

Метод предобработки и атмосферной коррекции данных МСУ-100М (Метеор-М №2) для применения в задачах количественной оценки характеристик земной поверхности

Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Барталев С.А.

Пятнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"

Москва
13-17 ноября 2017г.



Метеор-М №2: общие характеристики



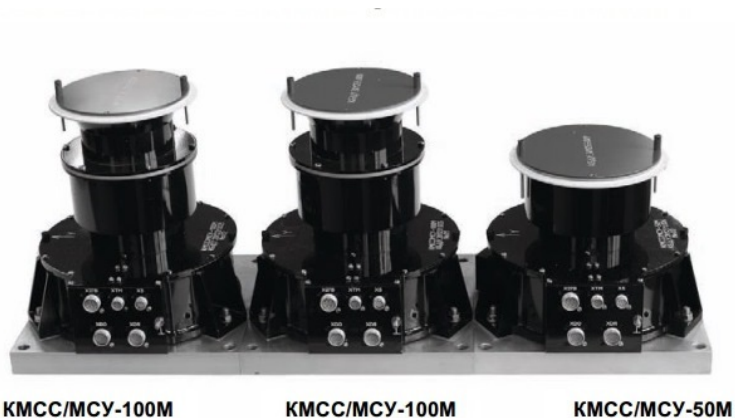
**Тип спутника —
метеорологический**

Запуск — 8 июля 2014

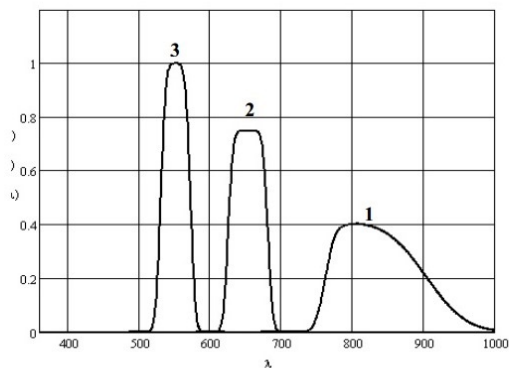
**Обита КА —
круговая, солнечно-
синхронная, утренняя
(9:30)**

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

Основные технические характеристики аппаратуры КМСС/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

Количество приборов – 2

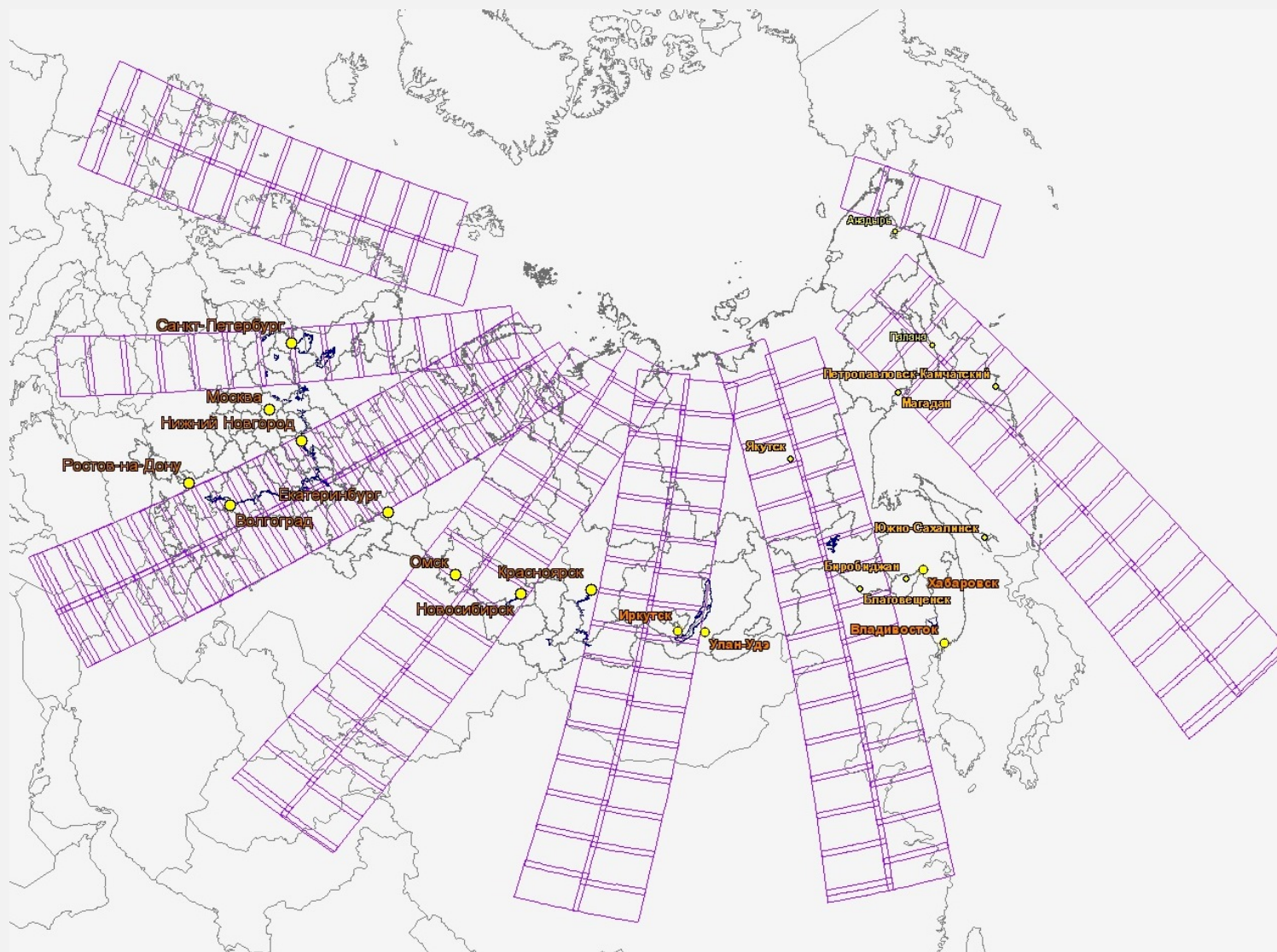
Формируемая полоса обзора – 960 км (2 прибора)

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.

Высокие показатели повторяемости съемки КМСС/МСУ-100М



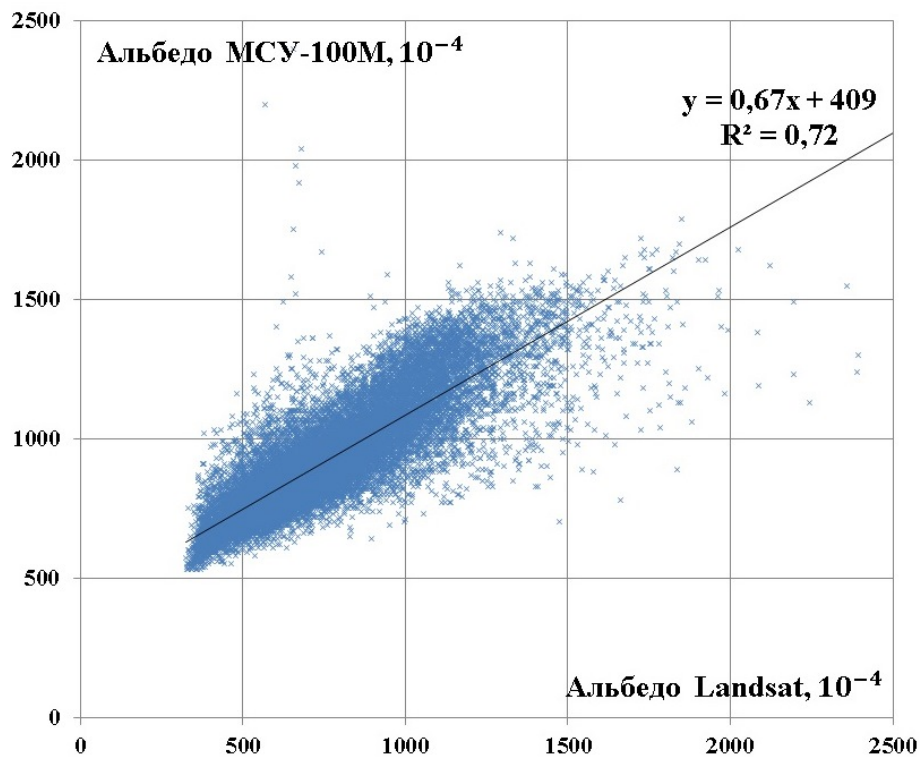
Зона покрытия данными МСУ-100М за **один день** (4.11.2017)

Территория России покрывается полностью за 2-3 дня

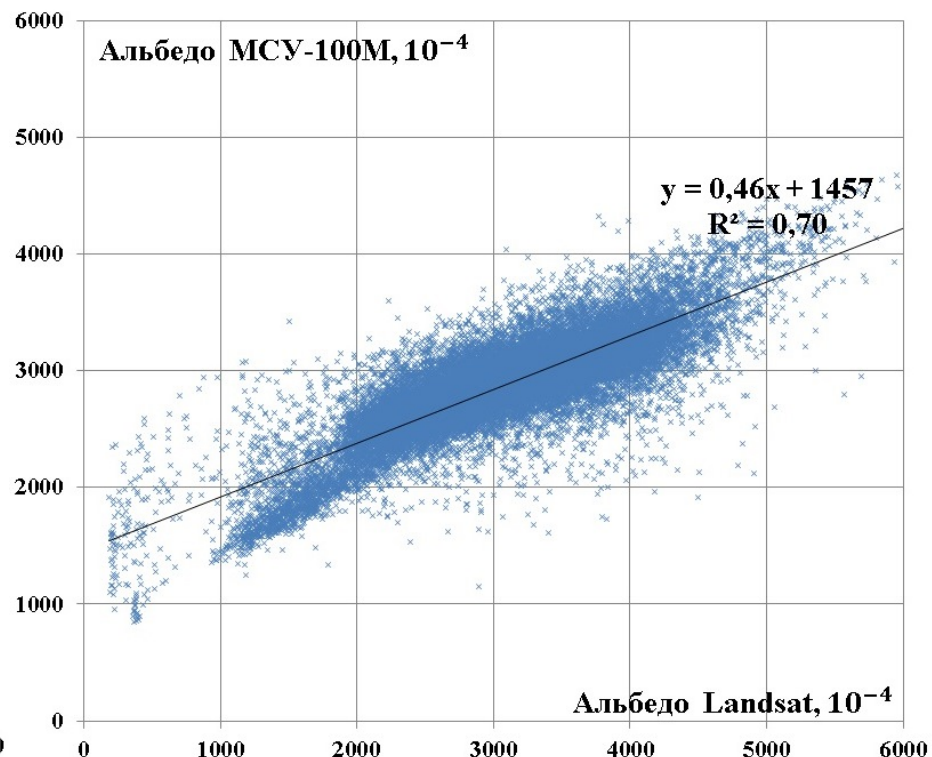
Требования к спутниковым данным для решения задач количественной оценки характеристик земной поверхности

- Наличие необходимой для совмещения разновременных наблюдений географической привязки
- Достаточно точная радиометрическая калибровка данных
- Атмосферная коррекция измерений
- Наличие необходимых для решения задач мониторинга растительности спектральных каналов (красный, ближний ИК)

Сравнение формально калиброванных измерений МСУ-100М с Landsat (TOA)



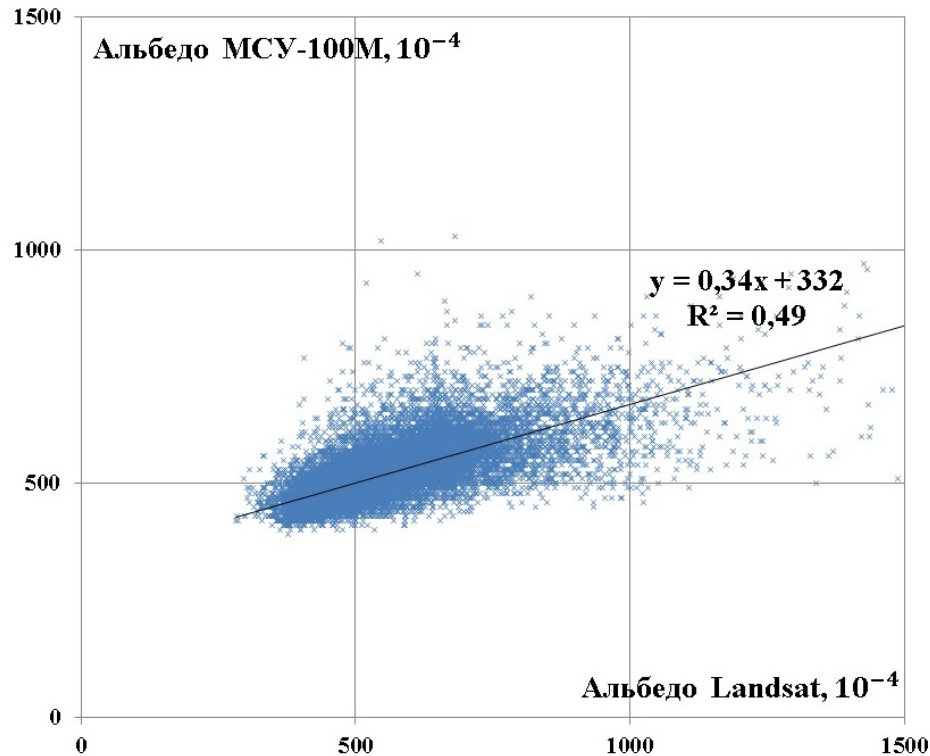
Красный канал



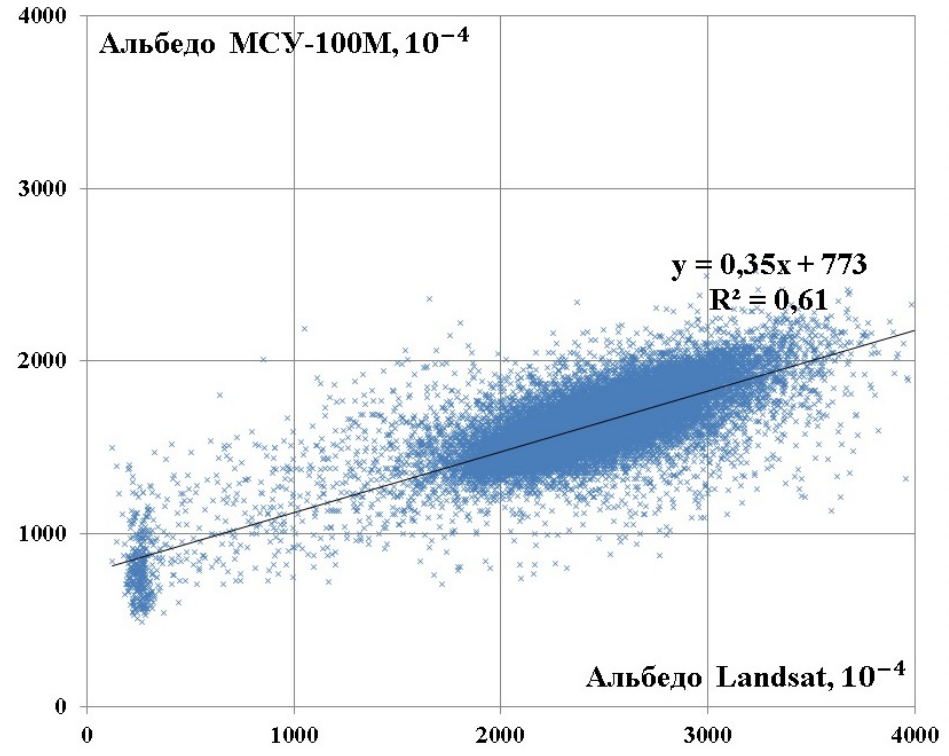
БИК канал

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

Сравнение формально калиброванных измерений МСУ-100М с Landsat (TOA)



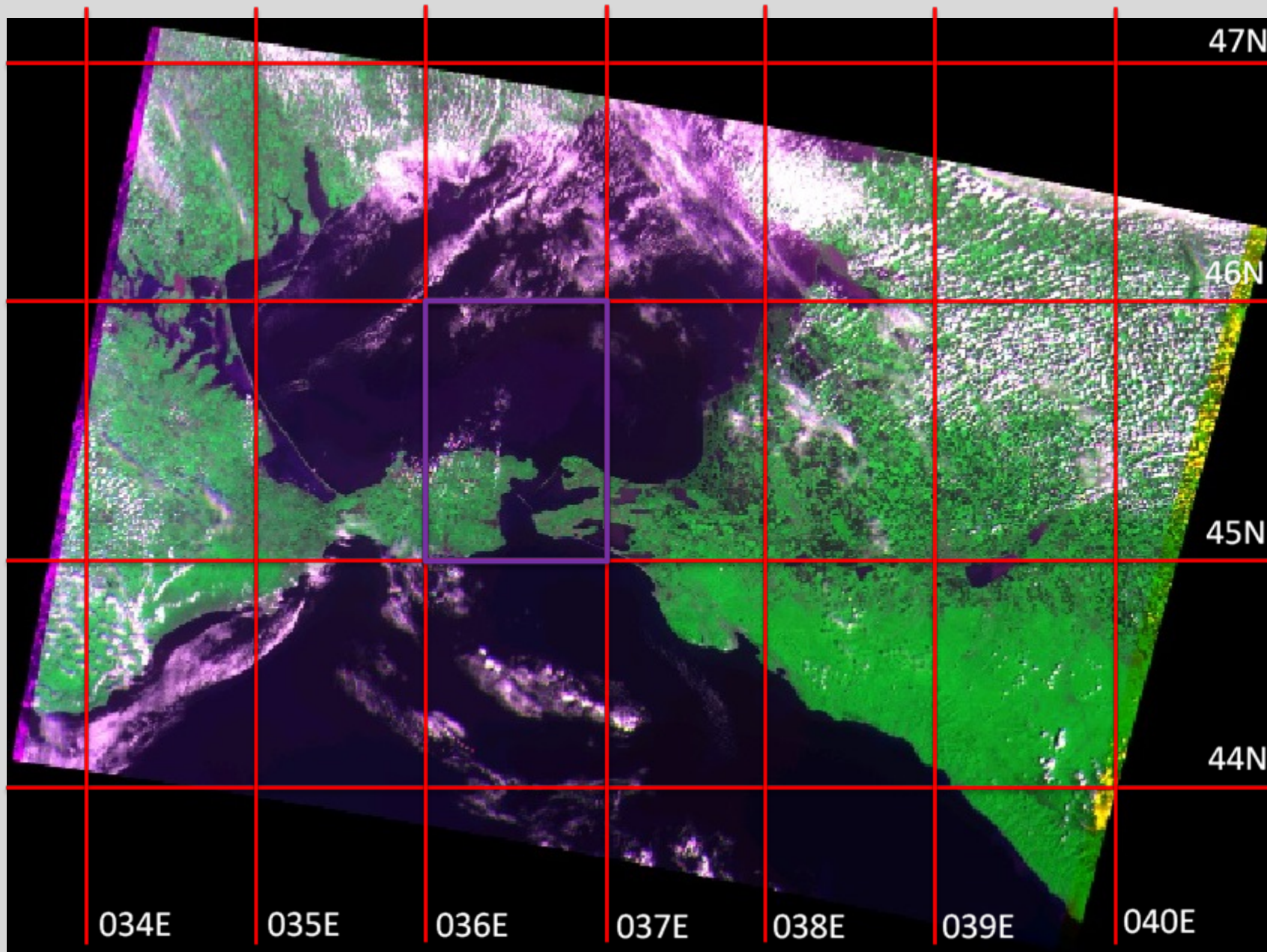
Красный канал



БИК канал

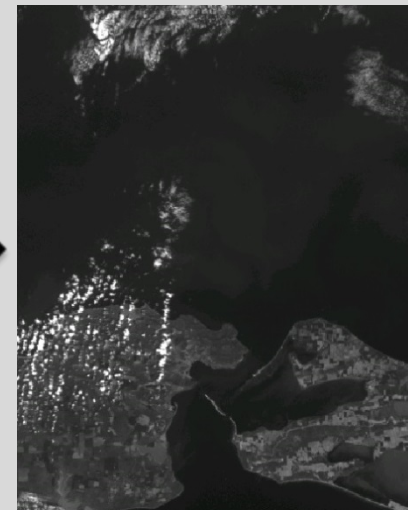
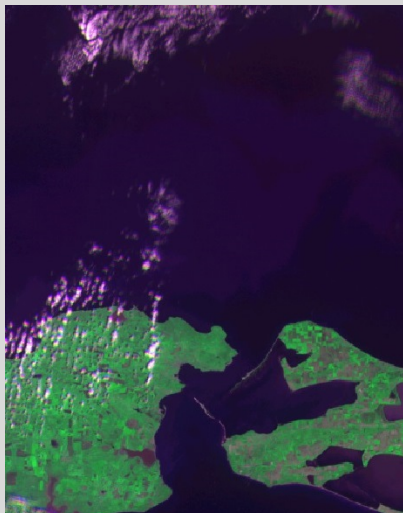
Сравнение данных 30 июля 2016, область с центром с координатами долгота 156,39 и широта 64,91

Гранульный формат данных МСУ-100М



Формат имени данных МСУ-100М

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



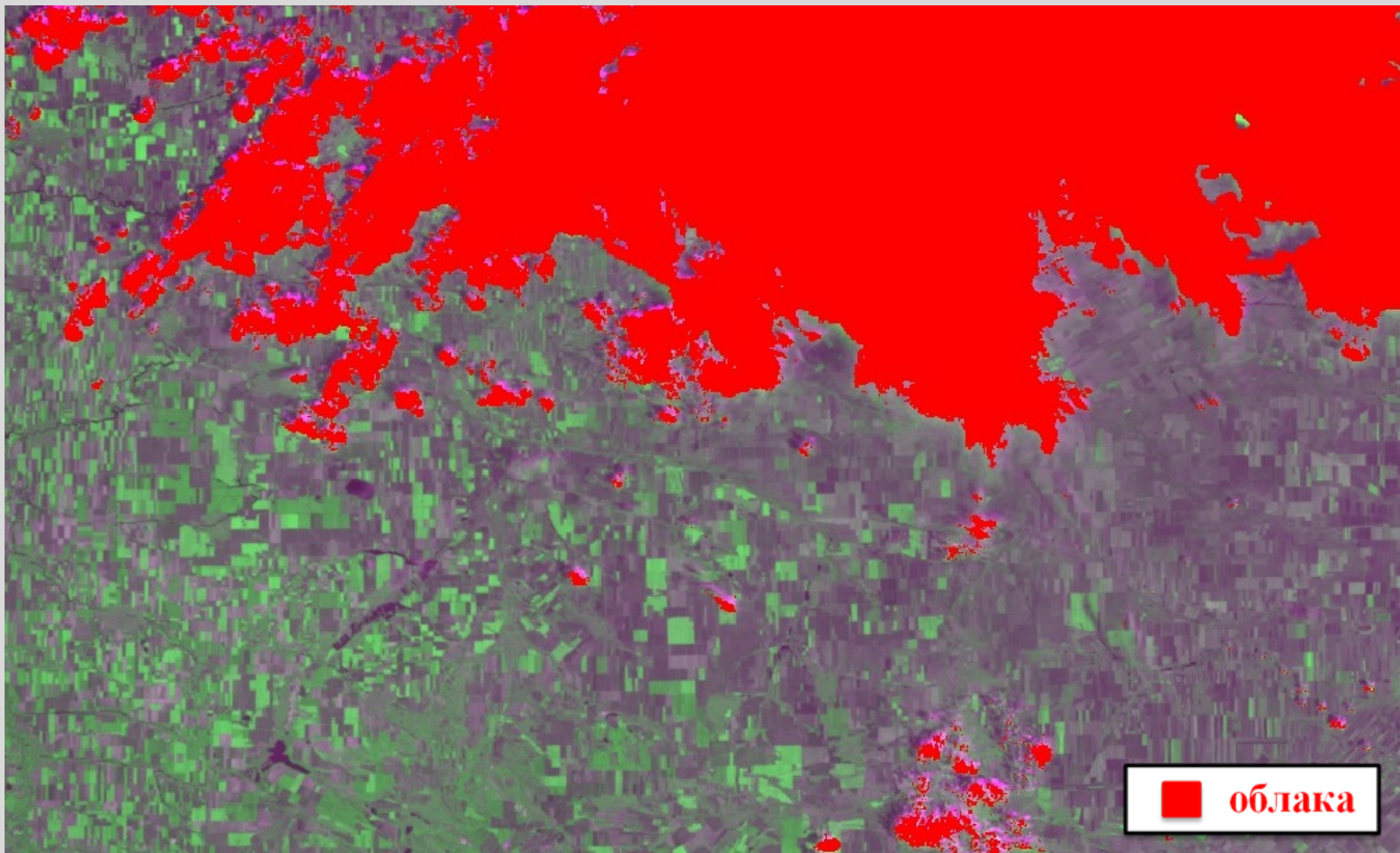
GREEN101.A2016138T070843.E036N46

RED101.A2016138T070843.E036N46



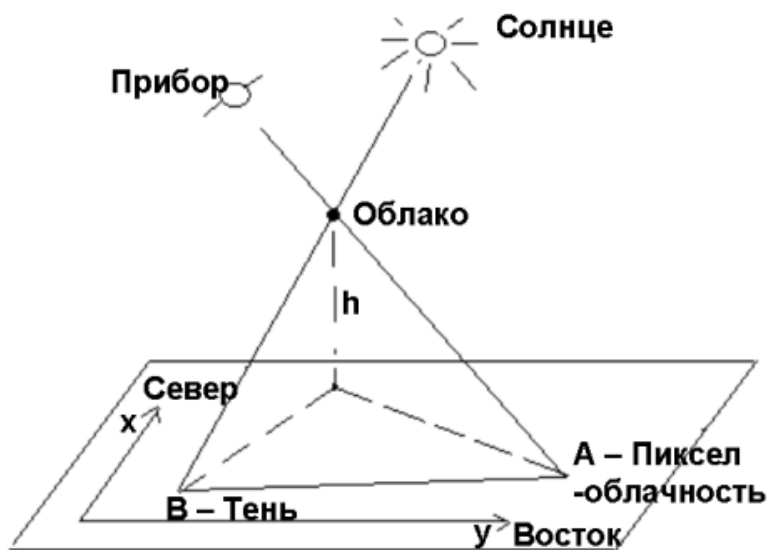
NIR101.A2016138T070843.E036N46

Предварительное маскирование облачности



Часть сцены МСУ-100М с облачностью

Определение положения теней от облачности и углов Солнца



Геометрия положения теней :

$$x = H(\cos(\Psi) \operatorname{tg}(\theta) - \cos(\beta) \operatorname{tg}(\delta))$$

$$y = H(\sin(\Psi) \operatorname{tg}(\theta) - \sin(\beta) \operatorname{tg}(\delta))$$

H - высота облака над Землей,

Ψ - азимутальный угол наблюдения

θ - зенитный угол наблюдения

β - азимутальный угол Солнца

δ - зенитный угол Солнца

Определение углов Солнца

LT – Local Time

GMT – Greenwich Mean Time

$$B = \frac{360}{365} (d - 81)$$

$$\Delta T_{GMT} = LT - GMT$$

$$EoT = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B)$$

$$LSTM = 15^\circ \cdot \Delta T_{GMT}$$

$$TC = 4(LSTM - Longitude) + EoT$$

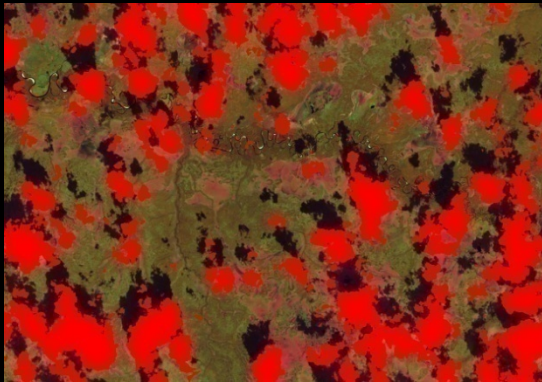
$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right]$$

$$LST = LT + \frac{TC}{60}$$

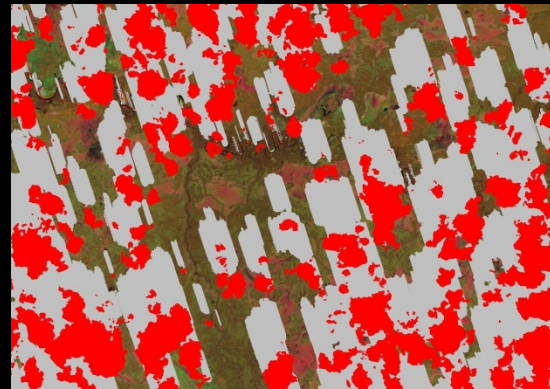
$$\begin{aligned} \text{Elevation} &= \sin^{-1} [\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos(HRA)] \\ \text{Azimuth} &= \cos^{-1} \left[\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos(HRA)}{\cos \alpha} \right] \end{aligned}$$

$$HRA = 15^\circ (LST - 12)$$

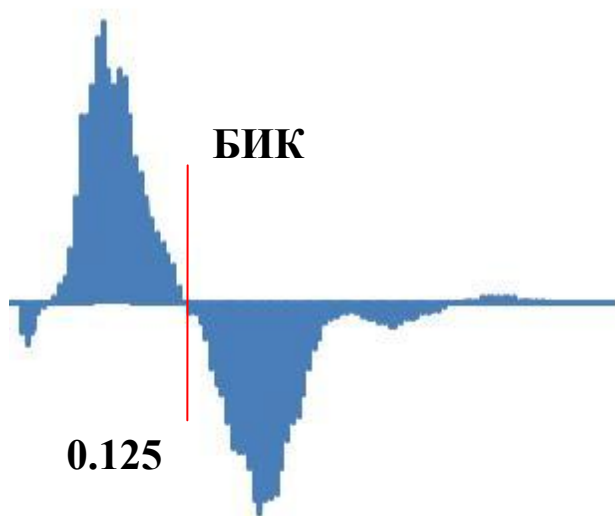
Детектирования теней



Маска облаков

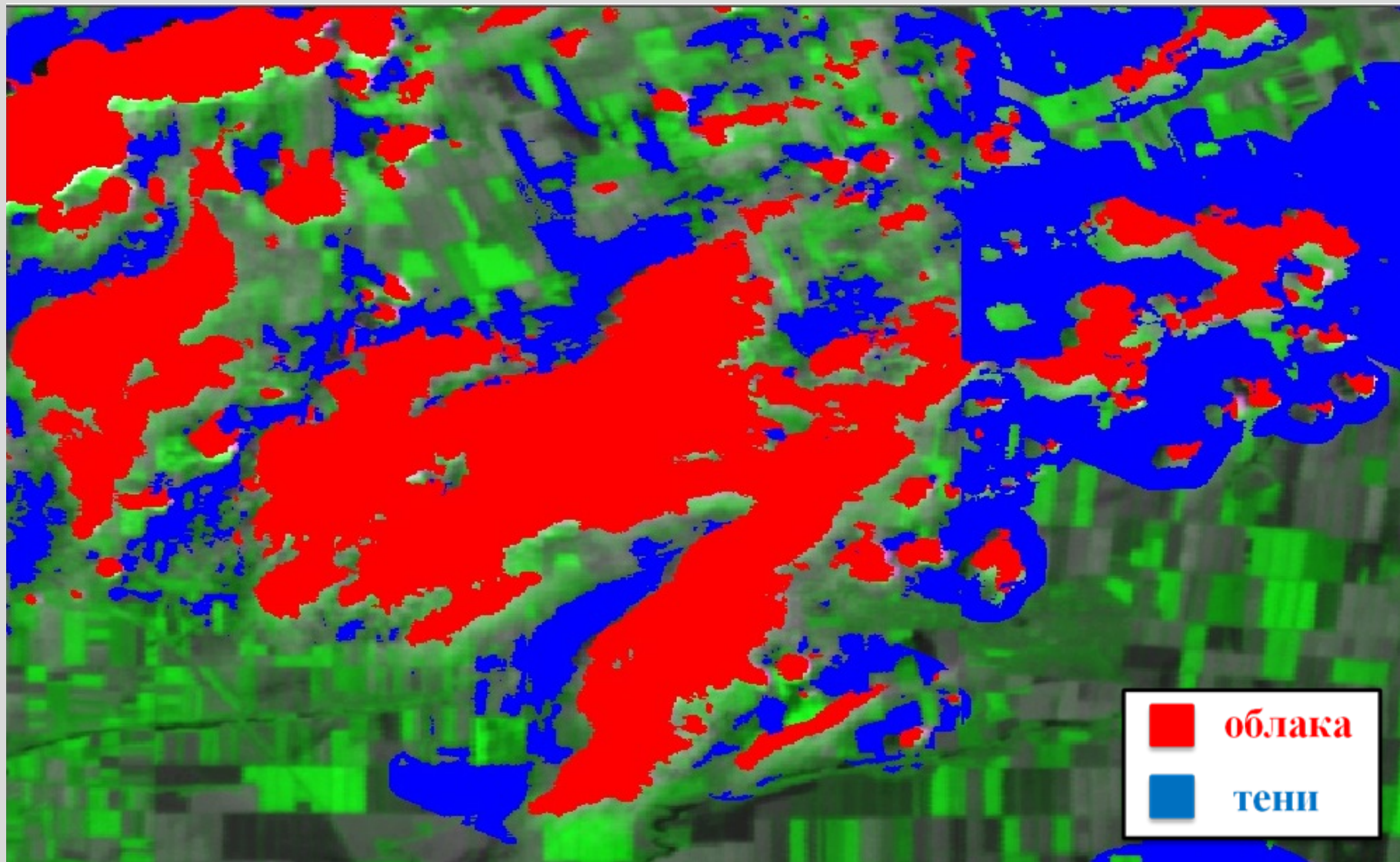


Маска облаков и полосы теней от них



$$f_{\text{БИК}}(A) = f_{\text{БИК, line}}(A) \wedge f_{\text{БИК, line}}(A) dA - f_{\text{БИК, offline}}(A) \wedge f_{\text{БИК, offline}}(A) dA,$$

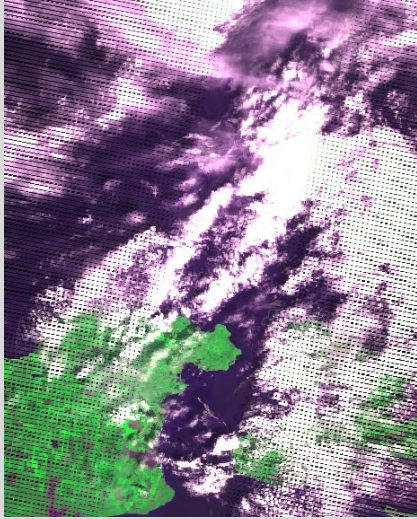
Предварительное маскирование облачности



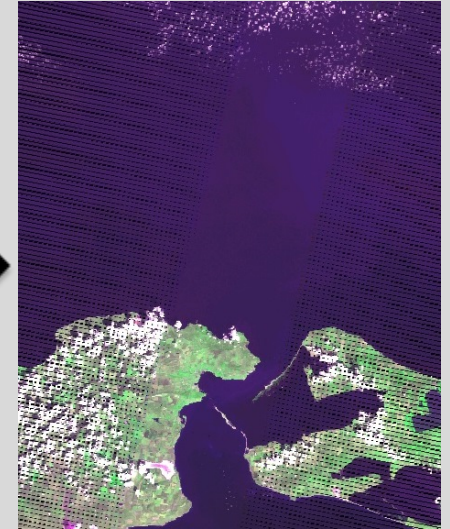
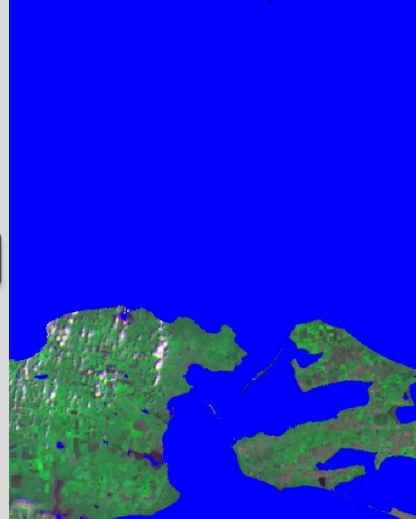
Часть сцены МСУ-100М с облачностью

Улучшение географической привязки данных

МСУ-100М, 17 мая



Landsat-7, 28 апреля



Landsat-7, 27 мая



Landsat-7, 13 мая

Улучшение географической привязки измерений



-
1. Разбиение сцены мсу-100м на градусные области
 2. Поиск ближайшей и наиболее «чистой» сцены Landsat
 3. Поиск наибольшего значения коэффициента детерминации
-

$$dX = -10 \dots + 10$$

$$dY = -10 \dots + 10$$

$$Y = aX + b$$

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}$$

$$b = \frac{\bar{y} \cdot \overline{x^2} - \bar{x} \cdot \overline{xy}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}$$

$$R^2 = \frac{\sum (y_i^p - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

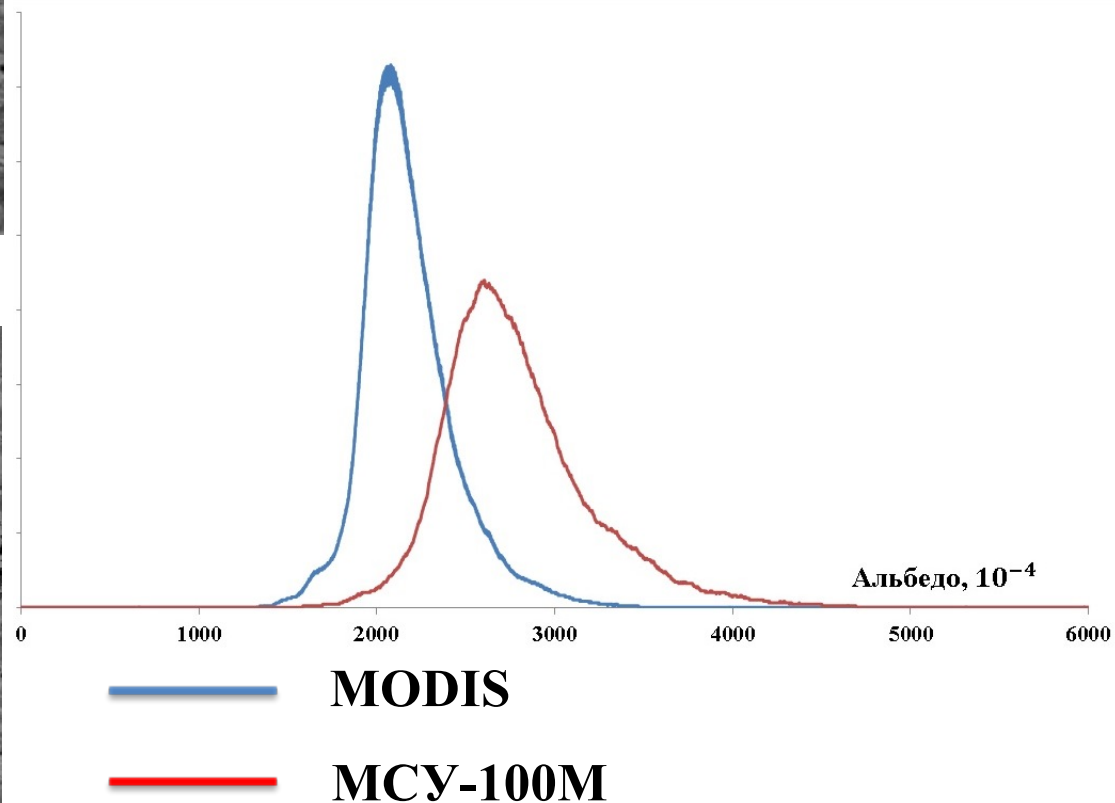
Оценка сравнимости данных МСУ-100М и MODIS



МСУ-100М, БИК канал

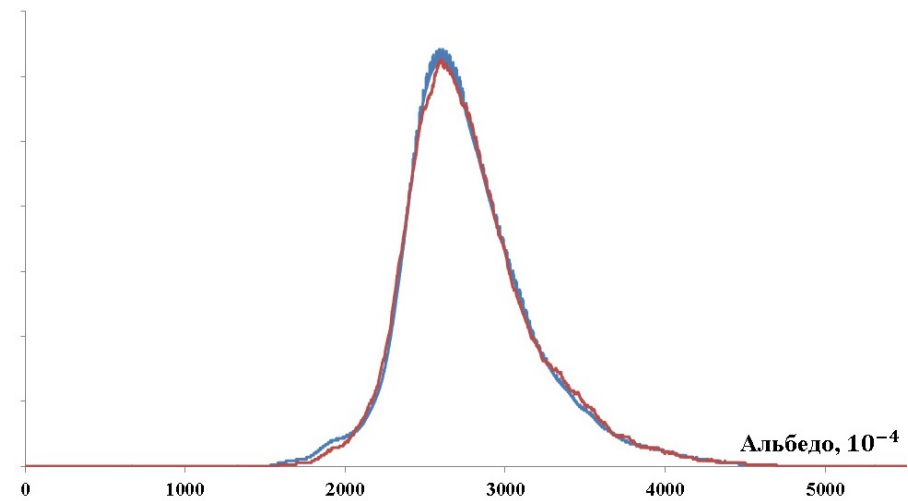
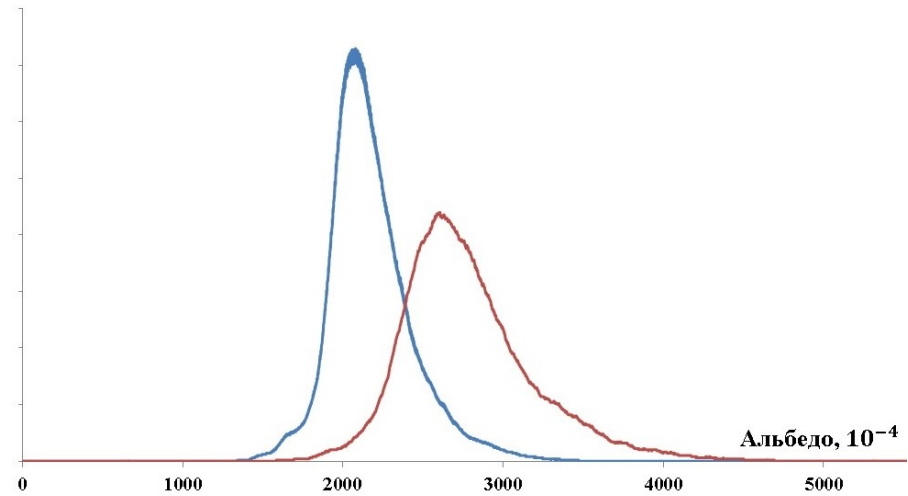
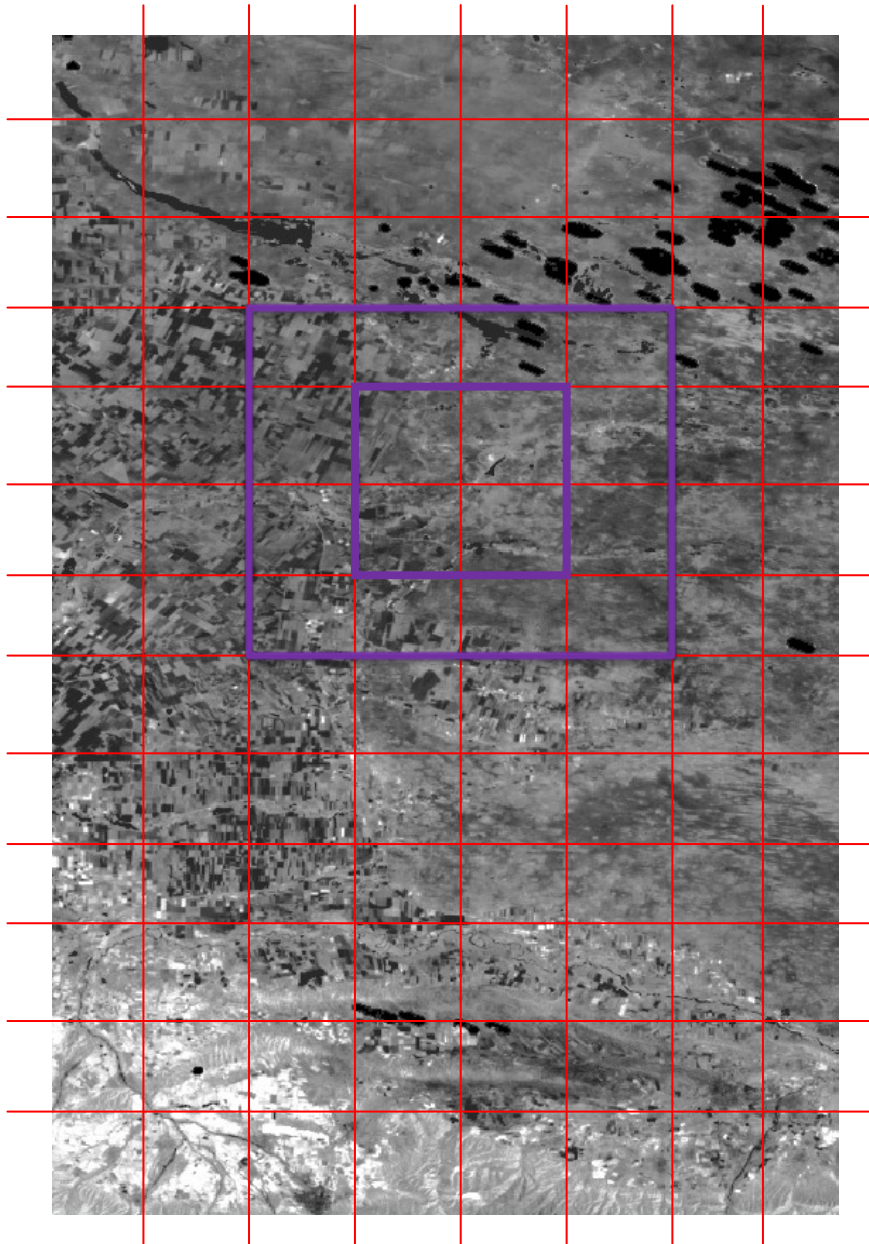


MODIS, БИК канал



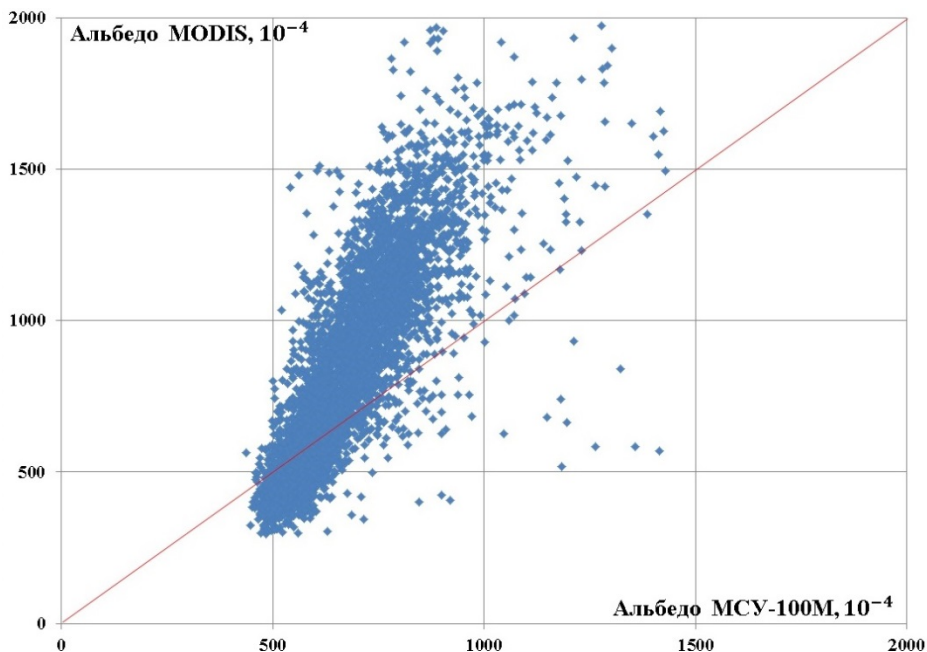
Используются четырехдневные композитные изображения MODIS в красном и БИК каналах, построенные на основе продукта MOD09 в ИКИ РАН

Компенсация влияния атмосферы

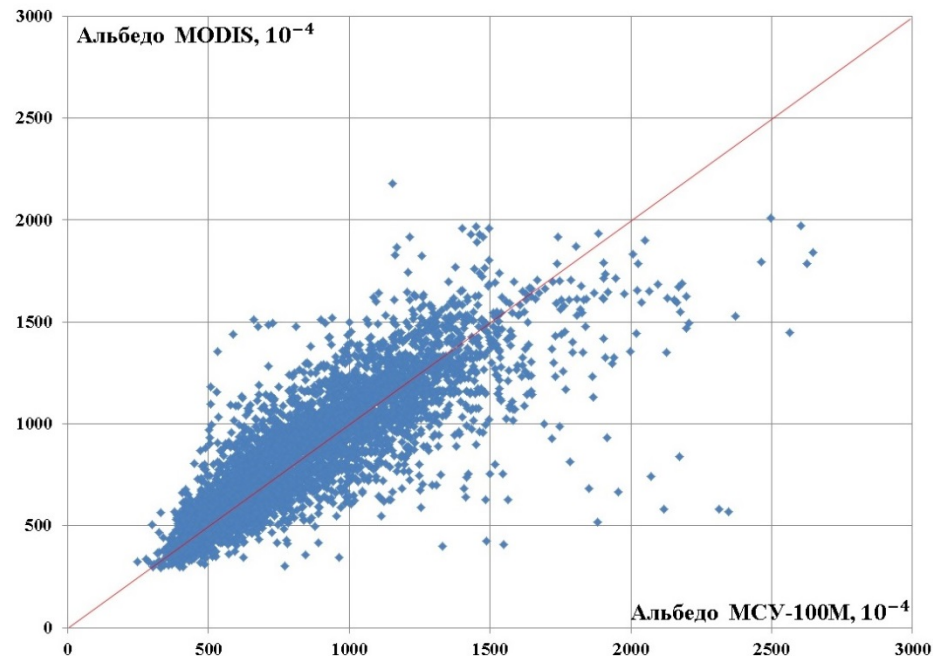


— MODIS
— MSU-100M

Оценка результатов атмосферной коррекции (красный канал)



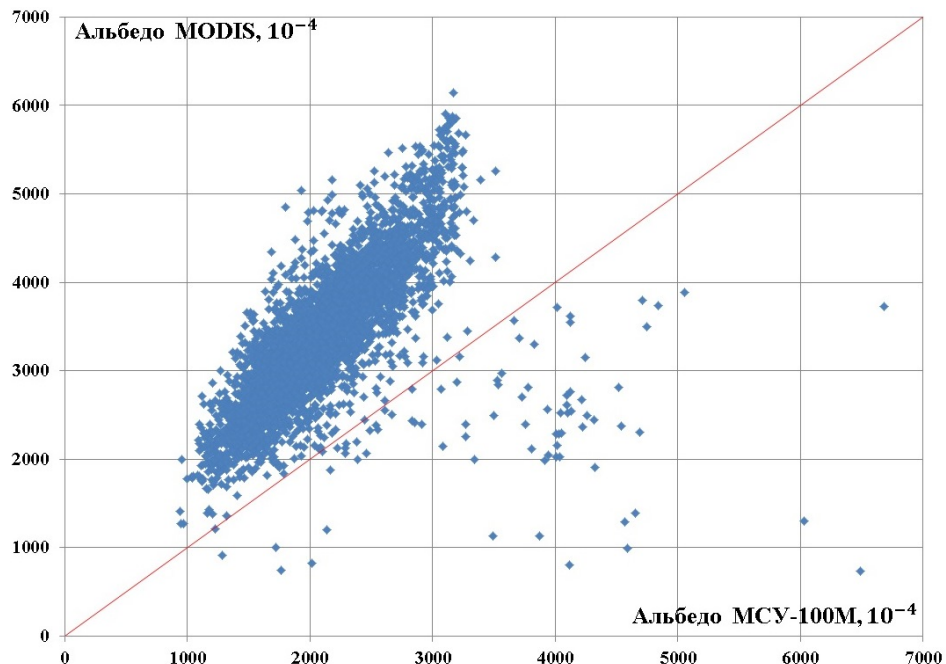
Данные MSU-100M до атмосферной коррекции



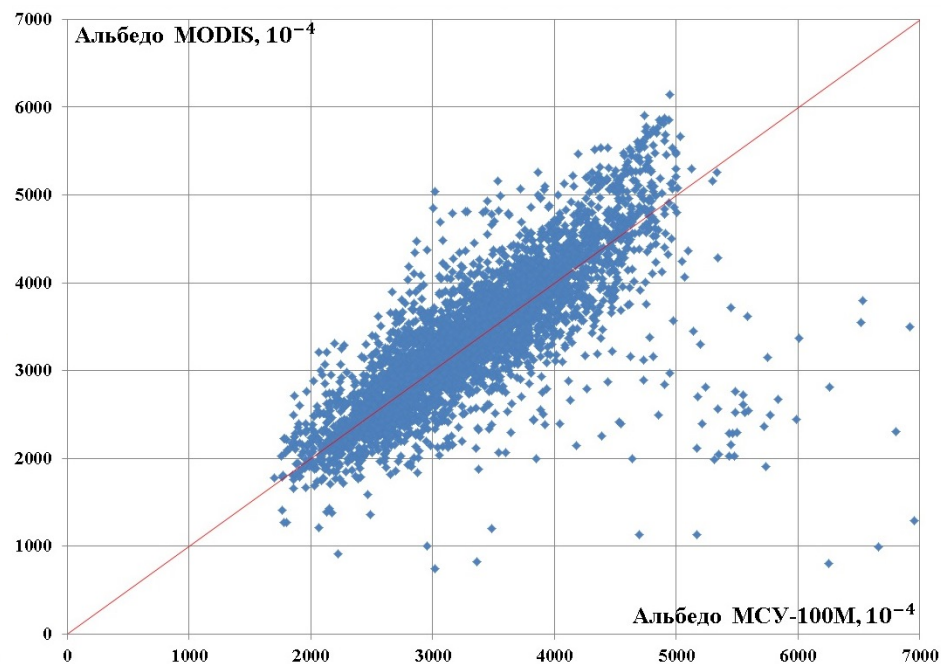
Данные MSU-100M после атмосферной коррекции

Диаграммы рассеяния построены на основе данных, собранных с территории, площадь которой сравнима с площадью Ставропольского края (около 40.000 км²)

Оценка результатов атмосферной коррекции (БИК канал)

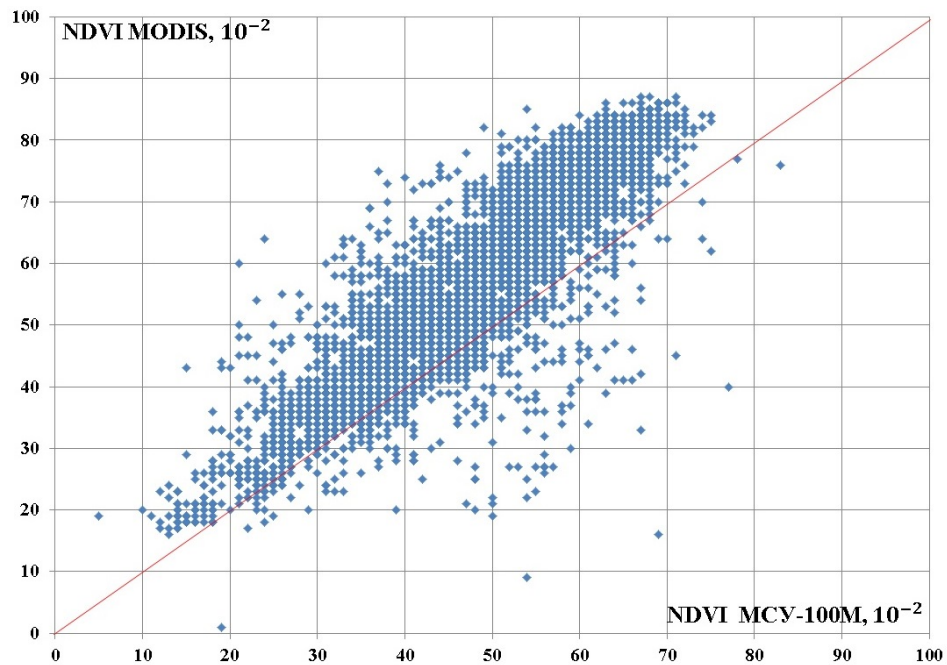


**Данные MSU-100M до
атмосферной коррекции**

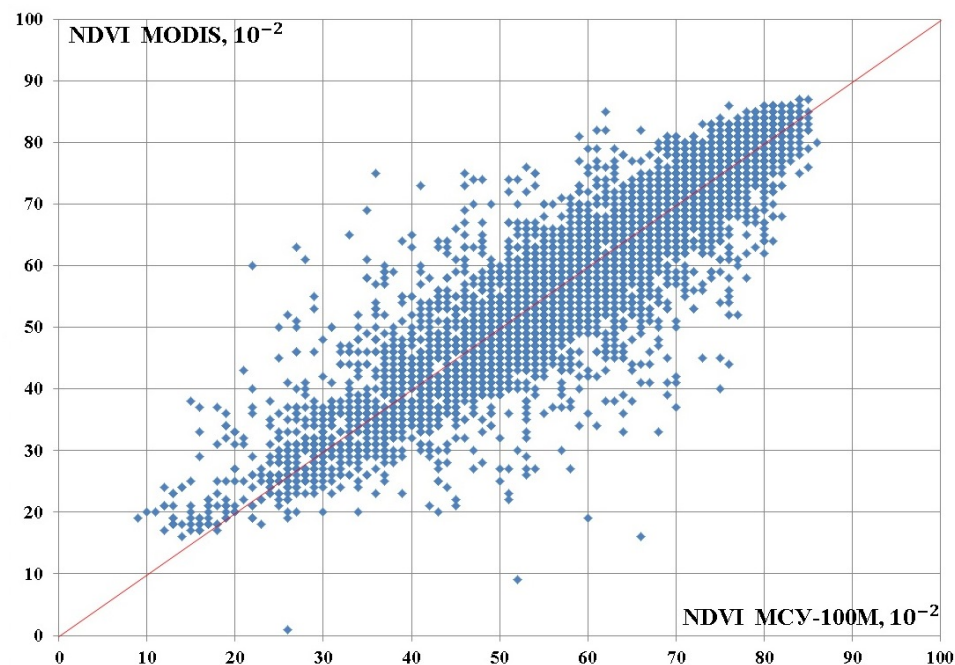


**Данные MSU-100M после
атмосферной коррекции**

Оценка результатов атмосферной коррекции (NDVI)

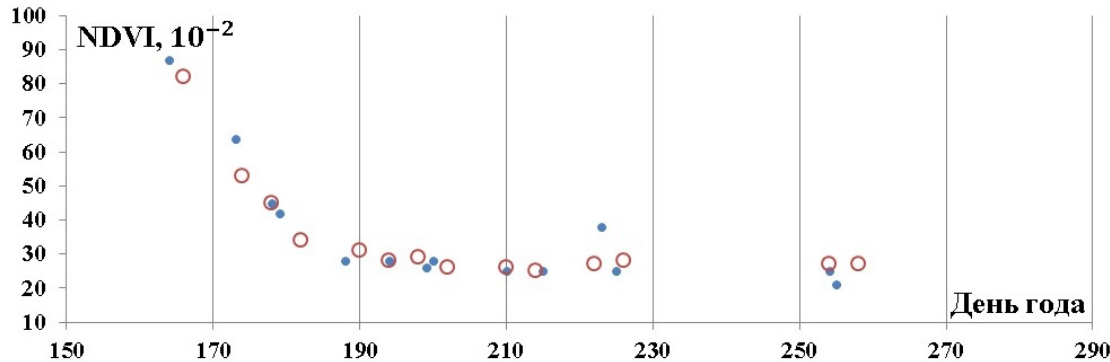
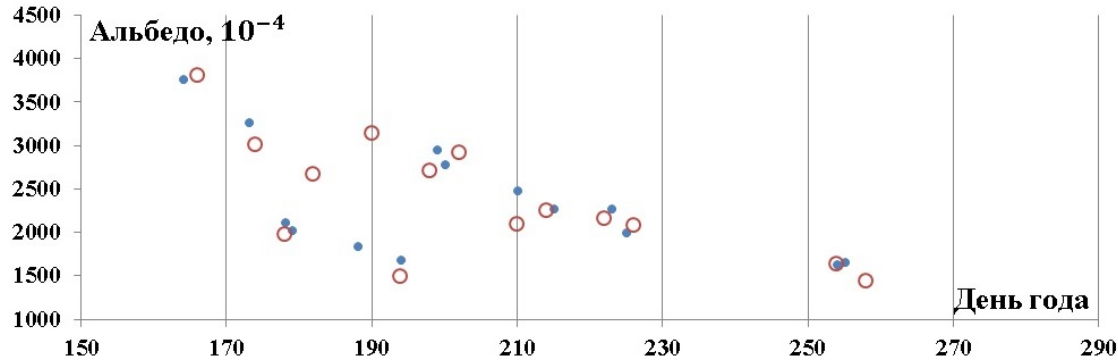
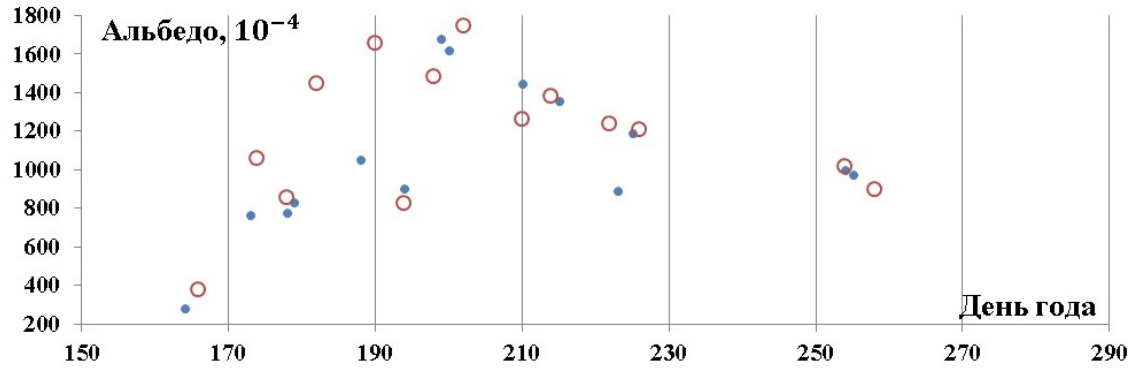


Данные MSY-100M до атмосферной коррекции

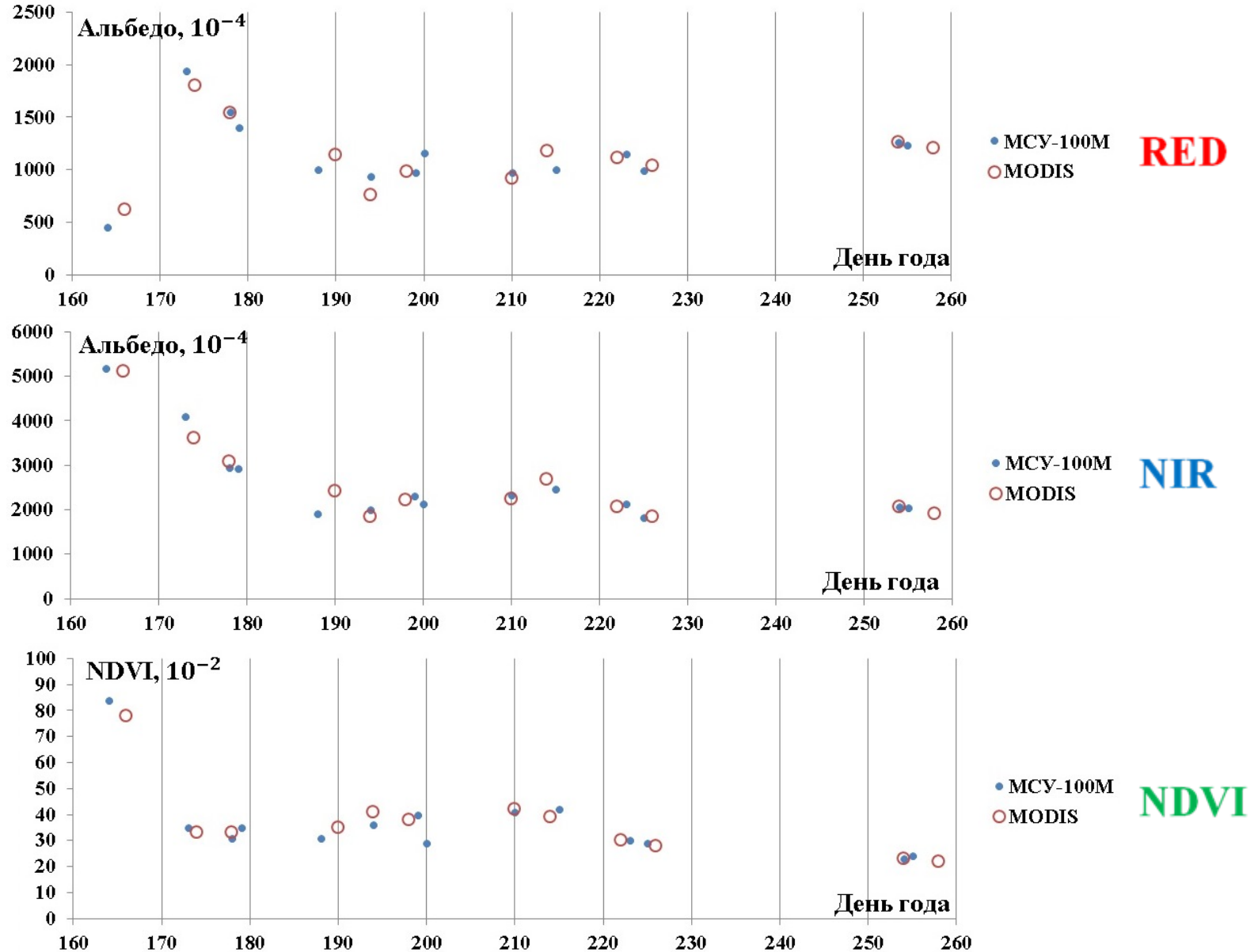


Данные MSY-100M после атмосферной коррекции

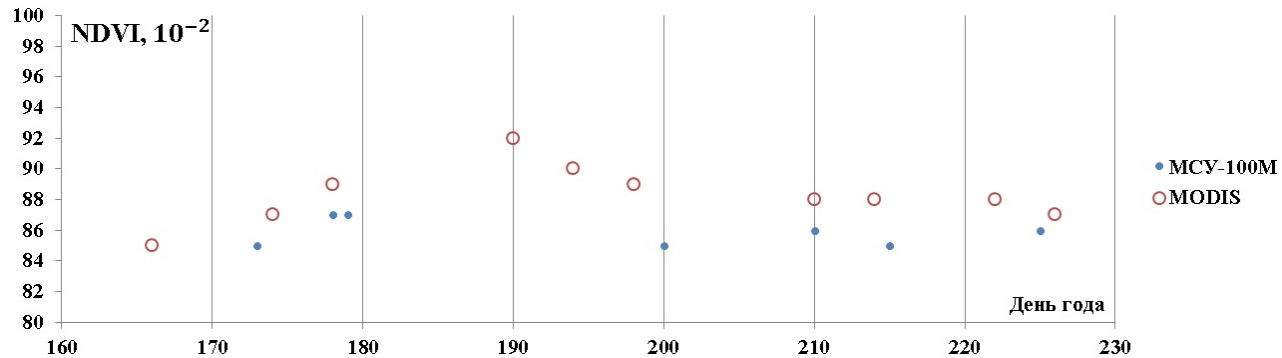
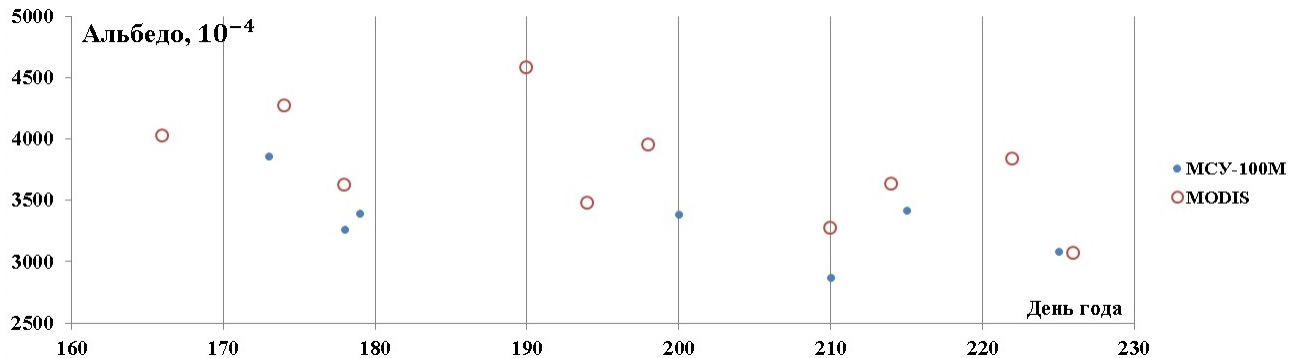
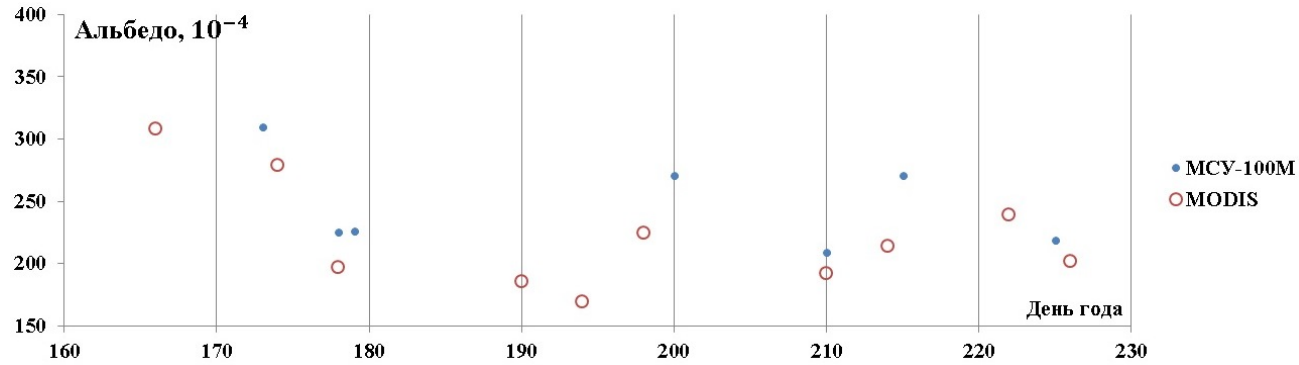
Оценка устойчивости результатов атмосферной коррекции: временные серии (поле озимых)



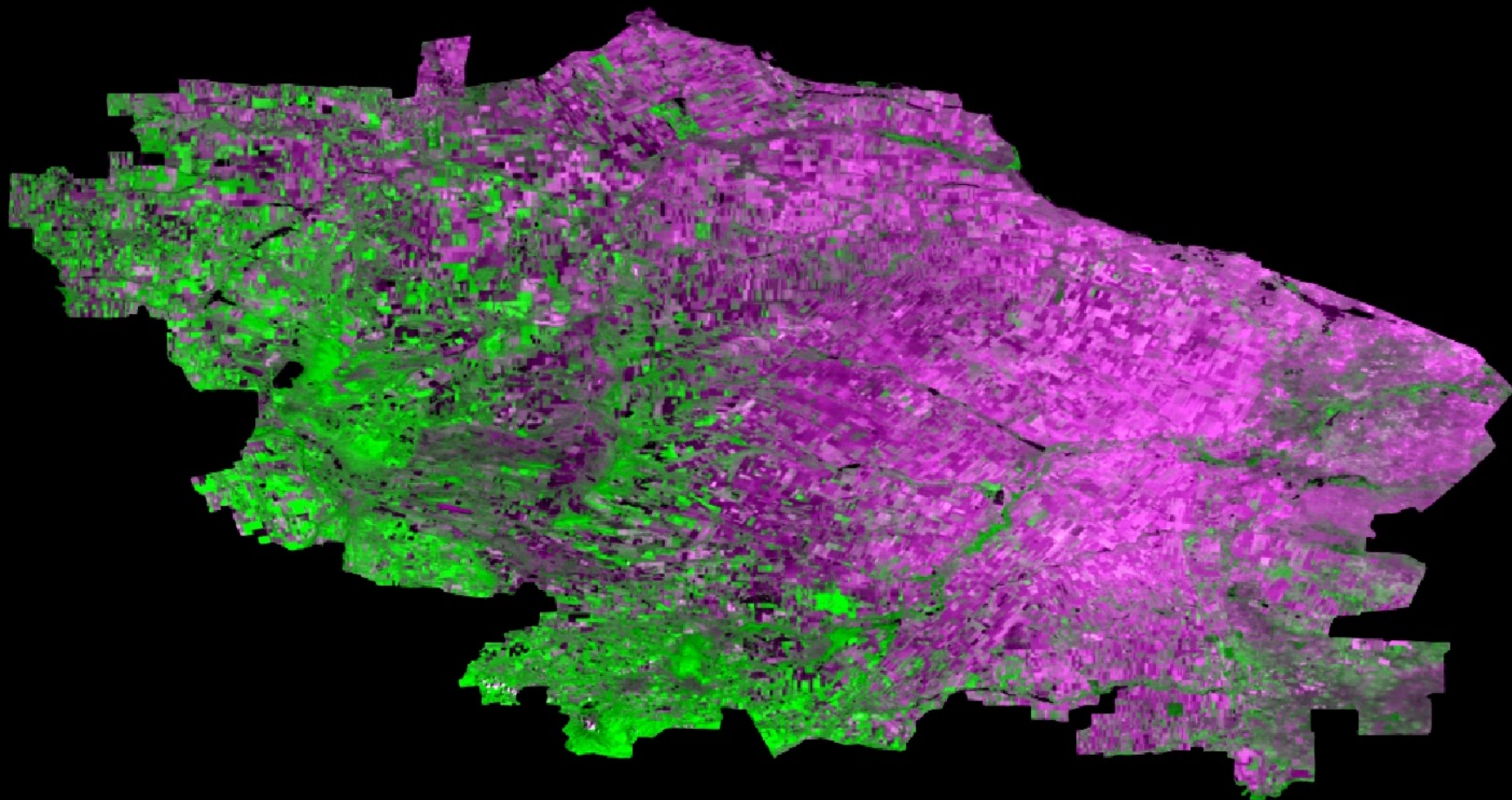
Оценка устойчивости результатов атмосферной коррекции: временные серии (с\х поле)



Оценка устойчивости результатов атмосферной коррекции: временные серии (лес)

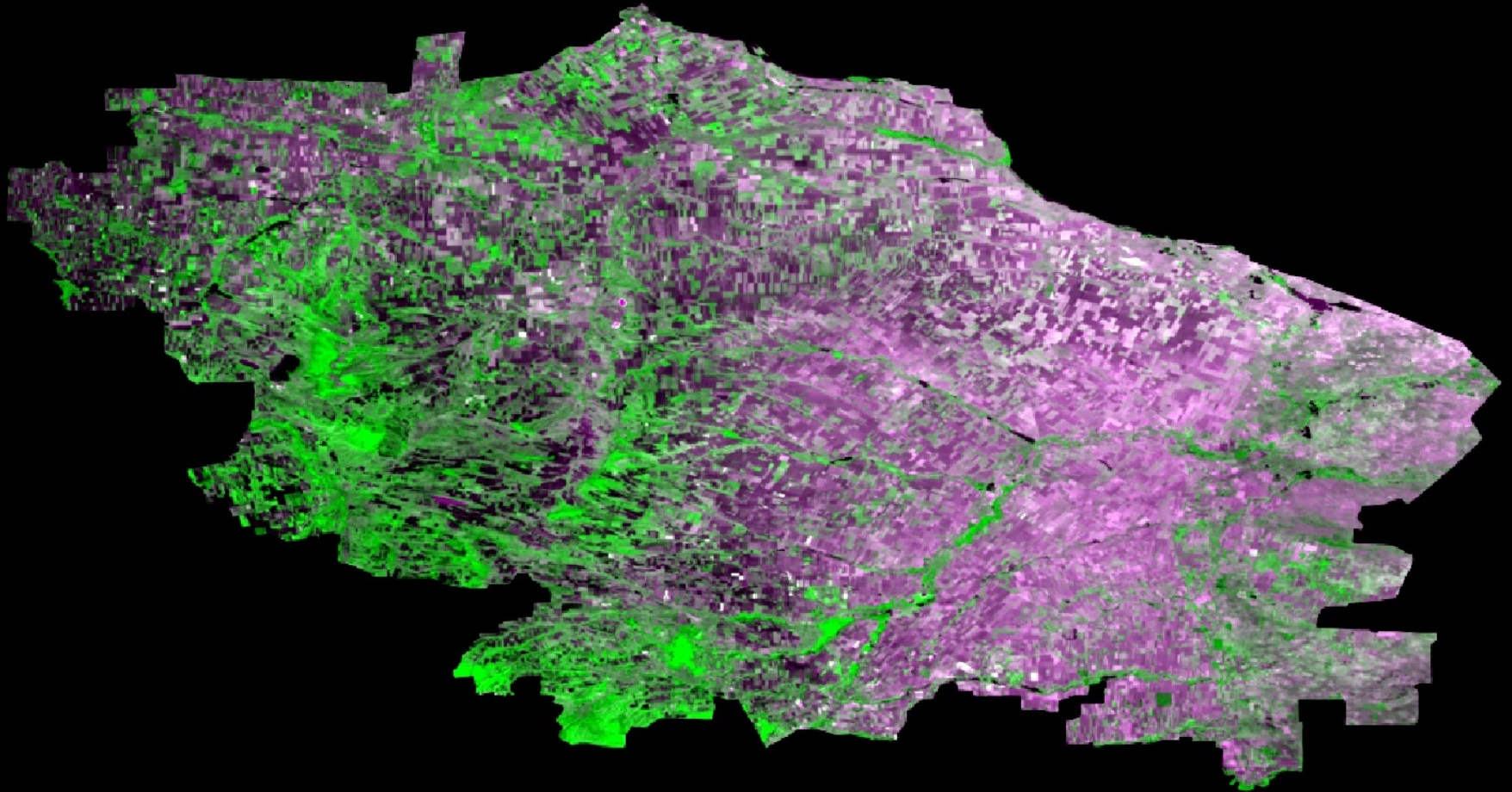


Ставропольский край



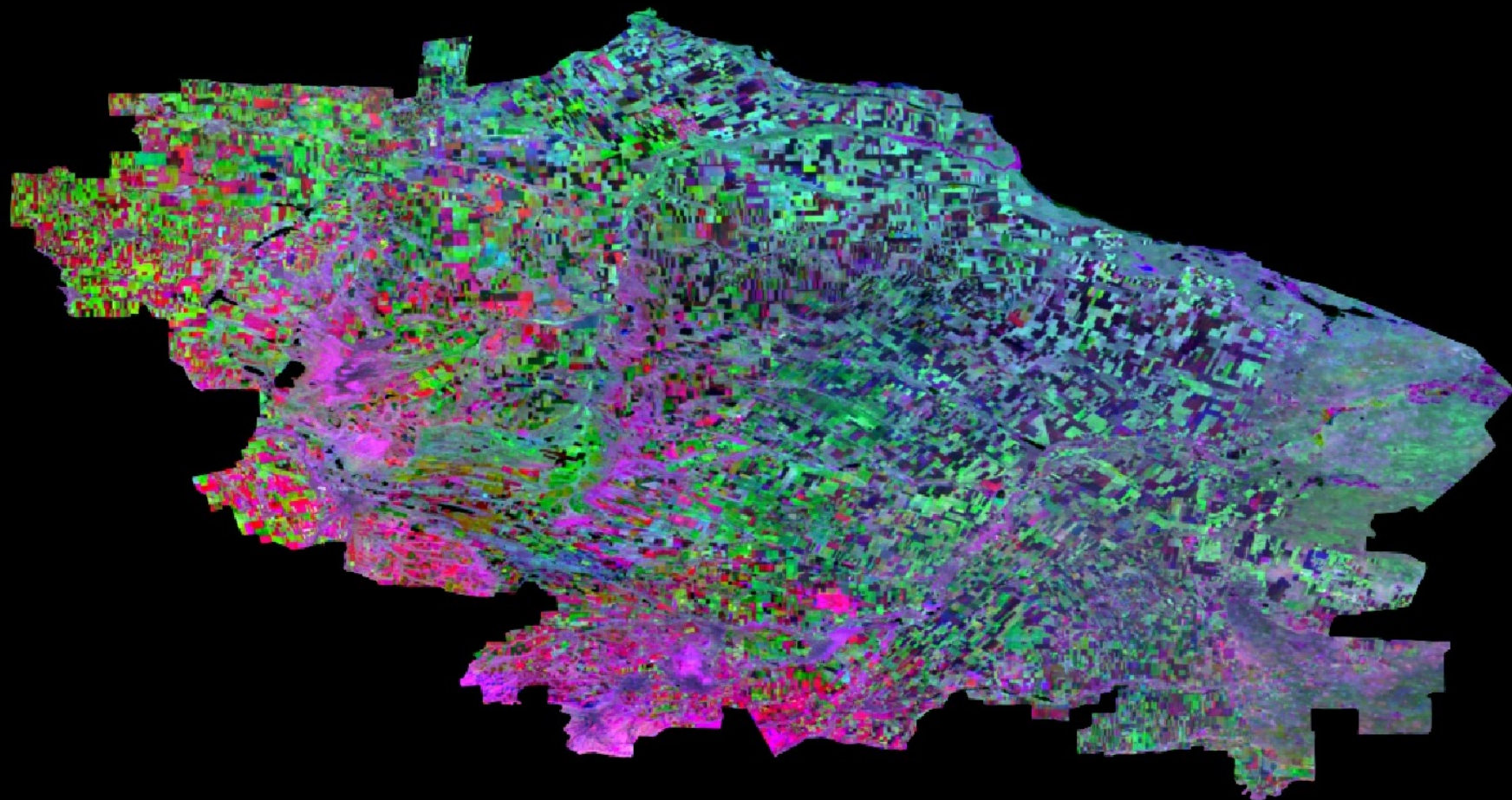
2 августа 2016 года. **R** – красный канал, **G** – БИК канал, **B** – красный канал

Ставропольский край



11 сентября 2016 года. **R** – красный канал, **G** – БИК канал, **B** – красный канал

Ставропольский край



БИК канал. **R** – 2 августа, **G** – 18 апреля, **B** – 11 сентября

Результаты и выводы

- Реализована новая структура организации данных (гранула, дата, продукт);**
- Разработан метод предварительной фильтрации облачности и теней от неё и восстановлена информация о геометрии освещения в момент съемки;**
- Разработан метод автоматической географической допривязки данных МСУ-100М, позволивший существенно улучшить точность совмещения разновременных наблюдений;**
- Разработан метод автоматической докалибровки и атмосферной коррекции измерений МСУ-100М;**
- Создана сезонная временная серия атмосферно скорректированных продуктов МСУ-100М за 2016 год на территорию Ставропольского края и соседние регионы;**
- Результаты сравнения с MODIS указывают на применимость атмосферно скорректированных измерений МСУ-100М для решения задач количественной оценки растительного покрова.**