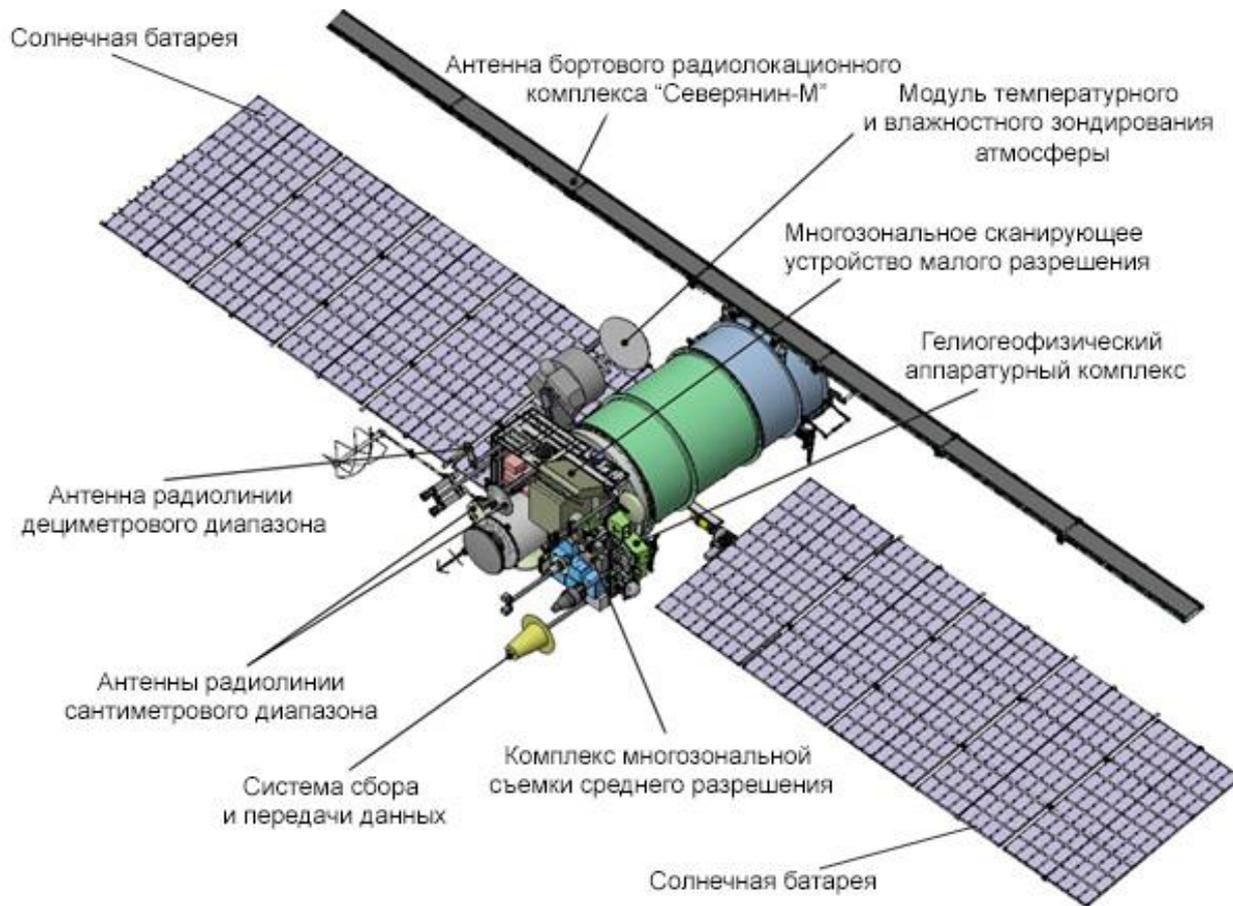


Методы и технология автоматической географической допривязки спутниковых данных высокого разрешения по данным низкого разрешения

П.А. Колбудаев, Д.Е. Плотников, А.М. Матвеев



Метеор-М №2: общие характеристики



**Тип спутника —
метеорологический**

Запуск — 8 июля 2014 года

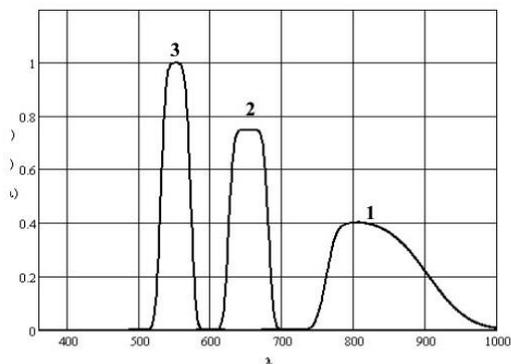
**Орбита КА —
круговая, солнечно-
синхронная, утренняя**

**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

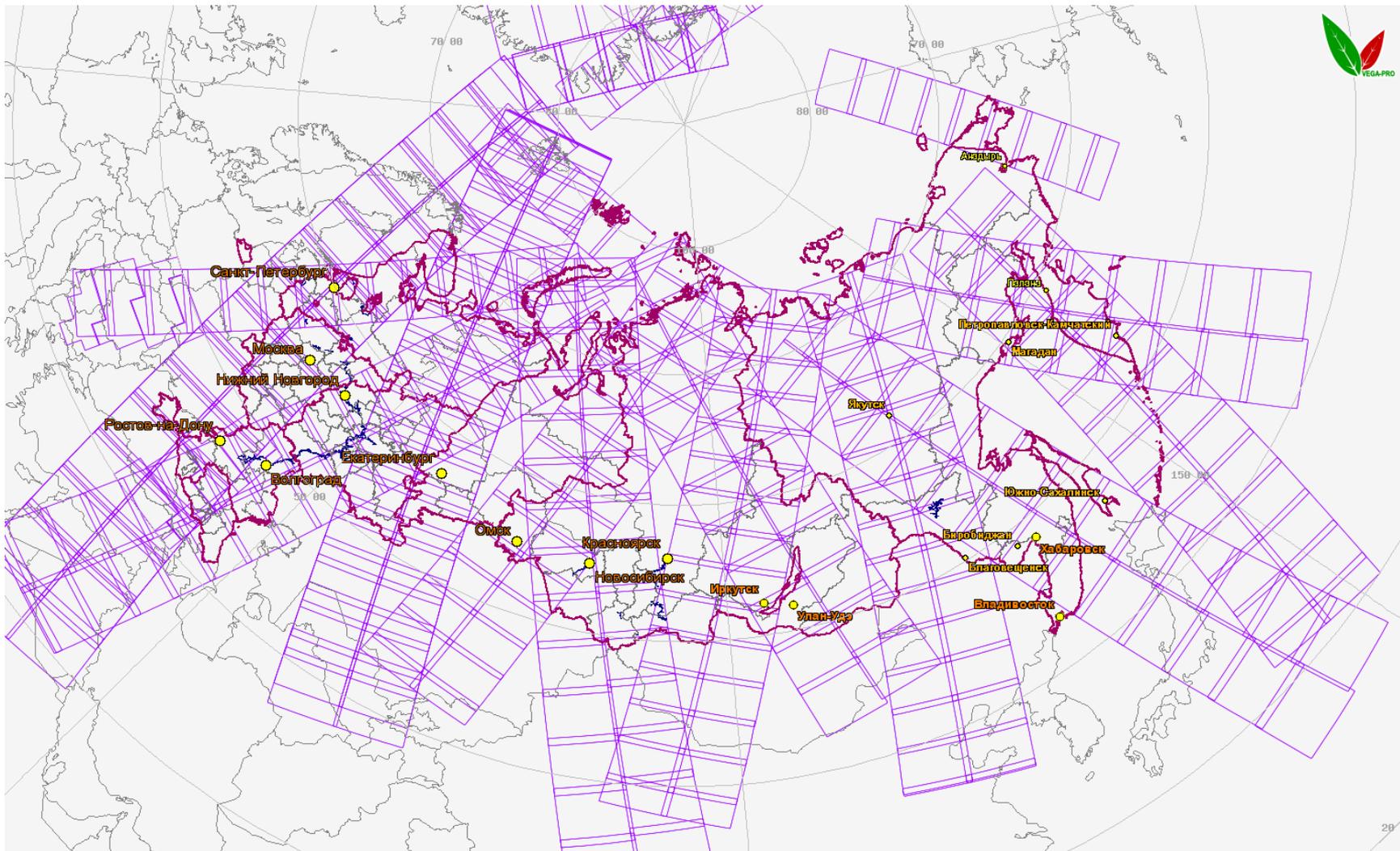
Формируемая полоса обзора – 960 км (2 камеры)

Угол установки относительно местной вертикали
– ± 14 град.

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

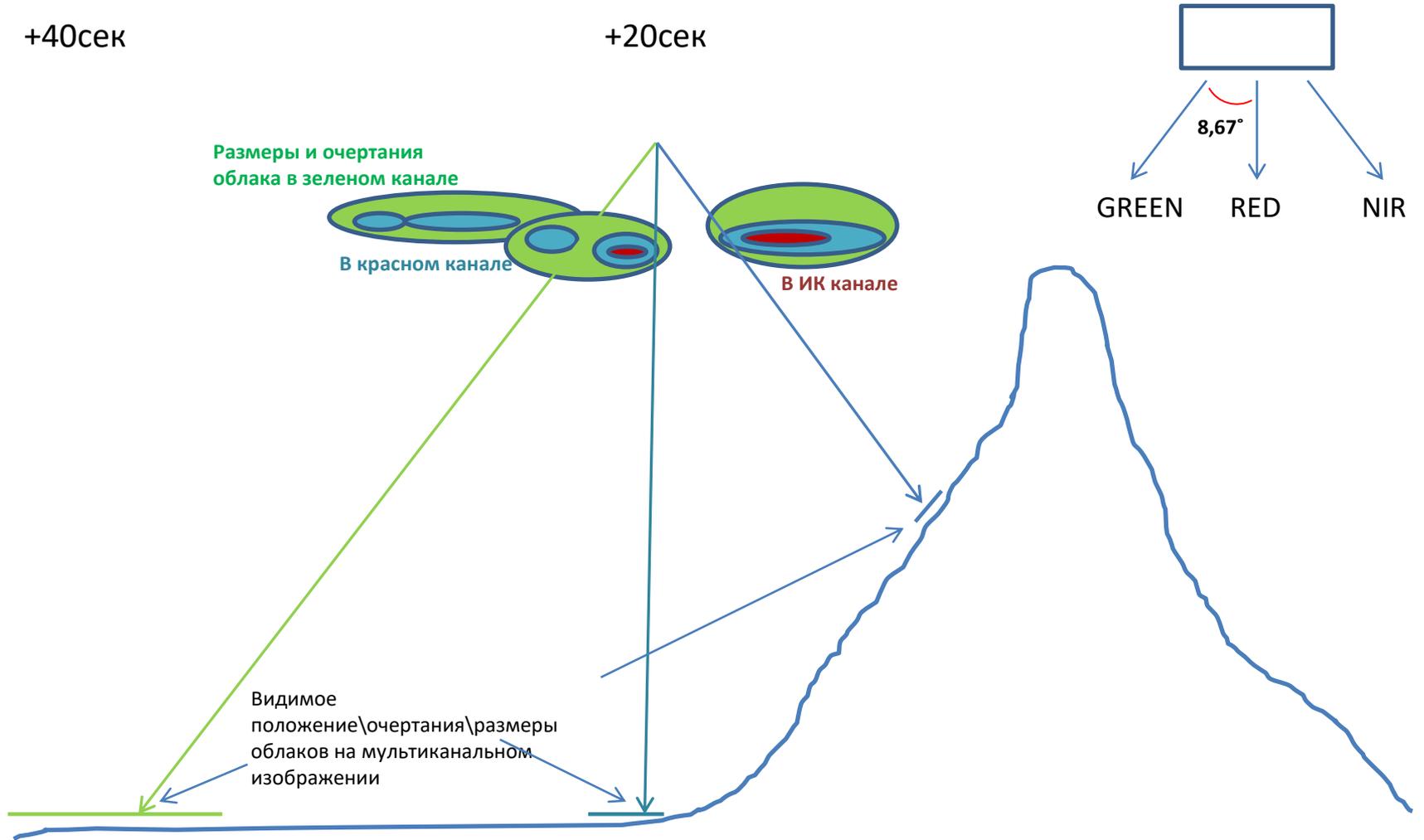
Спектральные зоны – 535-575 нм, 630-680 нм,
760-900 нм. (Межканальный параллакс $\sim 9^\circ$)

Высокие показатели повторяемости съемки КМСС

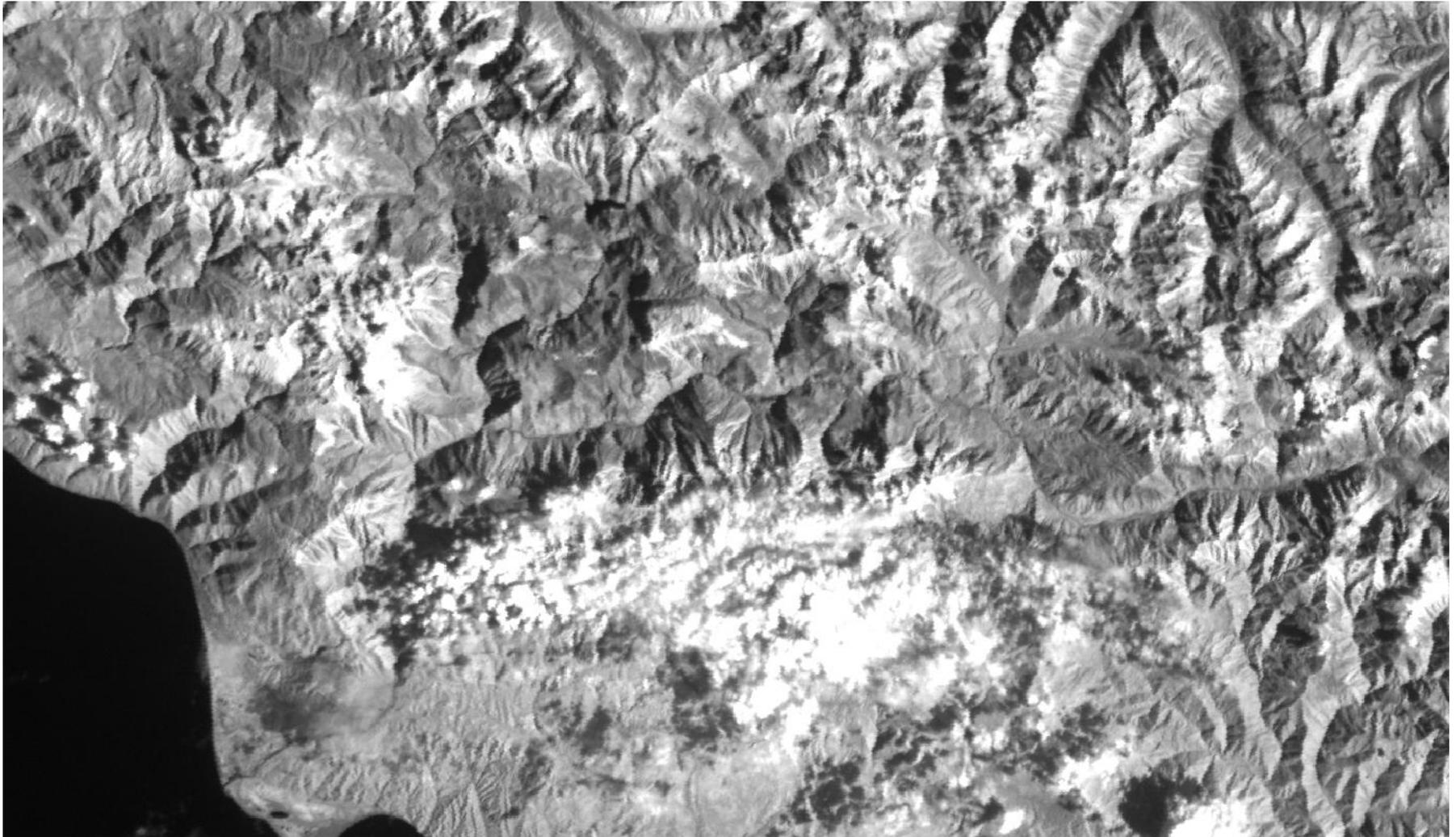


Покрытие изображениями КМСС с **двух** спутников Метеор-М №2 и Метеор-М №2-2 на **один** день (6 июля 2020 г.)

Геометрия съемки КМСС-М

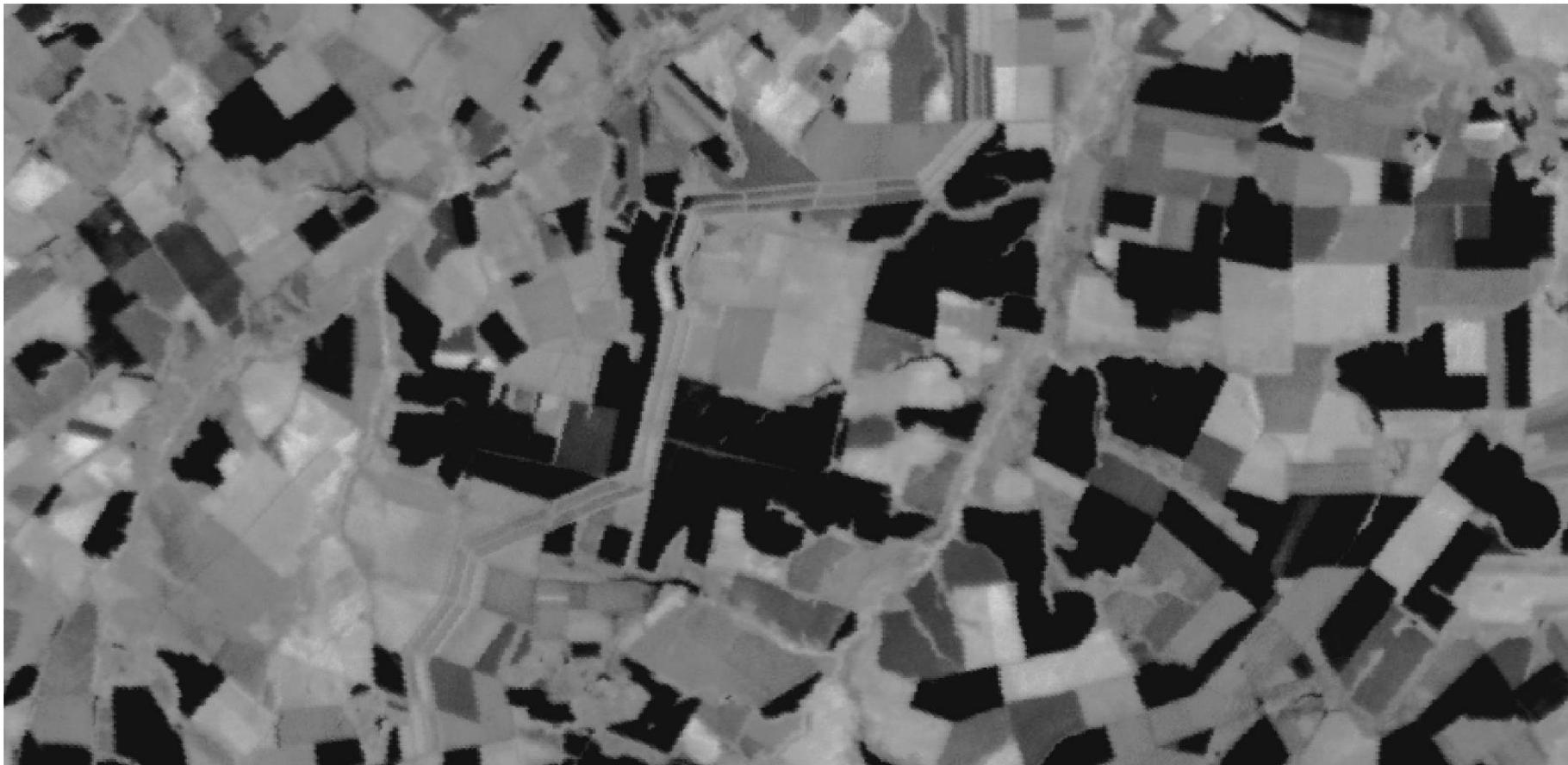


Облачность и горы в разноканальных изображениях



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

Различия географической привязки разнозональных изображений



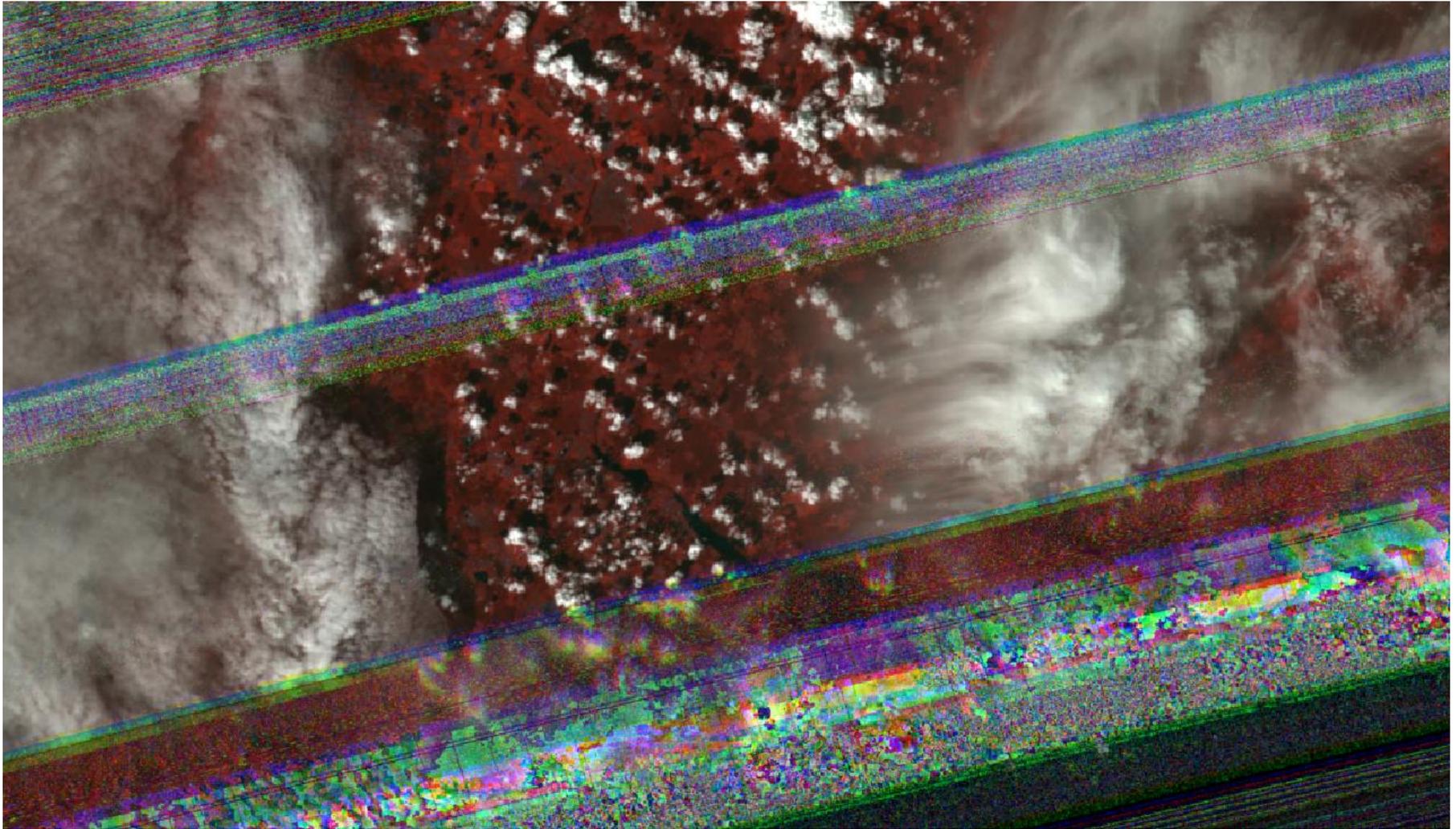
Часть сцены МСУ-100М за 5 августа 2020 года (красный-БИК)
Наблюдается смещение объектов земной поверхности

Локальные аномалии географической привязки



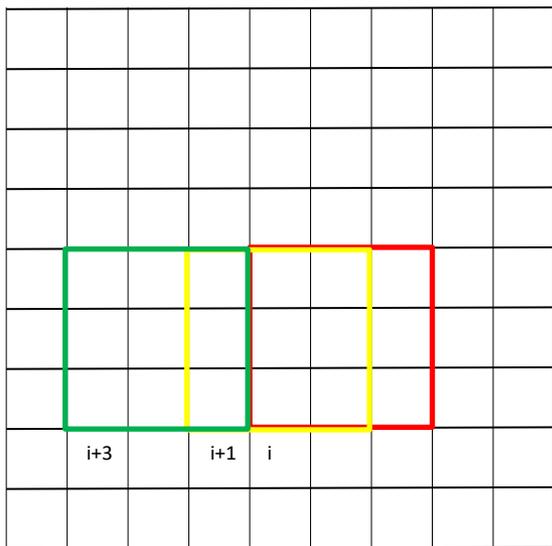
Часть сцен МСУ-100М за разные даты в БИК канале
Наблюдаются смещения объектов на разновременных изображениях

Шумы в данных типа “соль и перец”

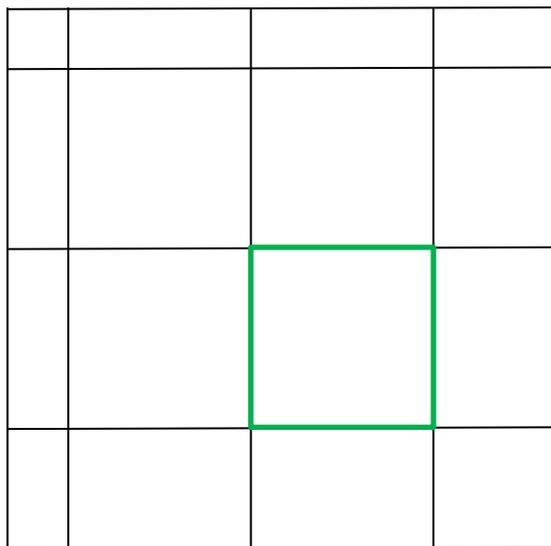


Часть сцены MSU-100M за 15 августа 2020 года

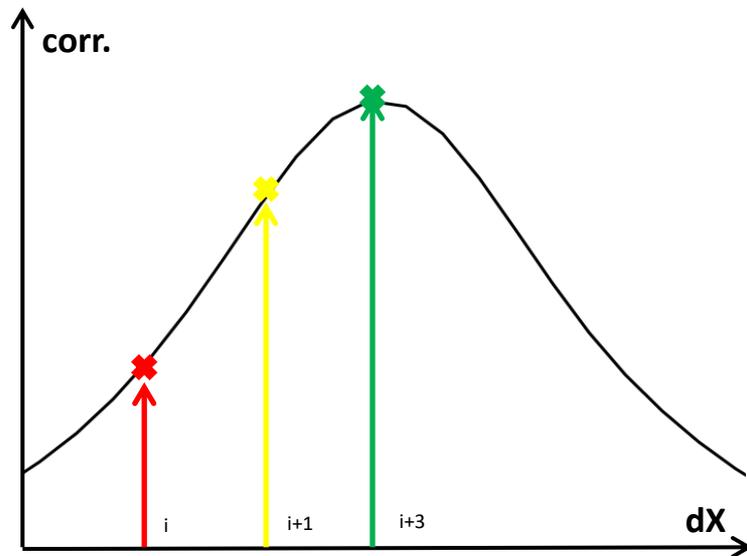
Идея метода допривязки данных более высокого разрешения по данным низкого разрешения



Сетка пикселей данных высокого разрешения



Сетка пикселей данных низкого разрешения

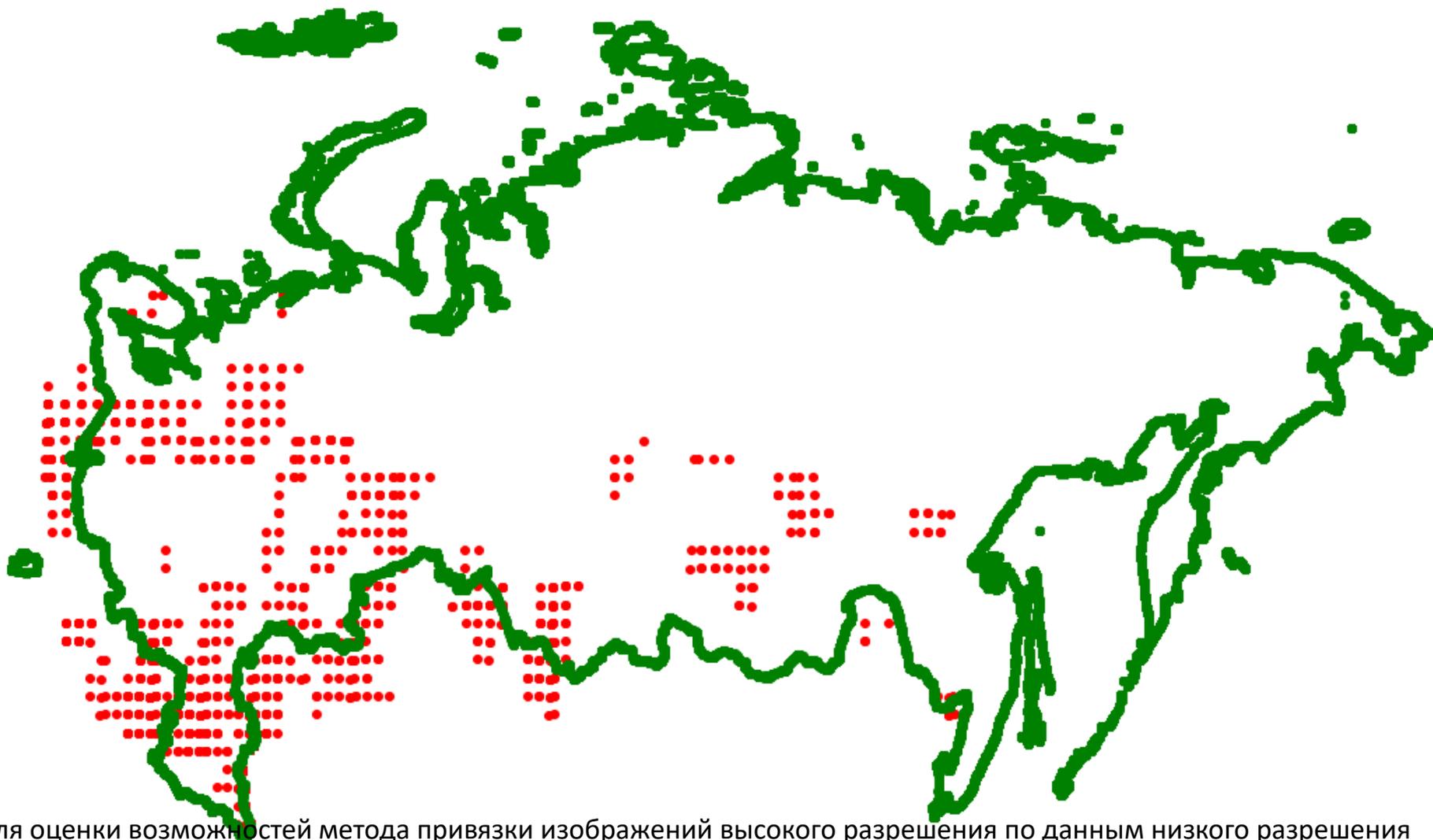


Зависимость корреляции Пирсона от смещения

Этапы допривязки

1. Загрубление группы пикселей изображения высокого разрешения до пикселя низкого разрешения
2. Сравнение с соответствующим пикселем данных более низкого разрешения
3. Подсчет корреляции в локальном окне который охватывает более 500 пикселей данных низкого разрешения
4. Сдвиг на один пиксель данных высокого разрешения и повторение 1-3 шагов
5. Нахождение смещения при котором достигается наибольшее значение корреляции

Проверка метода допривязки по данным Sentinel-2



Для оценки возможностей метода привязки изображений высокого разрешения по данным низкого разрешения был проведен тест, включающий:

1. Случайный выбор и загрубление данных S2 в красном и ИК каналах с 10 метров до 60 метров и 240 метров
2. Сдвиг данных 60 метров в случайном направлении и на случайную величину
3. Попытка допривязки смещенных данных разработанным методом

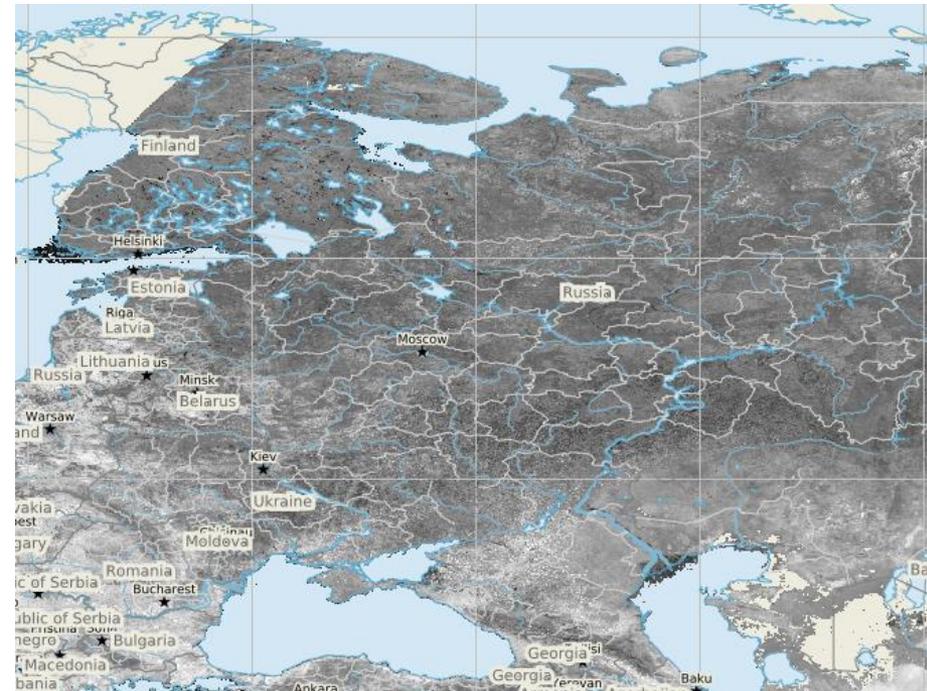
По результатам теста было обработано 1108 безоблачных тестовых участка, среднее смещение в ближнем ИК составило около 0,62 метра и 0,65 метра в красном канале

Эталон на основе MODIS MOD09

- В качестве эталона используются ежедневные безоблачные изображения с прибора MODIS, полученные в оперативном режиме путем восстановления пропущенных и искаженных измерений на основе метода wLOESS (Cleveland, 1979)

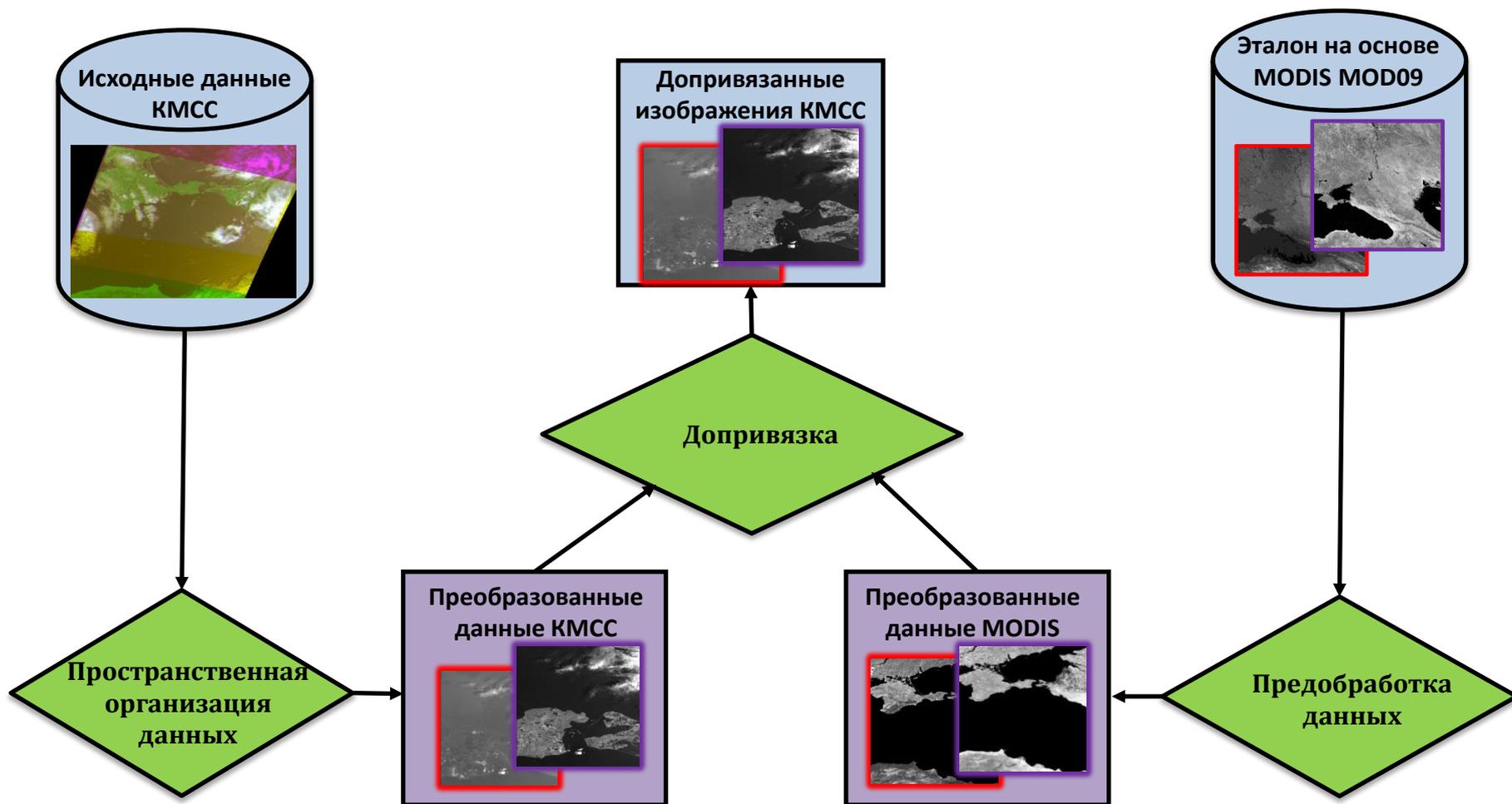
▶ Эталон:

- ▶ Содержит калиброванные, атмосферно-скорректированные измерения КСЯ земной поверхности в необходимых спектральных каналах;
- ▶ Характеризуется максимально **полным покрытием** на любой день года;
- ▶ Характеризуется точной **географической привязкой** (Согласно Sentinel-2 в среднем около 20 метров при размере пикселя ~240 метров)

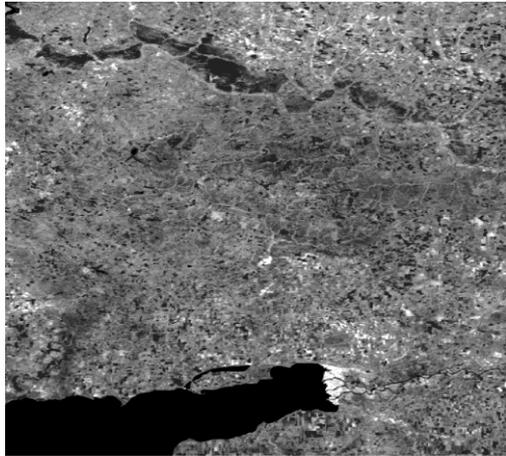


Изображение эталона MODIS в красном канале на 1 апреля 2020 года

Блок-схема географической допривязки КМСС



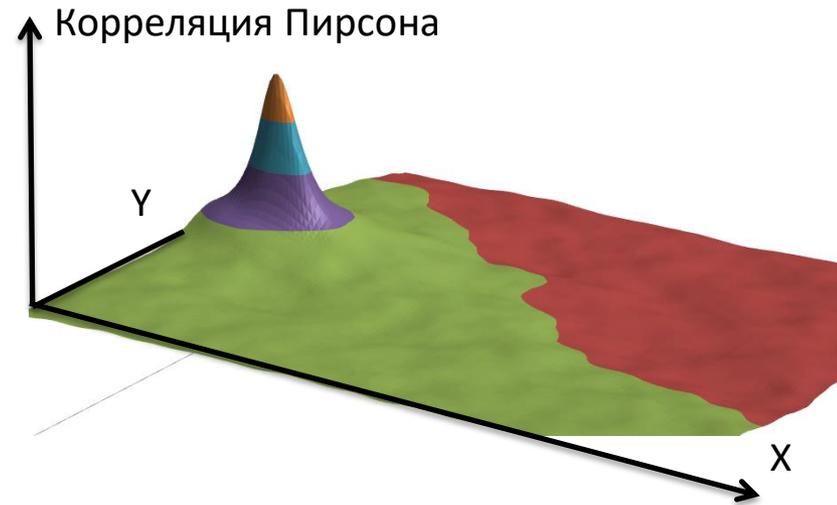
Географическая допривязка изображения КМСС



Точно привязанный и актуализированный эталон MODIS



Допривязываемое изображение КМСС



Зависимость корреляции от взаимного положения изображений КМСС-MODIS

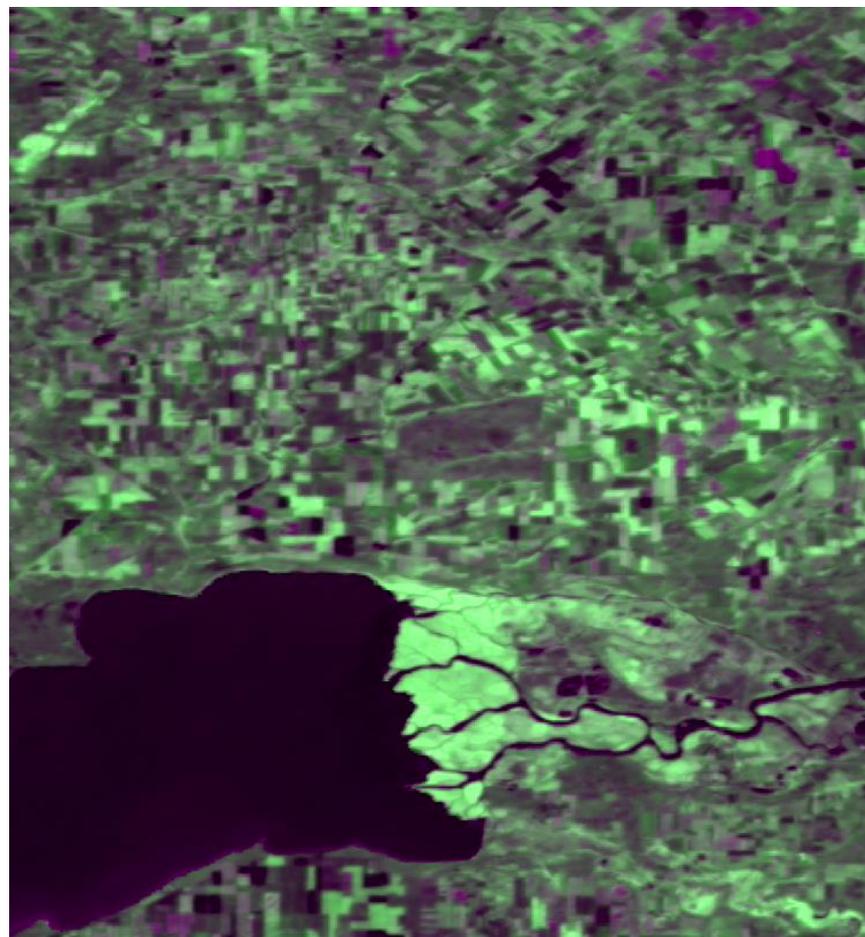
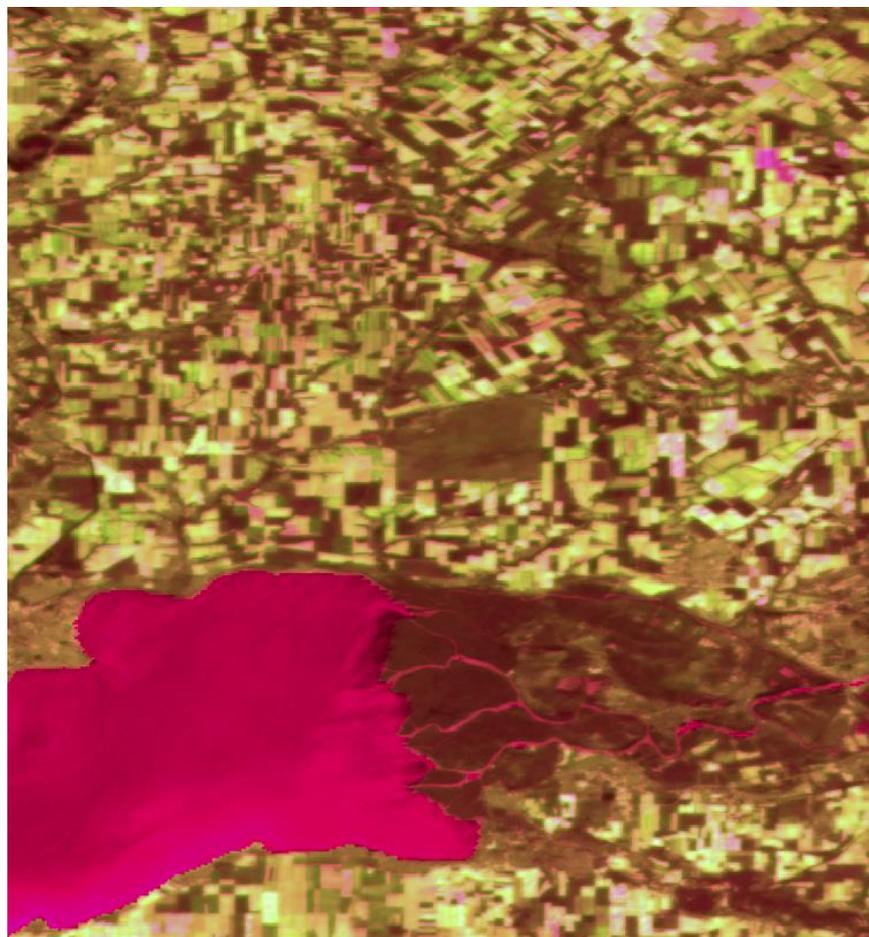
Двухэтапная допривязка:

- Поиск и устранение систематического смещения всего изображения КМСС dX_0 , dY_0 относительно эталона MODIS;
- Локализованный поиск и устранение местных искажений географической привязки dX_{loc} , dY_{loc} в узлах сети с шагом 100 пикселей ~ 6 км

$$dX = dX_0 + dX_{loc}$$

$$dY = dY_0 + dY_{loc}$$

Компенсация локальных аномалий привязки изображений МСУ-100М



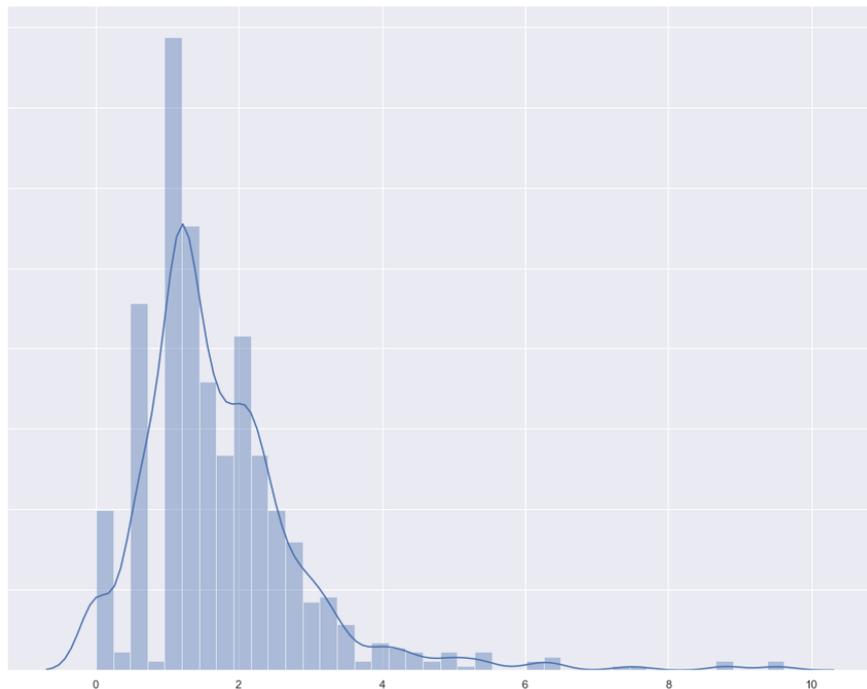
Трехканальный синтез изображений МСУ-100М и MODIS (красный – МСУ-100М, зеленый – MODIS, синий – МСУ-100М) до географической допривязки и после на красный (слева) и БИК (справа)

География анализа географической привязки данных



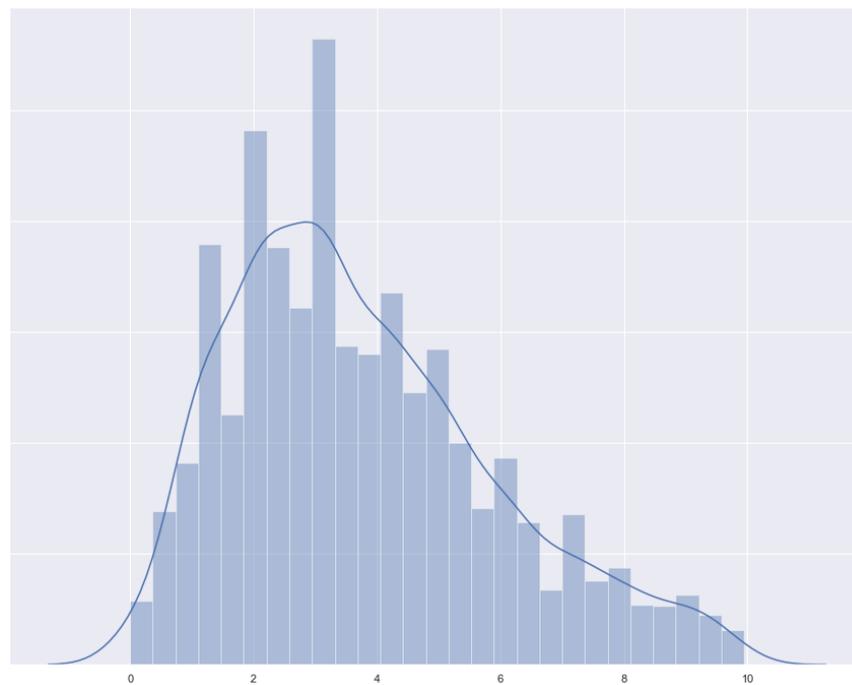
Для оценки точности привязки эталонных и допривязанных данных КМСС были выбраны безоблачные тестовые участки за разные даты и территории. Оценка делалась на основе безоблачных данных Sentinel-2 на основе разработанного метода за те же даты, что и проверяемые изображения

Оценка привязки данных по Sentinel-2



Гистограмма привязки эталона

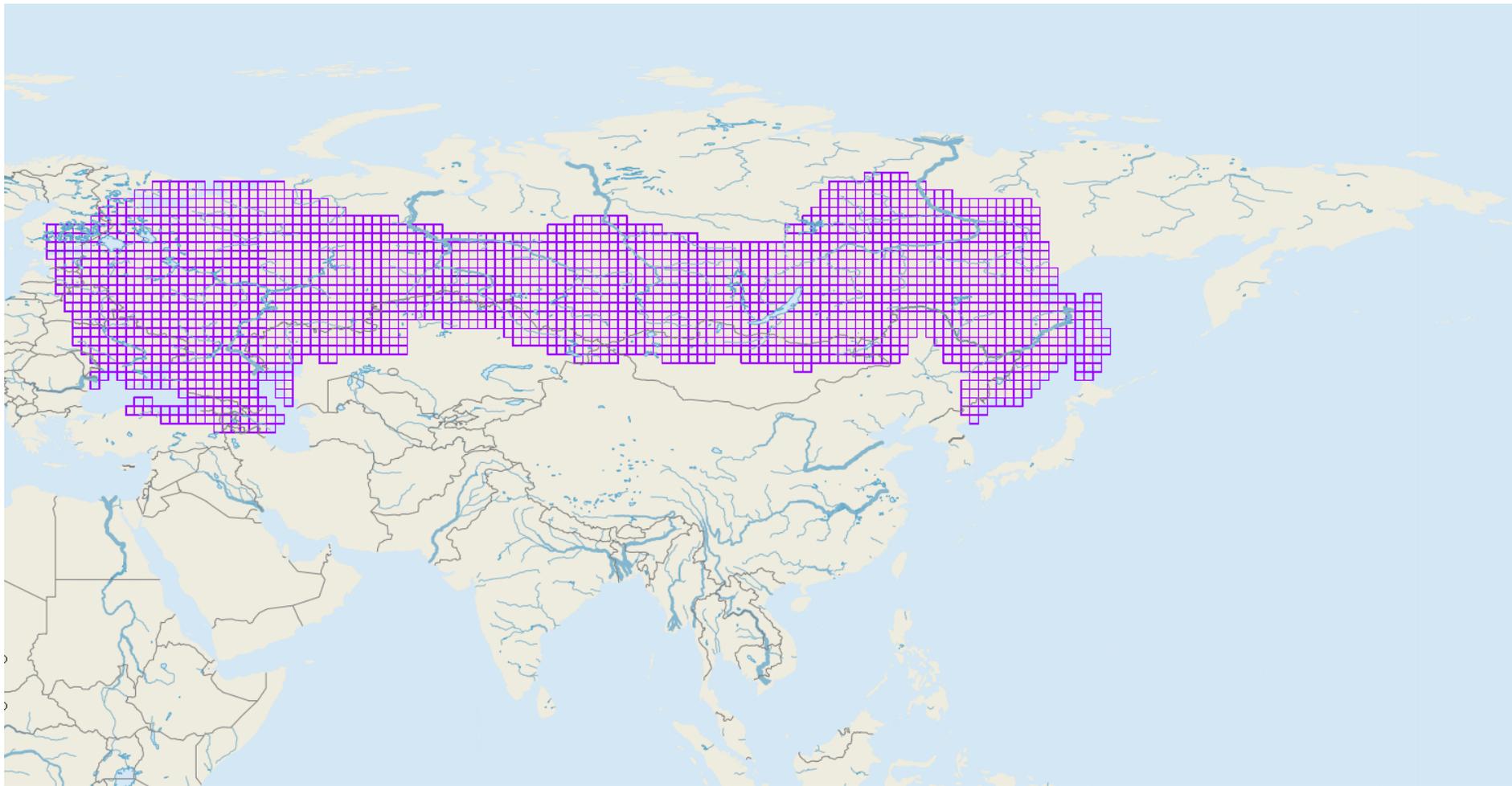
Количество участков : 736
Среднее смещение : 18 м



Гистограмма привязки
обработанных сцен КМСС-М

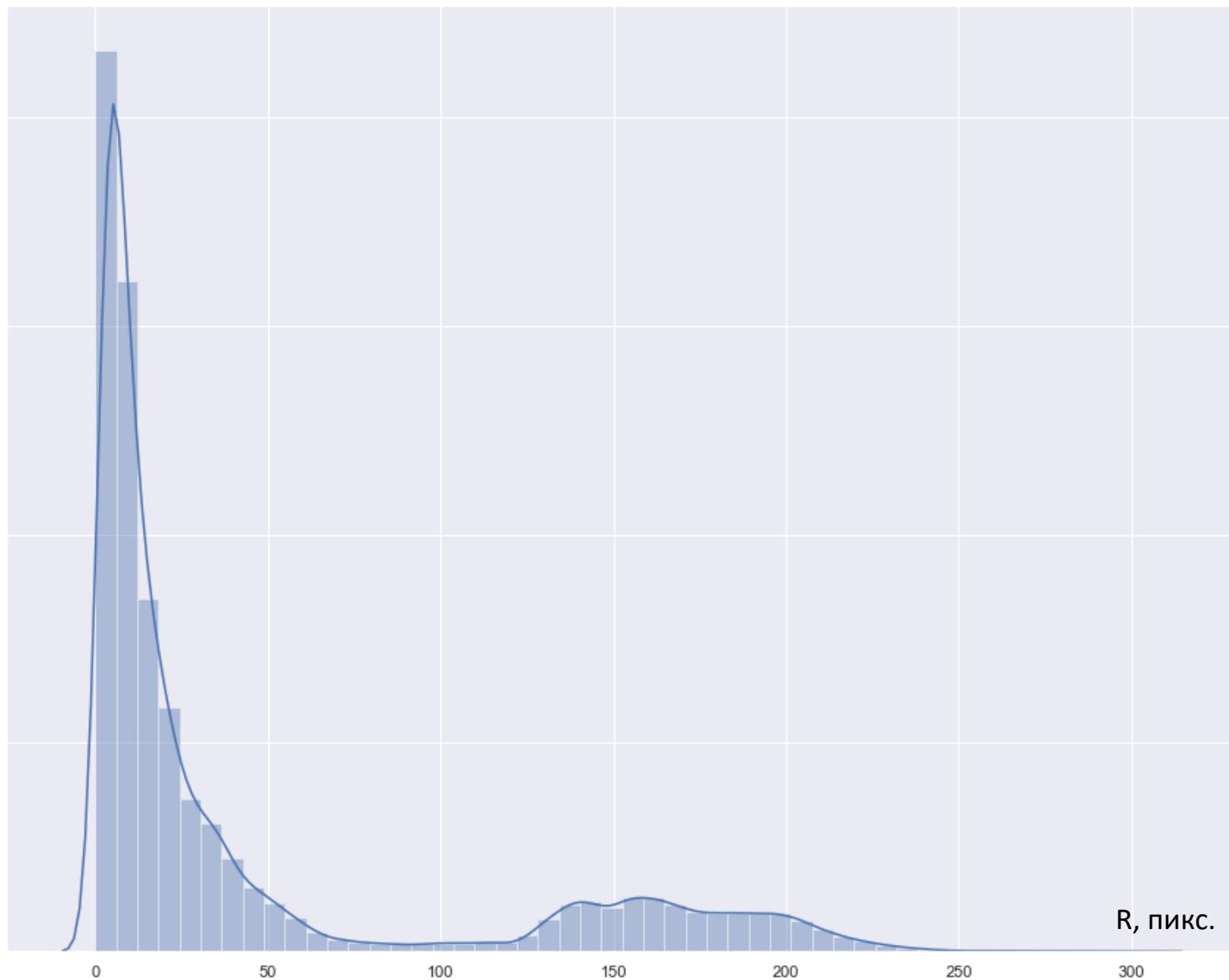
Количество участков : 3769
Среднее смещение : 39 м

Область обработки данных КМСС



Зона обработки данных КМСС в потоковом режиме за 2020 год

Результаты недопривязанности данных КМСС-М в красном канале



Замечания

- Исправление искажений в географической привязке данных не более 264 пикселей МСУ-100М (около 16 км)
- Погрешность допривязки составляет 40 метров, то есть около 66% пикселя КМСС
- Метод ориентирован на обработку данных за бесснежный интервал года

Выводы

- Создан метод географической допривязки данных более высокого пространственного разрешения по данным низкого разрешения
- Доказана эффективность метода на примере теста данных Sentinel-2
- Посчитана точность географической привязки эталонных данных и обработанных сцен КМСС-М
- На основе метода создана технологии потоковой обработки данных КМСС-М и КМСС-2 результаты который доступны в интерфейсе систем семейства Вега

Перспективы

- Обработка данных аналогичного прибора, который будет находиться на борту спутника Метеор-М № 2.3, запуск которого запланирован на конец текущего года

Спасибо за внимание!