

Технология построения временных рядов спутниковых данных

ЕГОРОВ В.А. (1), ВОРУШИЛОВ И.И. (1), МИКЛАШЕВИЧ Т.С. (1)

(1) ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН, МОСКВА, РОССИЯ

Продолжительные ряды спутниковых наблюдений видимого и ближнего ИК диапазонов спектра

- SPOT4/SPOT5 - VEGETATION (1км) 1998 - 2014
- Terra/Aqua - MODIS (230 - 1км) 2000 - 2022
- PROBA-V (100 - 300м) 2014 - 2021
- SNPP/VIIRS (375 - 1000м) 2013 - 2022

Основные преимущества:

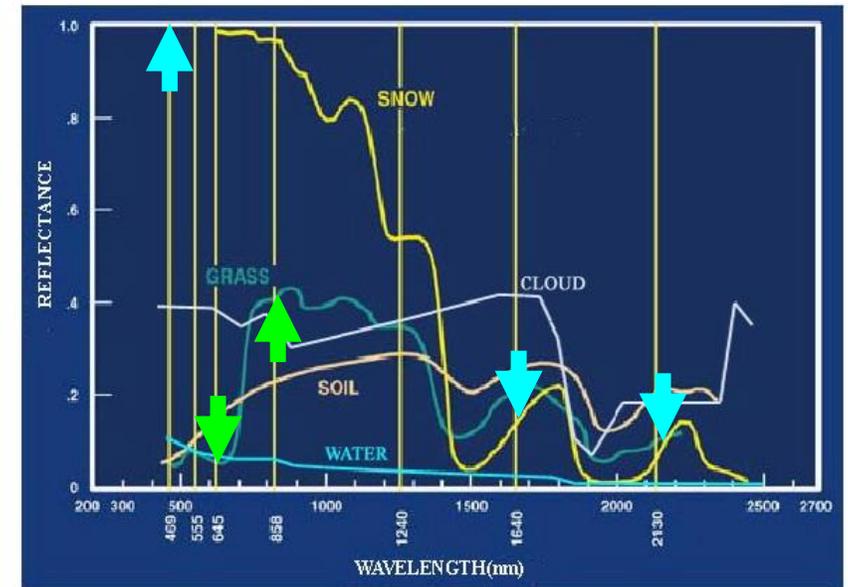
Бесплатное распространение

Регулярное глобальное покрытие

Наличие продуктов с коррекцией влияния атмосферы

Используемые спектральные каналы на примере данных MOD09 MODIS

Канал	Длина волны, мкм	Название
R01	0.620 – 0.670	RED
R02	0.841 – 0.876	NIR
R03	0.459 – 0.479	BLUE
R06	1.628 – 1.652	SWIR16
R07	2.105 – 2.155	SWIR22



Предварительная обработка данных бесснежного наземного покрова

- Формирование маскирующих изображений облачного и снежного покрова
- Построение теней от облаков
- Фильтрация наблюдений, полученных при некорректных углах съемки
- Создание композитных изображений
- Заполнение пропусков, полученных в результате фильтрации шумов и мешающих факторов
- Фильтрация остатков облачности, шумов, выбросных значений
- Сглаживание временных рядов



Создание масок облачного покрова

Этапы построения масок облачного покрова:



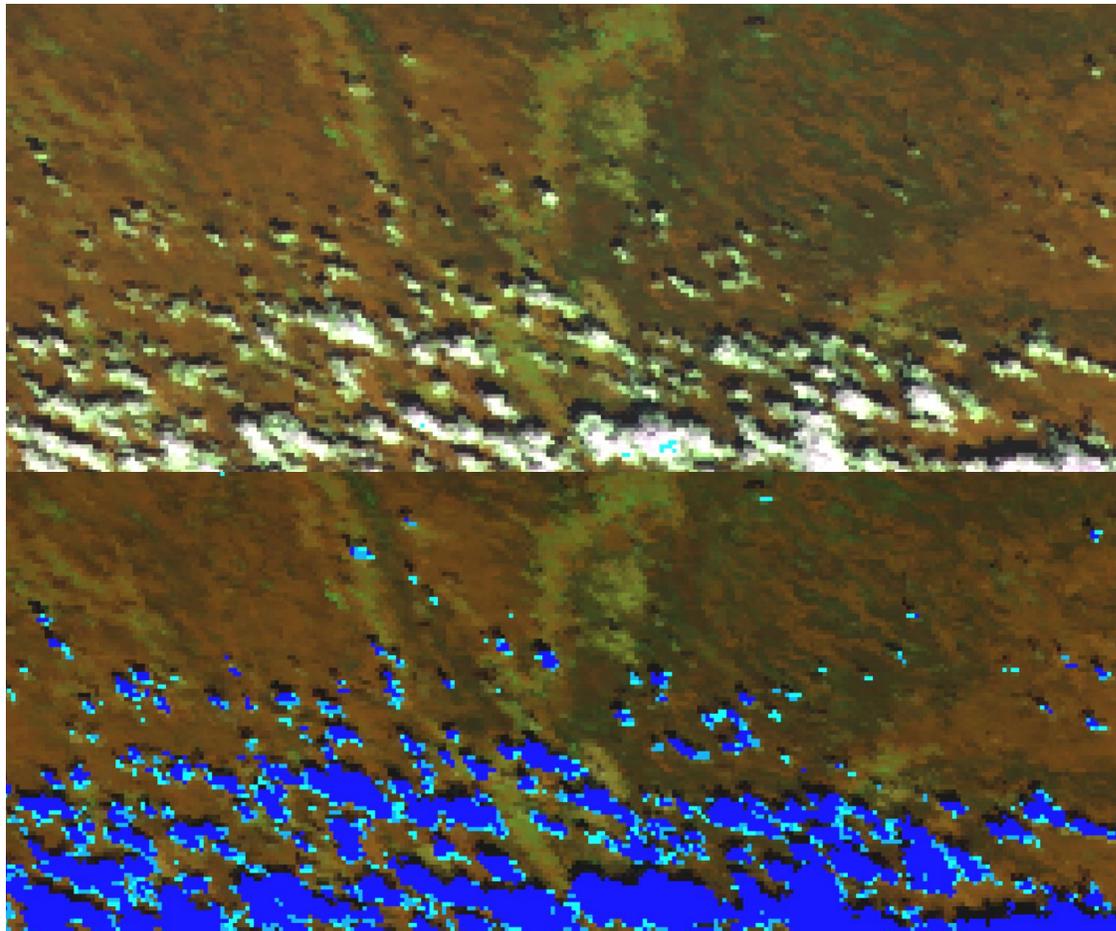
Предварительное маскирование облачности

Тип	Характеристика	Набор пороговых значений
BAD	Темные объекты: водная поверхность, тени, ошибки	$R01 < 0, R02 < 0$ $R03 < 0, R06 < 0$
SNOW	Снег, сильная облачность	$R01 > 0.07, NDSI(R) > 0,1$ $R03 > 0.07, NDSI(B) > 0,1$
CLD	Высокая облачность	$R01 > 0.07, NDSI(R) > -0,2$ $R03 > 0.07, NDSI(B) > -0,2$
SLD	Средняя облачность	$R01 > 0.07, NDSI(R) > -0,35$ $R03 > 0.07, NDSI(B) > -0,35$
MLD	Дымка	$R01 > 0.07, NDSI(R) > -0,45$ $R03 > 0.07, NDSI(B) > -0,45$

$$NDSI(B) = (R_{blue} - R_{swir16}) / (R_{blue} + R_{swir16})$$

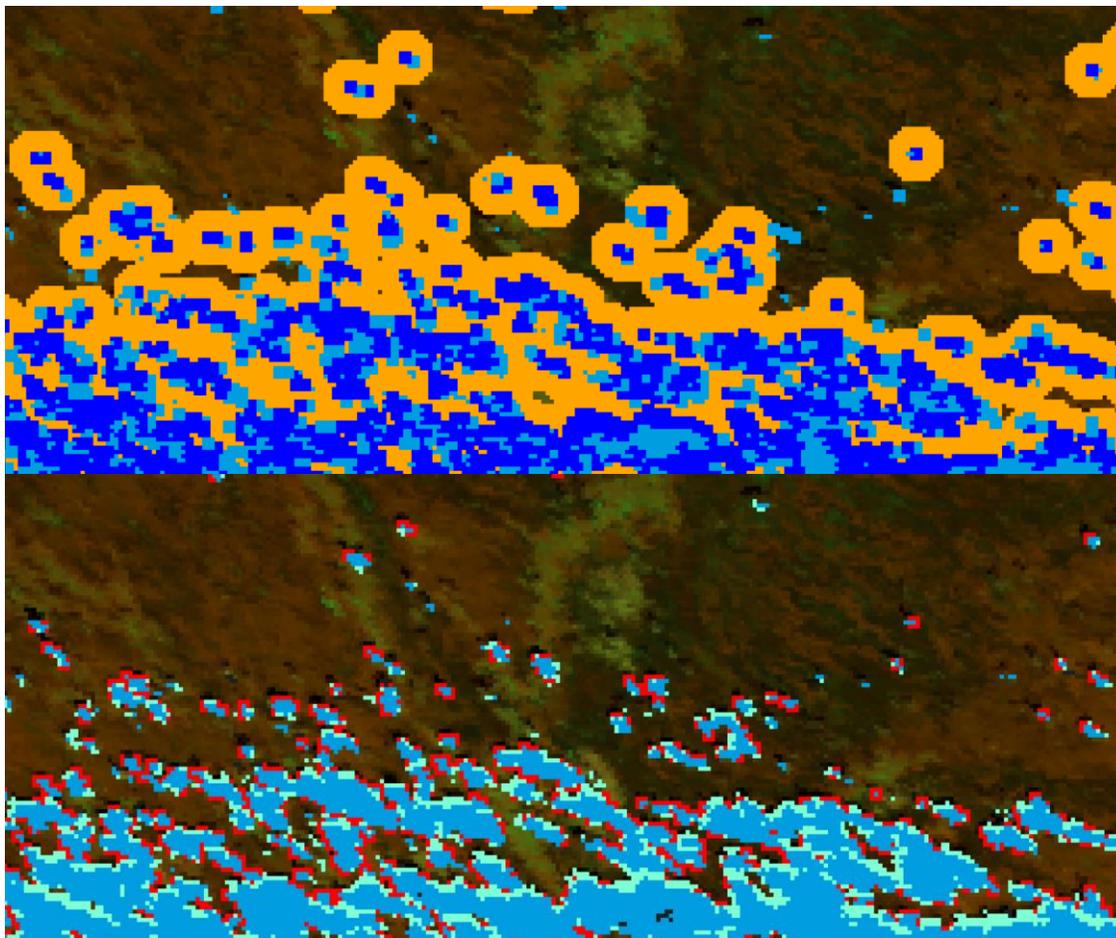
$$NDSI(R) = (R_{red} - R_{swir16}) / (R_{red} + R_{swir16})$$

Предварительное маскирование облачности



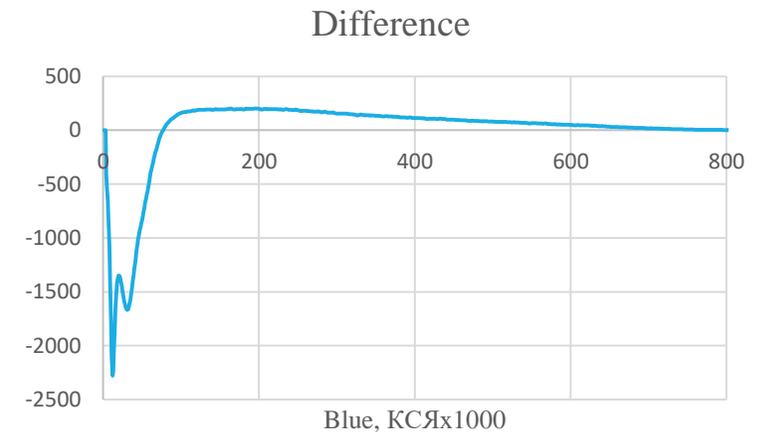
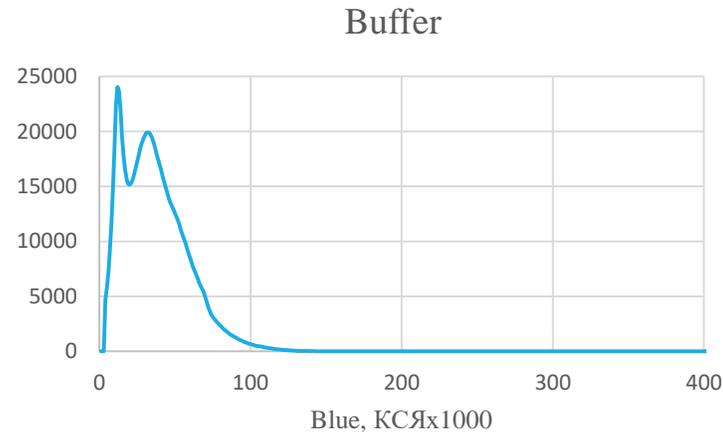
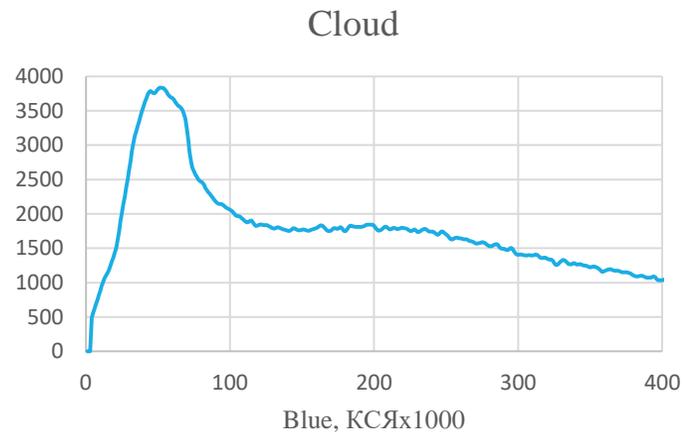
-  – плотный облачный покров
-  – средний облачный покров
-  – дымка, края облаков

Гистограммная фильтрация



-  – плотный облачный покров
-  – средний облачный покров
-  – дымка, края облаков
-  – буферная зона
-  – гистограммная коррекция

Пространственная гистограммная коррекция



Построение теней от облаков

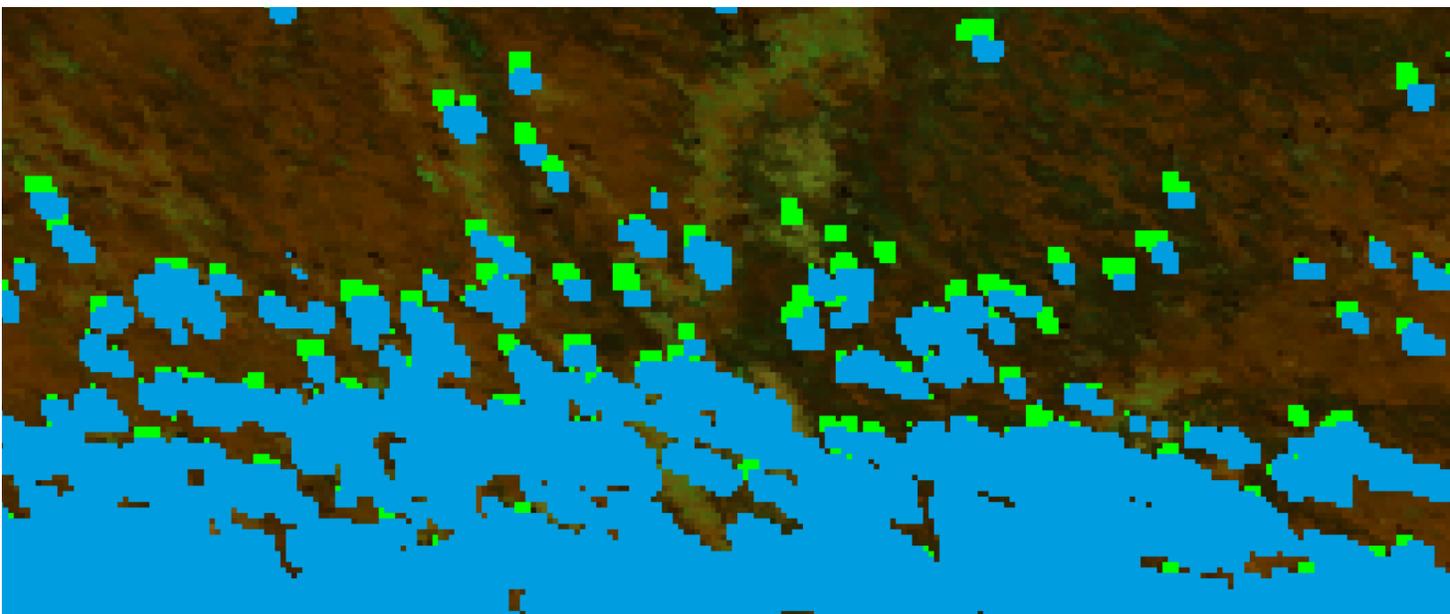
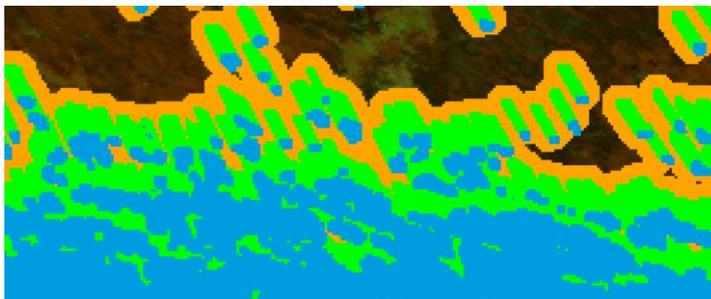
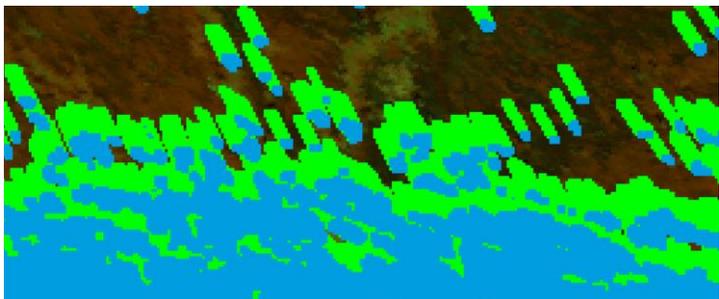
Используемые данные:

- Маска облачного покрова
- Коэффициент спектральной яркости (КСЯ) в NIR и SWIR каналах
- Геометрия наблюдения: азимутальные и зенитные углы Солнца и прибора

Этапы построения теней:

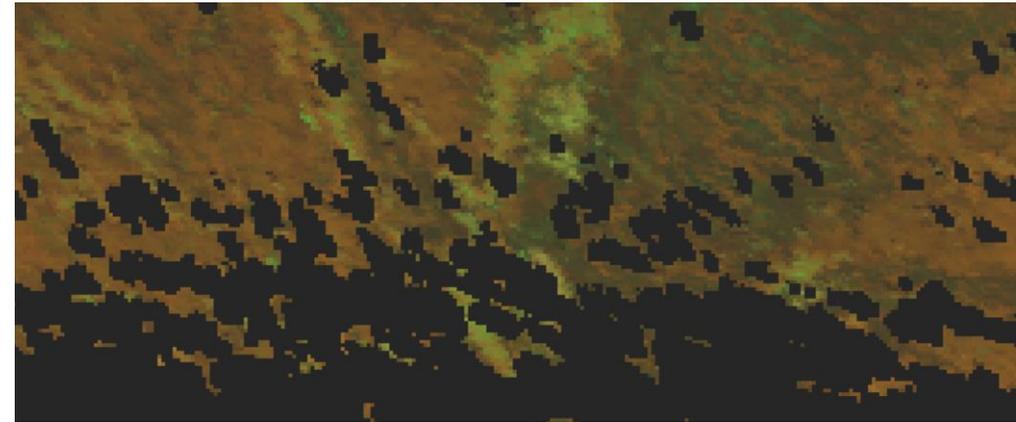
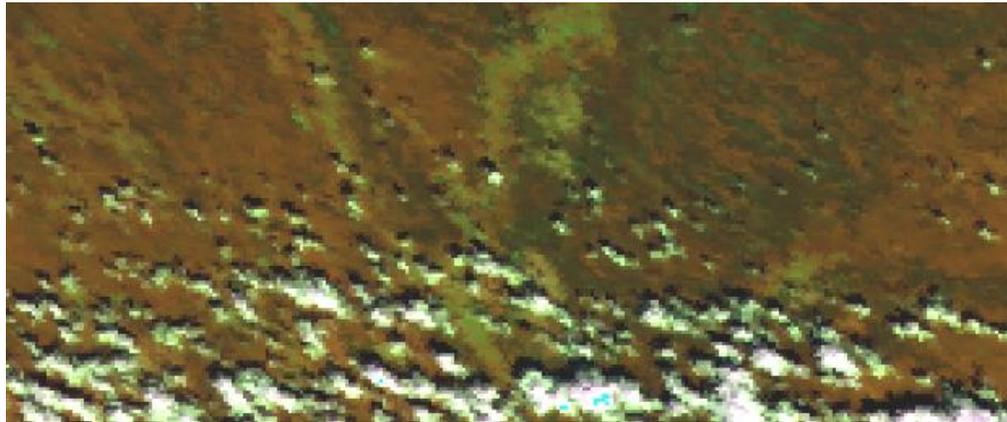


Построение теней от облаков



-  – облачный покров
-  – тени от облаков
-  – буферная зона

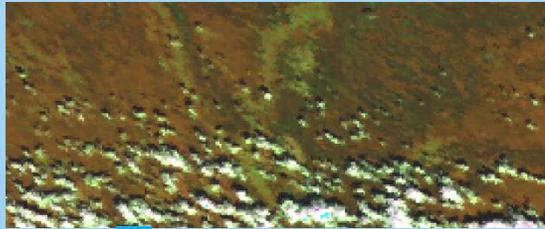
Построение композитных изображений



RGB синтез: R_{NIR} (R), R_{SWIR} (G), R_{red} (B)

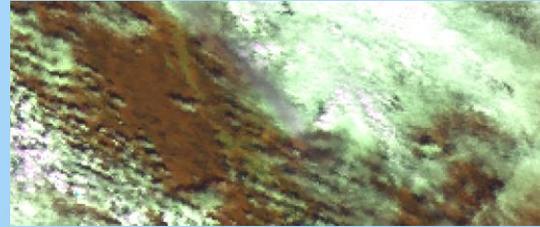
IN

Day 200

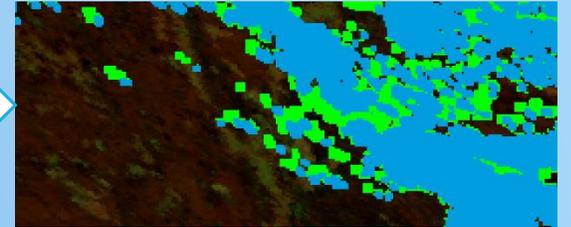
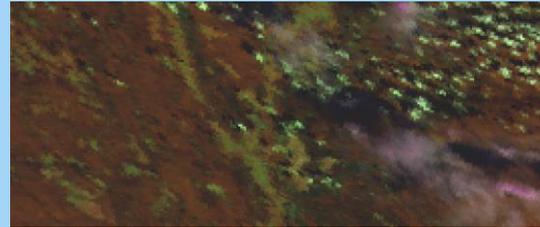


OUT

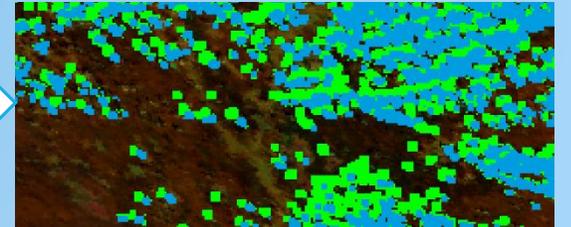
Day 194



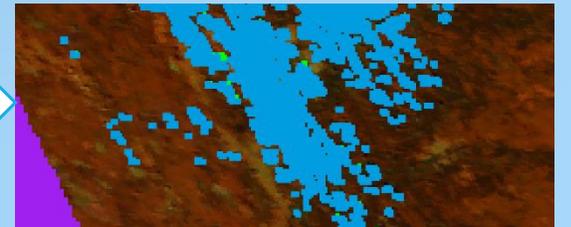
Day 195



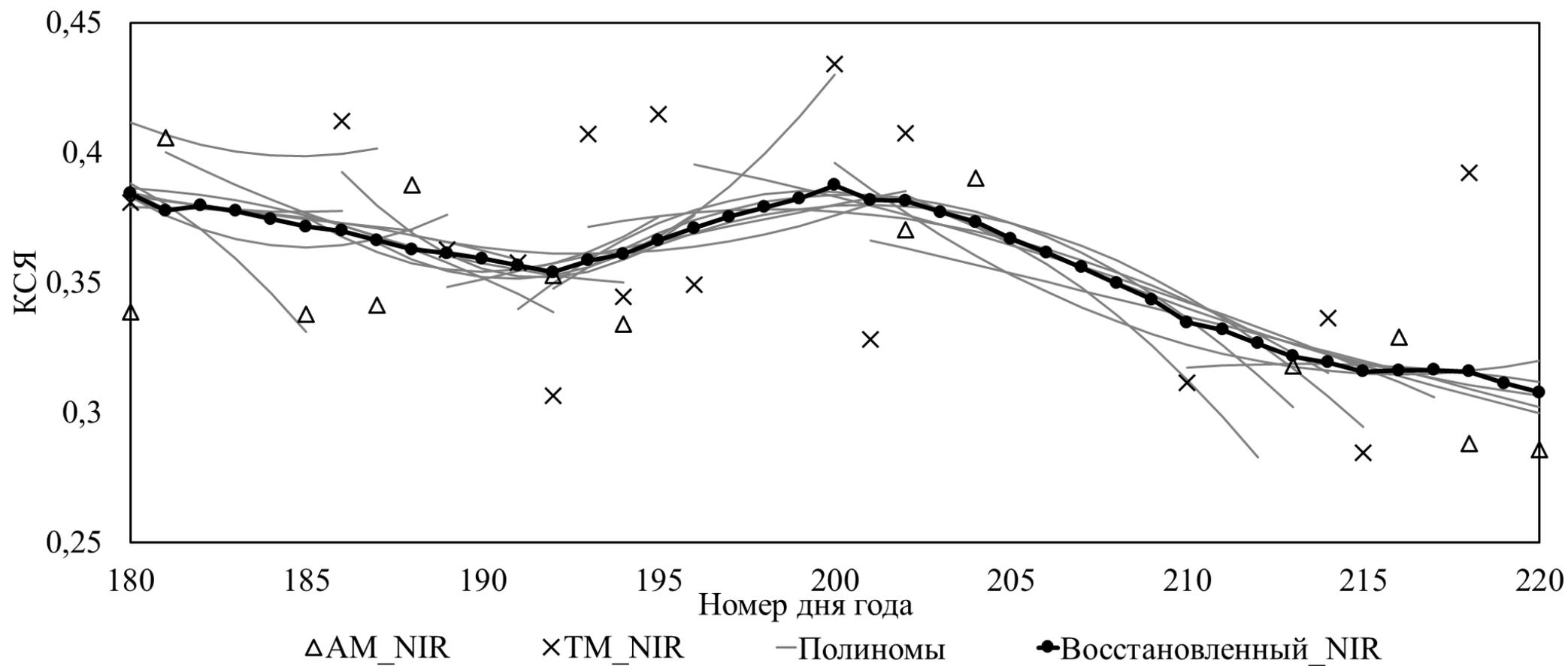
Day 205

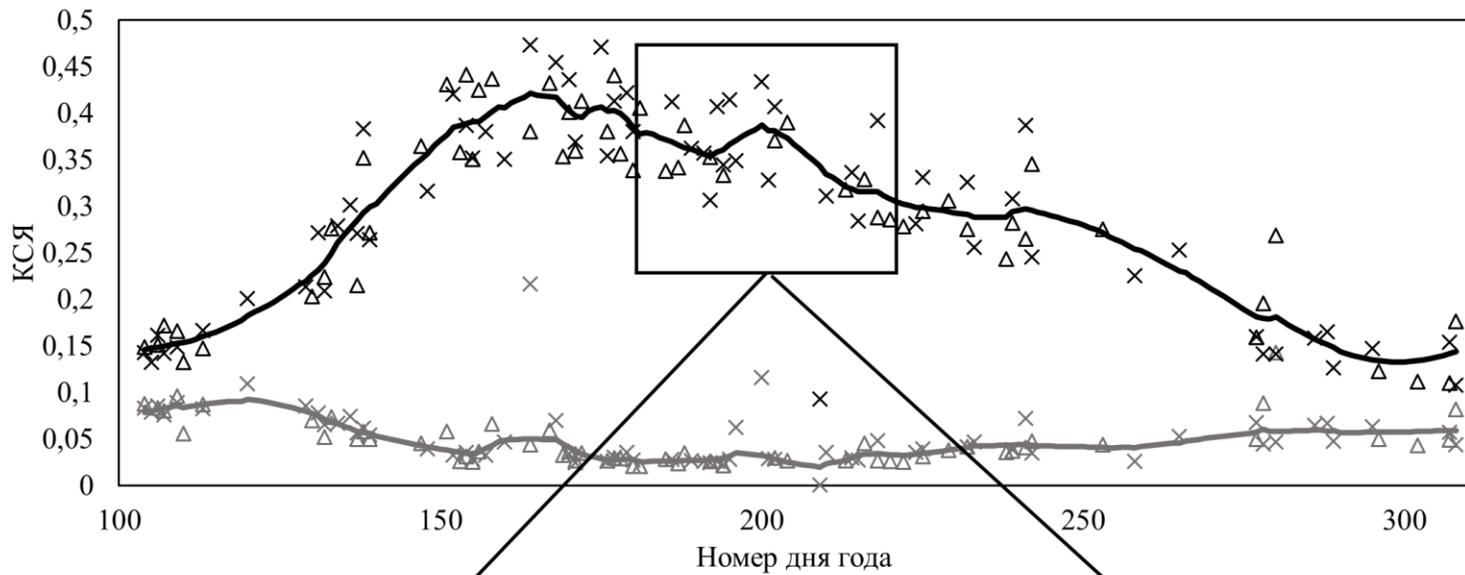


Day 207

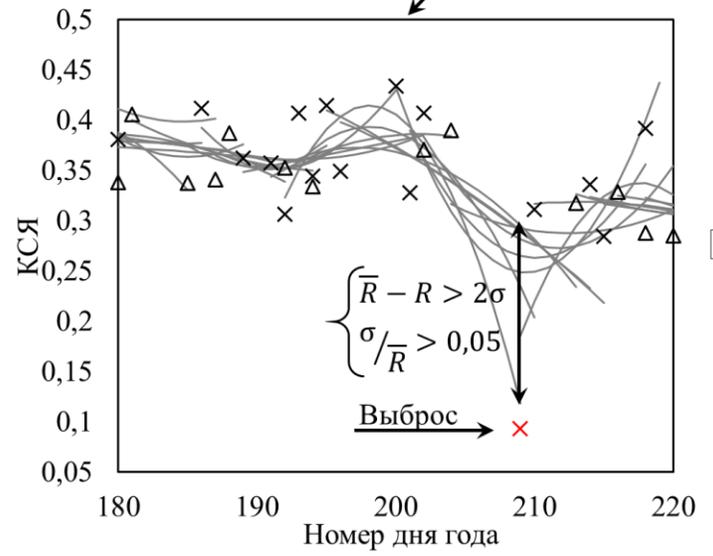


Восстановление пропущенных значений





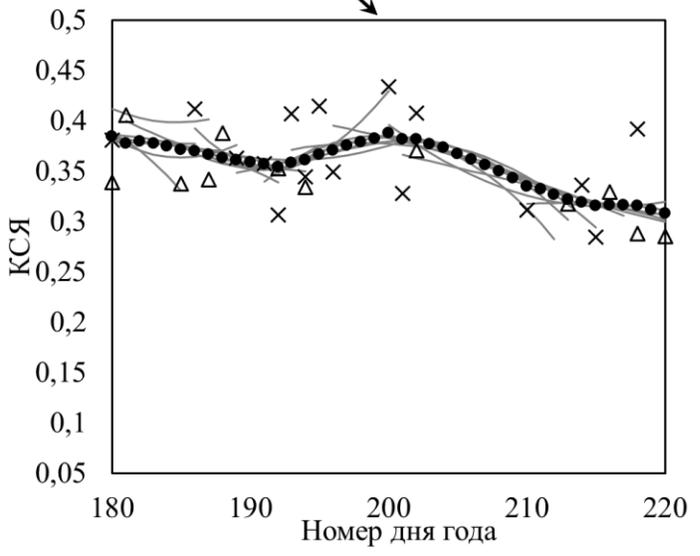
— Восстановленный_RED — Восстановленный NIR Δ AM_RED Δ AM_NIR \times TM_RED \times TM_NIR



$$\begin{cases} \bar{R} - R > 2\sigma \\ \sigma / \bar{R} > 0,05 \end{cases}$$

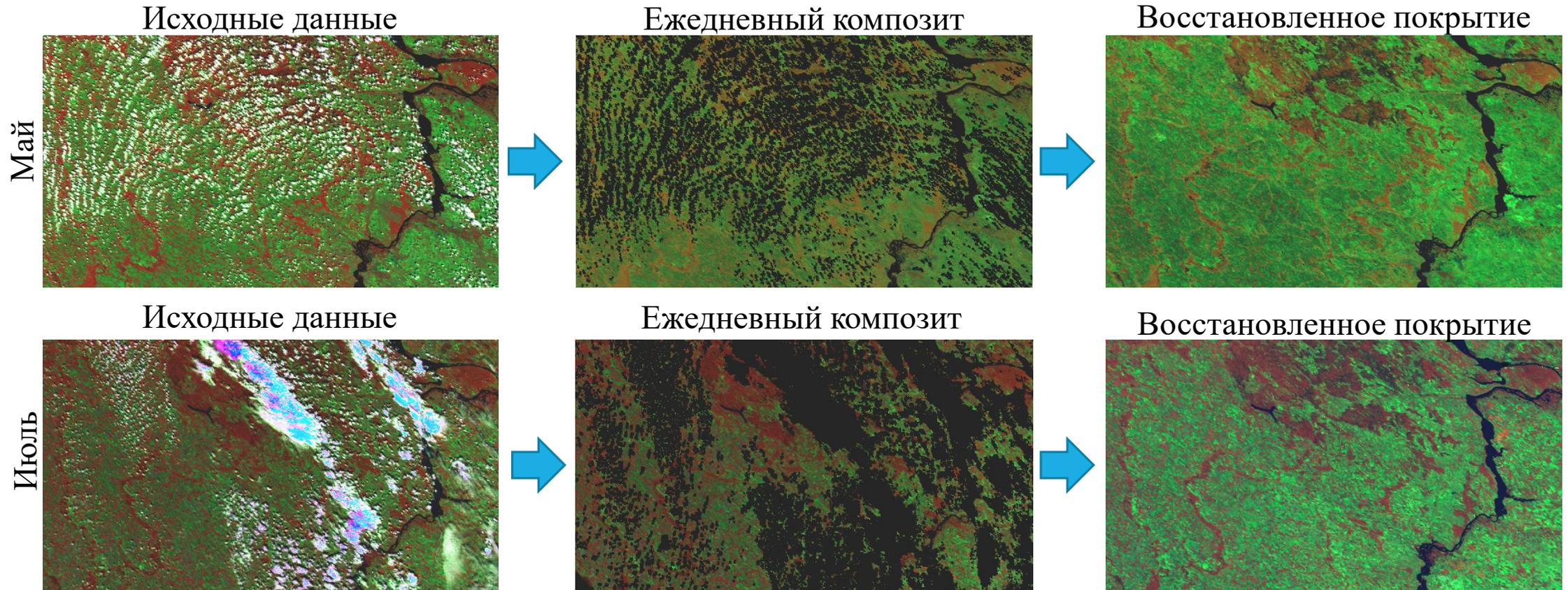
Выброс \rightarrow \times

Δ AM_NIR \times TM_NIR — Полиномы. I этап.

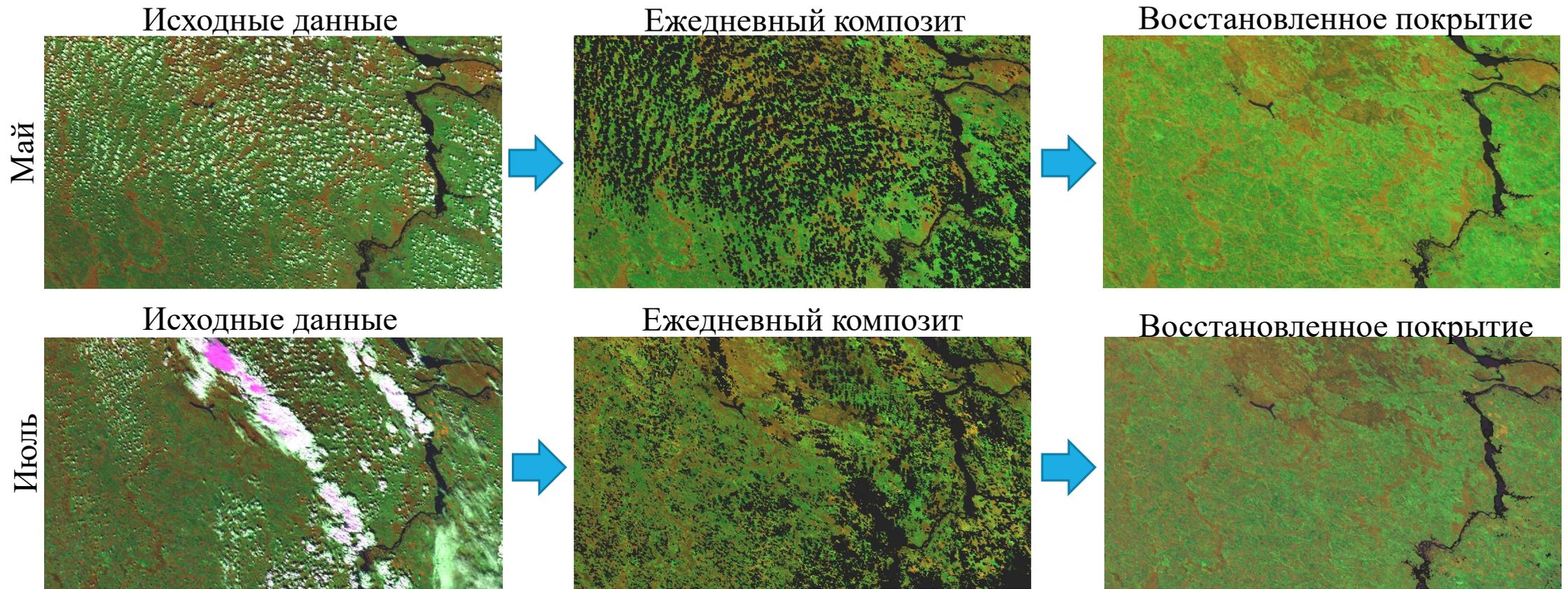


Δ AM_NIR \times TM_NIR
— Полиномы. II этап. \bullet Восстановленный NIR

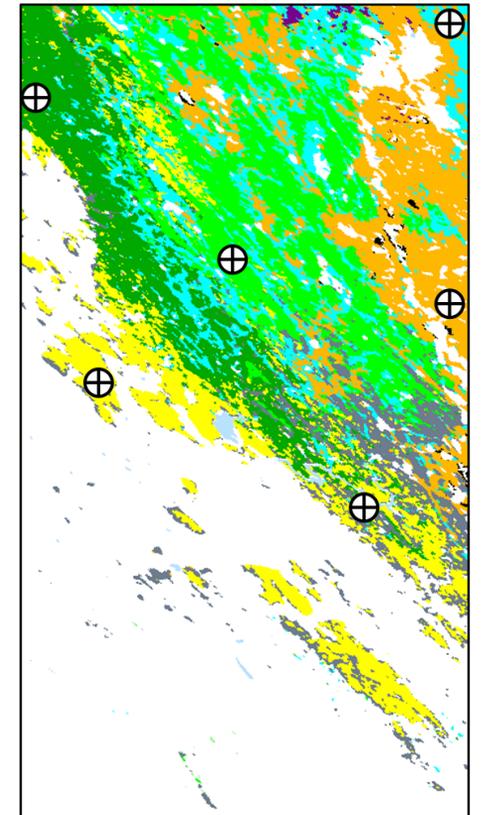
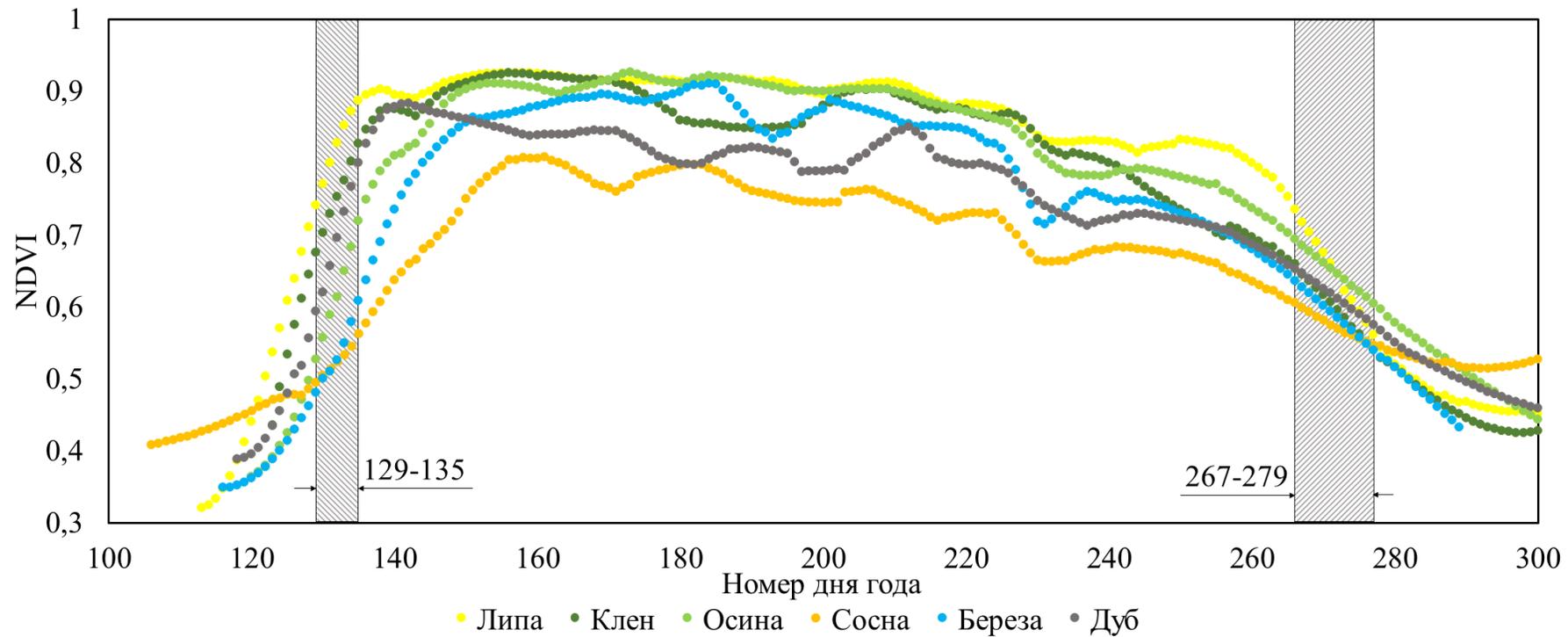
Примеры обработки для MODIS

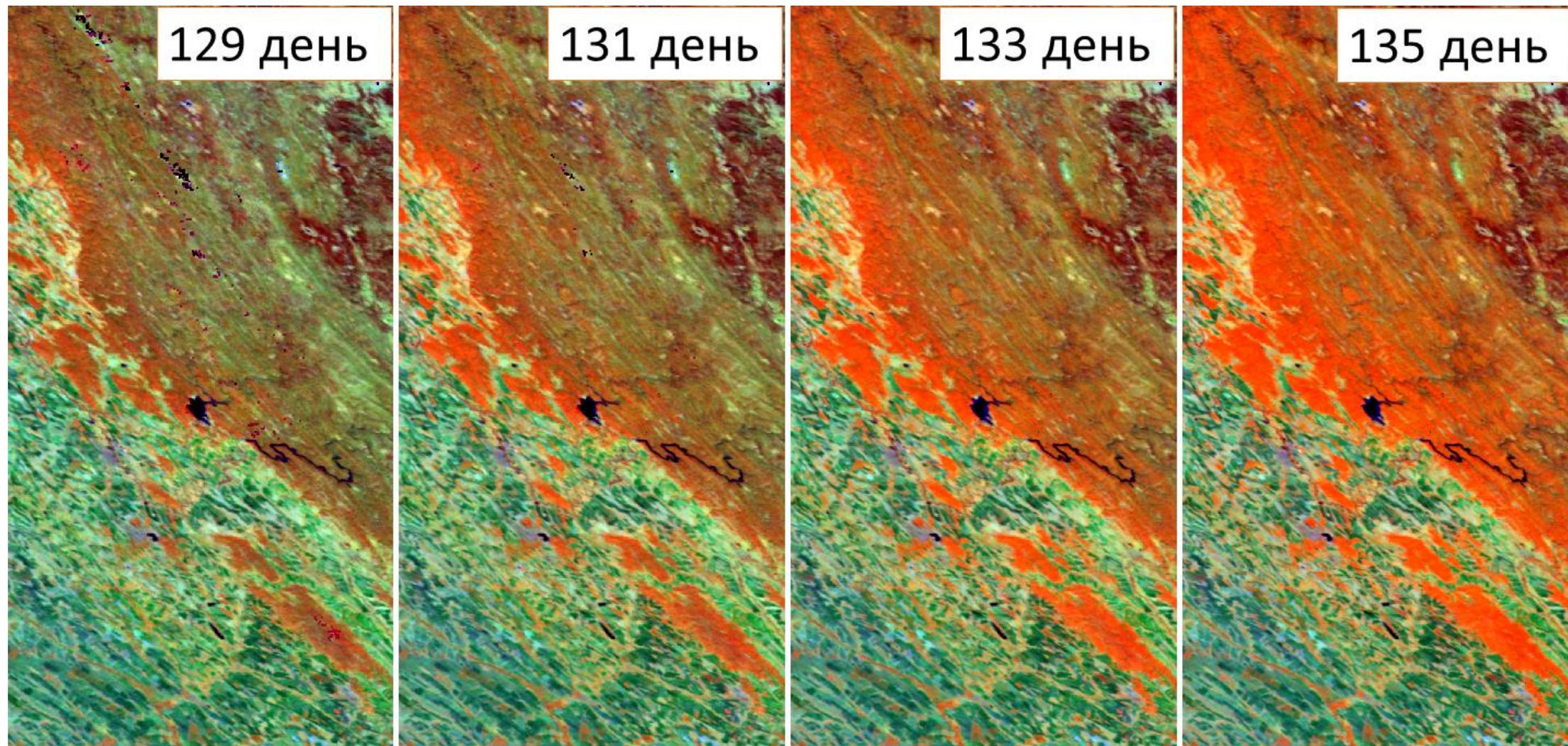


Примеры обработки для VIIRS

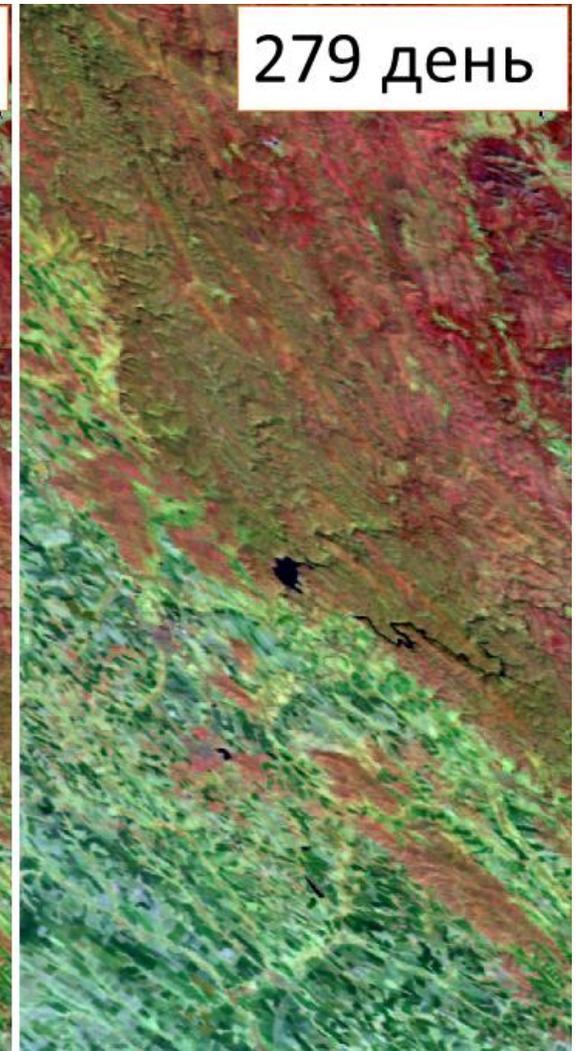
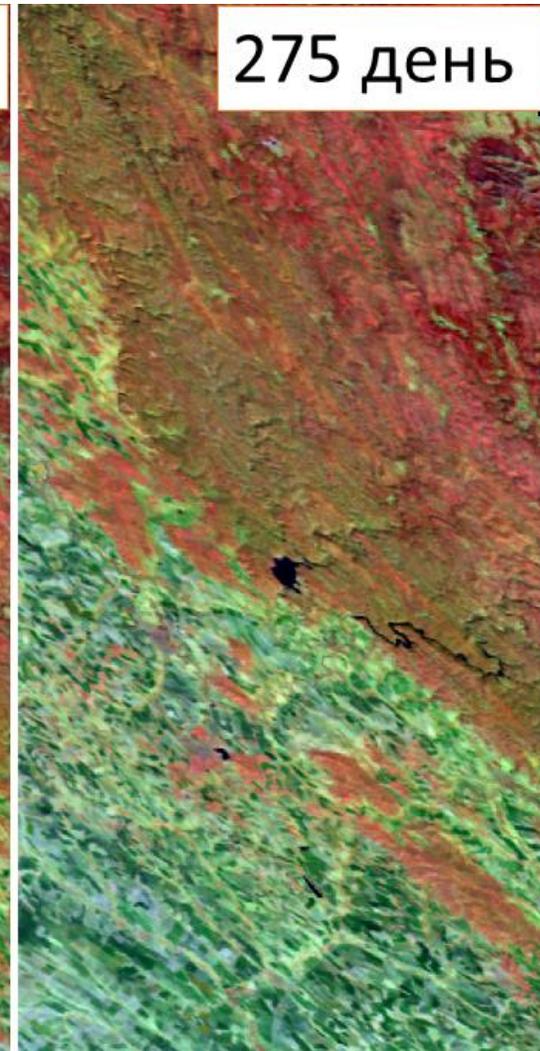
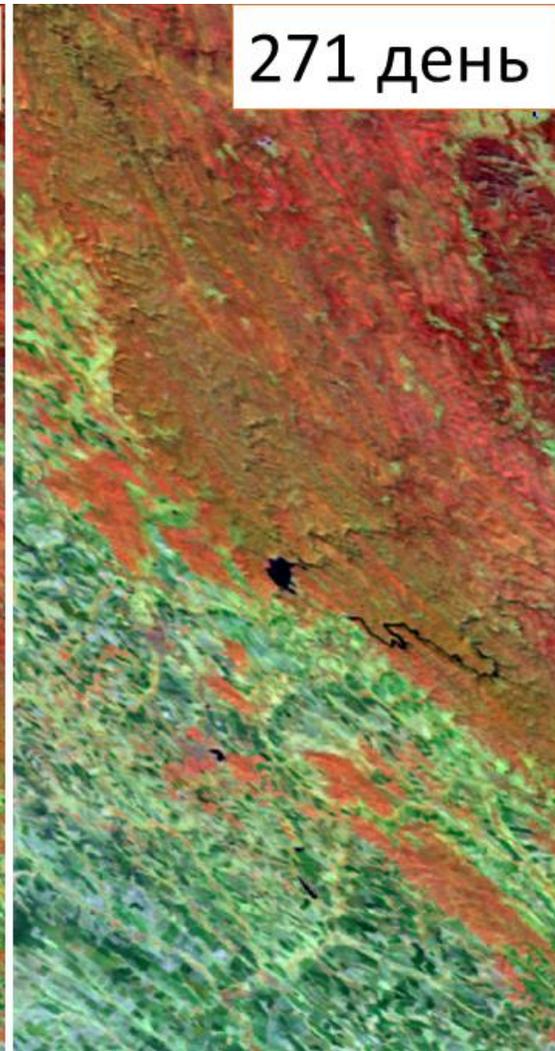
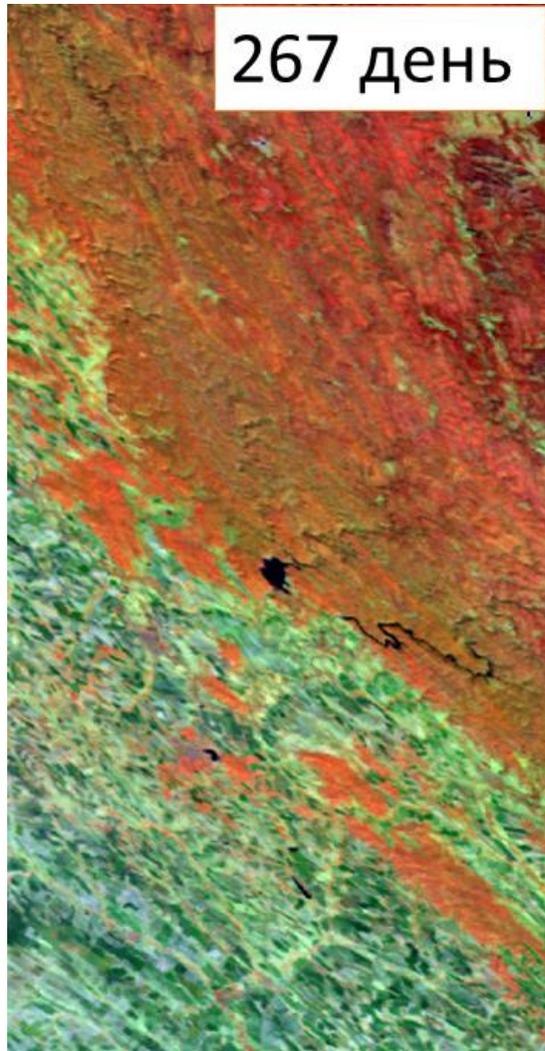


Ежедневный ряд наблюдений MODIS



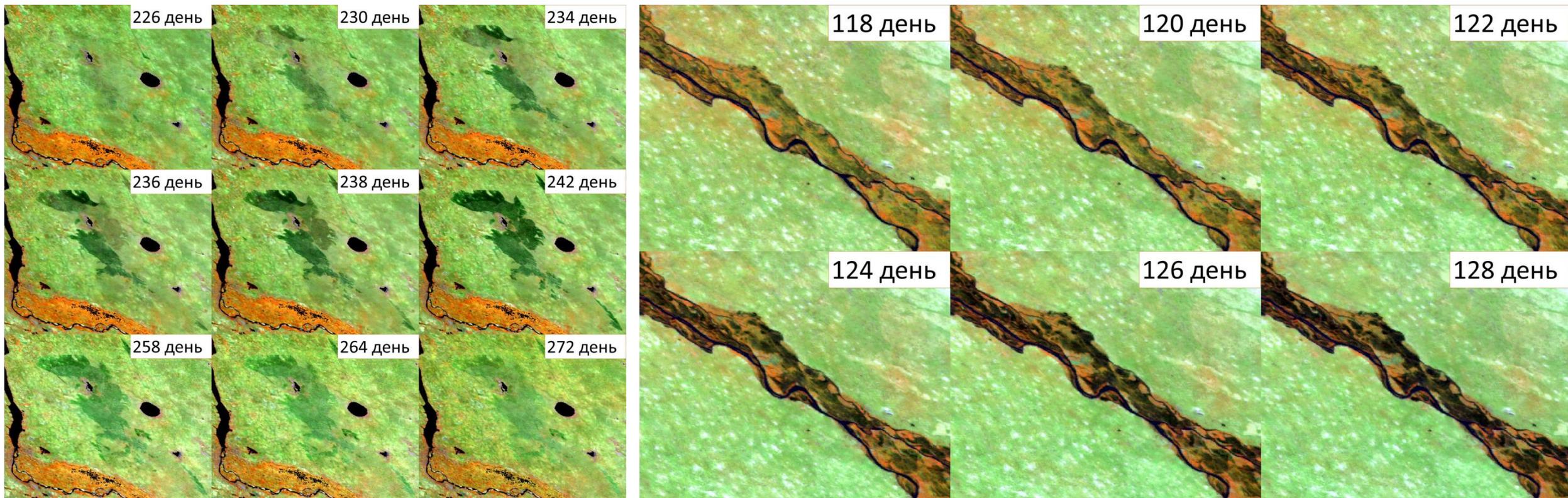


RGB синтез: R_{NIR} (R), R_{SWIR} (G), R_{red} (B)

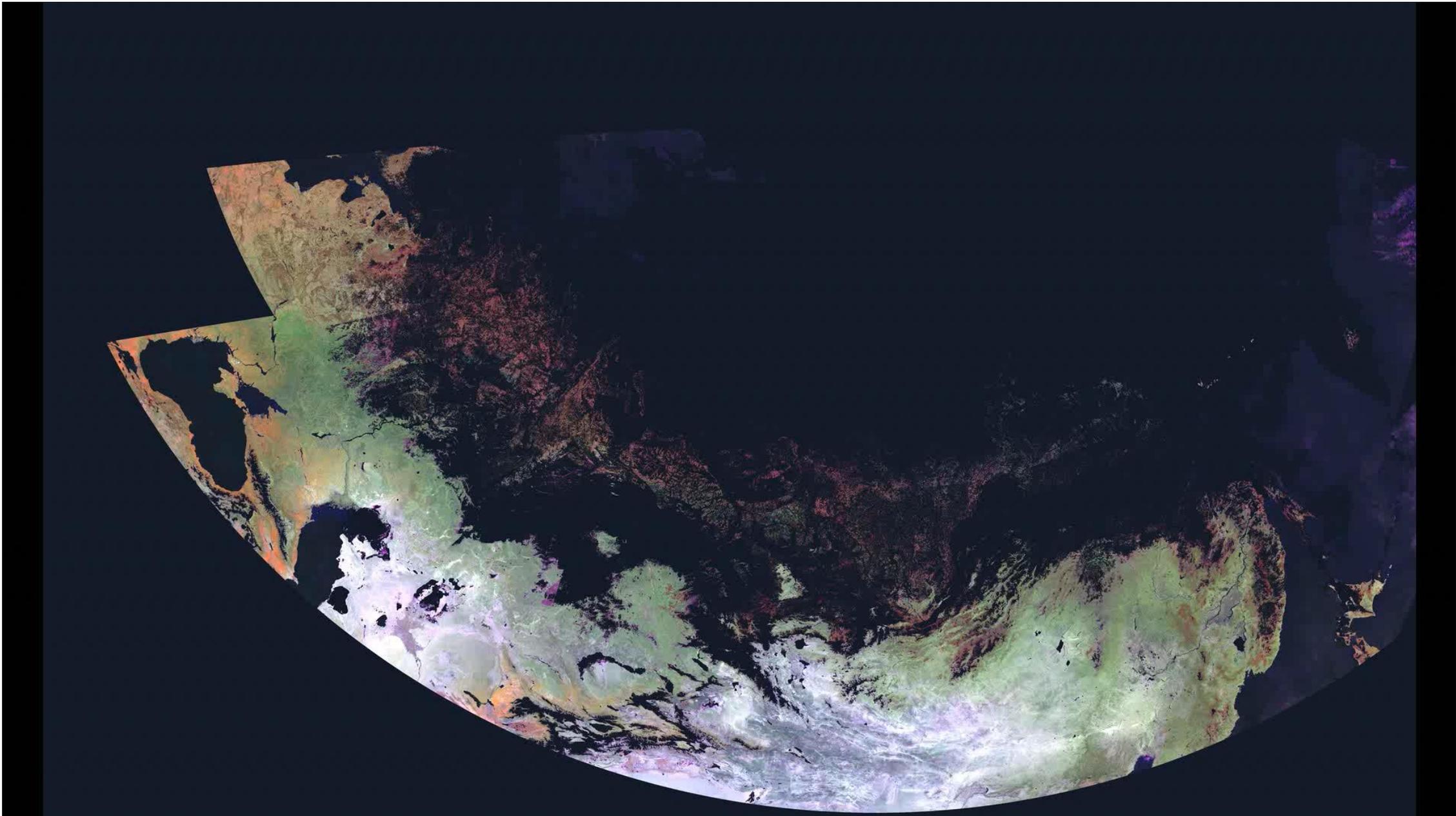


RGB синтез: R_{NIR} (R), R_{SWIR} (G), R_{red} (B)

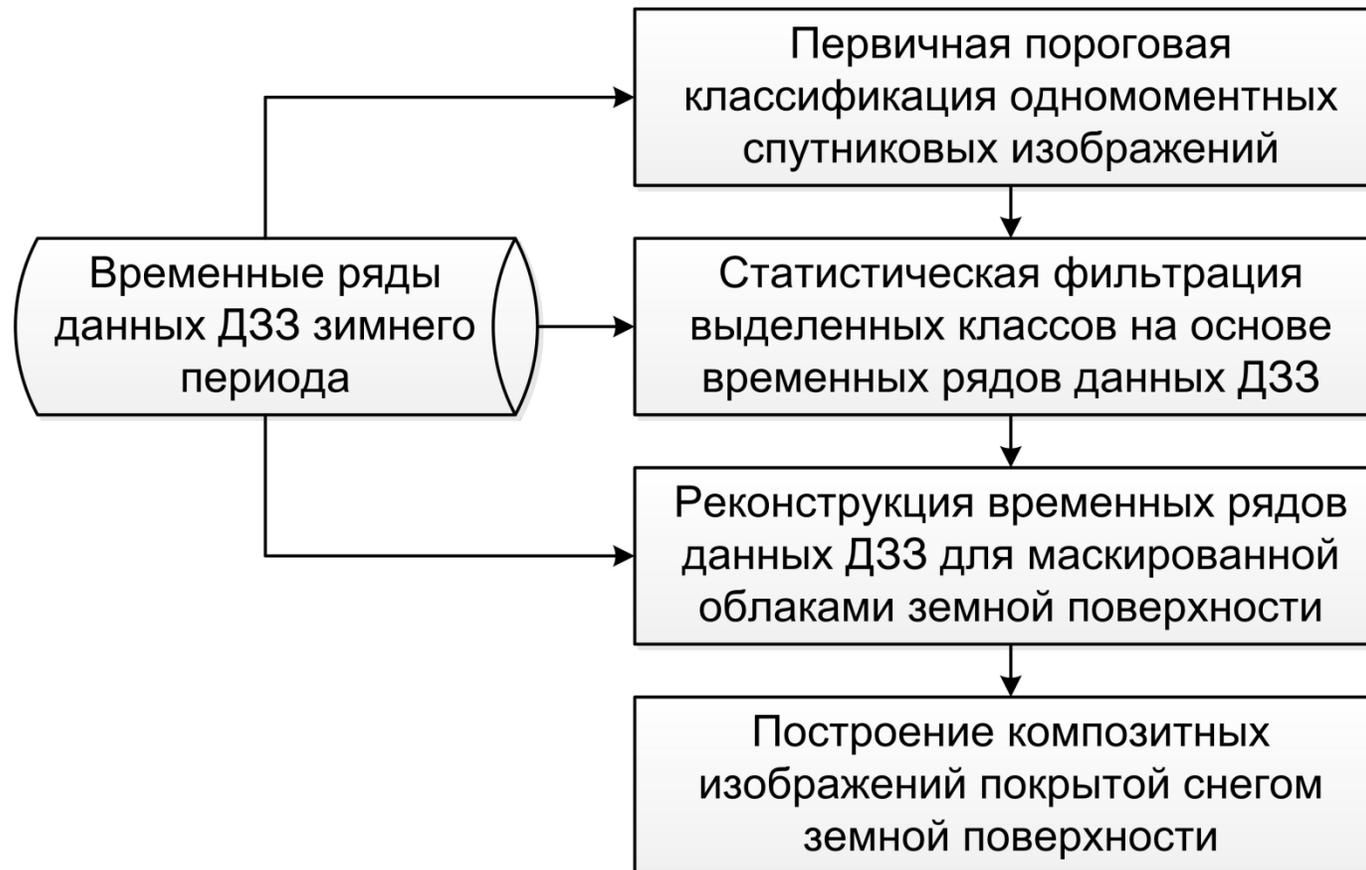
Мониторинг динамики наземного покрова



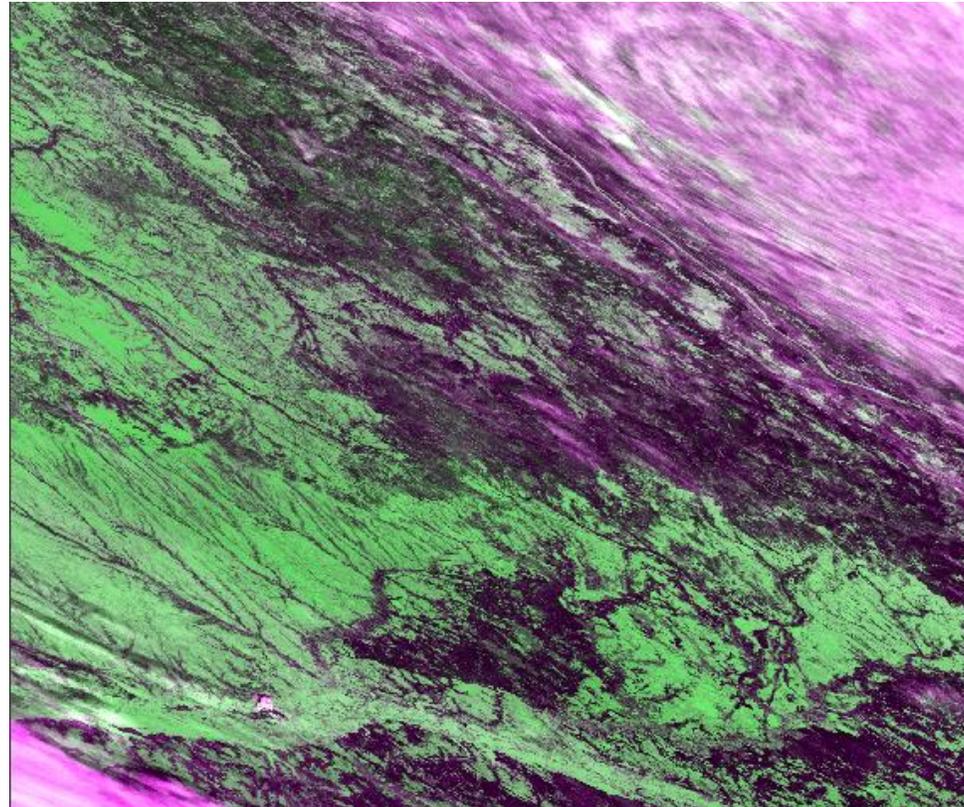
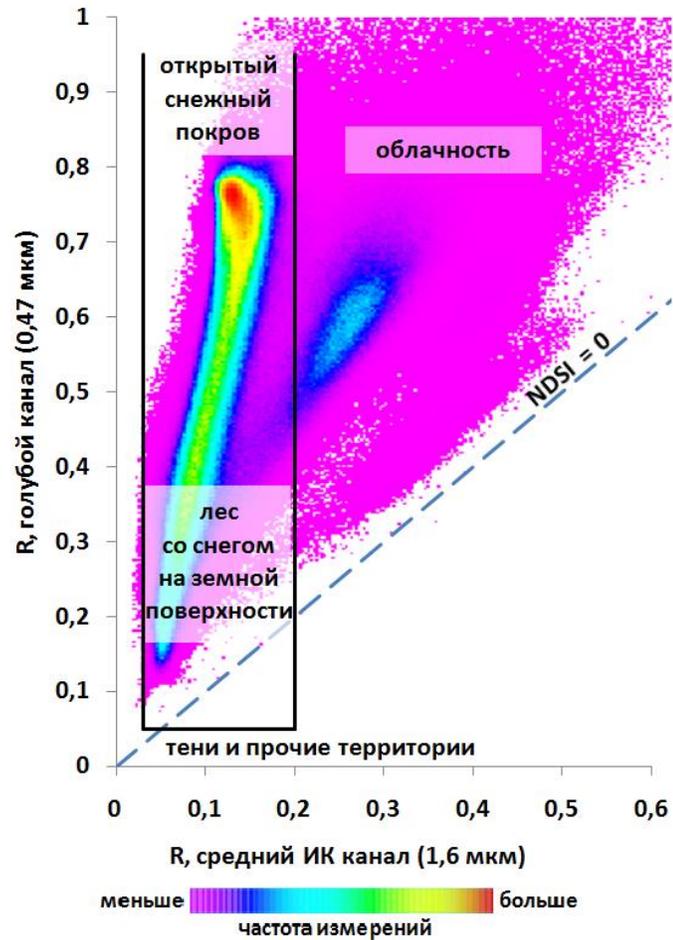
RGB синтез: R_{NIR} (R), R_{SWIR} (G), R_{red} (B)



Предварительная обработка данных снежного покрова зимнего периода наблюдений

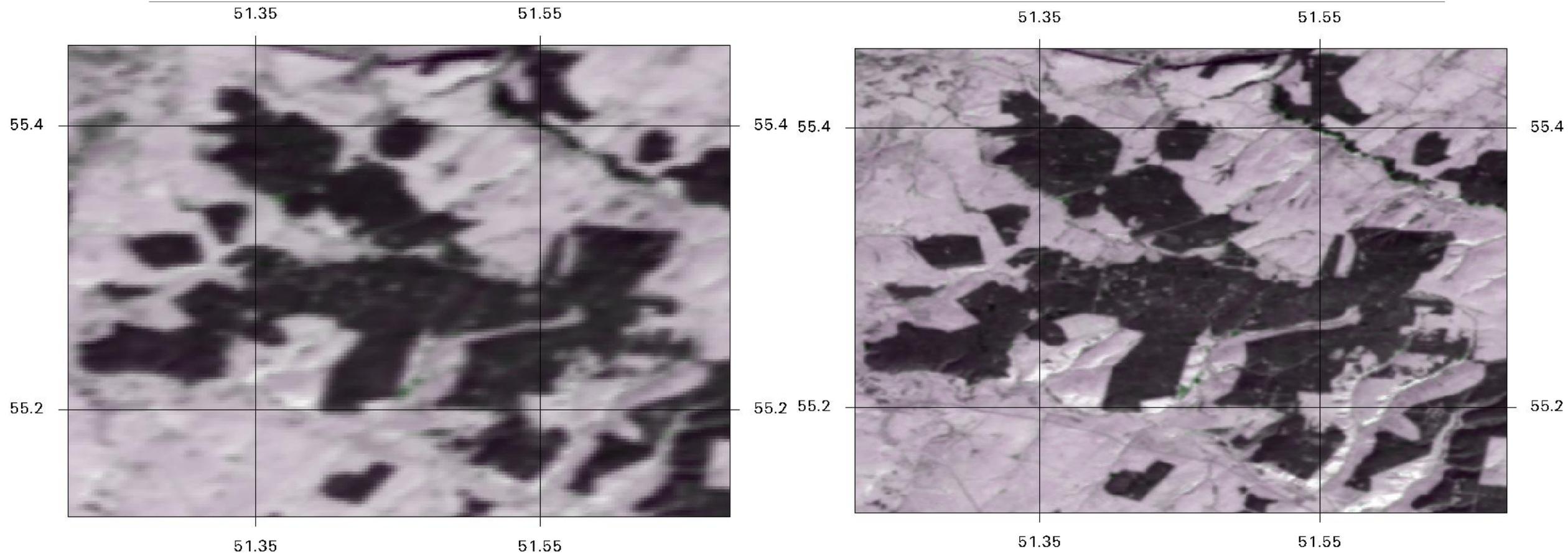


Пороговая классификация



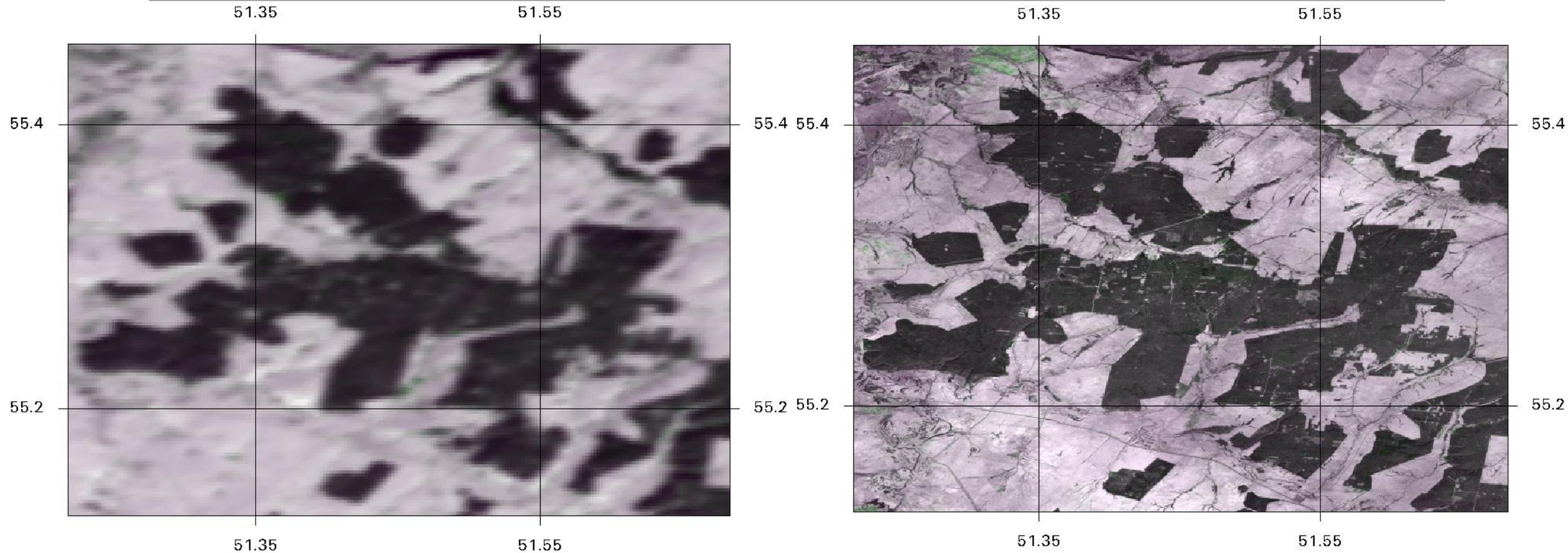
$$NDSI(B) = (R_{\text{blue}} - R_{\text{swir16}}) / (R_{\text{blue}} + R_{\text{swir16}})$$

Примеры композитных изображений покрытой снегом земной поверхности по данным съемки MODIS (230м) и Proba-V (100м)

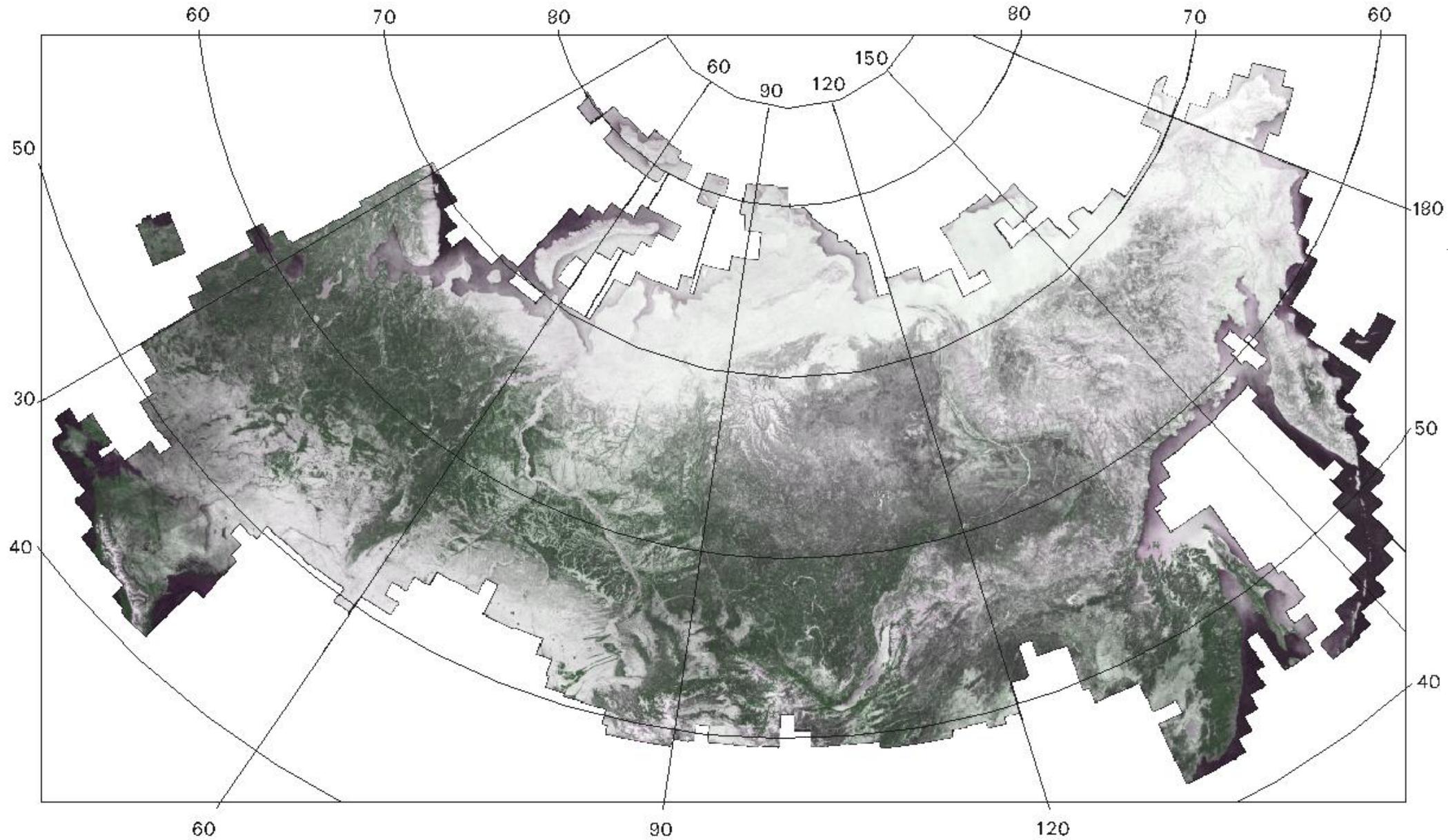


RGB синтез: R_{red} (R), R_{NIR} (G), R_{red} (B)

Пример композитного изображения покрытой снегом земной поверхности по данным съемки MODIS (230м) и Sentinel-2 (10м)



RGB синтез: R_{red} (R), R_{NIR} (G), R_{red} (B)

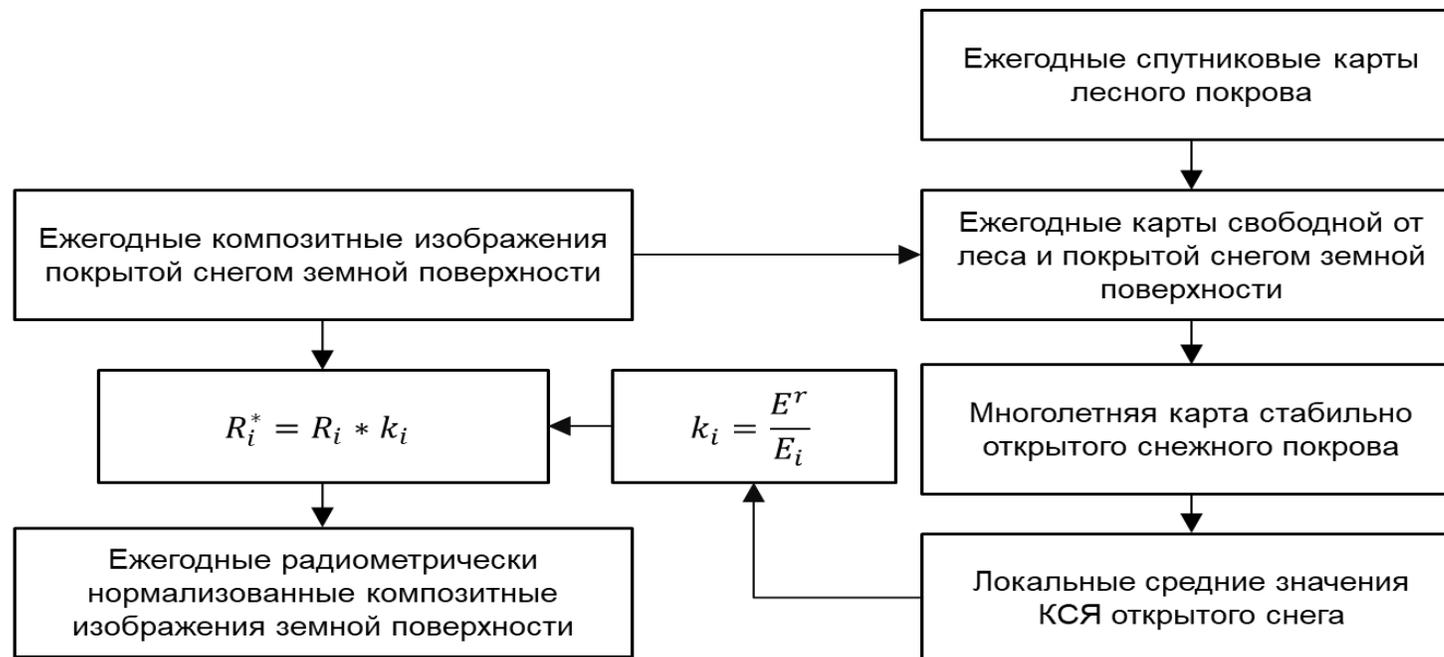


Композитное изображение покрытой снегом земной поверхности на территорию России по данным съемки Sentinel-2



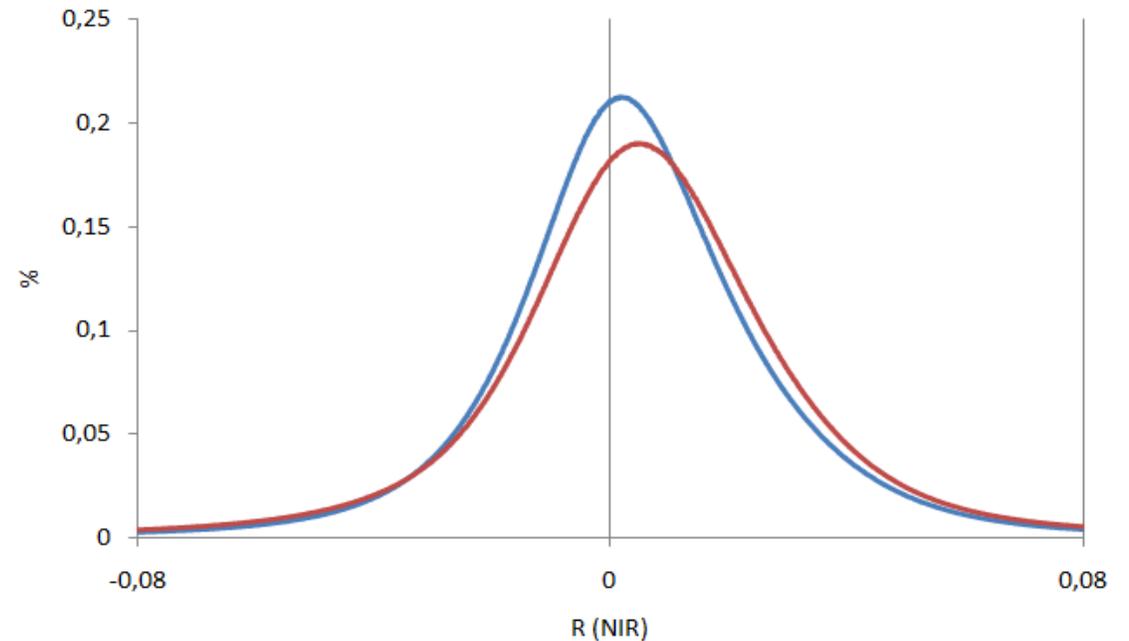
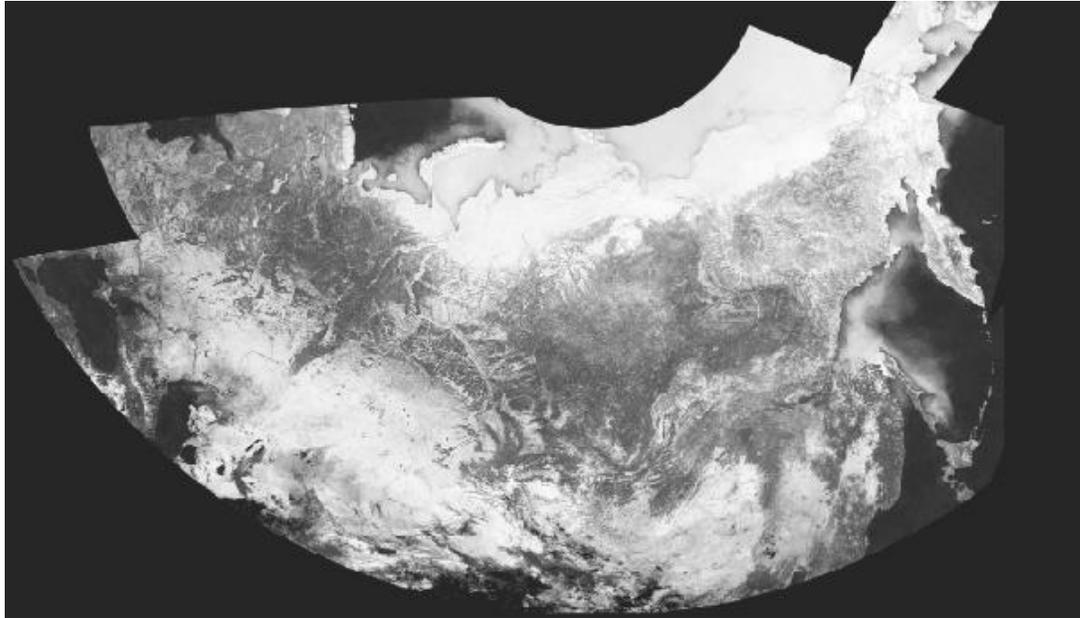


Радиометрическая нормализация композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности



E_i и E^r - локальные средние значения КСЯ открытого снежного покрова, полученные на регулярной сети с использованием композитных изображений произвольного i - го и опорного годов; R_i и R_i^* - значения КСЯ в пикселах исходного и радиометрически нормализованного композитных изображений; k_i - заданные на регулярной сети значения коэффициентов радиометрической нормализации композитного изображения.

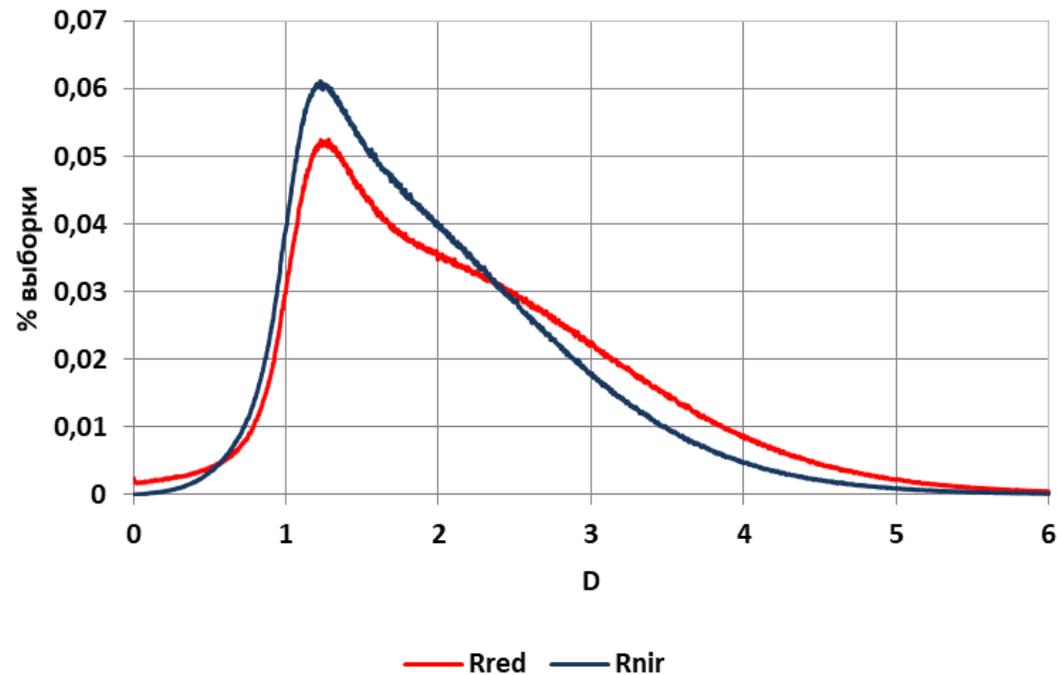
Сравнение гистограмм распределения разностей КСЯ до и после нормализации



— разность R NIR 2010 - 2012 после нормализации
— разность R NIR 2010 - 2012 до нормализации

Гистограммы распределения разностей КСЯ в ближнем ИК диапазоне по данным MODIS 2010 и 2012 годов с использованием исходных и радиометрически нормализованных композитных изображений территории России с наличием снежного покрова на земной поверхности

Сравнение гистограмм распределения разностей КСЯ до и после нормализации



$$D = \sigma_R(x, y, 2001: 2019) / \sigma_R^*(x, y, 2001: 2019)$$

Гистограммы распределений величины коэффициента снижения межгодовой вариабельности D композитных изображений по данным измерений КСЯ системой Terra-MODIS в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах

Спасибо за внимание!
