

**Технология, результаты массовой обработки и характеристики
полученных наборов спутниковых данных КМСС-М (МСУ-100М)
для количественной оценки земной поверхности**

Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М., Барталев С.А., Прошин А.А., Кашницкий А.В.



Метеор-М №2: общие характеристики



Тип спутника —
метеорологический

Запуск — 8 июля 2014

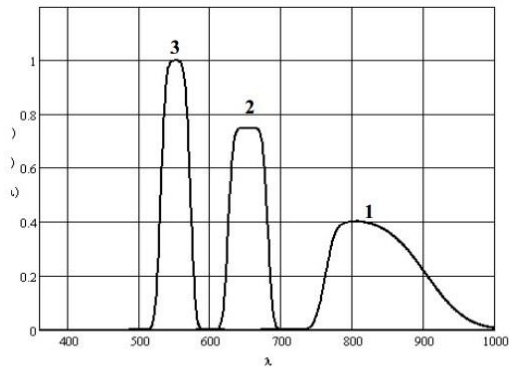
Обита КА —
круговая, солнечно-
синхронная, утренняя (9:30)

высота: 825 км
наклонение: 98,8°
период обращения: 101,41
мин

Основные технические характеристики аппаратуры КМСС-М/МСУ-100М



Внешний вид аппаратуры КМСС-М.



Относительная спектральная чувствительность каналов МСУ-100М
(цифры у кривых обозначают номер канала)

Скорость подспутниковой точки – 6.8 км/с

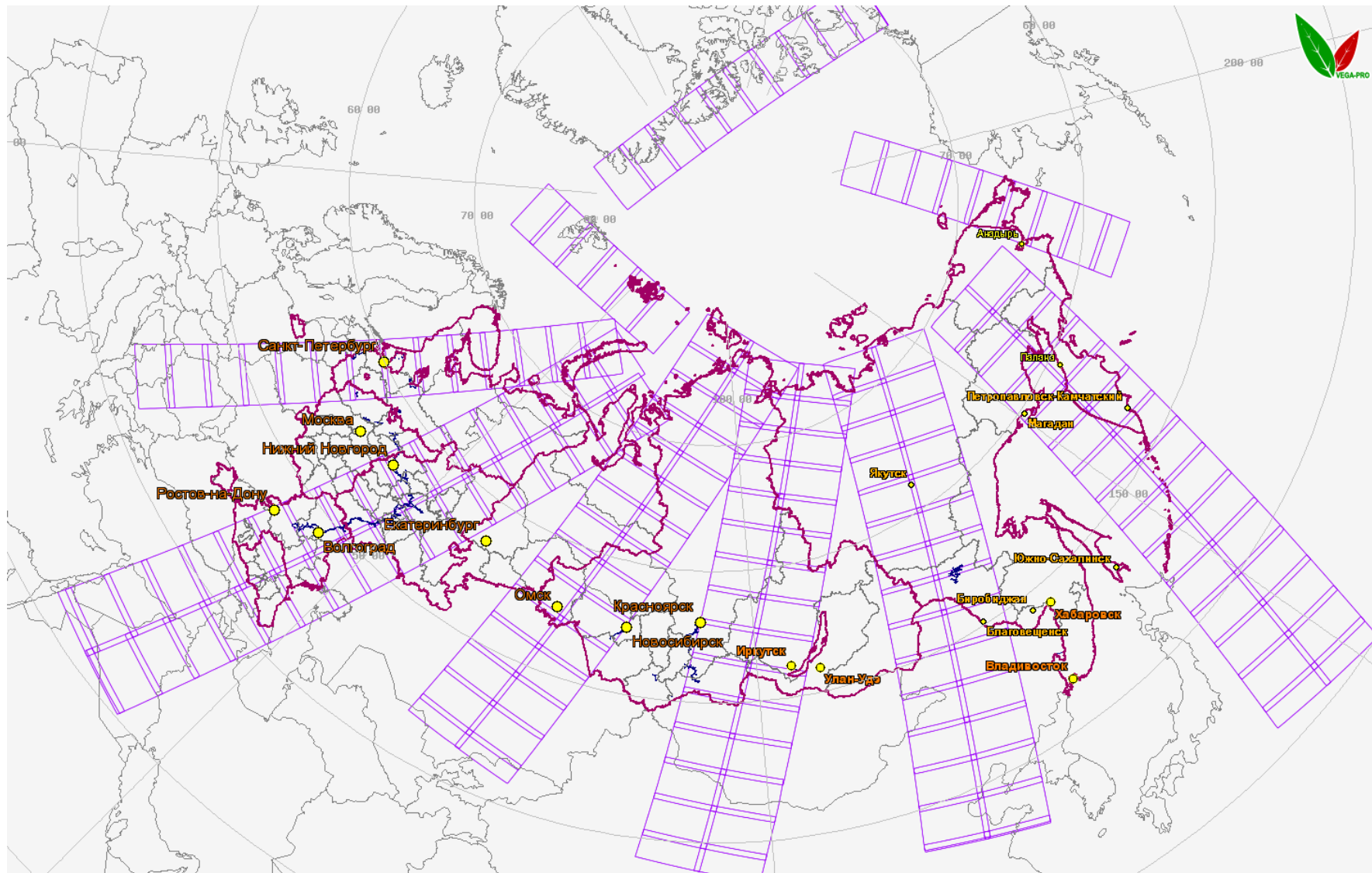
Формируемая полоса обзора – 960 км (2 камеры)

Угол установки относительно местной вертикали
– ± 14 град.

Размер проекции элемента разрешения на
земную поверхность (в направлении оптической
оси прибора) – 60 метров.

Спектральные зоны – 535-575 нм, 630-680 нм,
760-900 нм. (Межканальный параллакс $\sim 9^\circ$)

Высокие показатели повторяемости съемки КМСС-М/МСУ-100М



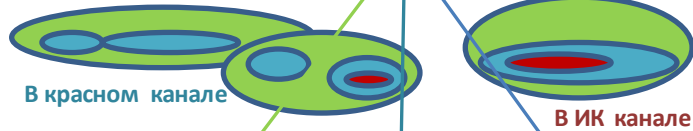
Покрытие данными МСУ-100М (Метеор-М2) за **один день (6 июля 2020 г.)**
Территория России покрывается полностью за 2-3 дня

Геометрия съемки КМСС-М

+40сек

+20сек

Размеры и очертания
облака в зеленом канале



В красном канале

В ИК канале



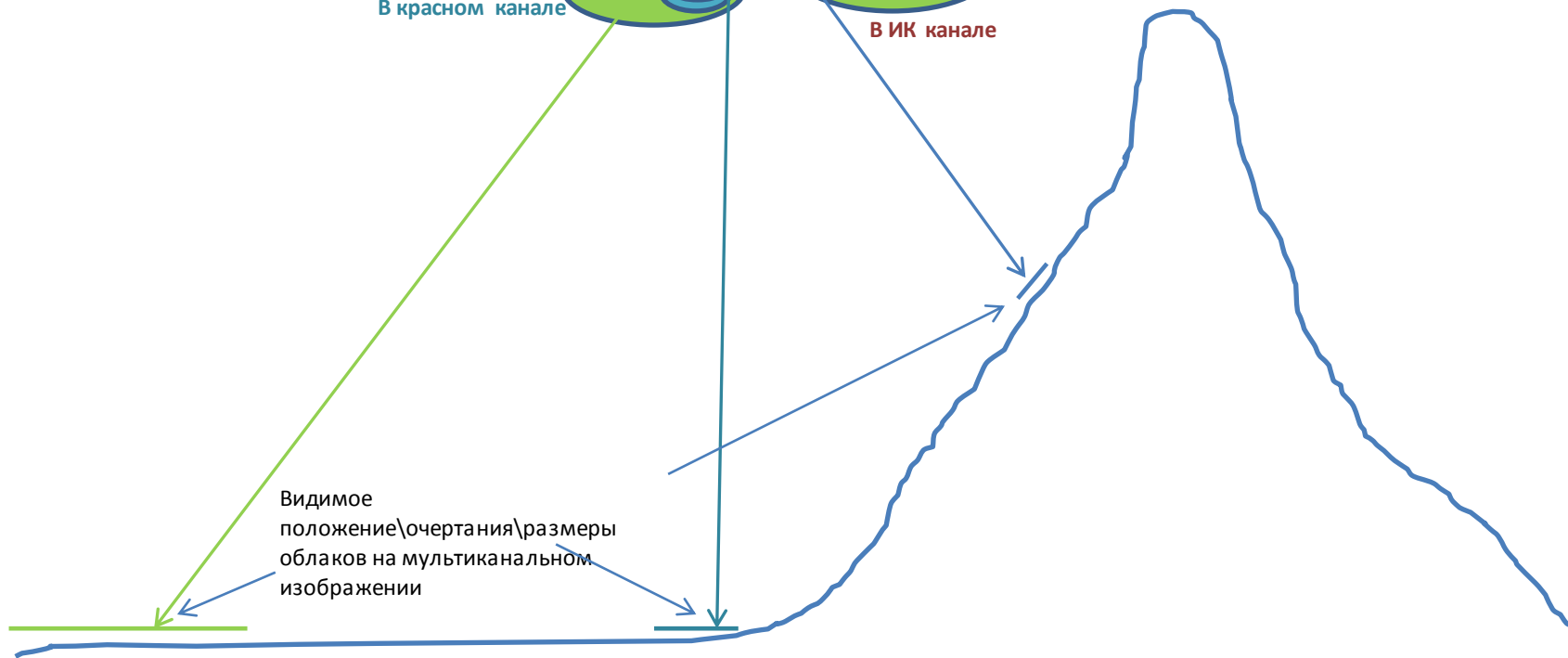
8,67°

GREEN

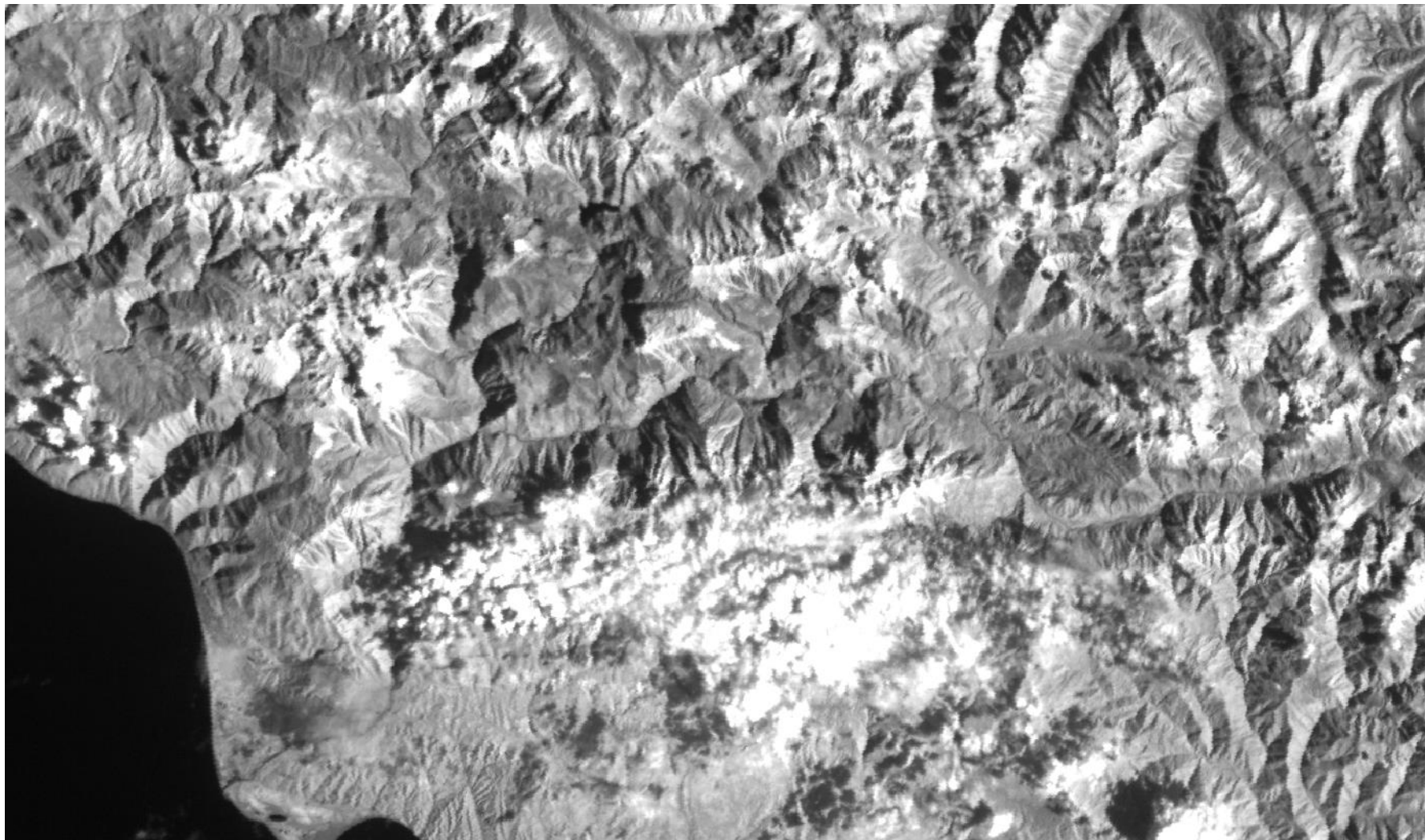
RED

NIR

Видимое
положение\очертания\размеры
облаков на мультиканальном
изображении

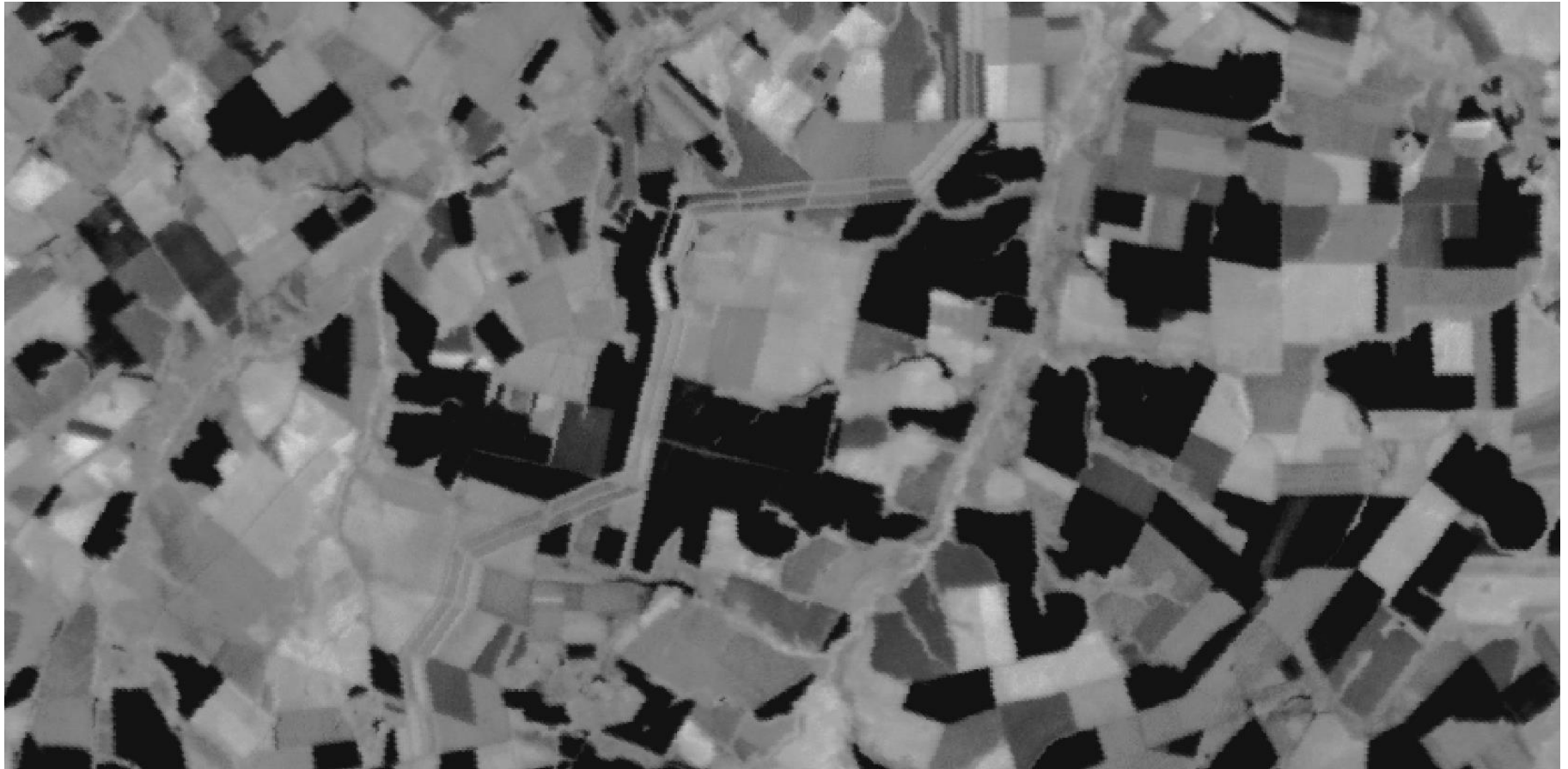


Облачность и горы в разноканальных изображениях



Часть сцены МСУ-100М за 15 августа 2020 года (красный-БИК)
Наблюдается смещение облачности и вершин гор

Различия географической привязки разнозональных изображений



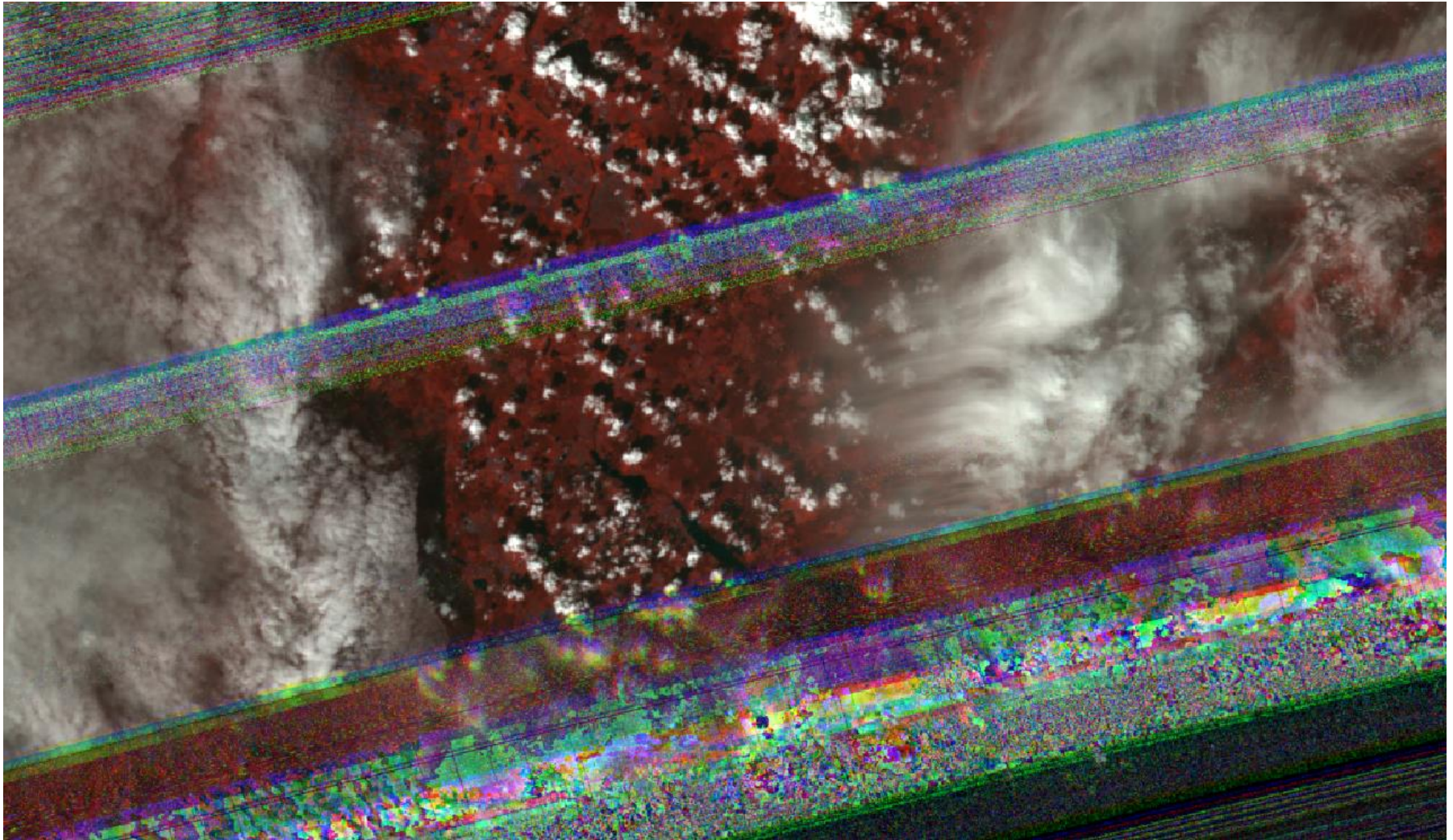
Часть сцены МСУ-100М за 5 августа 2020 года (красный-БИК)
Наблюдается смещение объектов земной поверхности

Локальные аномалии географической привязки



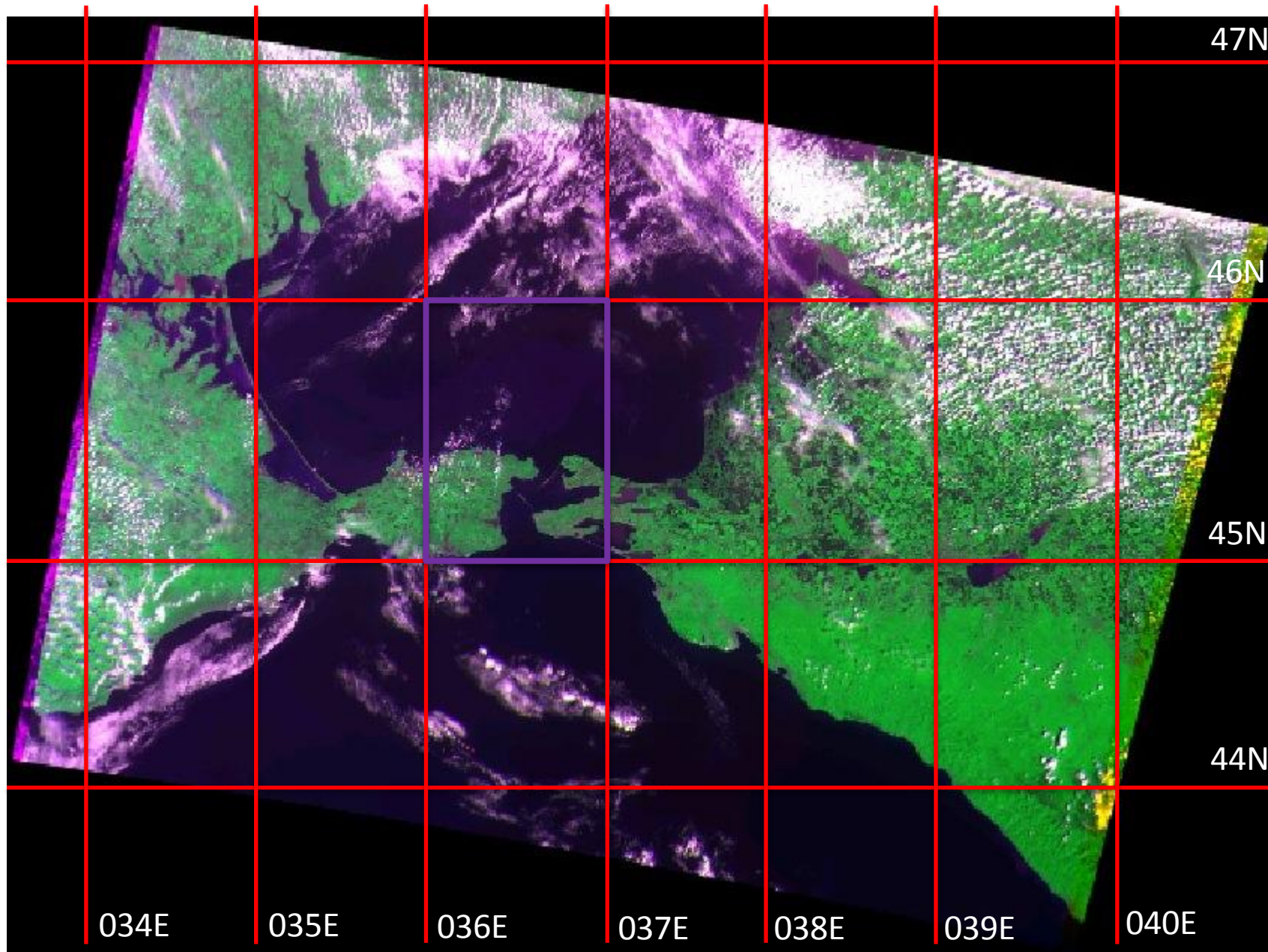
Часть сцен MSU-100M за разные даты в БИК канале
Наблюдаются смещения объектов на разновременных изображениях

Шумы в данных типа “соль и перец”



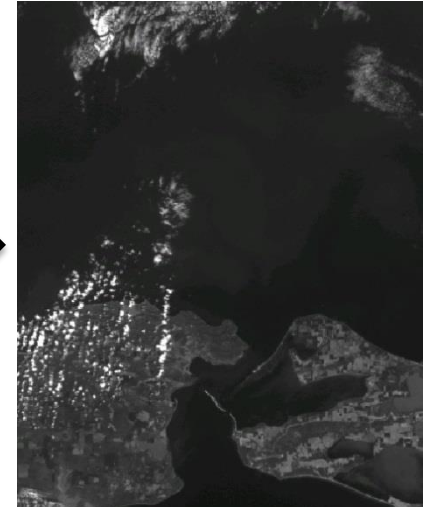
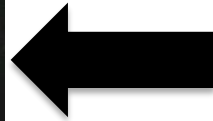
Часть сцены MSU-100M за 15 августа 2020 года

Гранильный формат данных



Формат имени файлов\продуктов

[BAND][Sensor].A[YEAR][DoY]T[Hour][Min][Sec].[E/N][Lon][N/S][Lat]



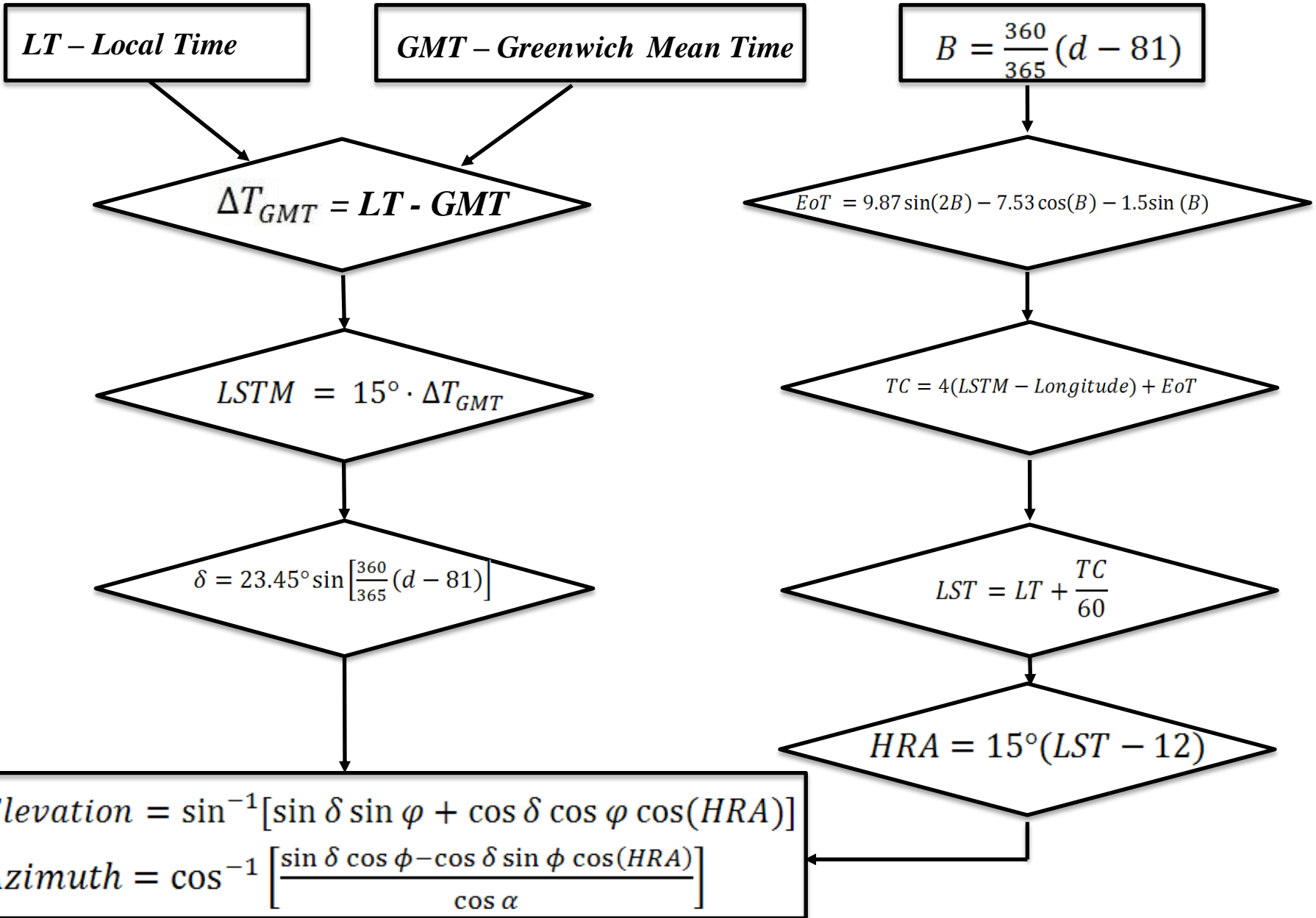
GREEN101.A2016138T070843.E036N46

RED101.A2016138T070843.E036N46



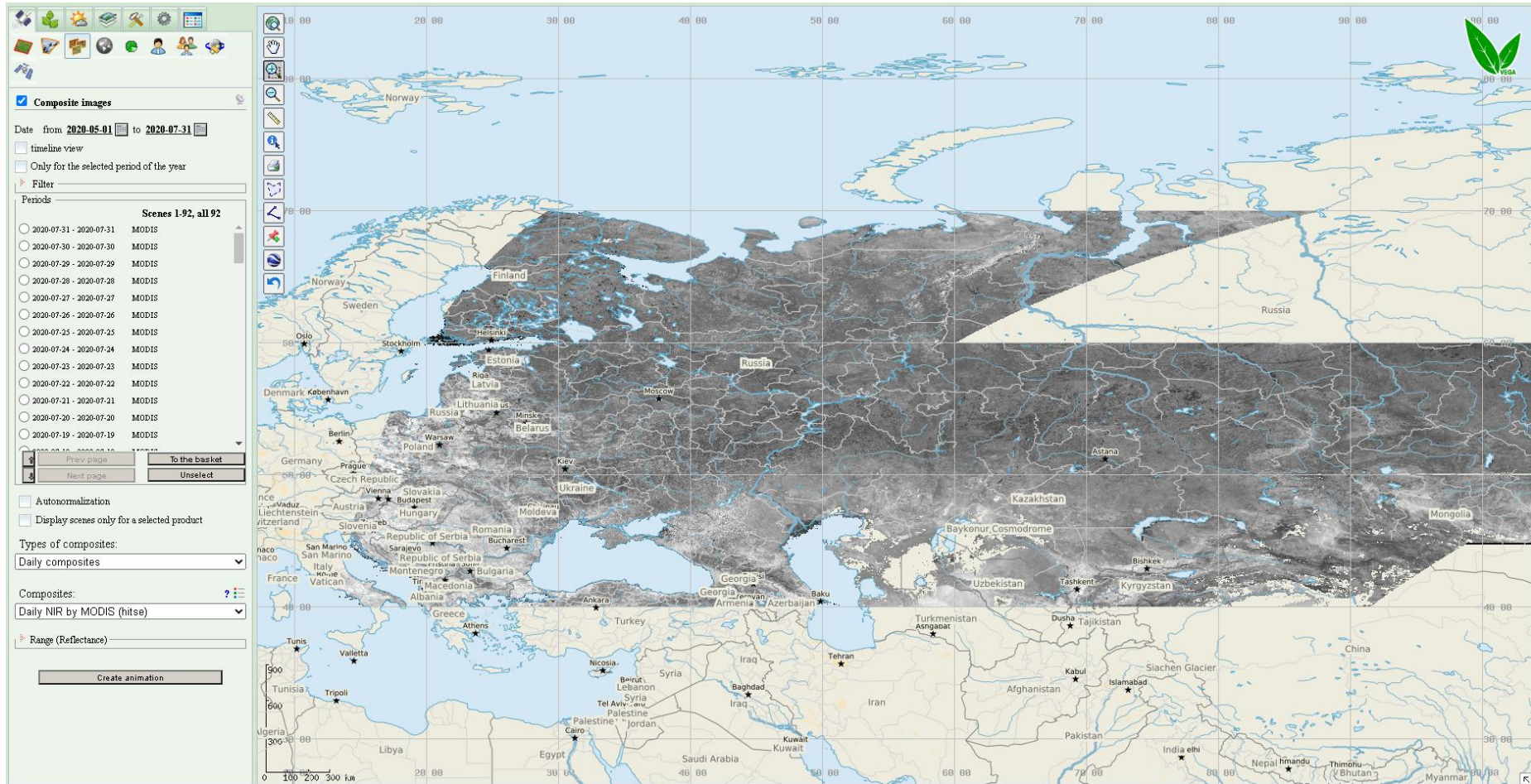
NIR101.A2016138T070843.E036N46

Блок-схема вычисления углов Солнца без использования метаданных (только базовые – координаты и время съемки)



Покрытие эталонными данными MODIS

В качестве эталона используются ежедневные восстановленные изображения полученные по данным MODIS из сеансов продукта MOD09 методом LOESS (в красном и БИК)

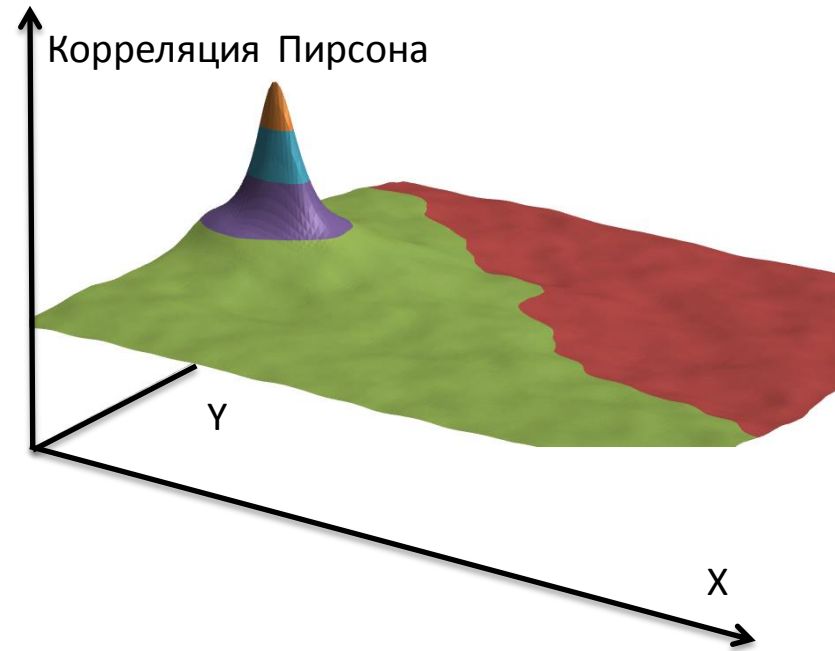


Эталон MODIS на 1 мая 2020 г.

Устранение систематического смещения изображения МСУ-100М



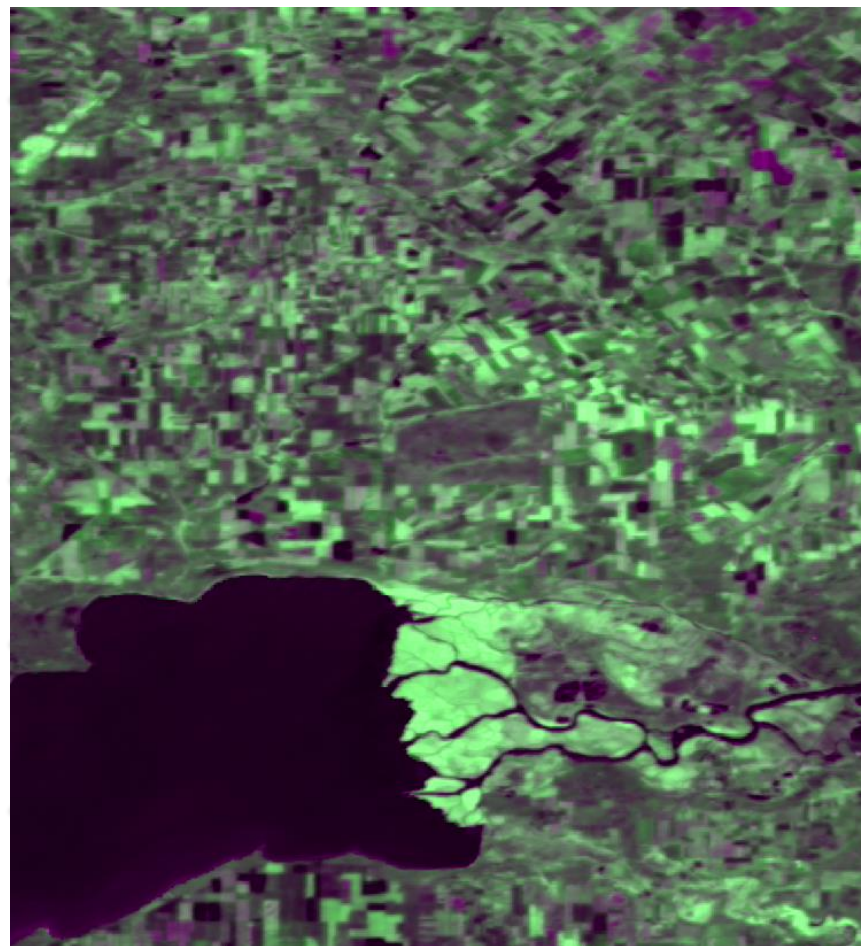
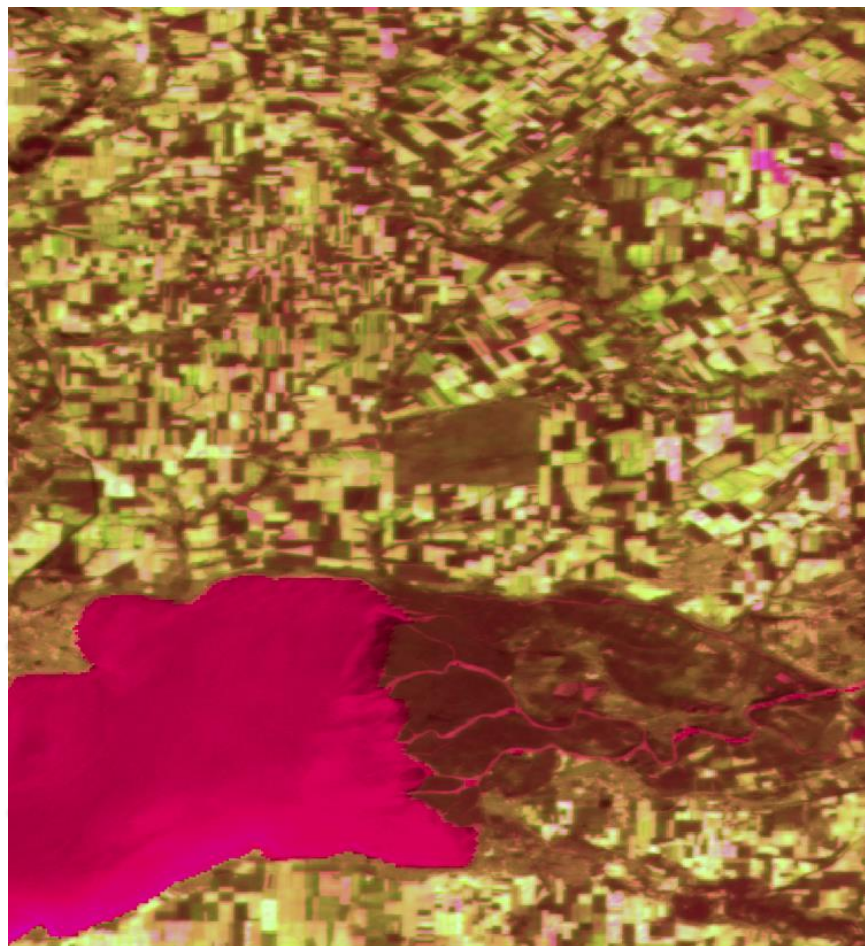
Часть сцены МСУ-100М и MODIS за 19 июля 2020 г. в БИК



Зависимость корреляции от смещений

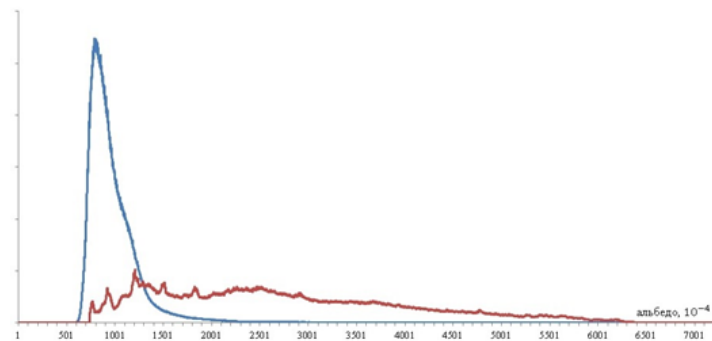
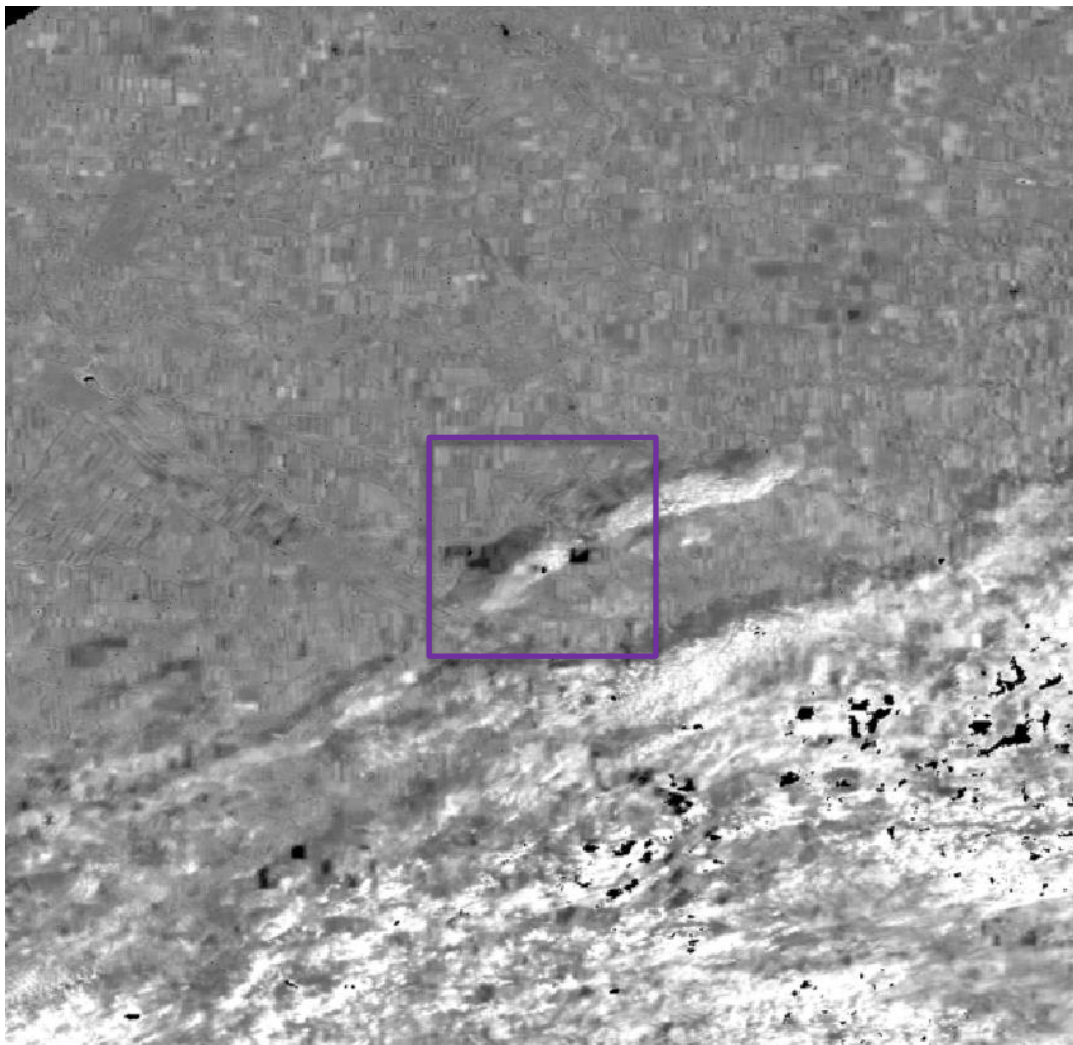
$$dX = dX_0 + dX_{loc}$$
$$dY = dY_0 + dY_{loc}$$

Компенсация локальных аномалий привязки изображений МСУ-100М

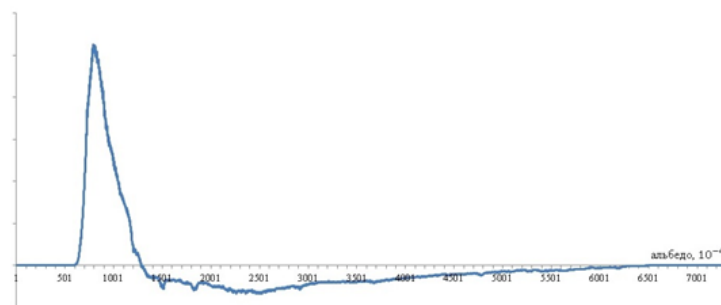


Трехканальный синтез изображений МСУ-100М и MODIS (красный – МСУ-100М, зеленый – MODIS, синий – МСУ-100М) до географической допривязки и после на красный (слева) и БИК (справа)

Детектирование облачности по данным МСУ-100М



Гистограмма чистой (синяя) и облачной (красная) части сцены

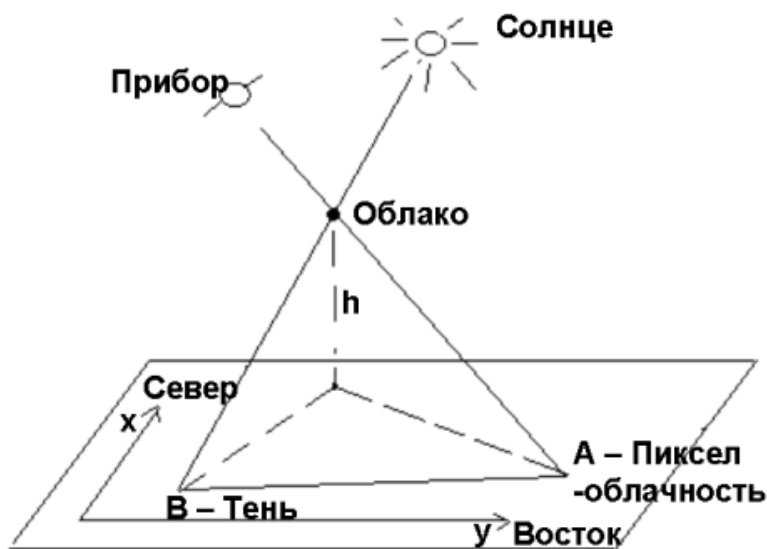


Разностная гистограмма

$$f_{red\ diff}(A) = f_{red\ free}(A) \int f_{red\ free}(A) dA - f_{red\ cloud}(A) \int f_{red\ cloud}(A) dA$$

Часть сцены МСУ-100М за 19 июля 2020 г.

Определение положения теней от облачности и углов Солнца



Геометрия положения теней :

$$x = H(\cos(\Psi)tg(\vartheta) - \cos(\beta)tg(\delta))$$

$$y = H(\sin(\Psi)tg(\vartheta) - \sin(\beta)tg(\delta))$$

H - высота облака над Землей,

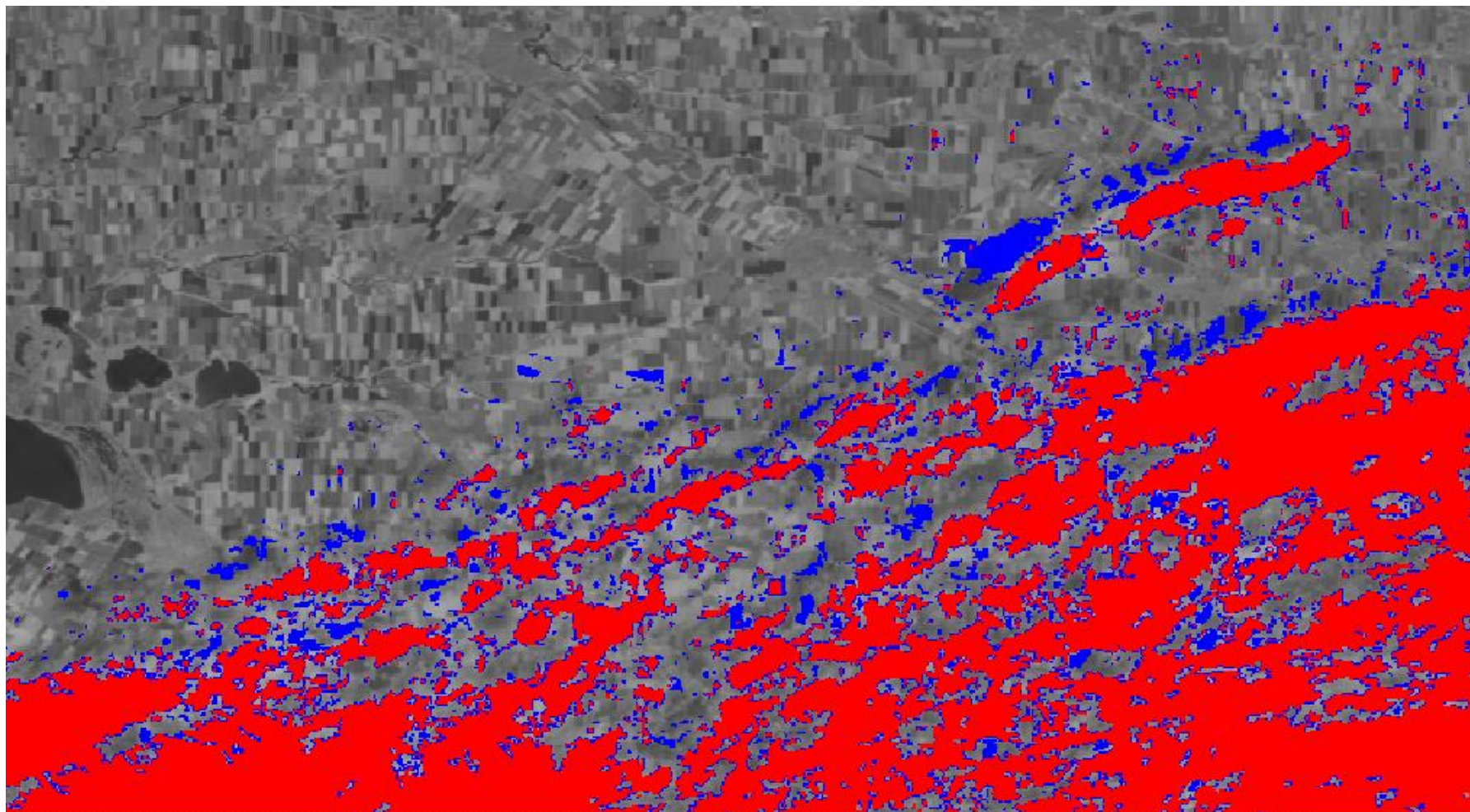
Ψ - азимутальный угол наблюдения

ϑ - зенитный угол наблюдения

β - азимутальный угол Солнца

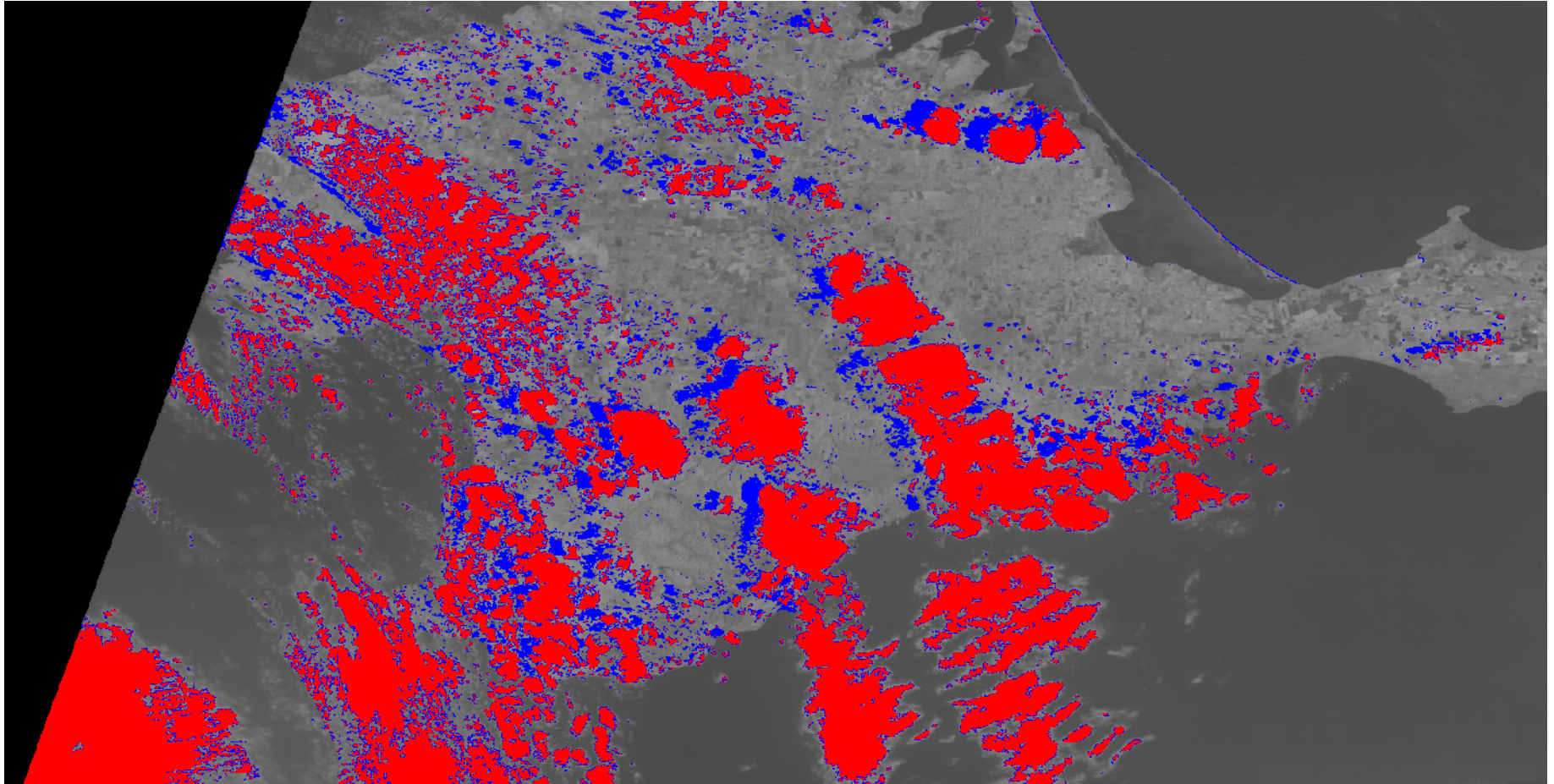
δ - зенитный угол Солнца

Детектирование теней по данным МСУ-100М



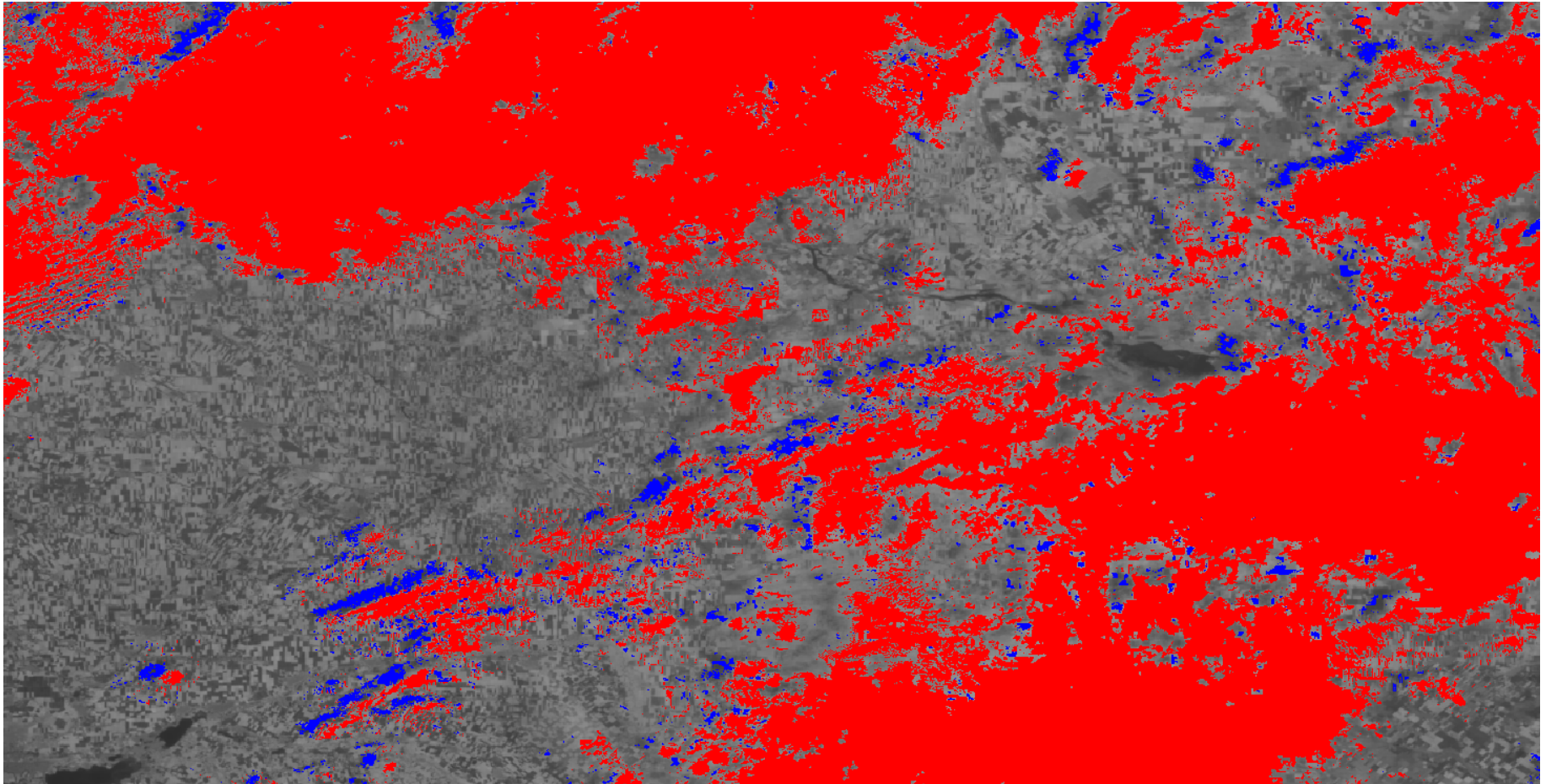
Часть сцены МСУ-100М за 19 июля 2020 г.

Маска облаков и теней



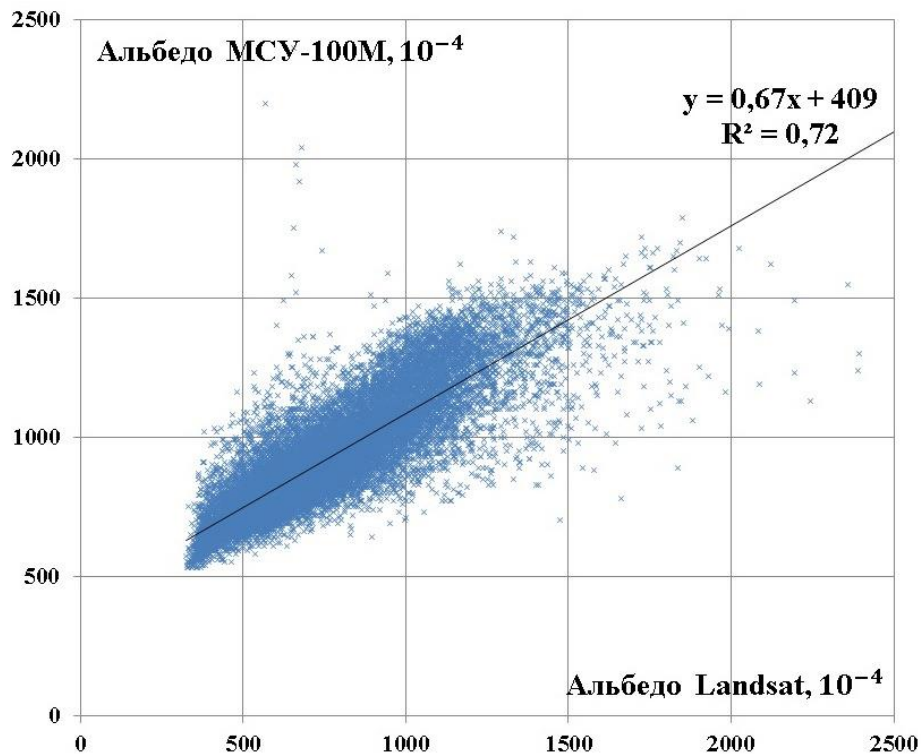
Часть сцены МСУ-100М за 10 мая 2020 г.

Маска облаков и теней

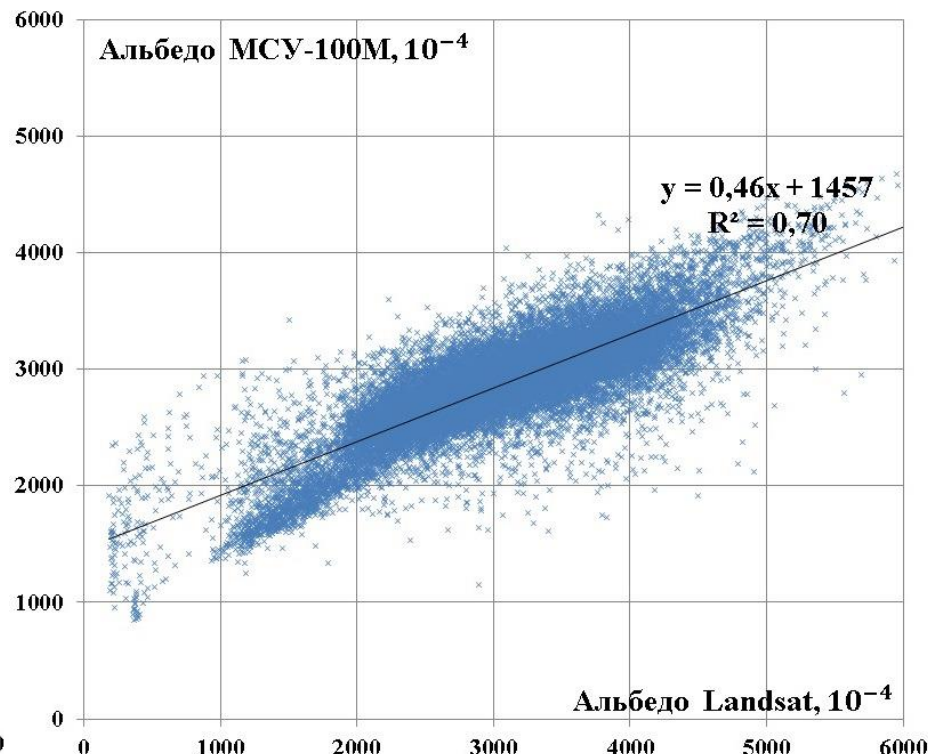


Часть сцены МСУ-100М за 15 мая 2020 г.

Сравнение калиброванных измерений МСУ-100М с Landsat (ТОА)



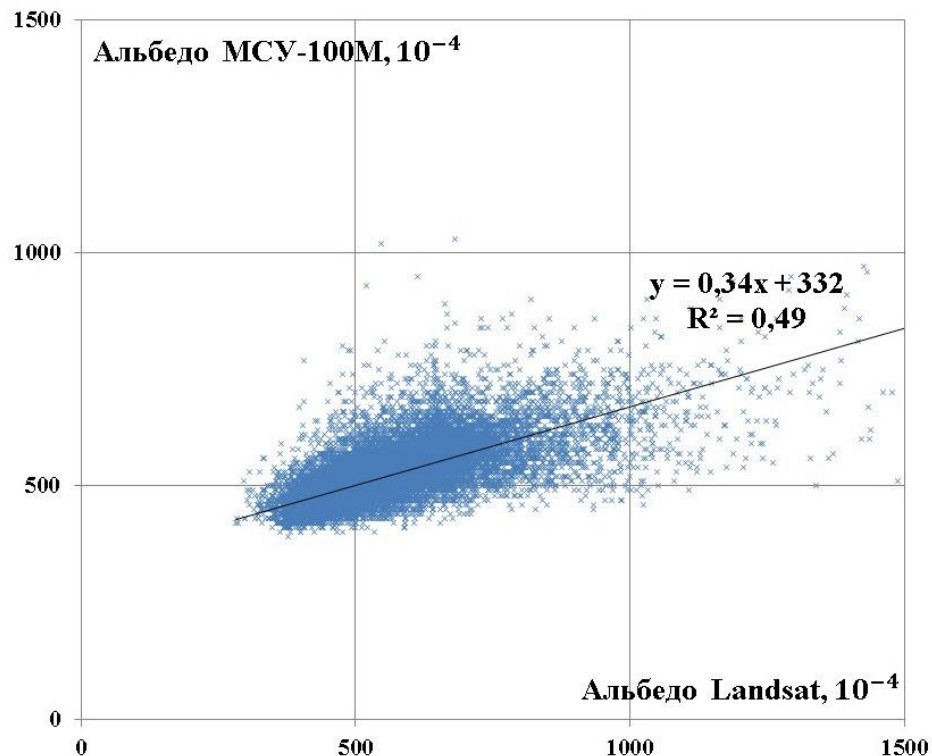
Красный канал



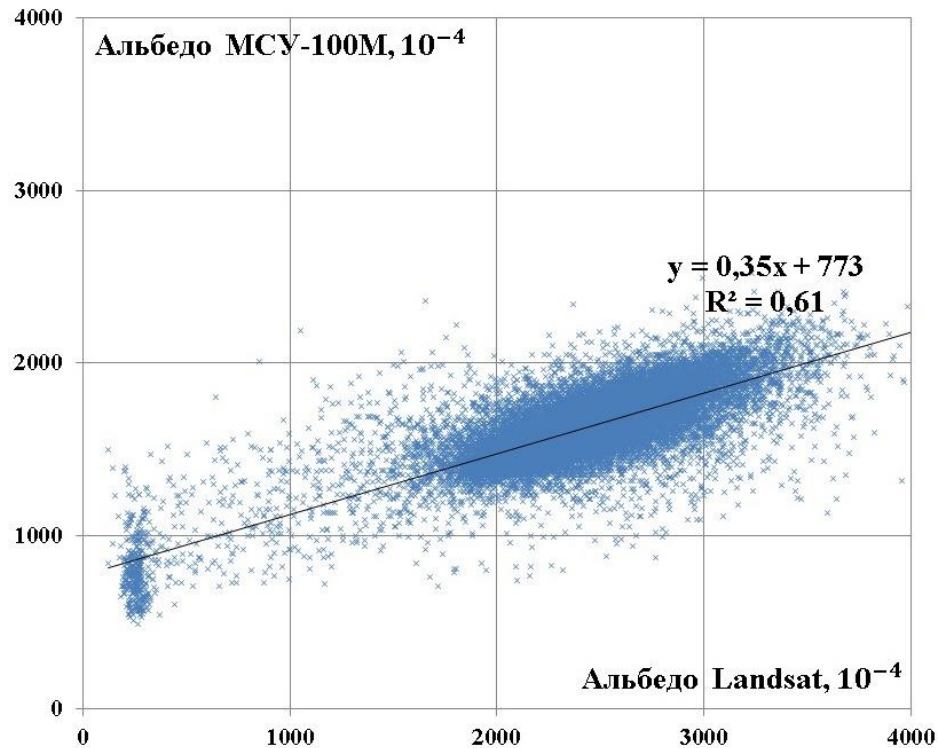
БИК канал

Сравнение данных за 13 июля 2016, область с центром с координатами долгота 54,35 и широта 45,52

Сравнение калиброванных измерений МСУ-100М с Landsat (ТОА)



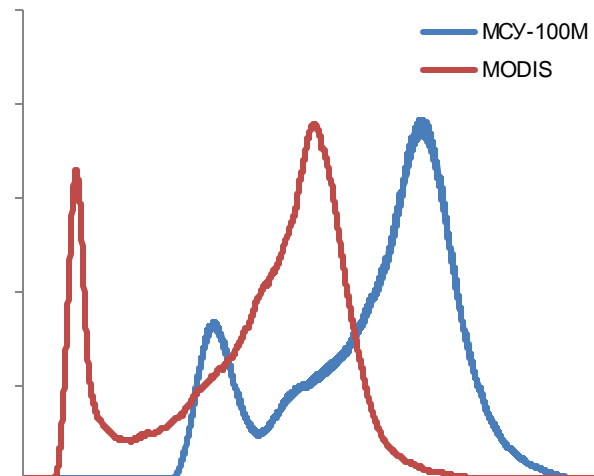
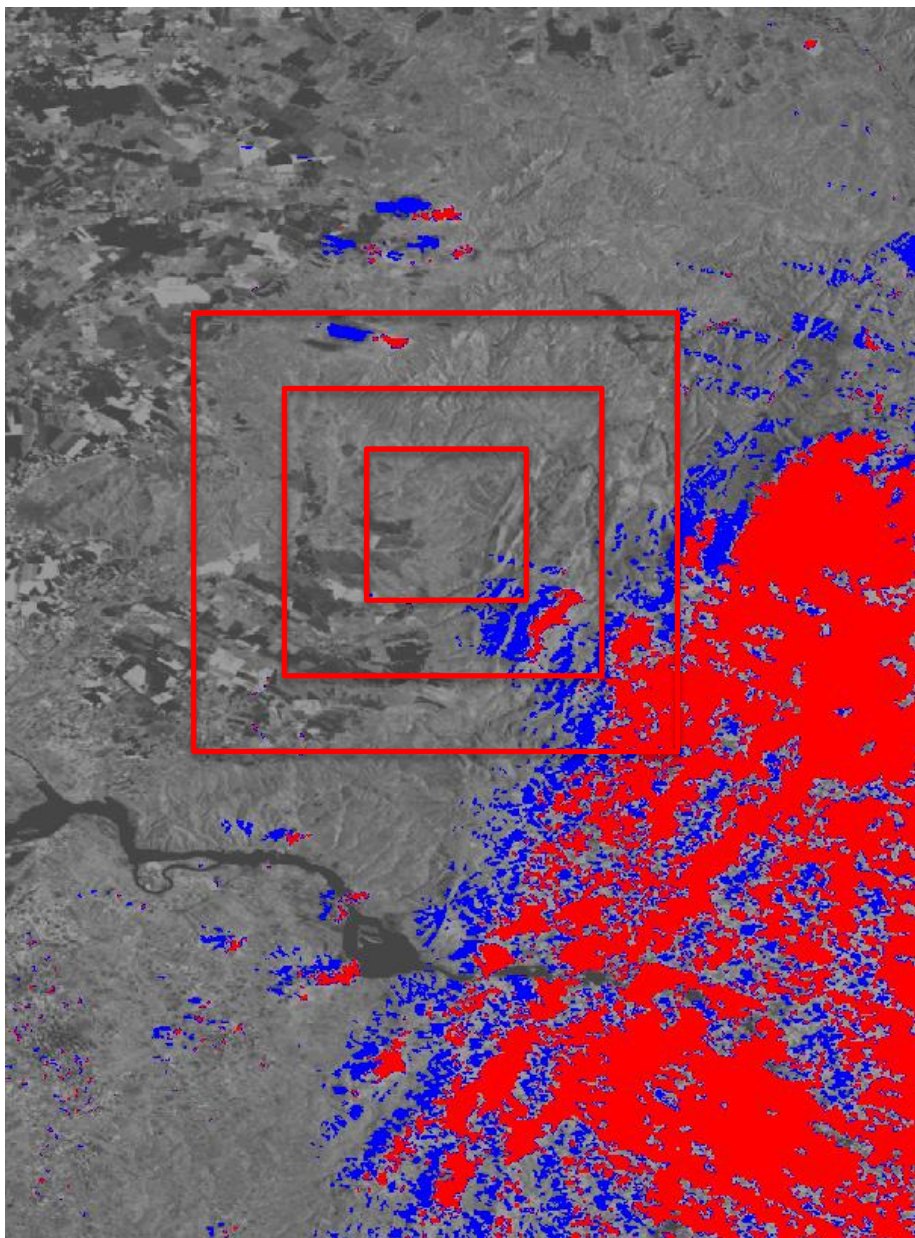
Красный канал



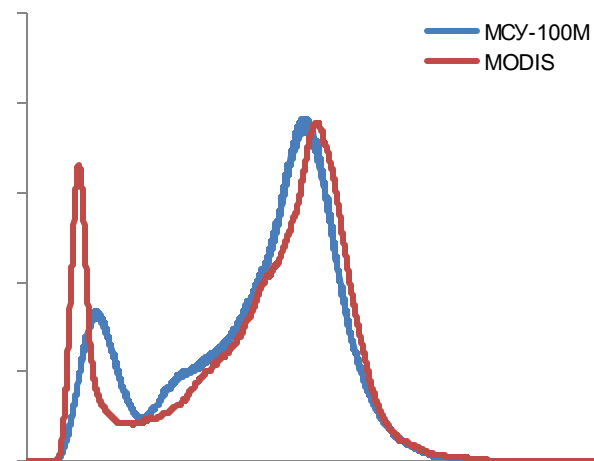
БИК канал

Сравнение данных 30 июля 2016, область с центром с координатами долгота 156,39 и широта 64,91

Компенсация влияния атмосферы и недостатков калибровки

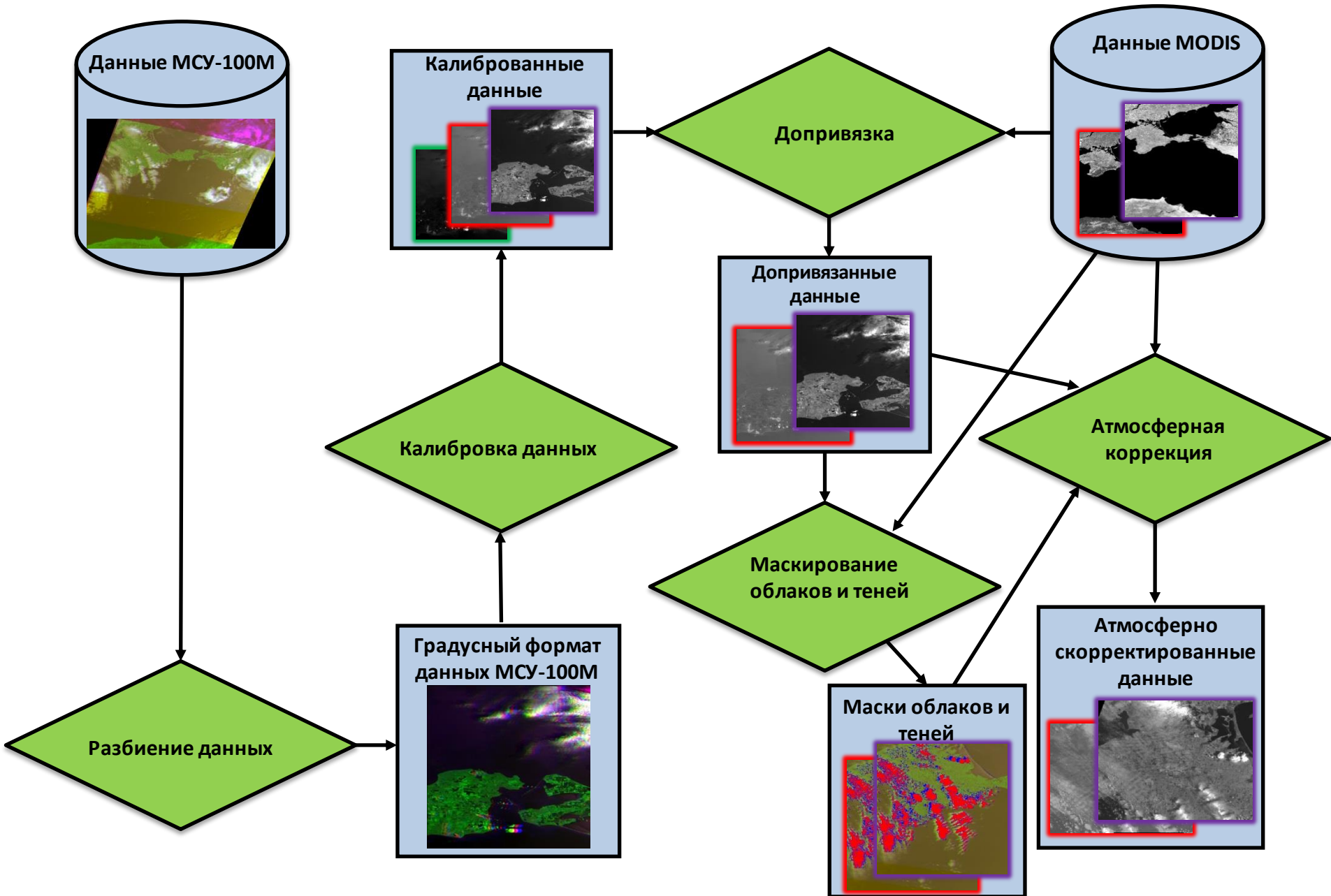


Гистограммы до коррекции

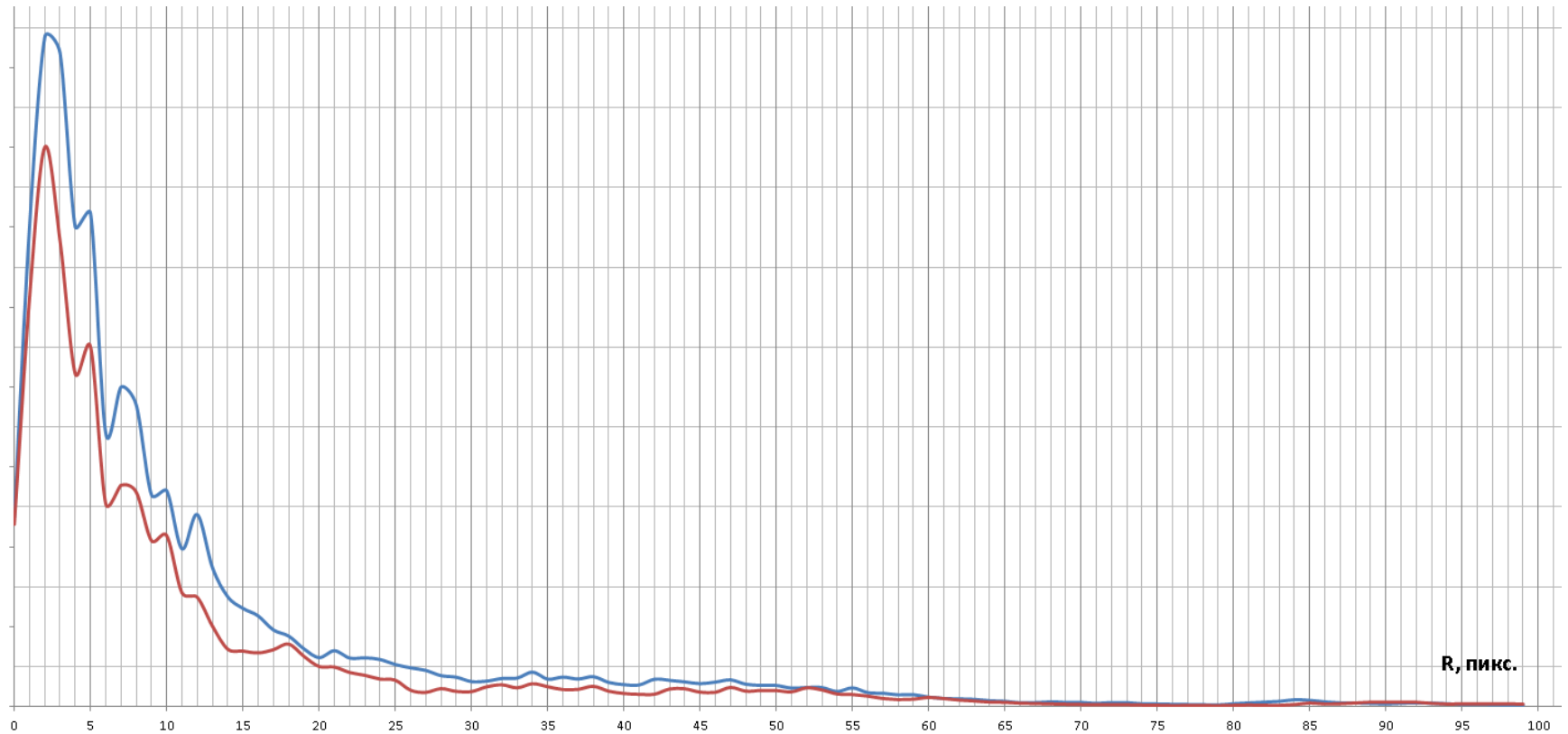


Гистограммы после коррекции

Технология обработки данных КМСС-М\МСУ-100М

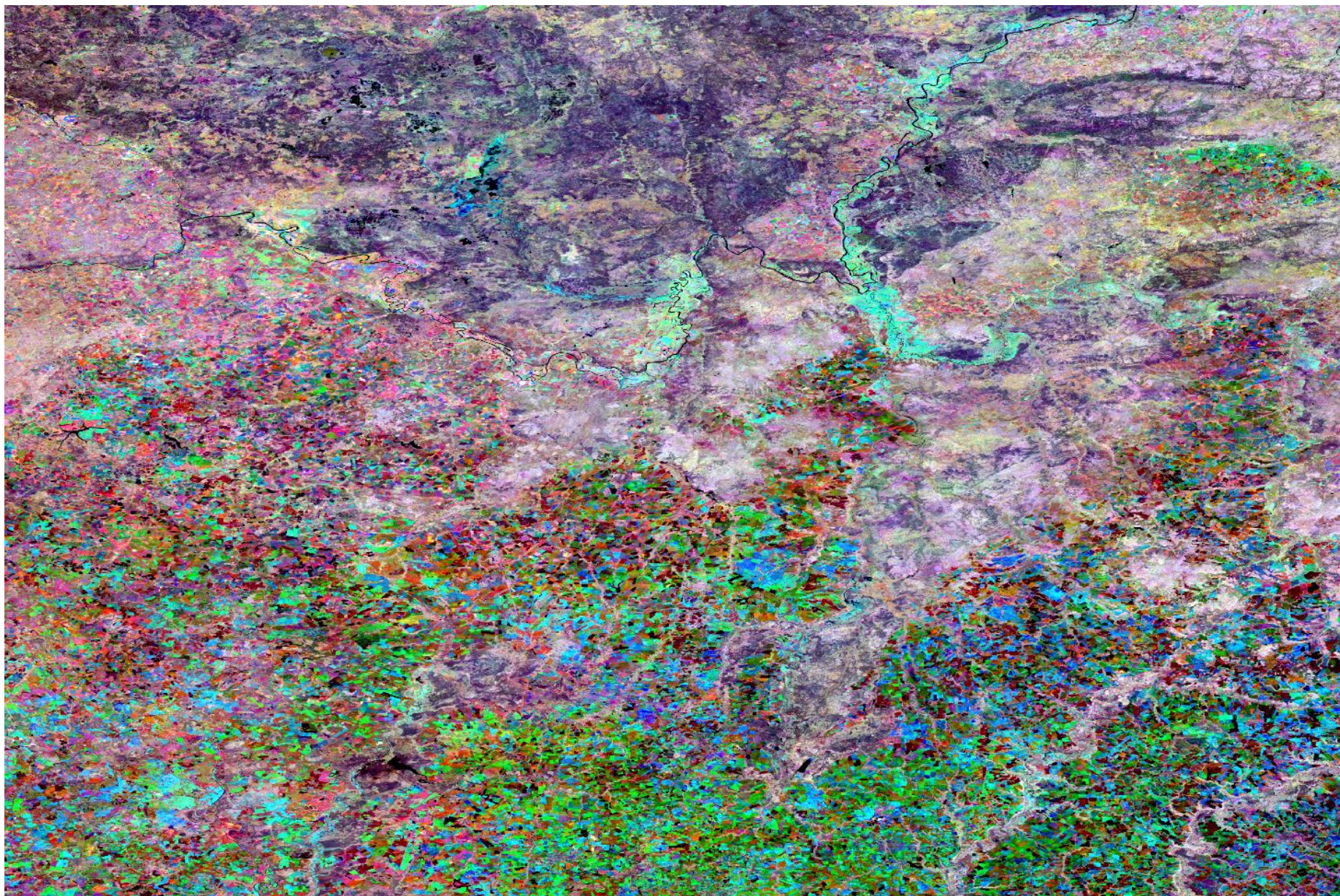


Статистика обнаруженных смещений изображений МСУ-100М относительно оптимального положения

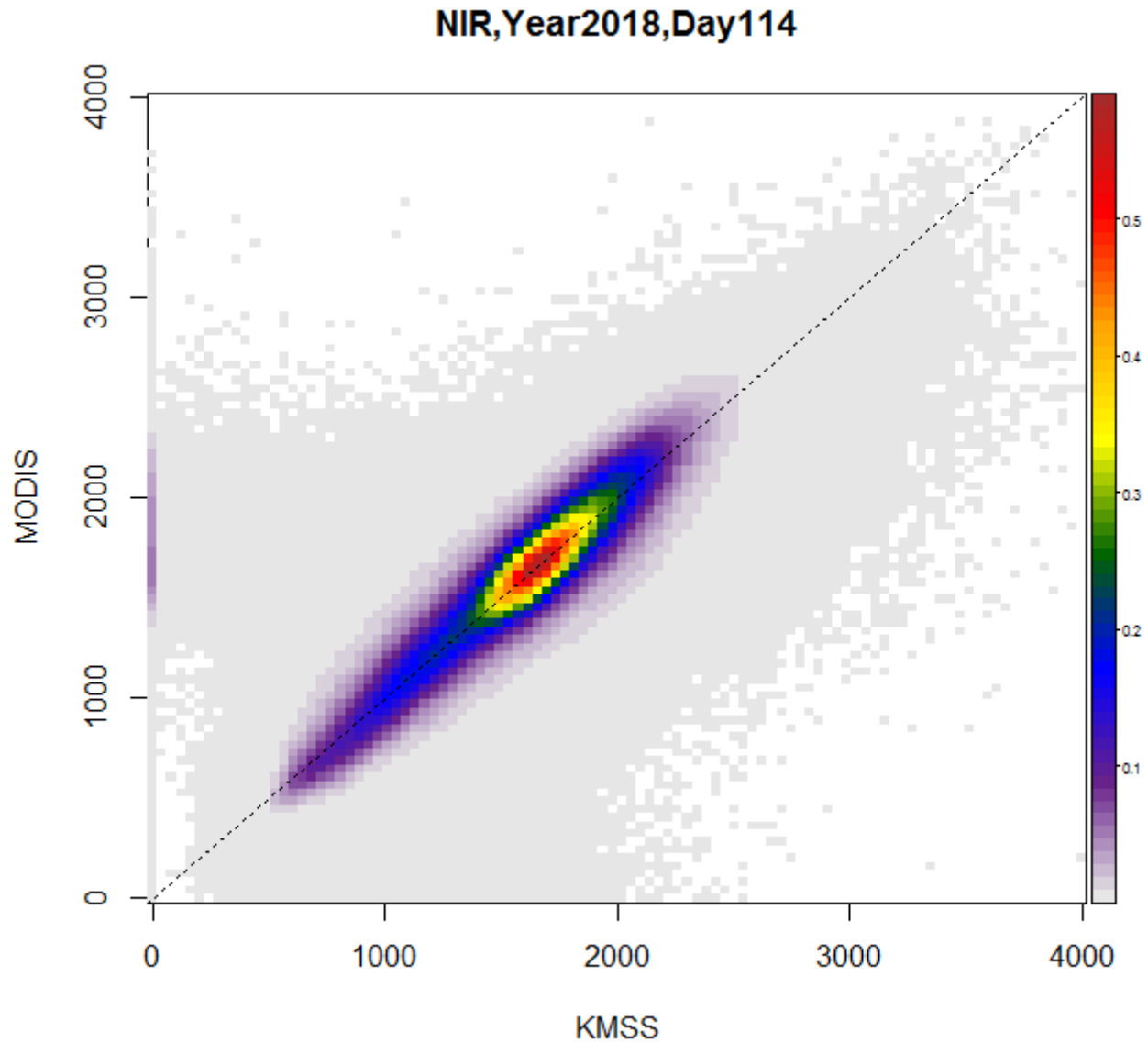


Распределение смещений изображений МСУ-100М (красный цвет – красный канал, синий – БИК) полученное после обработки данных на территорию от 19 до 23 градуса в.д. и от 40 до 60 градуса с.ш. и интервал дат съёмки с 1 марта по конец августа 2020 года

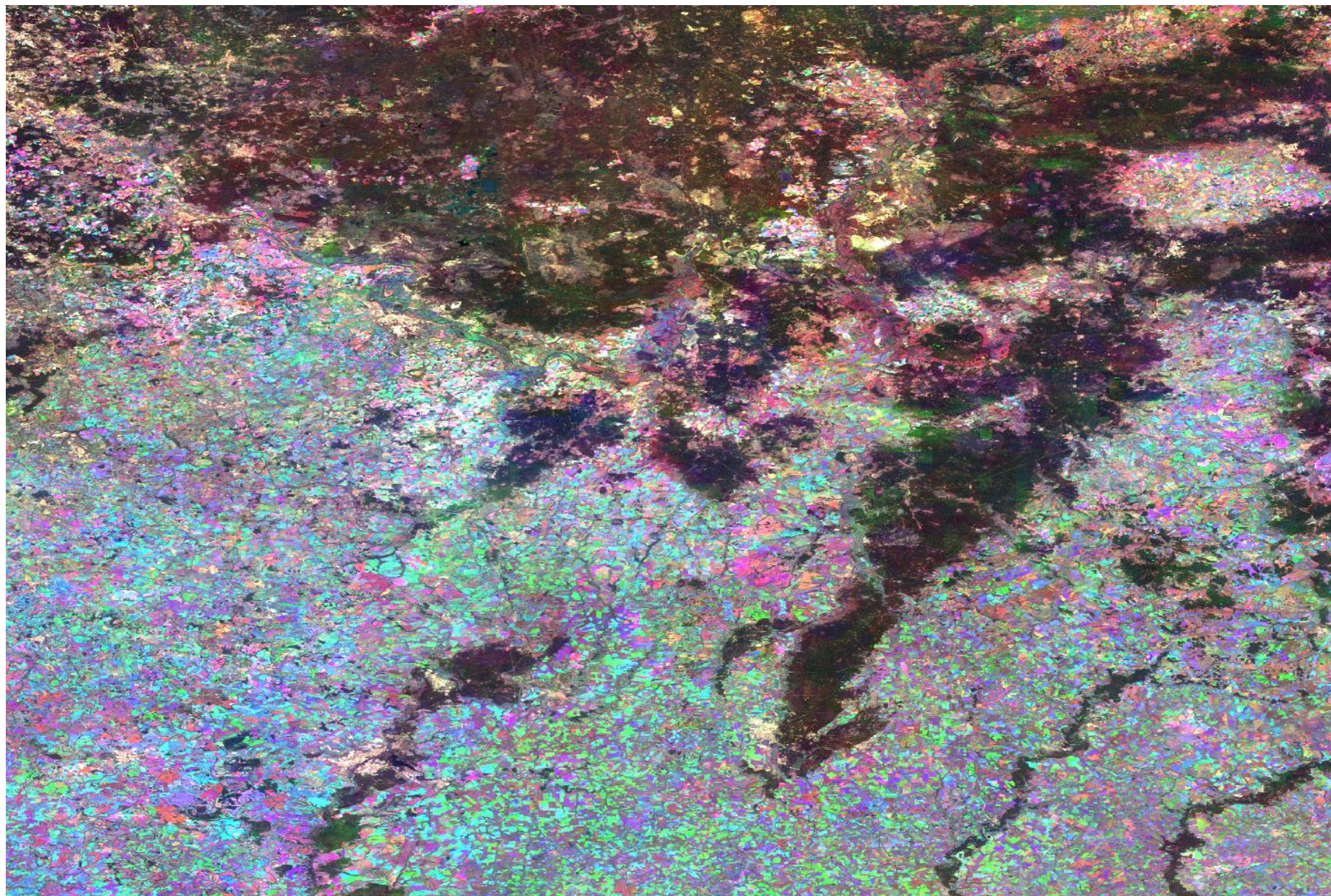
Разновременной синтез 1-дневных изображений NIR



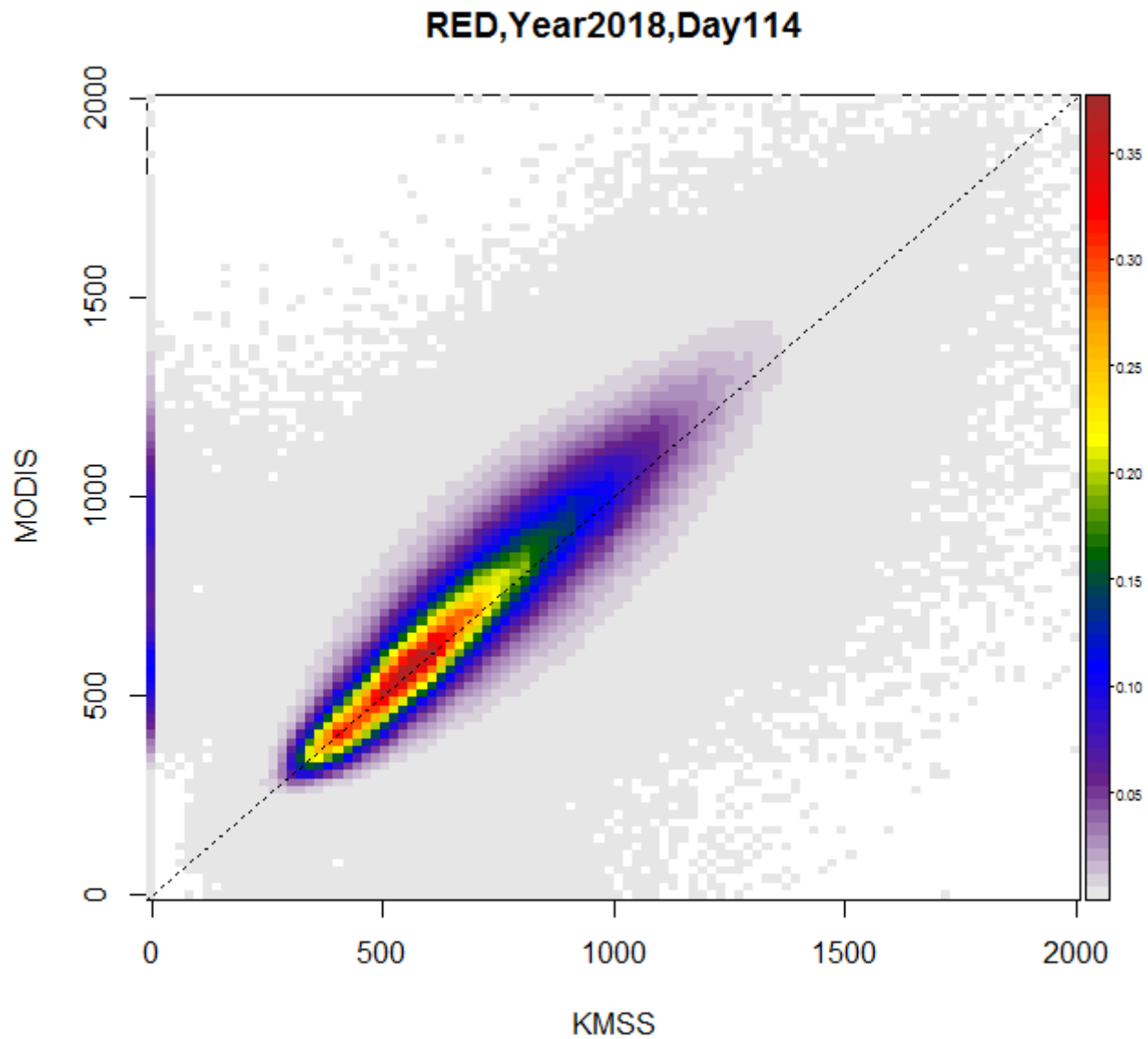
Сравнение с 1-дневным MODIS за 114 день



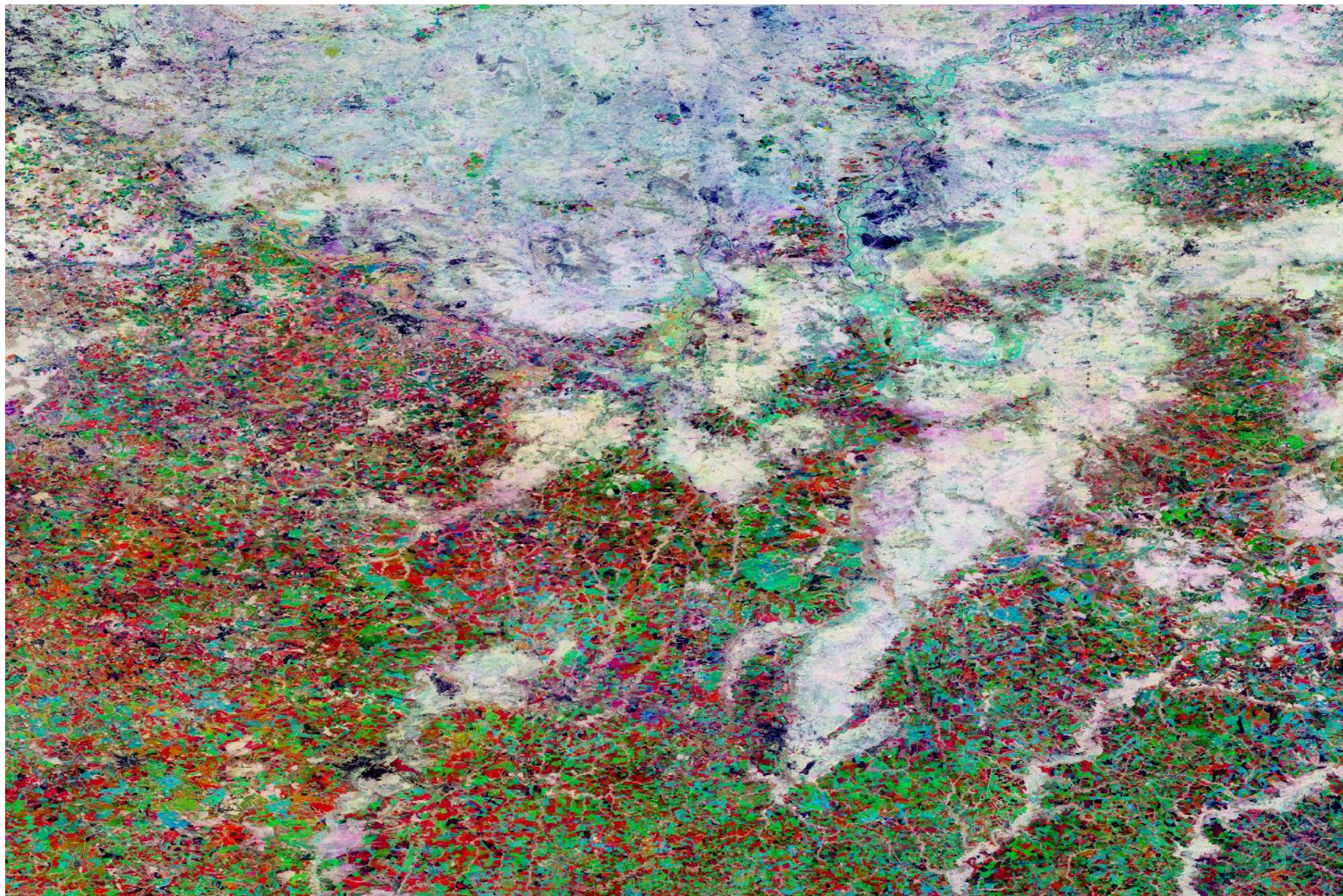
Разновременной синтез 1-дневных изображений RED



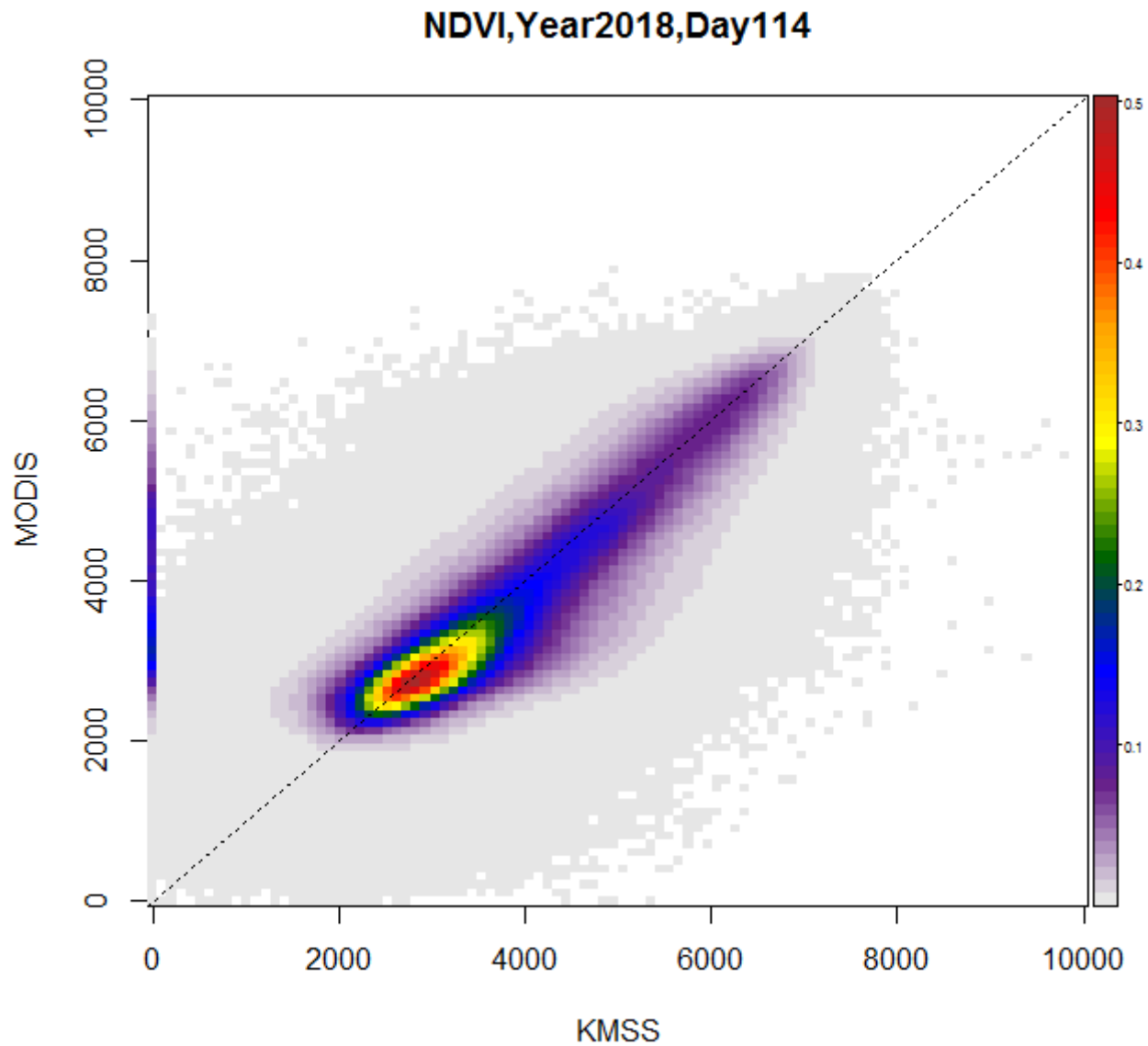
Сравнение с 1-дневным MODIS за 114 день



Разновременной синтез 1-дневных изображений NDVI

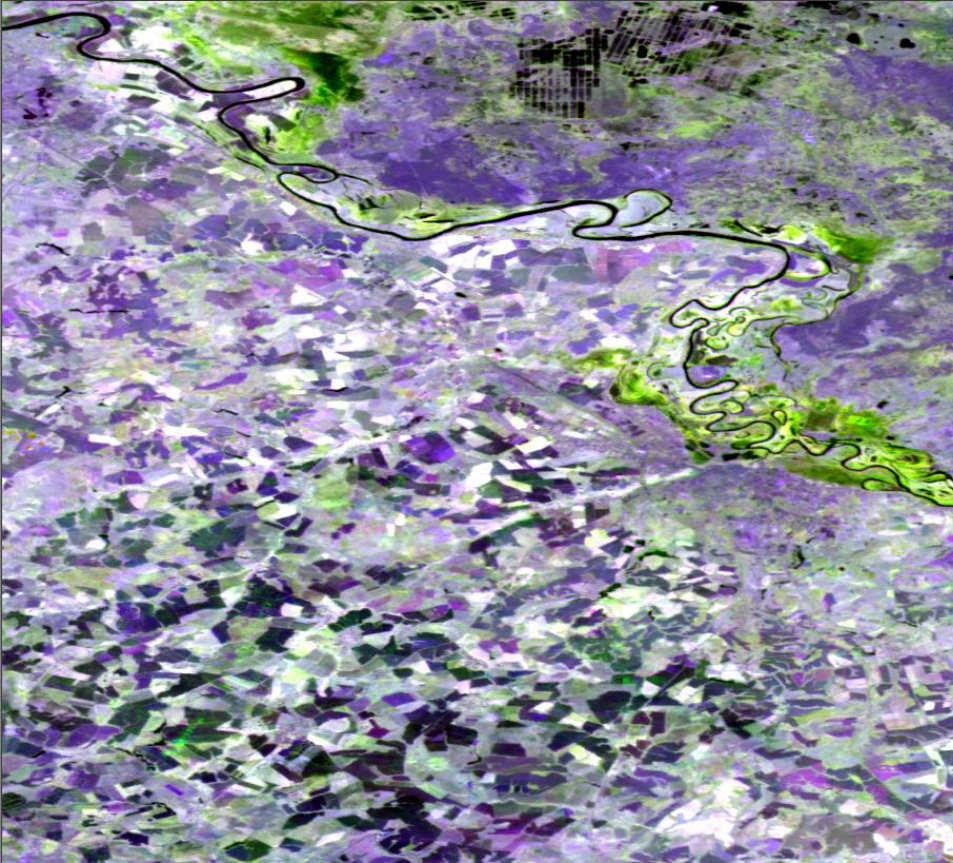


Сравнение с 1-дневным MODIS за 114 день

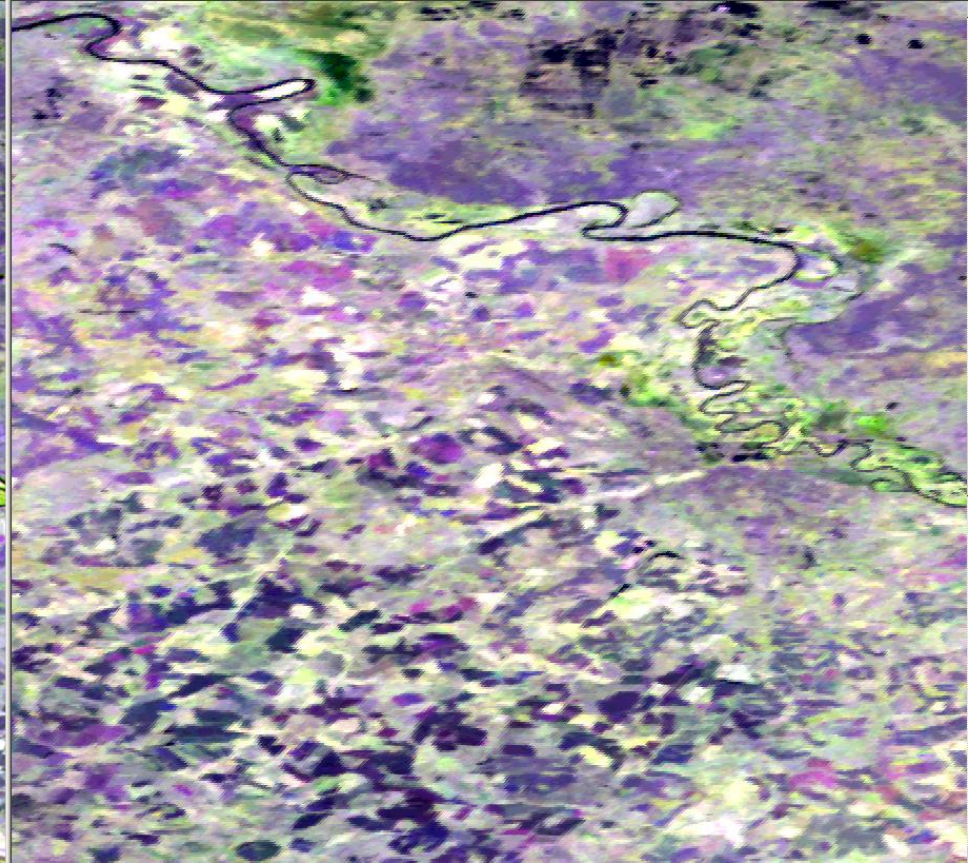


Мультивременной синтез 120-130-150 дни

Канал NIR



МСУ-100М (60 м)

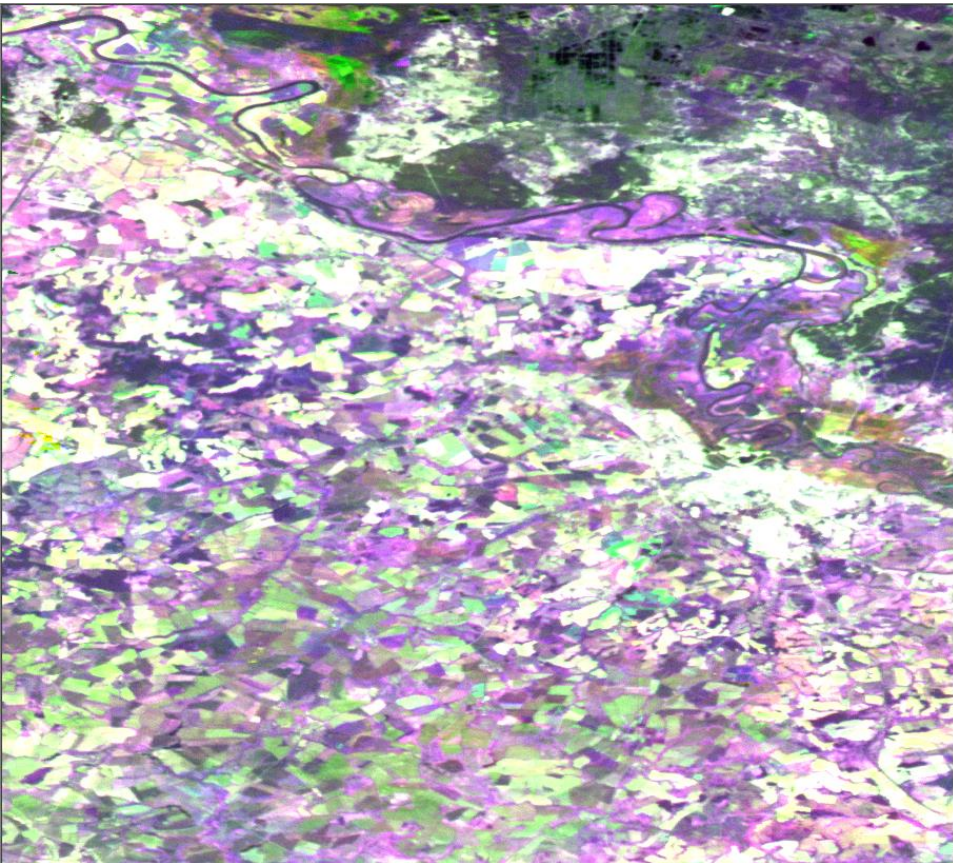


MODIS (230м)

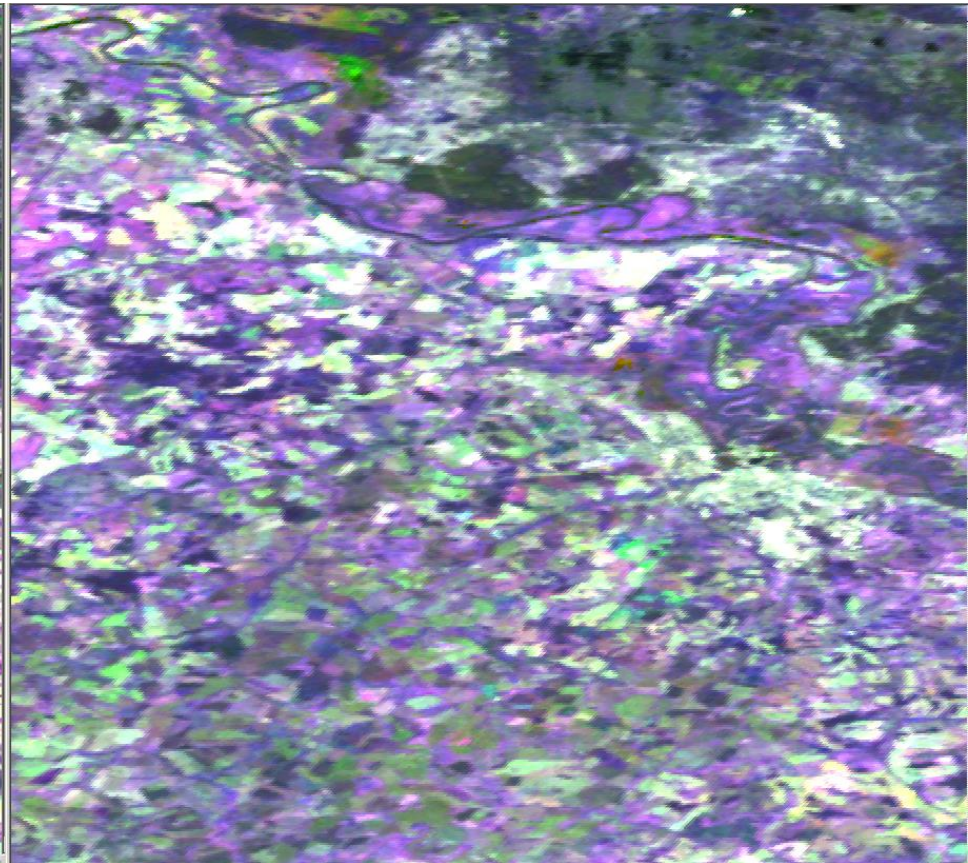
Участок 1

Мультивременной синтез 120-130-150 дни

RED



MSU-100M

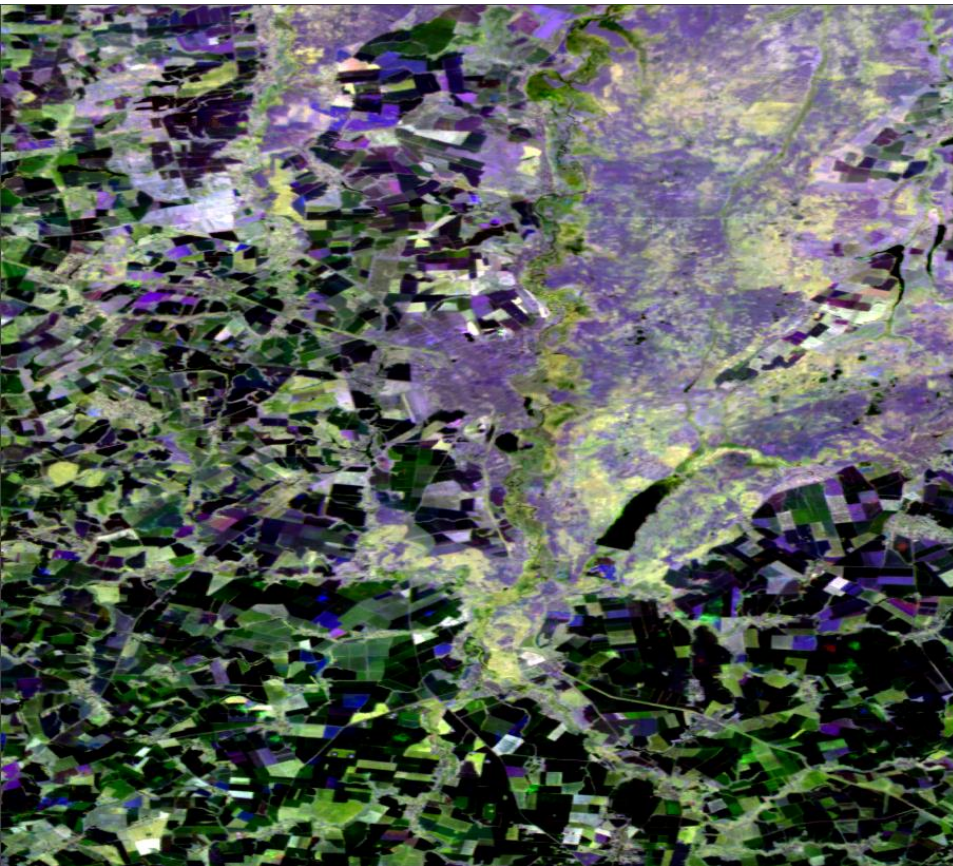


MODIS

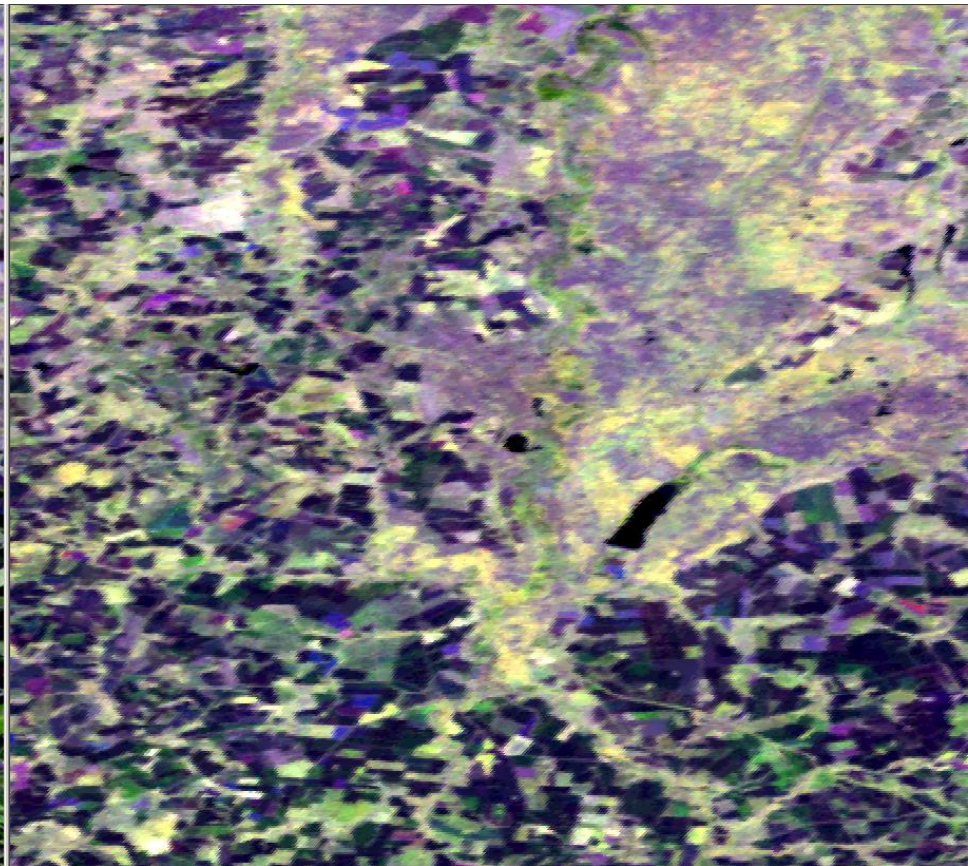
Участок 1

Мультивременной синтез 120-130-150 дни

NIR



MSU-100M



MODIS

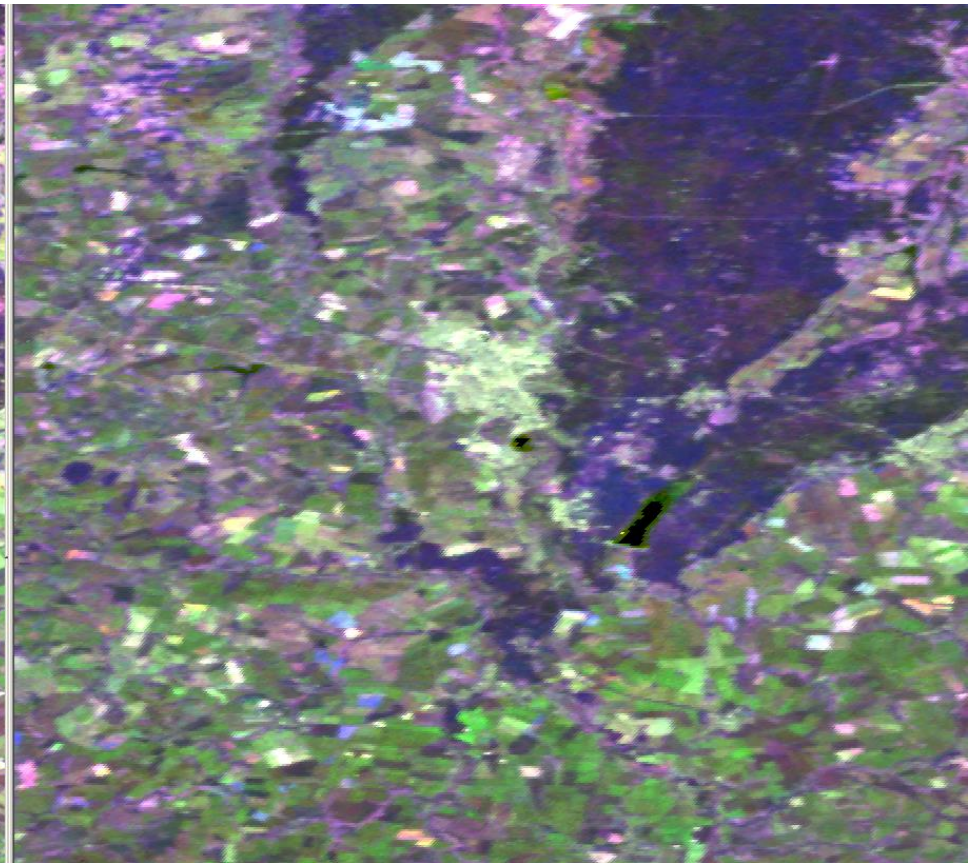
Участок 2

Мультивременной синтез 120-130-150 дни

RED



МСУ-100М



MODIS

Участок 2

Мультивременной синтез 120-130-150 дни

NIR



МСУ-100М

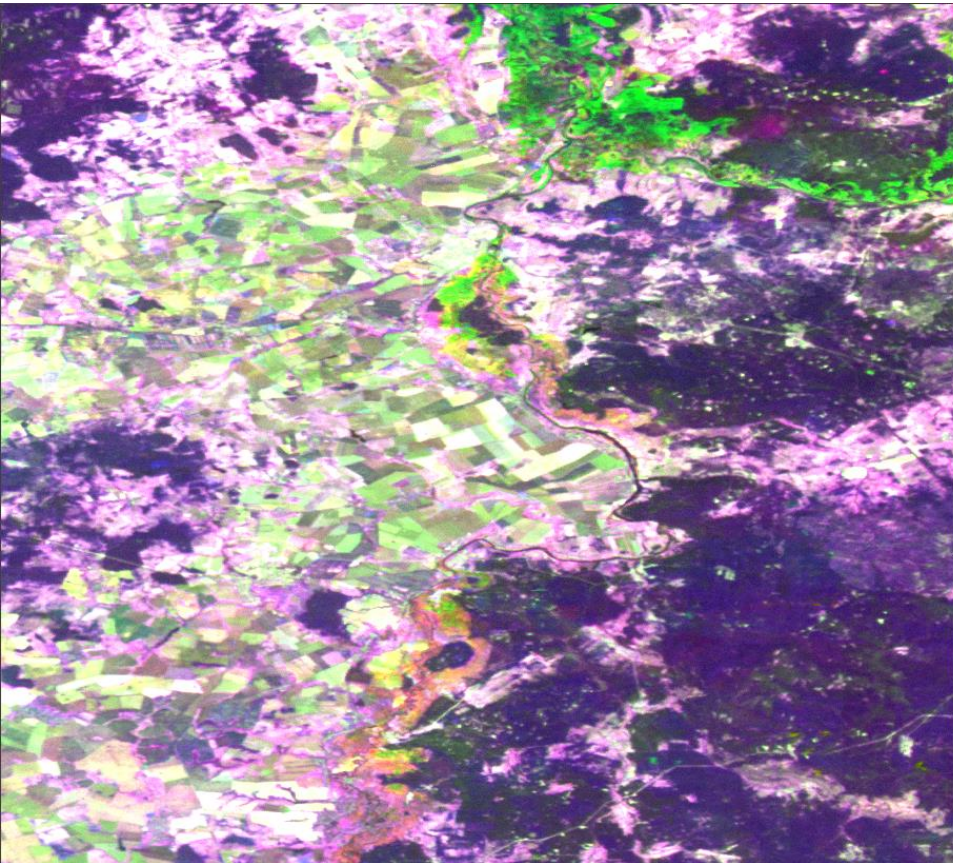


MODIS

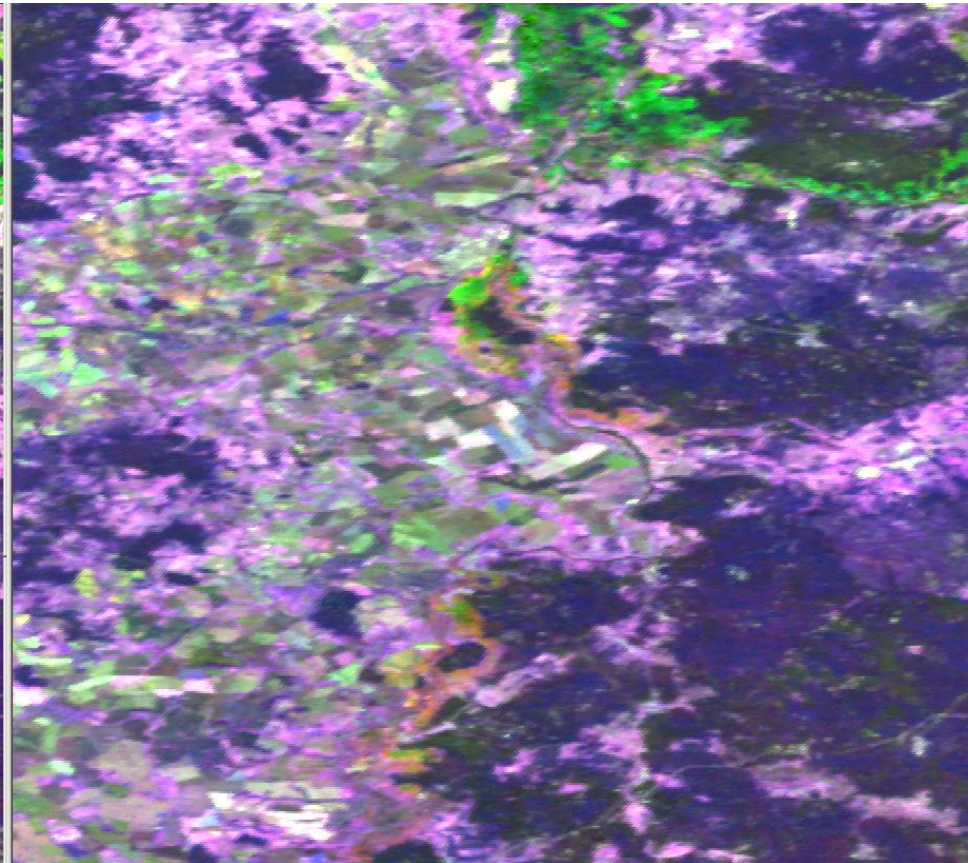
Участок 3

Мультивременной синтез 120-130-150 дни

RED



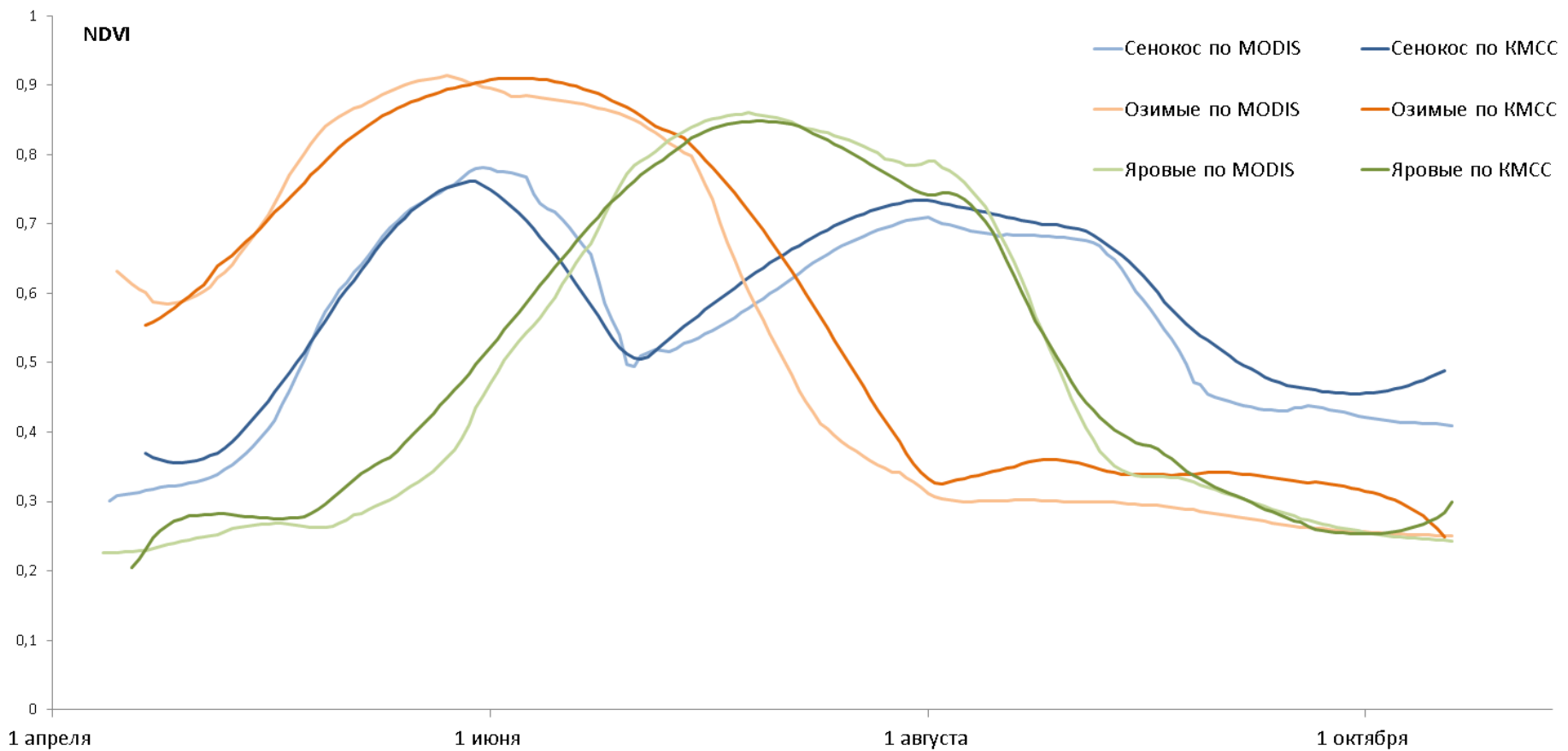
MSU-100M



MODIS

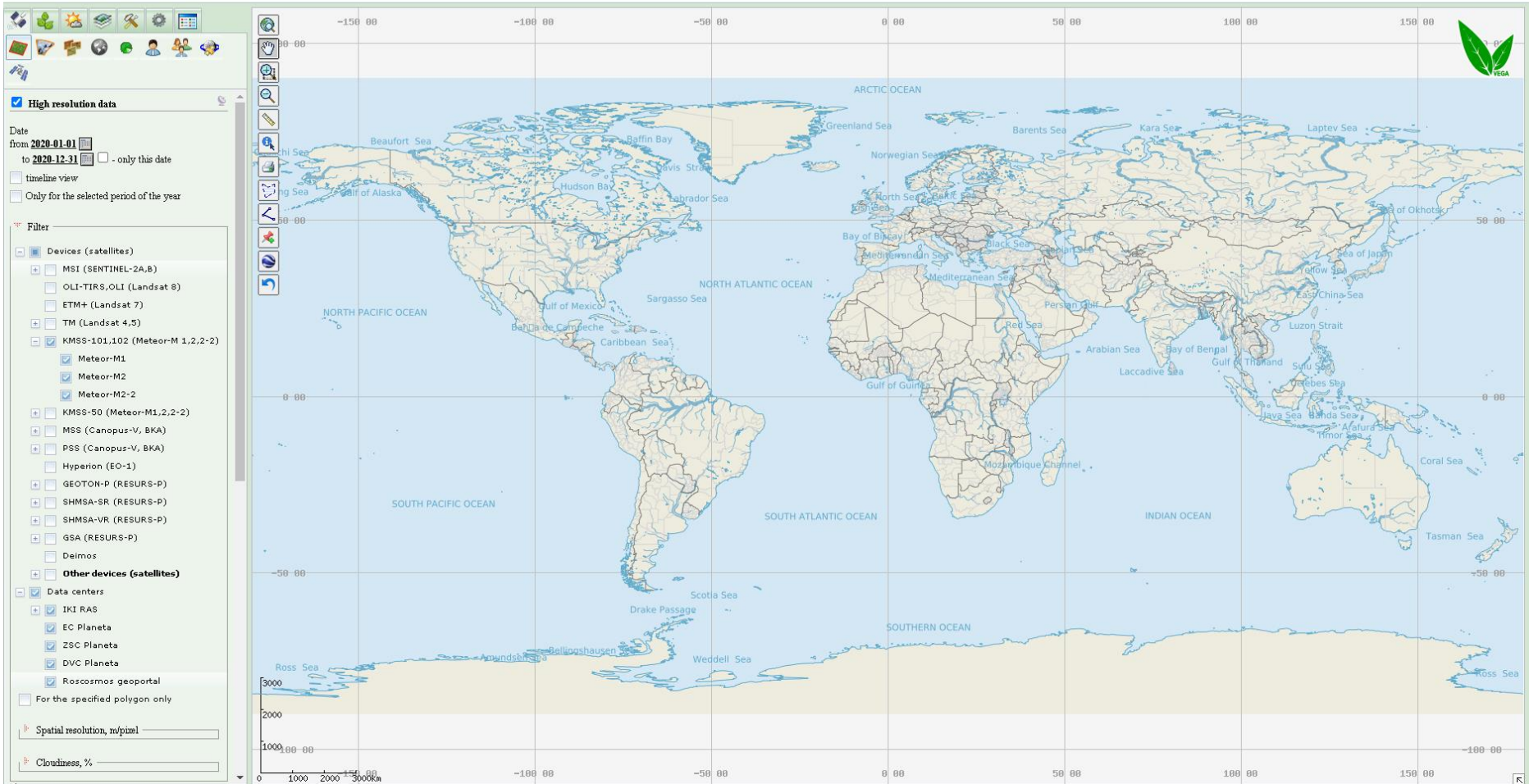
Участок 3

Сравнение годовых временных серий NDVI (загрублённый KMCC – MODIS) в точке размером ~230 метров



VEGA-GEOGLAM

vega.geoglam.ru/maps/



Выбор продуктов в сервисе VEGA-GEOGLAM

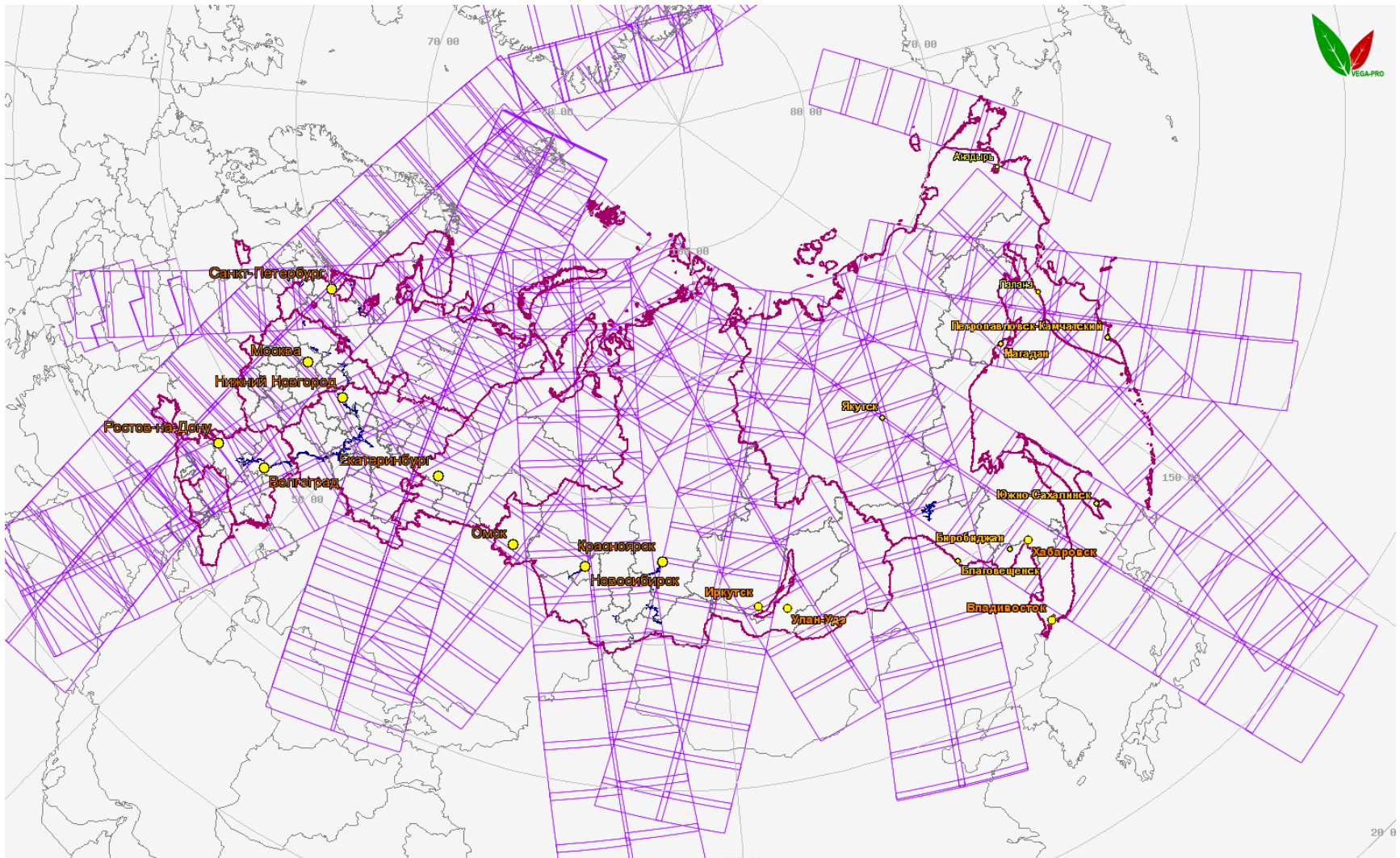
The screenshot displays the VEGA-GEOGLAM web interface. The main area is a satellite map showing a forested region with a grid overlay. The left sidebar contains several control panels:

- Data sources:** EC Planeta, ZSC Planeta, DVC Planeta, Roscosmos geoportal. A checkbox for "For the specified polygon only" is also present.
- Filters:** Input fields for "Spatial resolution, m/pixel" and "Cloudiness, %".
- Data quality:** A section titled "Data list" showing "Scenes 1-139, all 139". A list of 139 entries follows, each with a radio button, a timestamp, and a sensor ID (e.g., "2020-08-14 06:01:16 KMSS 102 (IKI RAS)"). Navigation buttons "Prev page", "Next page", "To the basket", and "Unselect" are located below the list.
- Autonomization:** Autonomization, Display scenes only for a selected product.
- Products:** A dropdown menu set to "NDVI (BOA)". Below it, Display the scene's boundaries and Display the image are visible.
- Range:** An empty input field.
- Data coverage:** Do not display, Scene's boundaries (by selected product), Images (by selected product).

At the bottom left, a note indicates "* UTC time". The map area includes a scale bar (0, 8, 16, 24 km) and a location label "Stavropol". The VEGA logo is in the top right corner.

Выбор продуктов в сервисе vega-geoglam

Высокие показатели повторяемости съемки КМСС



Покрытие изображениями МСУ с двух спутников Метеор-М2 и Метеор-М2.2 на один день (6 июля 2020 г.)

Ограничения технологии

- Исправление недопривязанности данных не более 264 пикселей МСУ-100М (более 15 км)
- Погрешность допривязки около 2-3 пикселей МСУ-100М
- Метод ориентирован на обработку данных за бесснежный интервал года
- Артефакты на участках с мешающими факторами (облака, снег, тени)

Выводы

- Создана технология потоковой обработки для допривязки, маскирования мешающих факторов и атмосферной коррекции данных МСУ-100М
- Благодаря созданной технологии в потоковом режиме создаются ориентированные на количественную оценку характеристик земной поверхности продукты, которые доступны в интерфейсе систем семейства Вега

Перспективы

- Расширение зоны обработки данных на всю территорию зернового пояса РФ, а также сопредельных стран
- Обработка данных аналогичного прибора, находящегося на борту спутника Метеор-М 2.2, что увеличит в два раза частоту данных