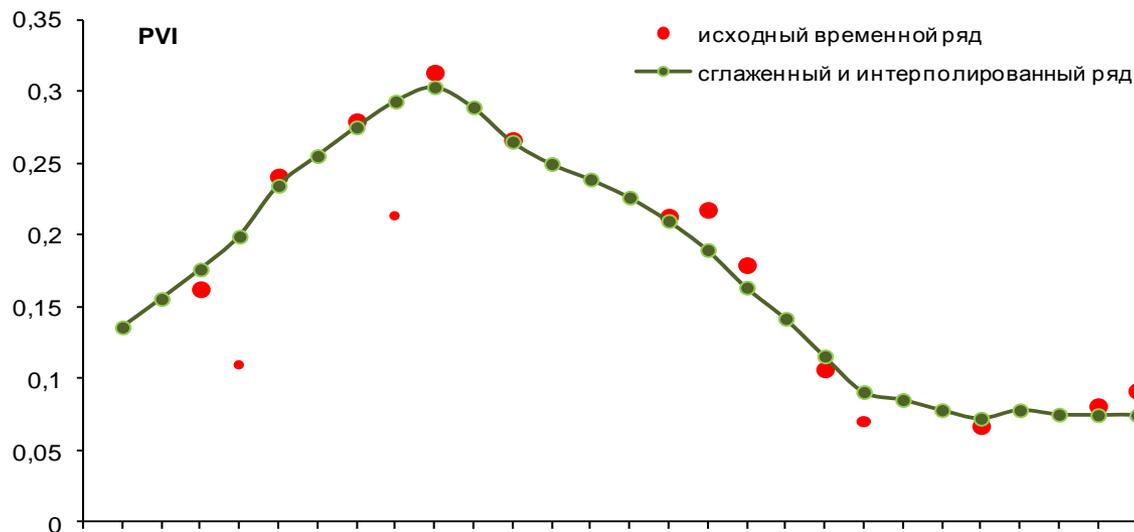
- ▶ метод построения скользящих полиномов LOESS предполагает что все значения равноценны
  - ▶ выявление и удаление возможных выбросов происходит путем сравнения текущего значения с модельными оценками полиномами
  - ▶ при этом сами модельные оценки в таком случае также получены по выбросным измерениям
-

# Оконная интерполяция скользящей параболой (LOESS)



# Подходы к восстановлению временных серий

- ▶ Схема **весовой** интерполяции всех измерений использует «чистоту» наблюдения в качестве веса
  - ▶ нет потери части информации об объекте из-за композирования
  - ▶ максимально возможная точность датировки
  - ▶ маски облачности и теней не используются и, следовательно, не вносят свою ошибку в результат
  - ▶ одновременно обрабатываются большие объемы информации, требующие больше вычислительных ресурсов

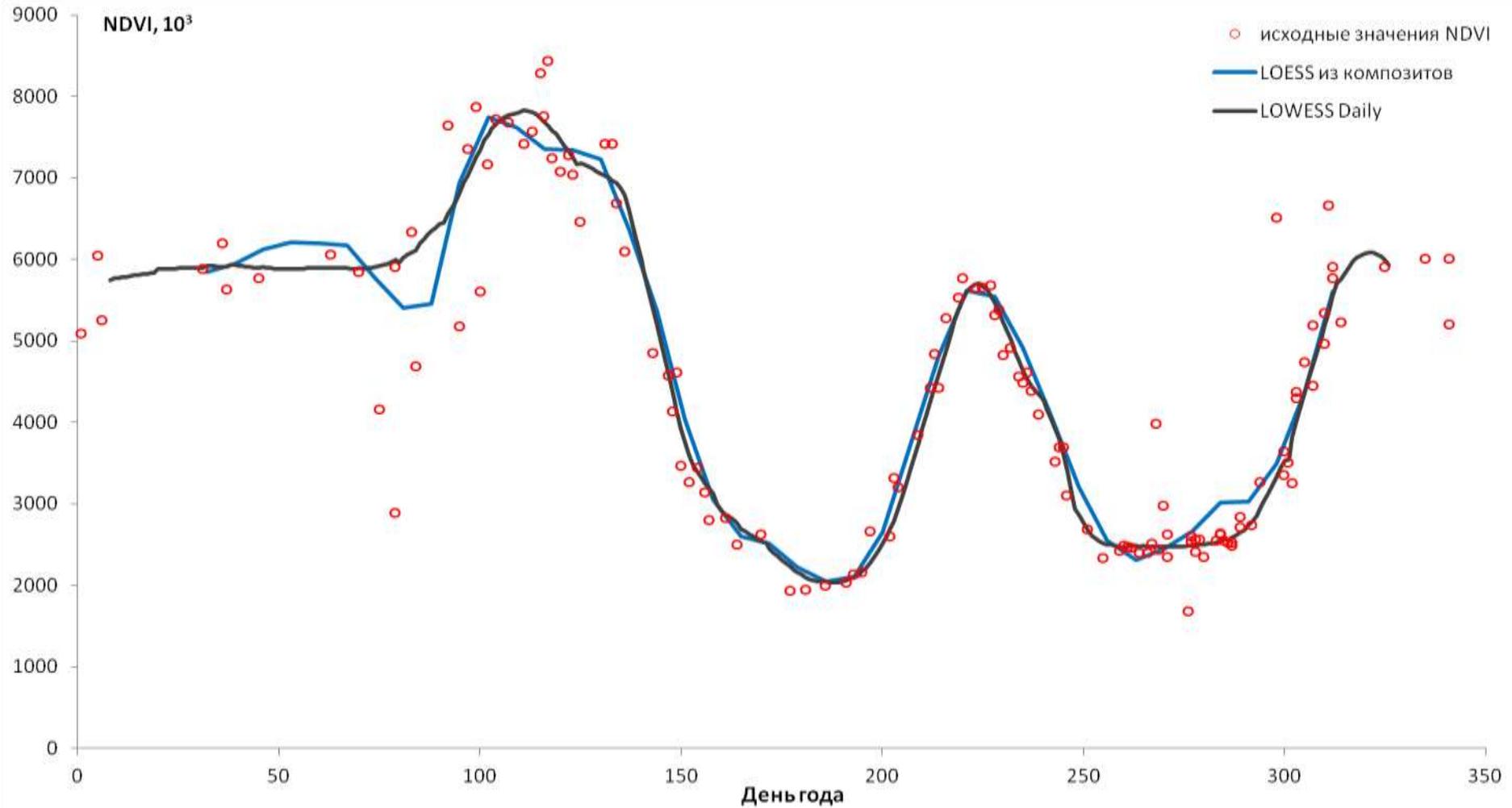


# Весовая интерполяция LOWESS по данным MODIS

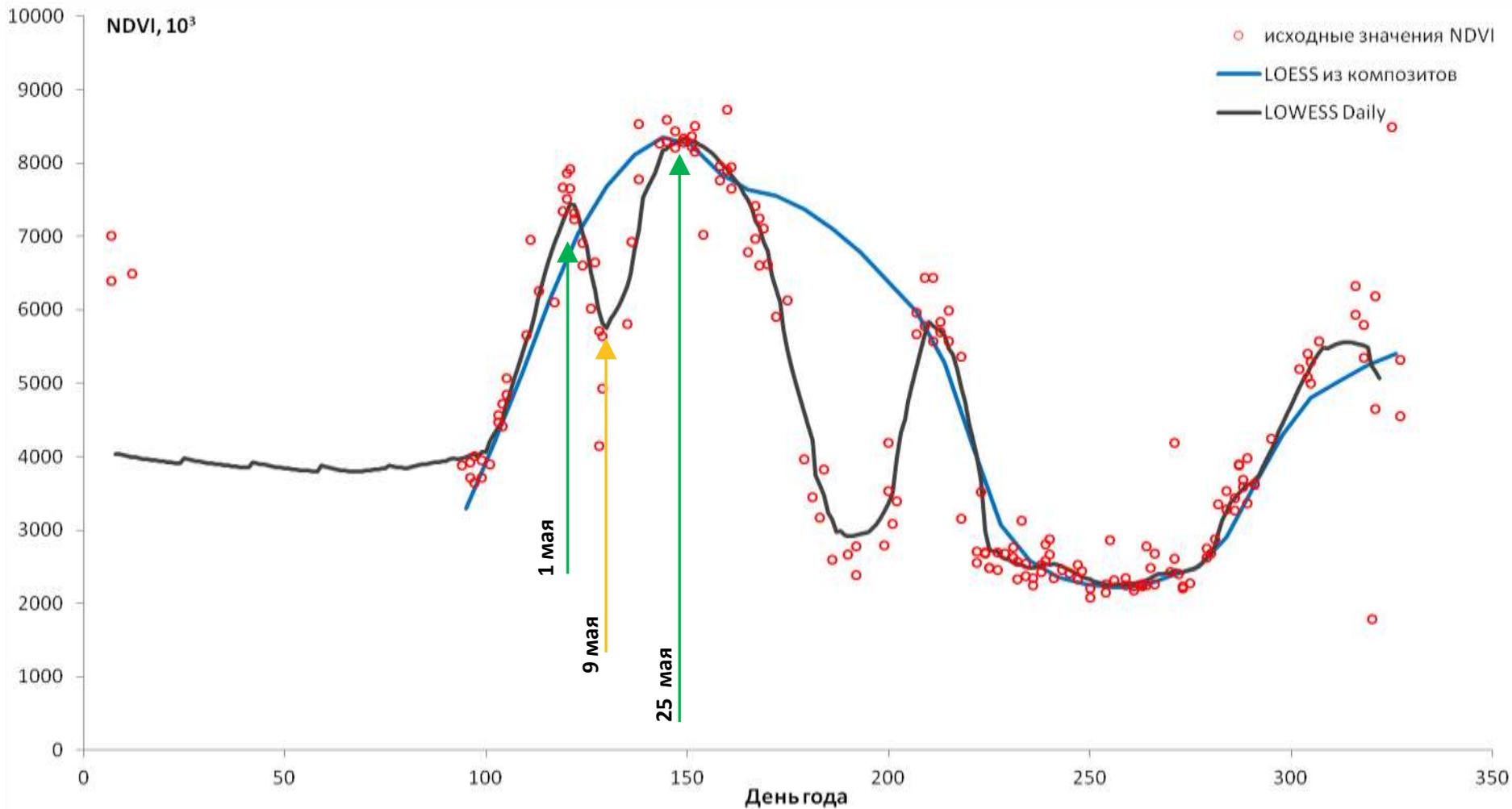
---

- ▶ На вход процедуры интерполяции поступают измерения со всех сеансов спутников Terra и Aqua
  - ▶ Для каждого измерения рассчитывается его вес на основе значения NDSI
  - ▶ Измерения с NDSI соответствующим явной облачности или снегу ( $NDSI > -0.2$ ) далее не рассматриваются
  - ▶ Коэффициенты скользящего полинома рассчитываются на основе оставшихся значений и их весов
-

# Крым, с. Клепинино, 2018 год, озимые

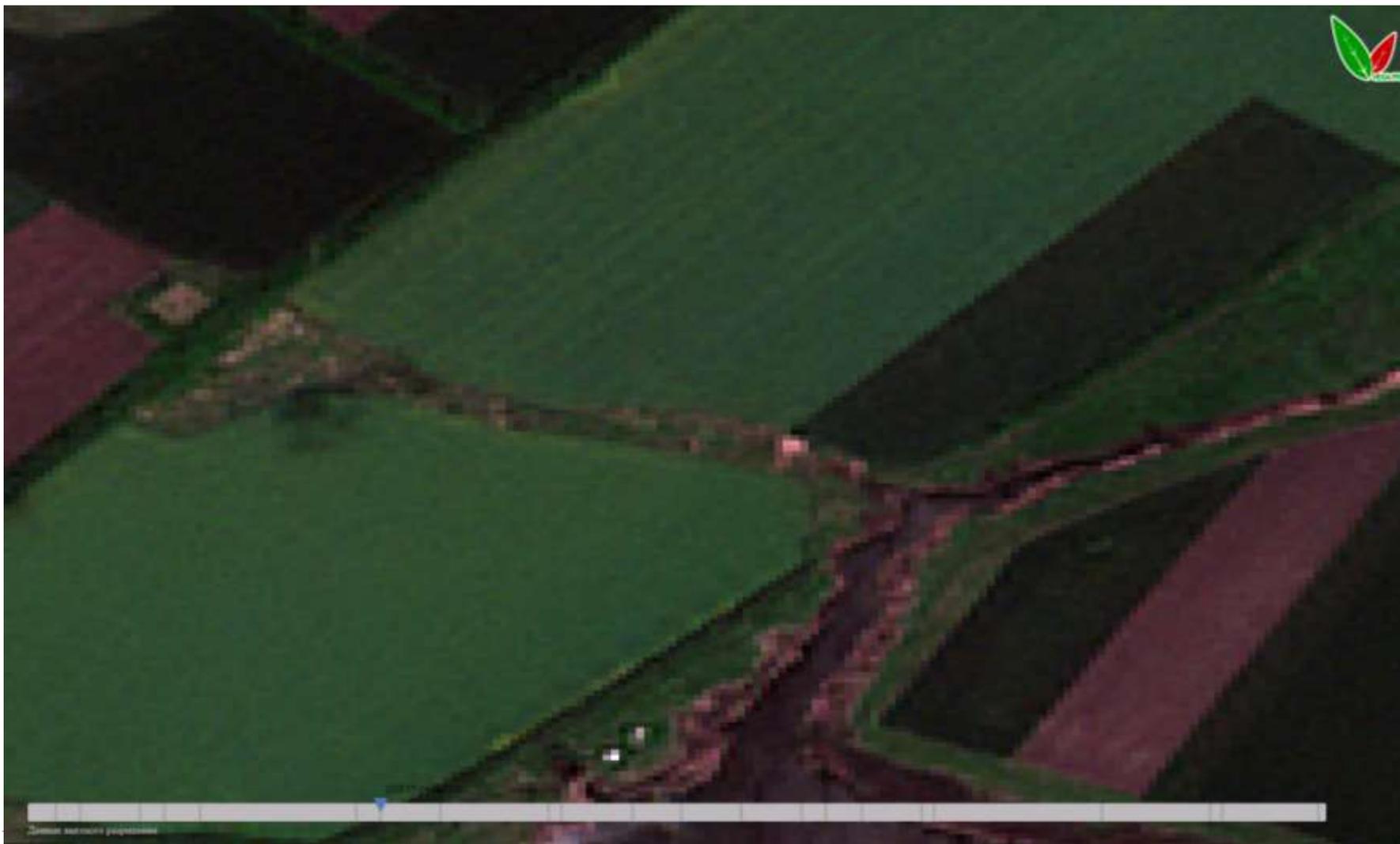


# Луганская обл., 2018 год, рапс

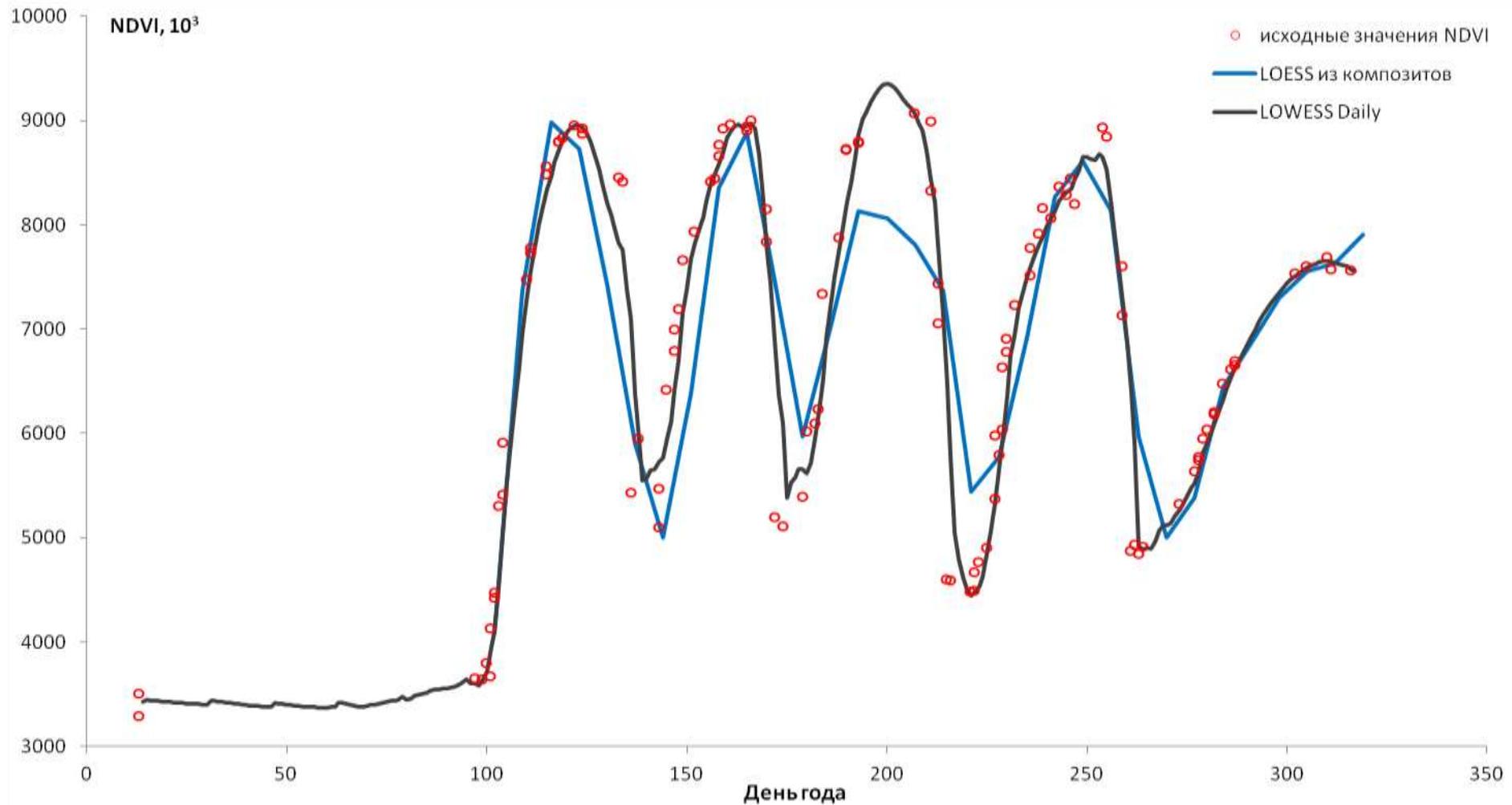


# Цветение поля рапса

---



# Днепропетровская обл., 2018 год, сенокос

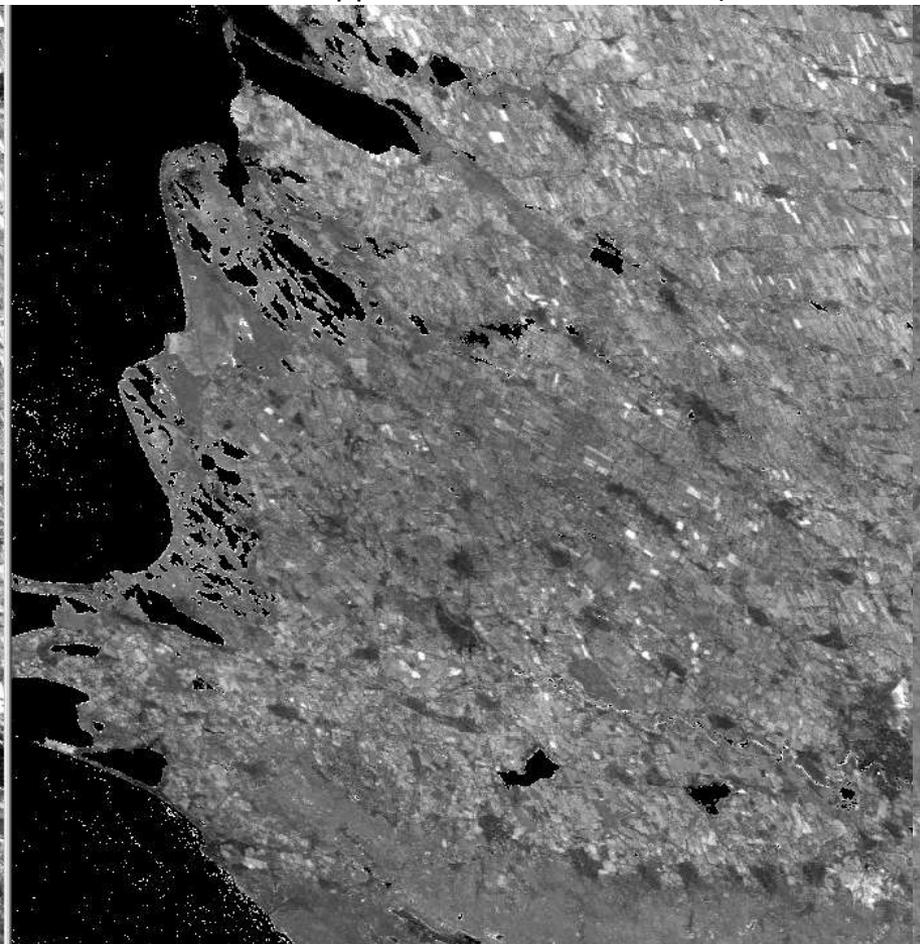
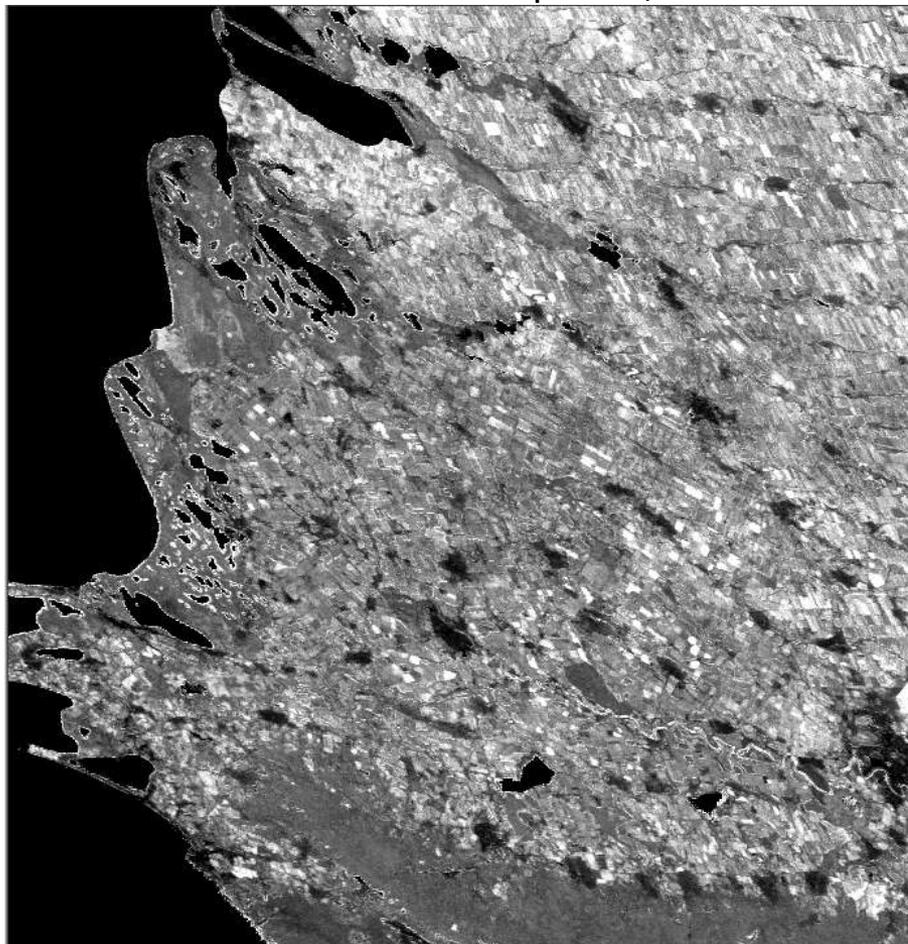


# Сравнение возможностей по выявлению высокодинамичных объектов растительного покрова (сенокосов)

изображение признака скорости изменения зелёной биомассы

На основе всех измерений, LOWESS

На основе недельных композитов, LOESS



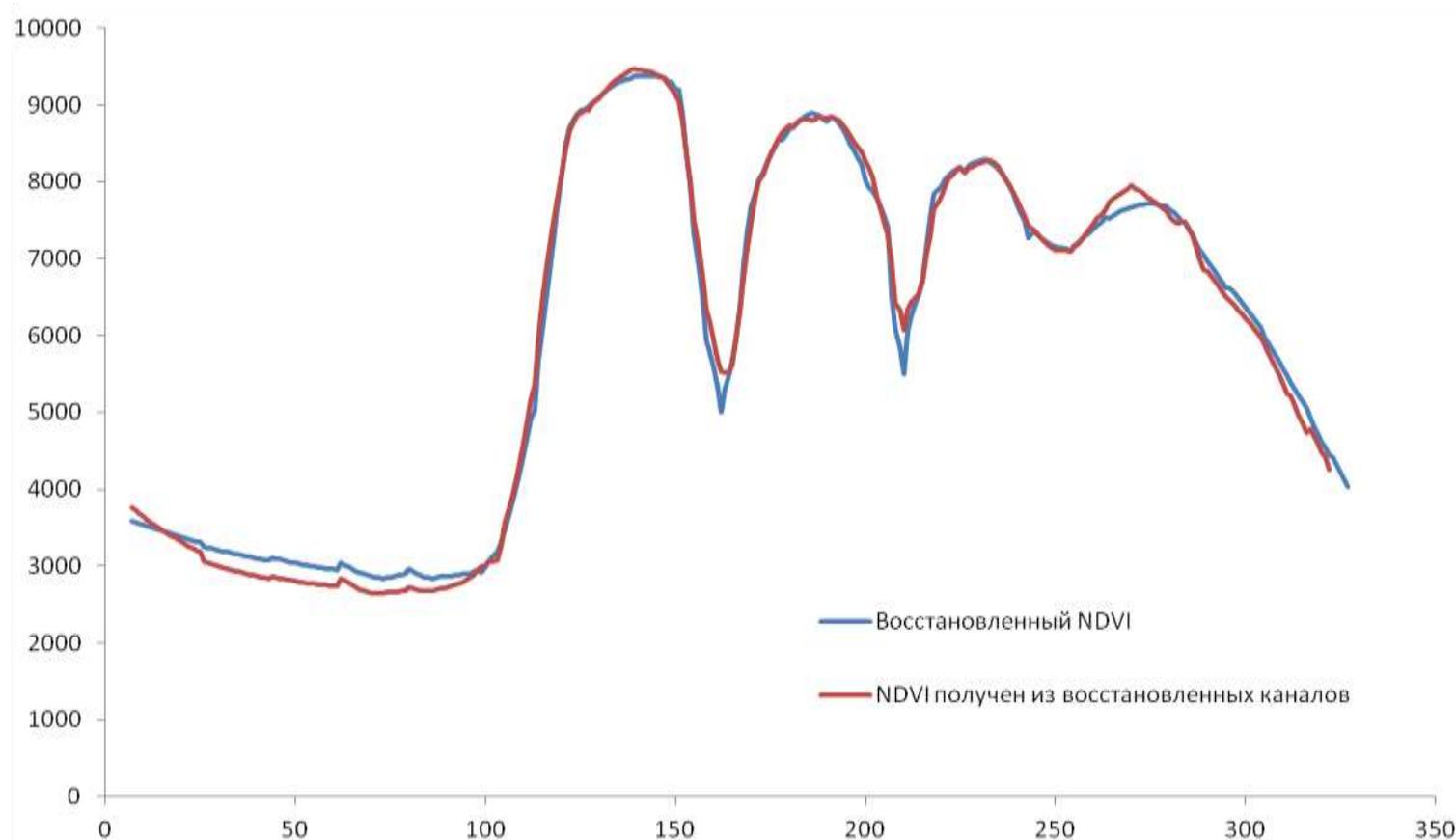
Восточная Европа (Украина)

# Кросс-канальная оптимизация

---

- ▶ Для оценки сельскохозяйственной растительности в рамках целевых проектов требуется сравнение ряда мультиспектральных индексов (NDMI (Normalized Difference Moisture Index), CII (Chlorophyll Index), Red Edge Index, CVI (Chlorophyll Vegetation Index,) CIGreen (Green chlorophyll index), GNDVI, NDWI, отдельные каналы и др);
  - ▶ После независимого восстановления временных рядов этих метрик в ряде случаев они могут перестать придерживаться изначальных закономерностей;
  - ▶ В ряде случаев требуется оптимизировать (решить задачу оптимизации) получаемых метрик чтобы их временные серии были не только **гладкими** и **без пропусков**, но и **совместимы**
-

# Пример решения задачи оптимизации каналов по NDVI



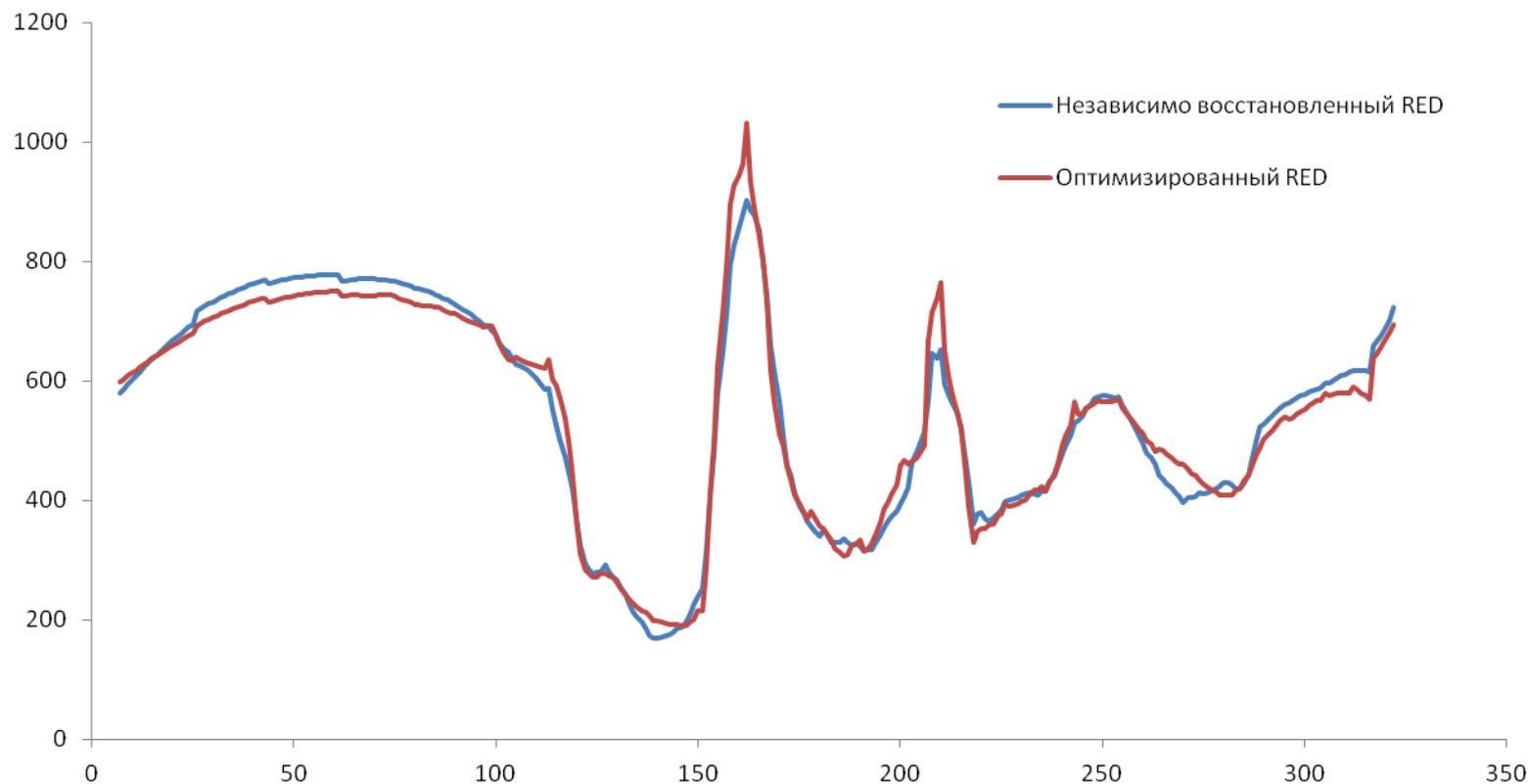
$$|NDVI - NDVI_{OPT}| \rightarrow 0$$

$$\Rightarrow Red_{OPT} = \frac{k \cdot NIR + Red}{k^2 + 1}, k = \frac{1 + NDVI_{OPT}}{1 - NDVI_{OPT}}$$

$$(Red - Red_{OPT})^2 + (NIR - NIR_{OPT})^2 \rightarrow 0$$

# Результат оптимизации Red по NDVI

---



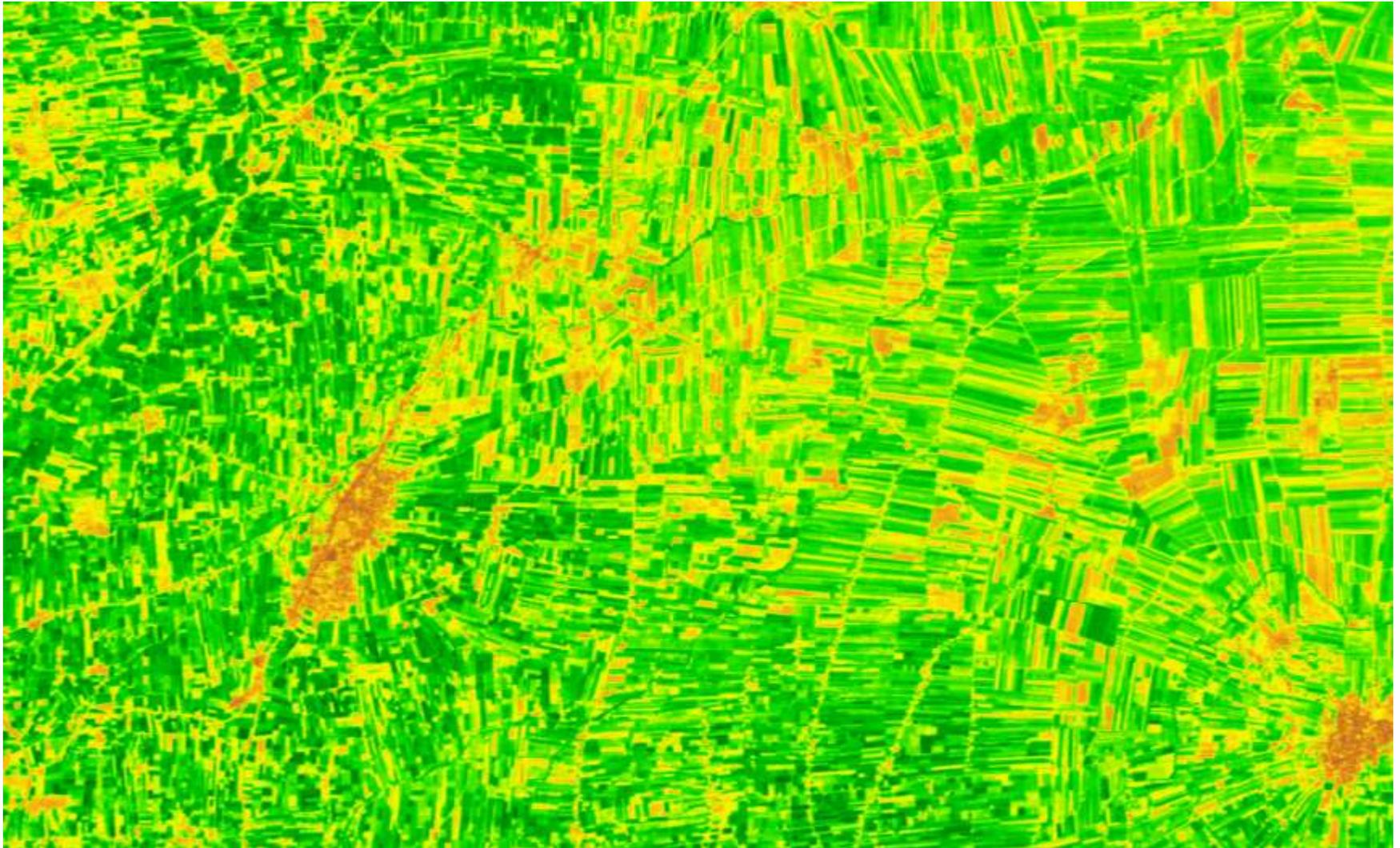
# Совместный российско-индийский проект по мониторингу сахарного тростника

---

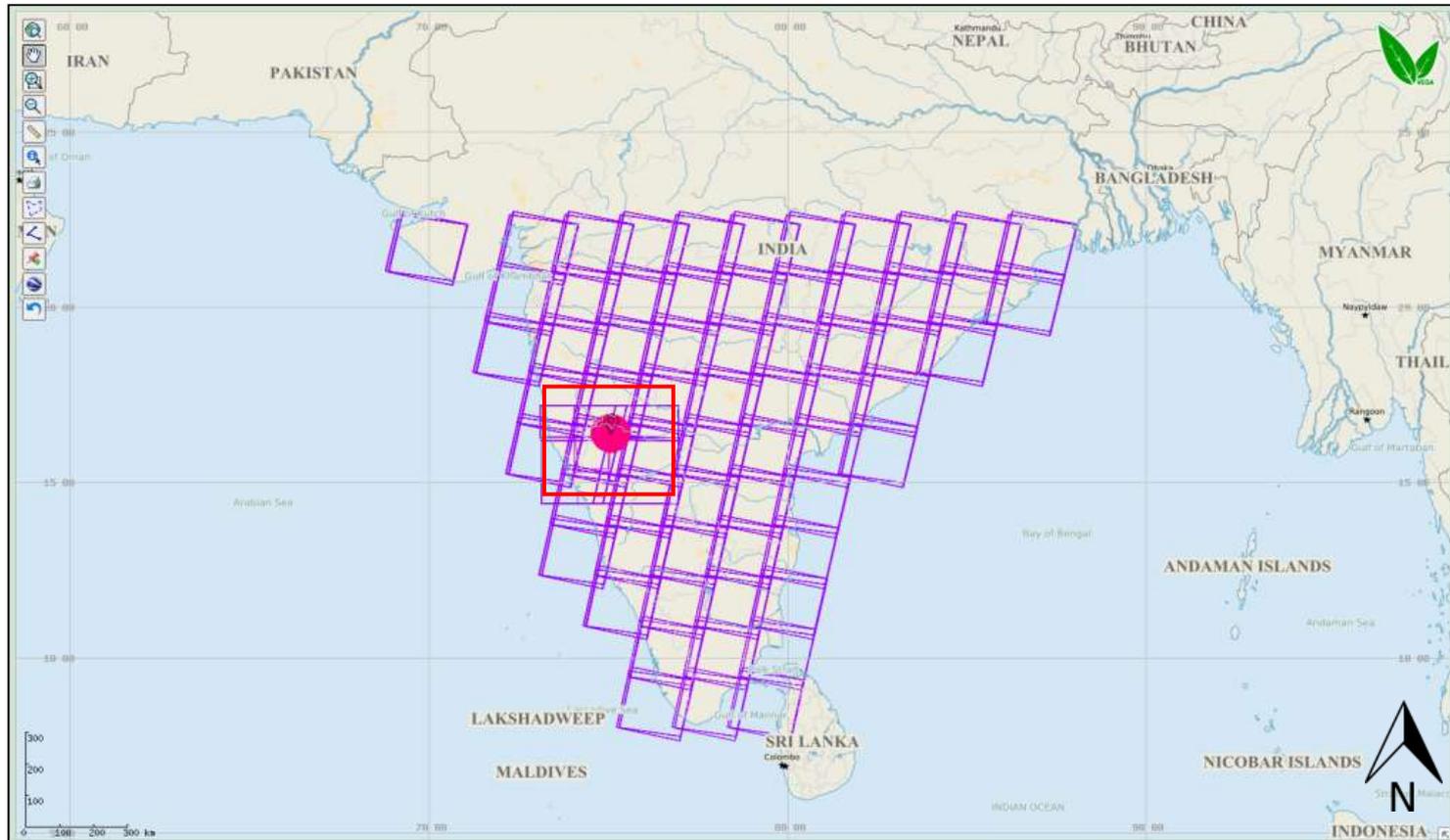
- ▶ Типичные площади плантаций СТ в Индии меньше 1 га;
  - ▶ Даты сева СТ могут отличаться более чем на месяц;
  - ▶ Различные сорта сахарного тростника имеют очень разные периоды вегетации: 10, 12 и 18 месяцев;
  - ▶ Распространено явление интеркропинга (intercropping) – пока тростник не вырос, в промежутках между рядами растет совершенно другая культура;
  - ▶ Альтернативе данным Sentinel-2 нет. Однако
    - ▶ требовались данные в том числе до начала 2019 года (нет атмосферной коррекции и масок облачности)
    - ▶ около 3 месяцев подряд по сути нет измерений чистой поверхности (муссонный сезон)
-

# Сравнение MODIS и MSI на регион исследования

---



# Покрытие региона исследования

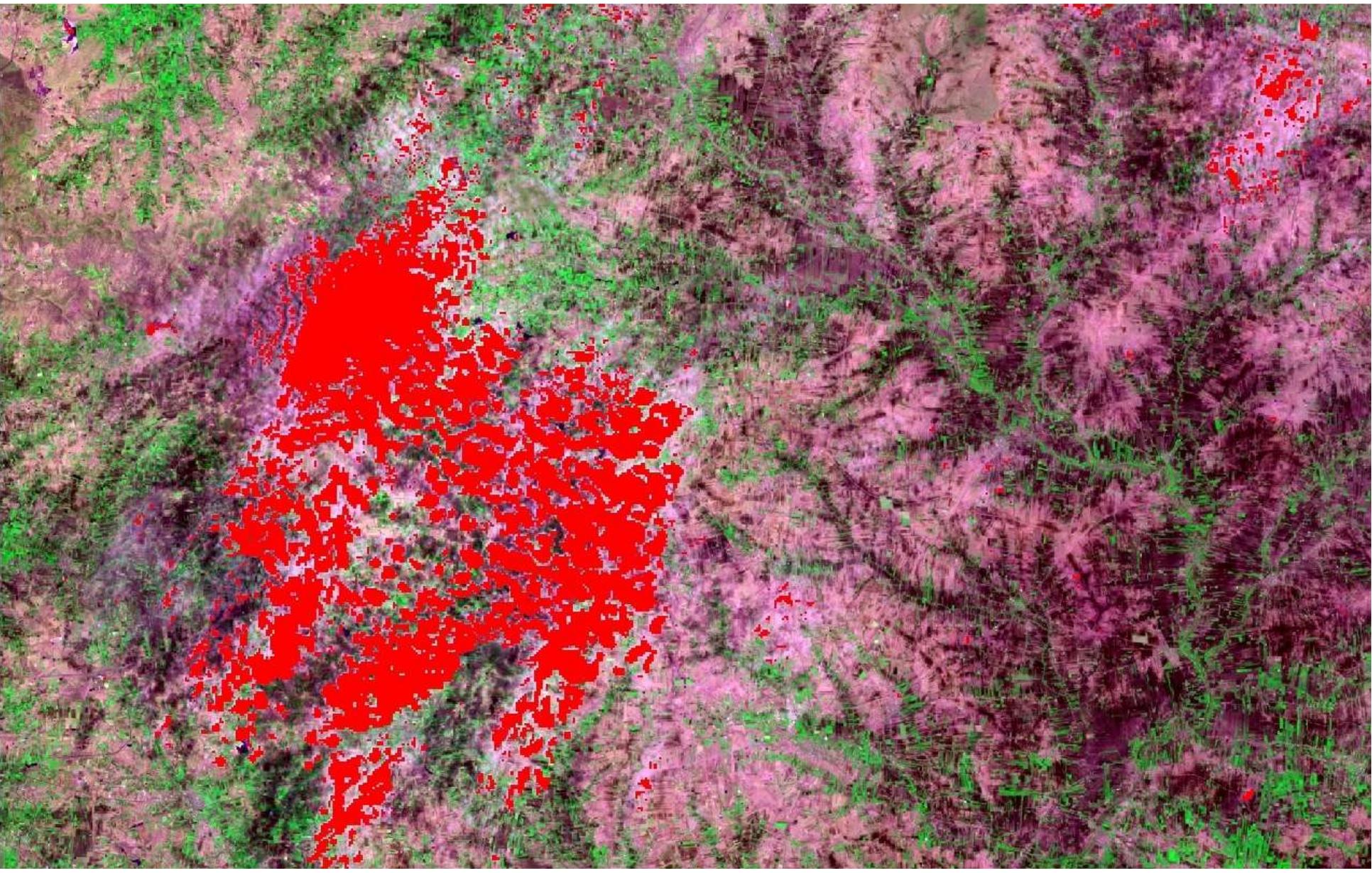


# Проблемы с масками облачности S2

---



# Проблемы с масками облачности S2



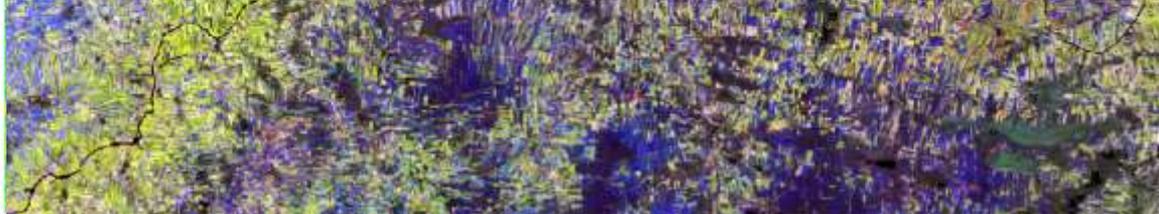
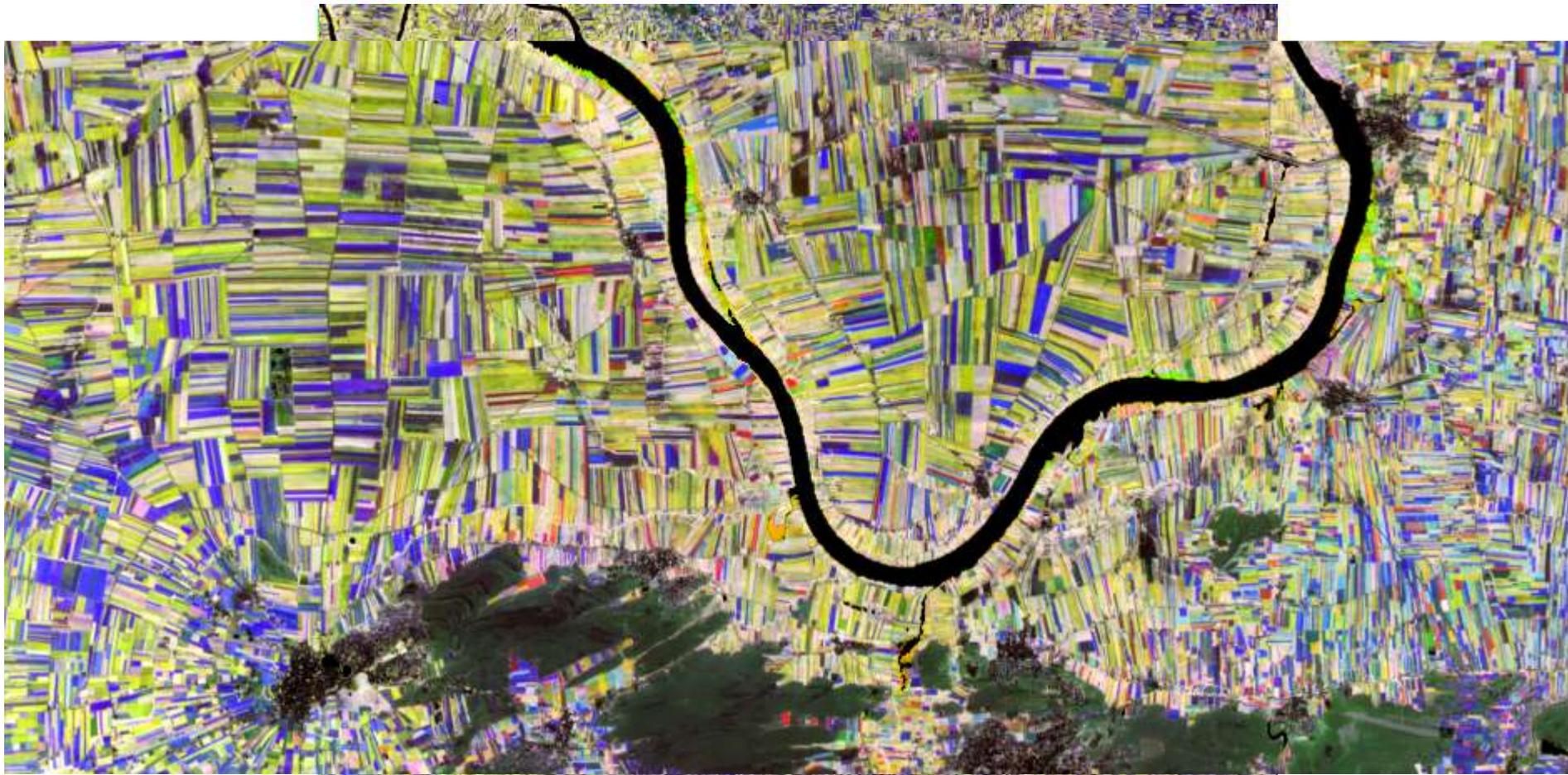
# Проблемы с масками облачности S2

---

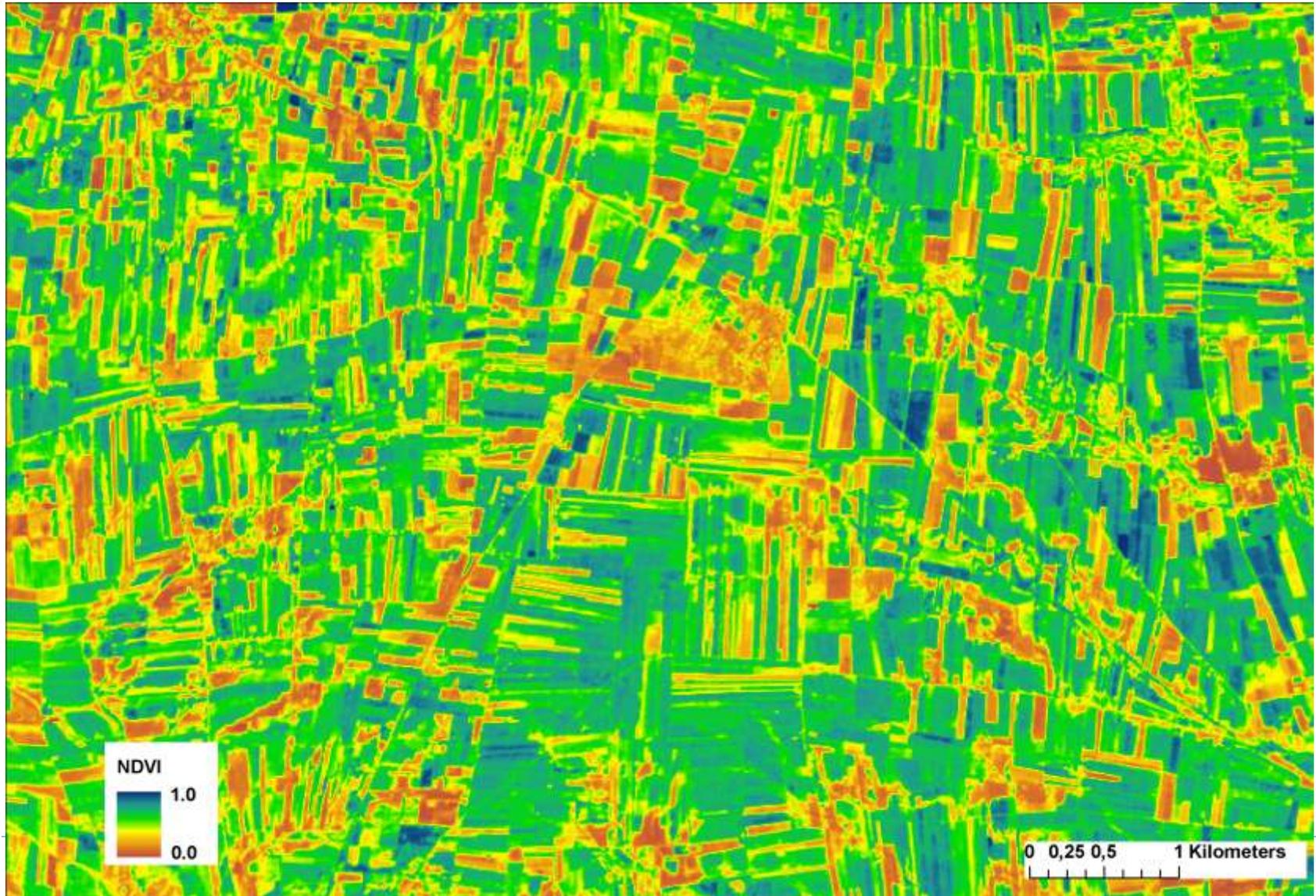


# Результаты использования LOWESS для получения безоблачных временных серий NDVI по данным Sentinel-2 (MSI)

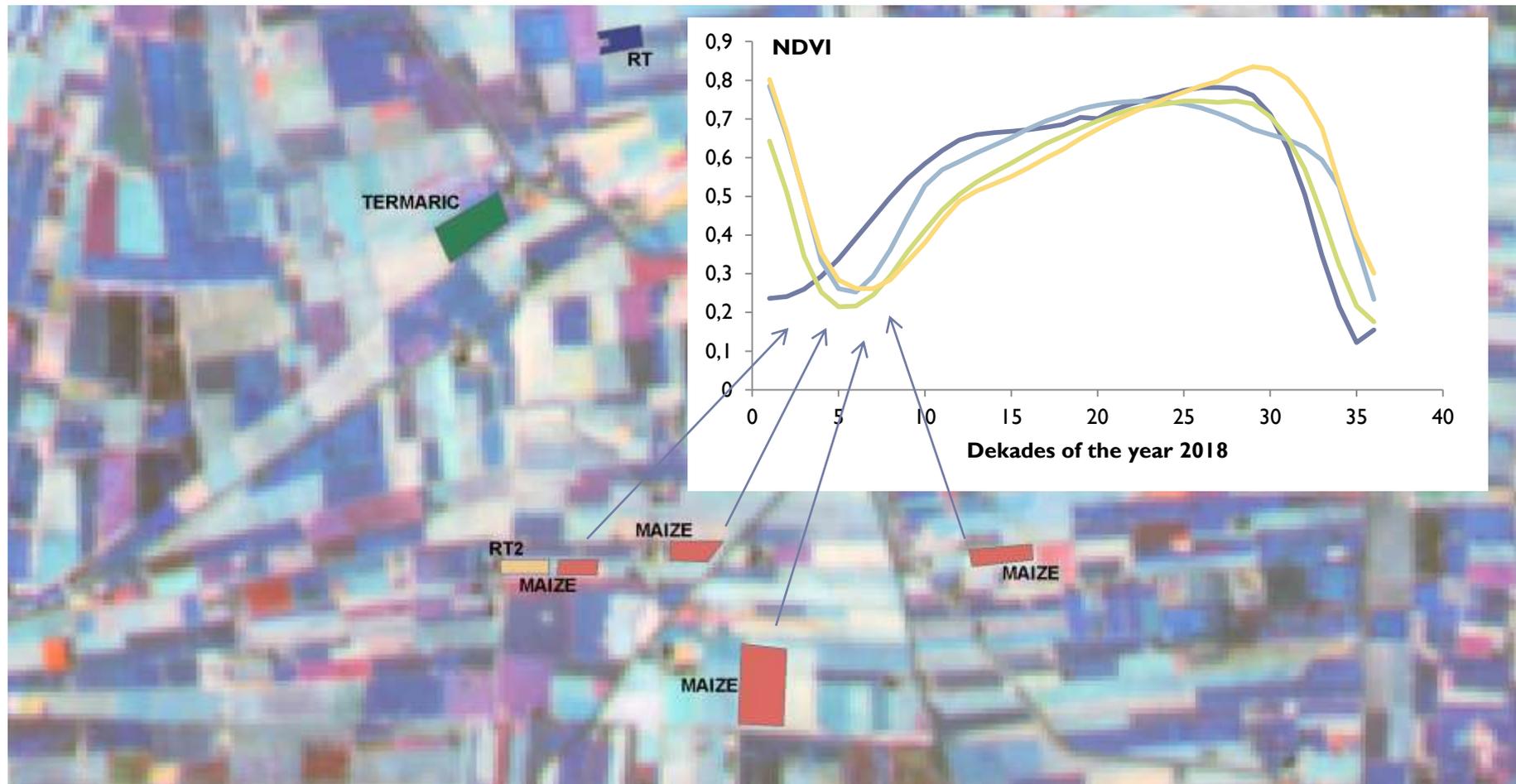
---



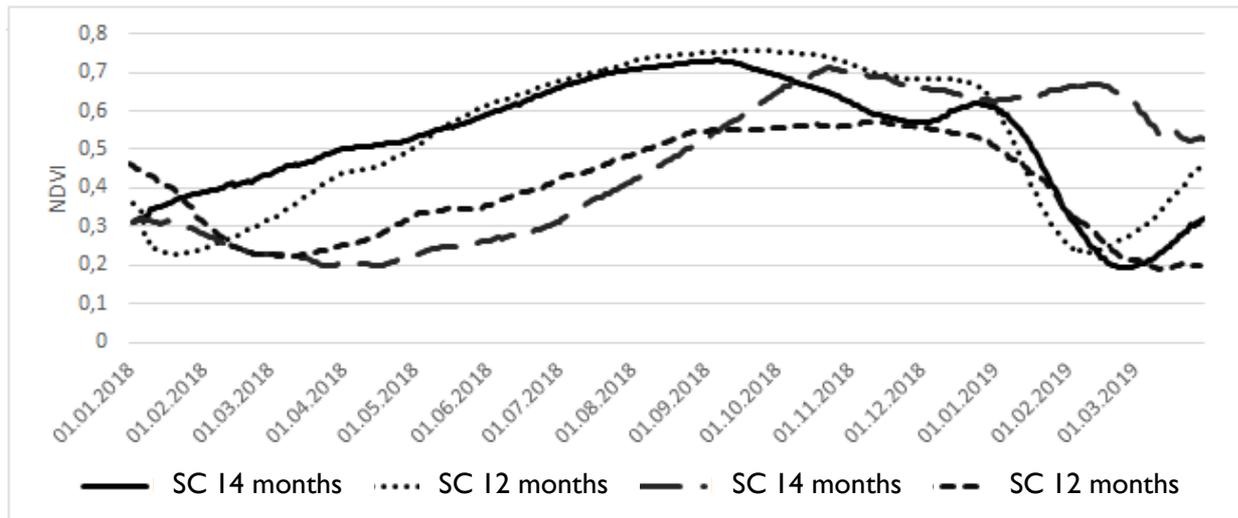
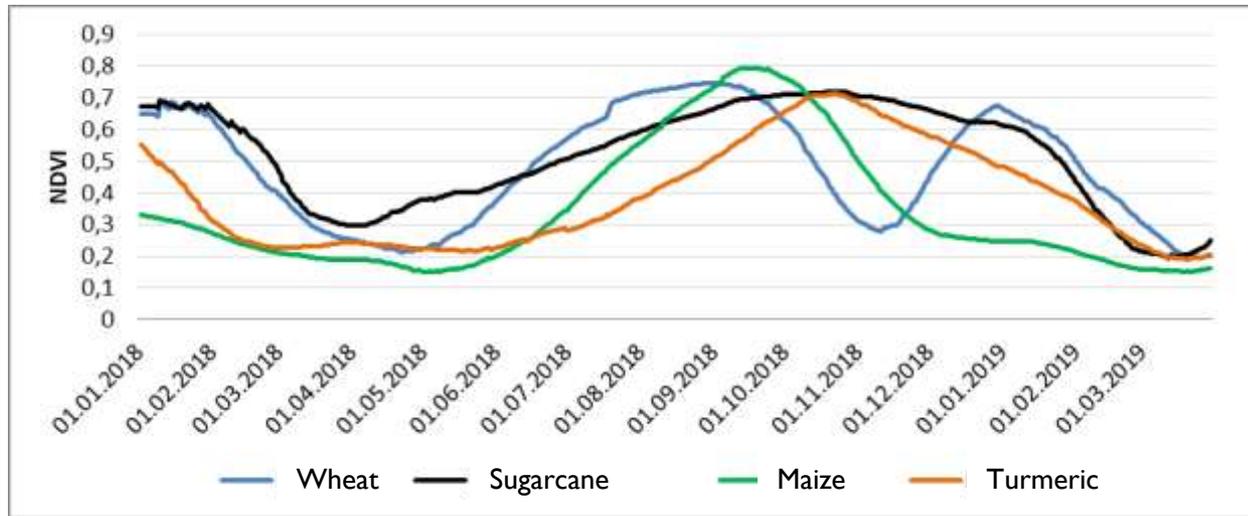
# Sentinel-2 NDVI variations (close up view)



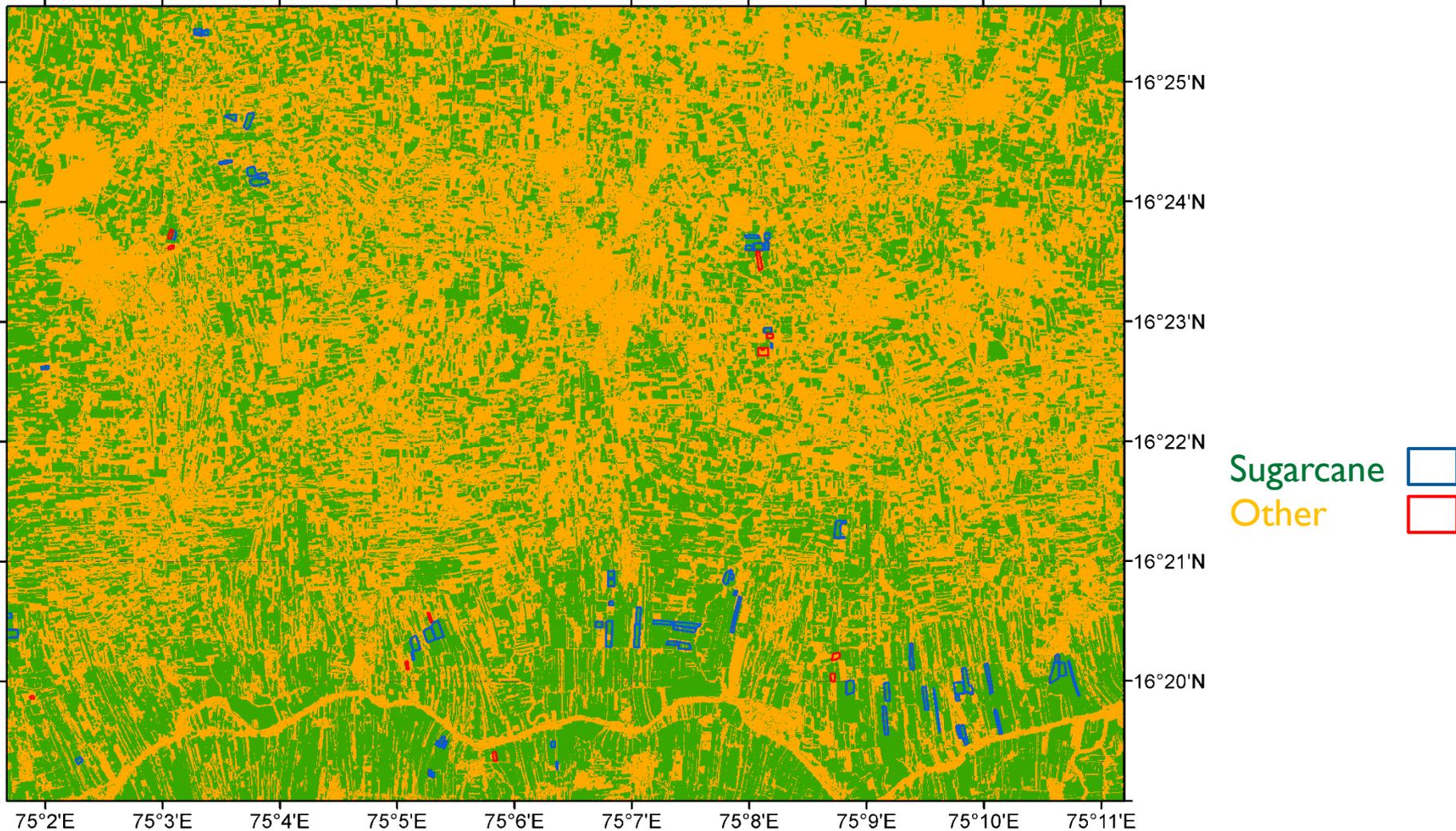
# Сезонные серии NDVI кукурузы по MSI



# Временные серии NDVI (MSI) сахарного тростника различных сортов и других культур



# Предварительная карта плантаций СТ за 2018-2019 на регион исследований



Общая точность распознавания составила **86.9%**

# Выводы

---

- ▶ Ежедневные данные имеют высокий потенциал для выявления и при оценке состояния сельскохозяйственной растительности;
- ▶ С учетом роста вычислительных возможностей использование LOWESS выглядит более прямым путем восстановления безоблачных измерений;
- ▶ Экономия времени на вычисления и гармонизация производных метрик может быть достигнуто путем оптимизации в процессе восстановления