

**Предварительная обработка спутниковых данных
высокого пространственного разрешения Sentinel-2 для
задач мониторинга растительного покрова**

Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Егоров В.А.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

В ИКИ РАН разработан алгоритм предварительной обработки данных ДЗЗ, реализованный для изображений, полученных приборами Terra/Aqua-MODIS и апробированный для данных NPP-VIIRS. В работе приведено развитие предварительной обработки для данных высокого пространственного разрешения Sentinel-2A и Sentinel-2B.

➤ Временное разрешение 2–3 дня в средних широтах

➤ Пространственное разрешение 10-20м

Формирование маскирующих изображений облачного и снежного покрова:

➤ Определение облачного и снежного покрова

➤ Построение теней от облаков

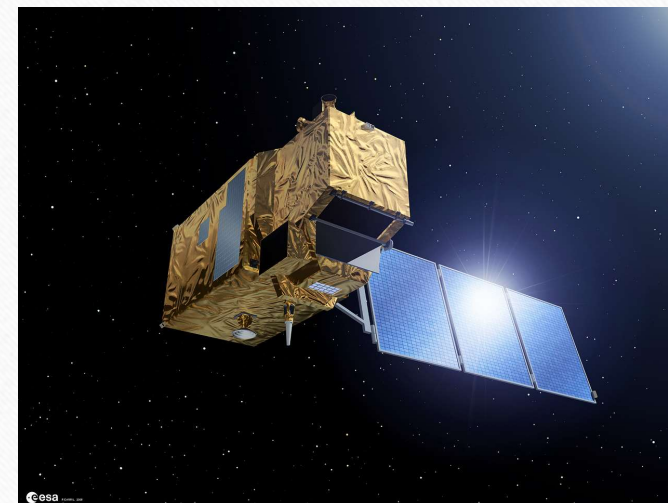
Предварительная обработка данных:

➤ Заполнение пропусков, полученных в результате фильтрации шумов и мешающих факторов

➤ Фильтрация остатков облачности, шумов, выбросных значений

➤ Сглаживание временных рядов

Алгоритм позволяет получать данные на определенные даты, обеспечивая непрерывное покрытие с регулярным временным шагом несмотря на аperiodичность исходного набора изображений.



Данные высокого разрешения Sentinel-2A и Sentinel-2B

Спутники Sentinel-2 оснащены мультиспектральным прибором MSI с рядом спектральных каналов в видимом/ближнем инфракрасном диапазоне и коротковолновом инфракрасном спектральном диапазоне. Архив данных пополняется с 2019 года продуктами уровня Level-2A с учтенным влиянием атмосферы, характеризующими отражательную способность поверхности.

Канал	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
Band 2 – Blue	492.4	10
Band 3 – Green	559.8	10
Band 4 – Red	664.6	10
Band 8 – NIR	832.8	10
Band 11 – SWIR	1613.7	20
Band 12 – SWIR	2202.4	20

Специфика данных высокого разрешения:

- Пространственное разрешение позволяет фильтровать объекты, которые при худшем разрешении не видны
- Повышается вероятность ошибок ложного детектирования для смешанных и граничных пикселей, антропогенных объектов, элементов рельефа и т.д.

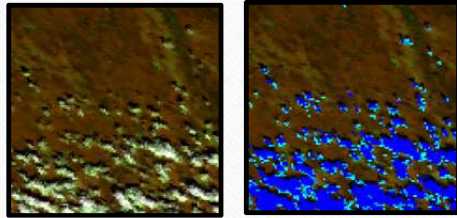
Данные:

Геометрия наблюдения

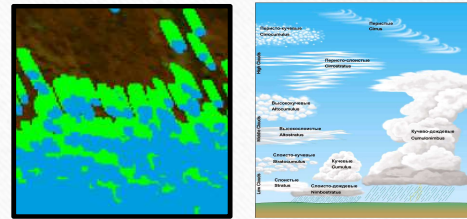
КСЯ: RED, NIR, BLUE, SWIR

Создание масок облачного покрова:

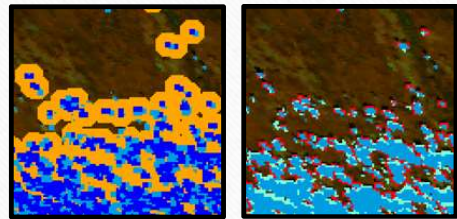
Предварительное маскирование облаков и снега



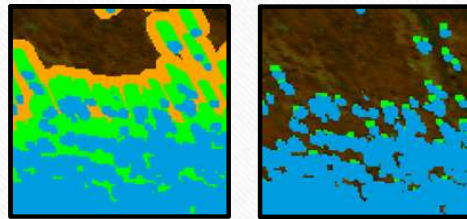
Построение области расположения теней



Гистограммный анализ облаков в BLUE и NDSI



Гистограммный анализ теней в NIR и SWIR:

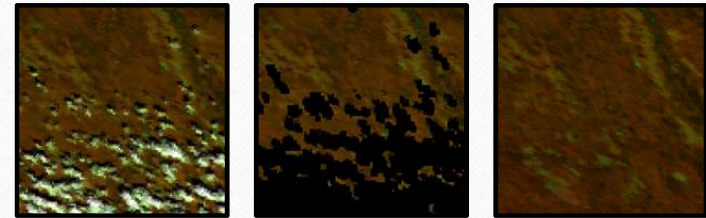


Анализ временных рядов:

Коррекция масок облачного покрова: статистическая проверка класса теней в скользящем пространственно-временном окне

Коррекция масок облачного покрова: Выявление объектов, частотность фильтрации которых в течении года значительно выше нормы

Фильтрация выбросов, заполнение пропусков и коррекция искажений на основе анализа и восстановления временных рядов



Результат:

Маскированные изображение облачного и снежного покрова

Набор восстановленных изображений

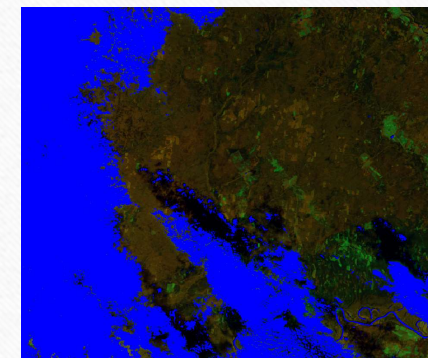
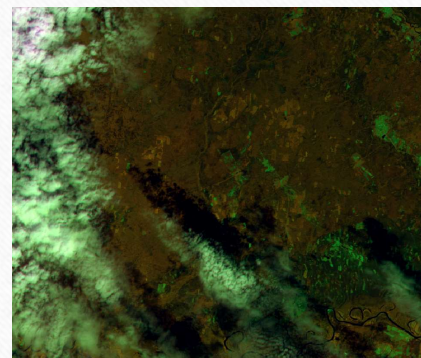
Создание масок облачного покрова: предварительное маскирование облаков и снега

Маркер	Характеристика	Условия маркирования
BAD	Темные объекты: водная поверхность, тени, ошибки	RED <0; NIR<0 BLUE<0; SWIR<0
ICE	Темные объекты: лед	RED + NIR + BLUE + SWIR <0.1
SNOW	Снег, сильная облачность	BLUE >0.07; NDSI(R)>0.1 BLUE >0.07; NDSI(B)>0.2
CLD	Высокая облачность	BLUE >0.07; NDSI(R)>-0.2 BLUE >0.07; NDSI(B)>-0.1 Оконтуривание: 3x3 пиксела
SLD	Средняя облачность	BLUE >0.07; NDSI(R)>-0.3 BLUE >0.07; NDSI(B)>-0.15 Оконтуривание: 3x3 пиксела
MLD	Дымка, смешанные пиксели	BLUE >0.07; NDSI(B)>-0.4 BLUE >0.07; NDSI(B)>-0.2

Разностный нормализованный индекс снега NDSI:

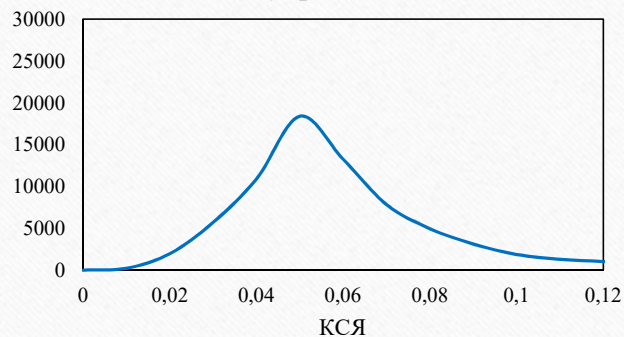
$$NDSI = \frac{R_V - R_{SWIR}}{R_V + R_{SWIR}}$$

где R – значение коэффициента спектральной яркости в соответствующем канале

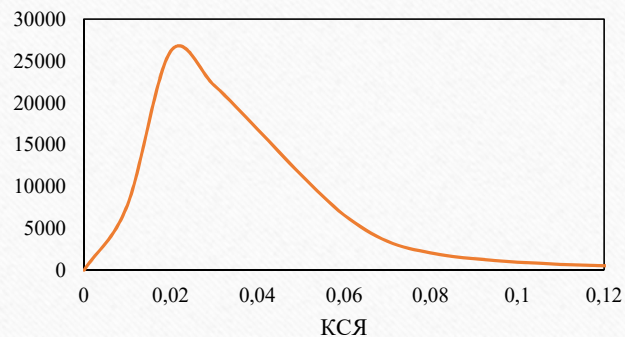


Пространственный гистограммный анализ

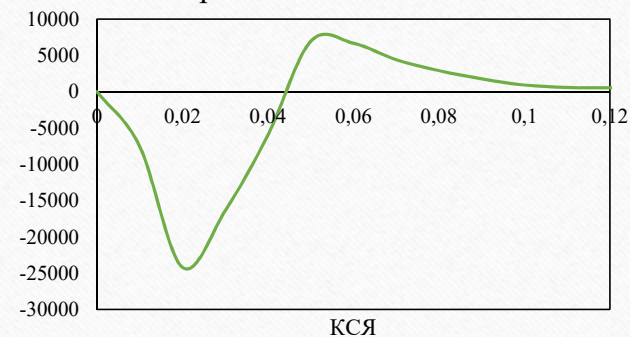
Гистограммы распределения значений внутри класса «облако»



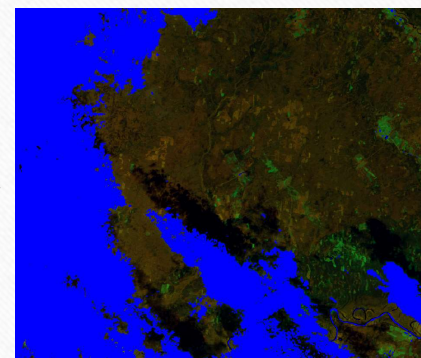
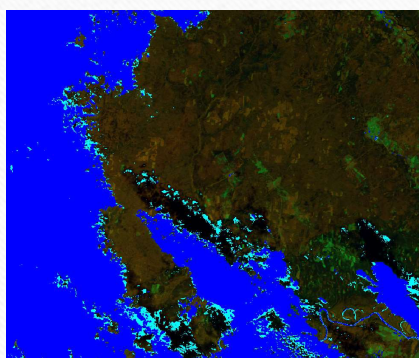
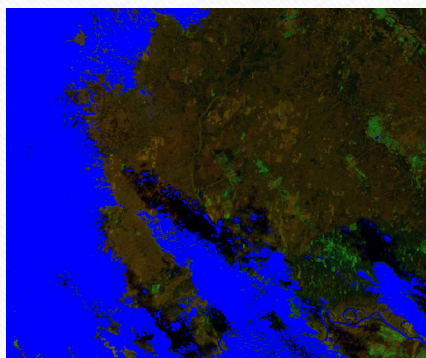
Гистограммы распределения значений внутри класса «буфер»



Нормализованная разница гистограмм

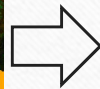
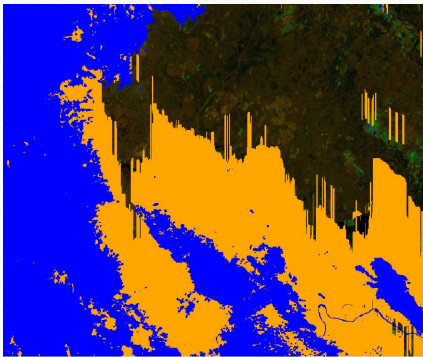


Точка смены знака разностной гистограммы позволяет уточнить порог разделения классов для конкретного изображения.

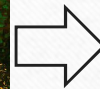
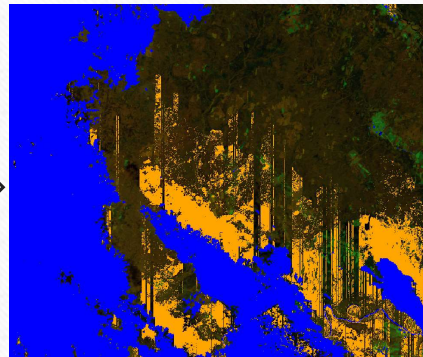


Построение области расположения теней

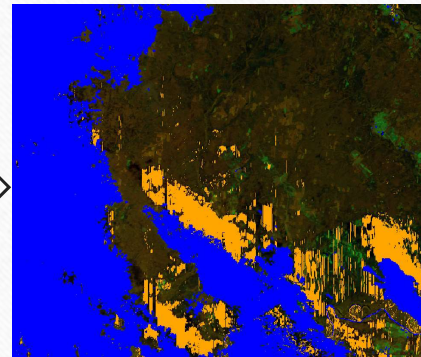
Геометрия наблюдения



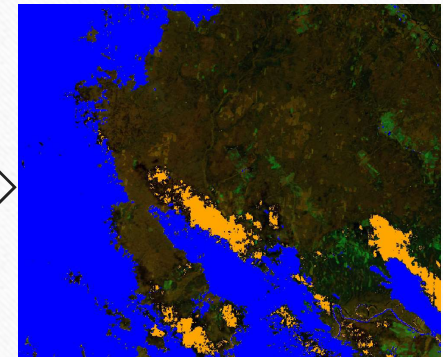
Медианный фильтр



Пространственный фильтр



Гистограммный анализ



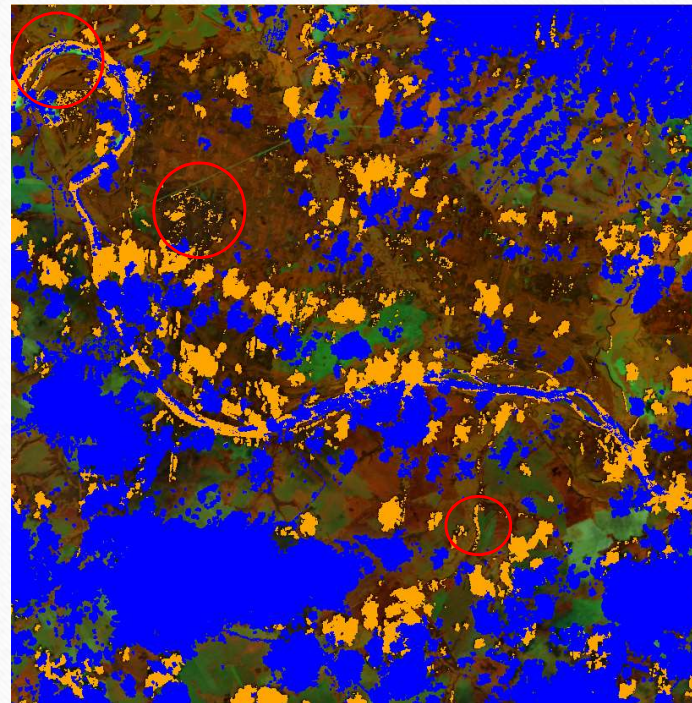
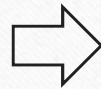
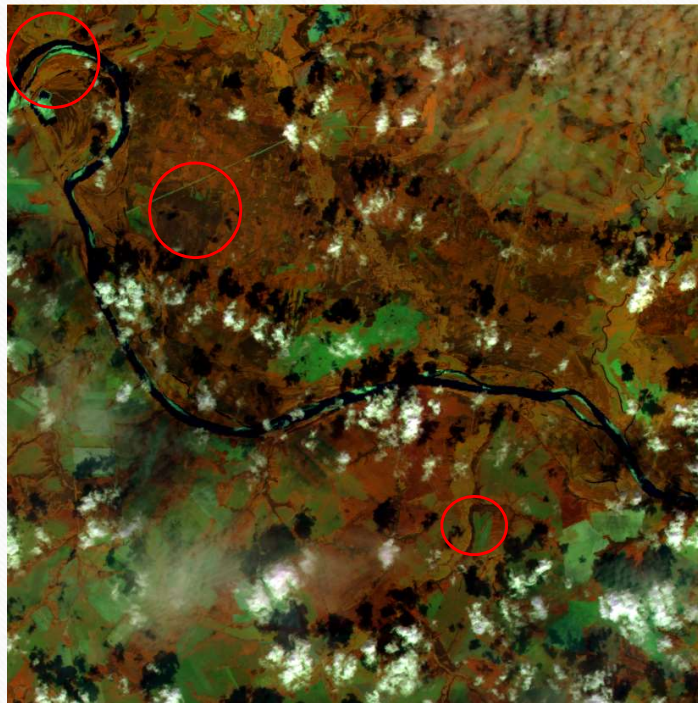
- Определение направления падения теней. Из-за отсутствия данных о положении спутника, возможны отклонения
- Определение величины облака для определения допустимой дальности отбрасывания тени

- Анализ распределения значений КСЯ по линии (направлению) падения тени от точки класса «облако»
- Фильтрация всей линии, при высоких значениях дисперсии КСЯ
- Фильтрация наблюдений, значения КСЯ которых выше медианного

- Определение сгруппированных точек маски теней по линии (направлению) падения тени от точки класса «облако»
- Определение максимальных областей расположения теней, как наиболее вероятных

- Построение буферной зоны вокруг области предполагаемого расположения теней
- Уточнения порогов разделимости классов по разностной гистограмме
- Фильтрация точек открытой поверхности и добавление в маску облачного покрова точек буфера

Ошибки ложного детектирования



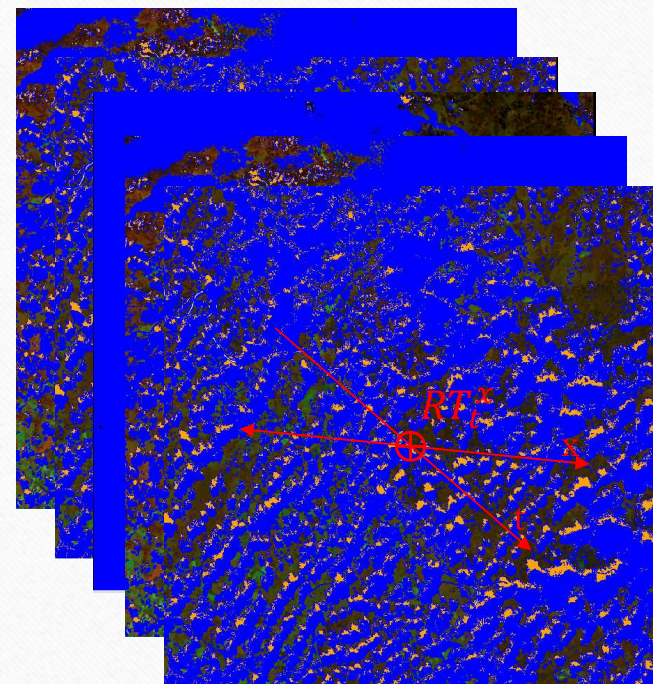
- Светлые объекты детектируются как облака: дороги, города, некоторые с/х объекты, пески и т.д.
- Темные объекты при фильтрации остаются в классе «тени»: водные объекты, элементы рельефа, темнохвойные леса и т.д.

Уточнение масок облачного и снежного покрова при анализе временных рядов: статистическая проверка класса теней RT в скользящем пространственно-временном окне

Внутри окна $TWindow$ определяются средние значения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) и величины стандартного отклонения для классов «тени» и «открытая поверхность». Если значения RT_t^x отклоняется от среднего для класса «открытая поверхность» менее, чем на два стандартных отклонения, в маску облачного и снежного покрова вносятся изменения

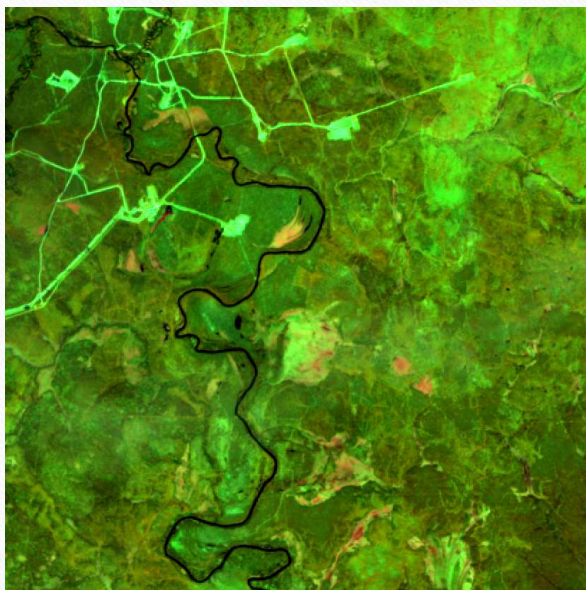
$$TWindow = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & R_{t-1}^{x-1} & R_{t-1}^x & R_{t-1}^{x+1} & \dots \\ \dots & R_t^{x-1} & RT_t^x & R_t^{x+1} & \dots \\ \dots & R_{t+1}^{x-1} & R_{t+1}^x & R_{t+1}^{x+1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

где R – КСЯ в выбранном спектральном канале, t – порядковый номер наблюдения во временном ряду исходных данных, x – координаты наблюдения по линии, перпендикулярной направлению падения теней

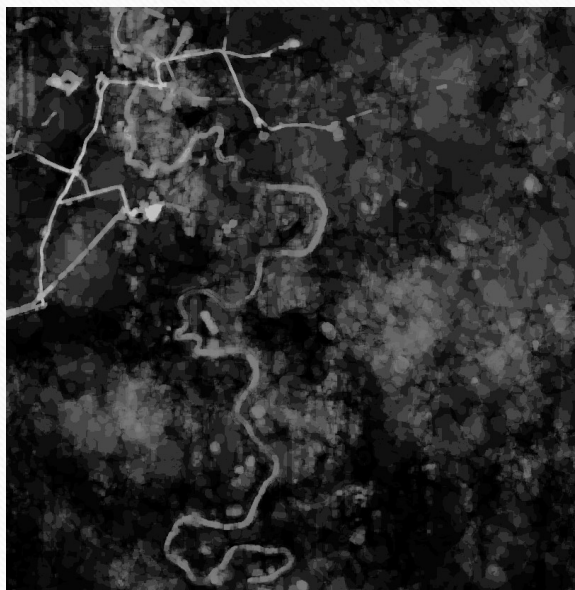


Уточнение масок облачного и снежного покрова при анализе временных рядов: Выявление объектов, частотность фильтрации которых в течении года значительно выше нормы

RGB – синтез NIR-SWIR-RED,
08.12.2022



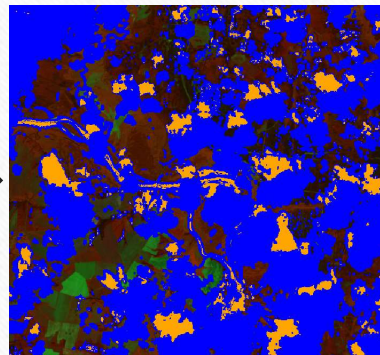
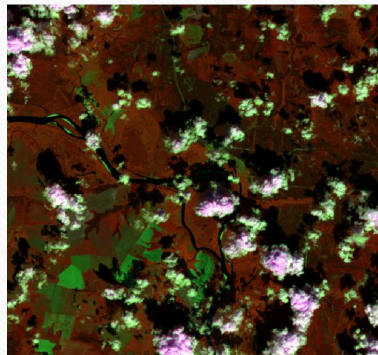
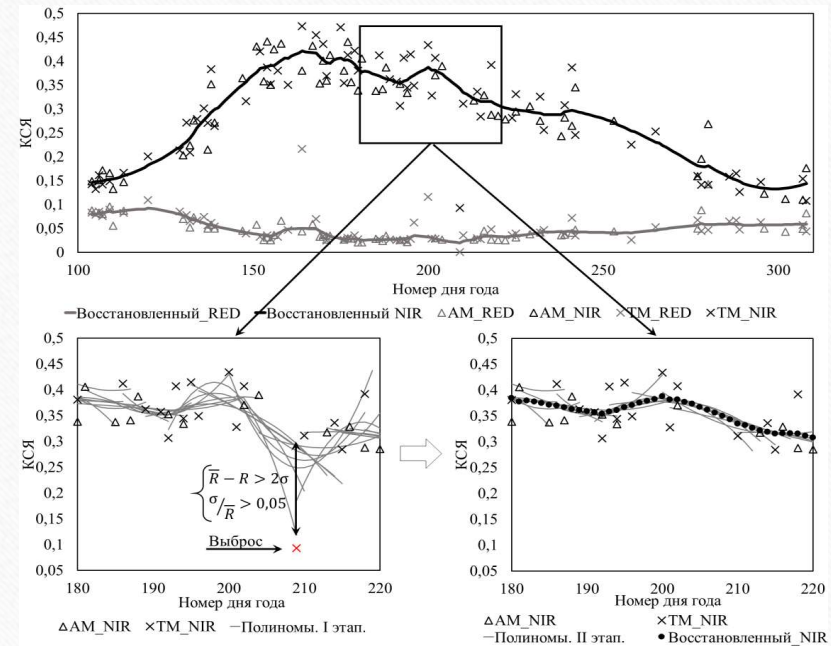
Частотность фильтрации наблюдений
как «облако» и «тень» за год



- Определение стабильно темных и светлых объектов по частоте попадания в маски облачного и снежного покрова за год
- «Возвращение» всех отфильтрованных за год точек
- Фильтрация искаженных наблюдений набором статистических фильтров на основе статистики наблюдений, полученных за летний период
- Коррекция масок облачного и снежного покрова

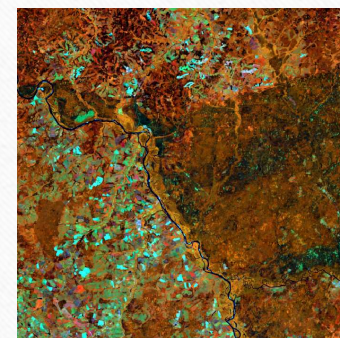
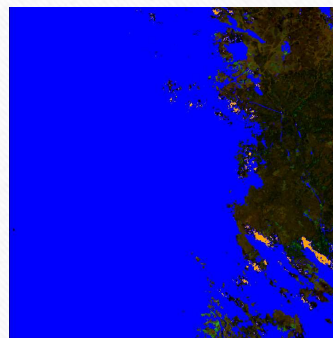
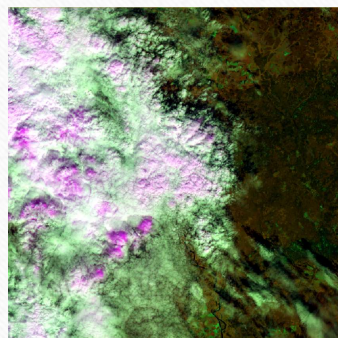
Анализ временных рядов

- Позволяет на основе набора данных в определенном спектральном канале и набора маскированных изображений облачного и снежного покрова за один календарный год восстанавливать наблюдения, очищенные от влияния мешающих факторов
- Включает в себя фильтрацию остатков облачности, шумов, выбросных значений, заполнение пропусков и сглаживание временных рядов
- Позволяет восстанавливать данные с заданным временным разрешением на необходимые даты, вплоть до ежедневных наблюдений, несмотря на аперiodичный набор исходных данных

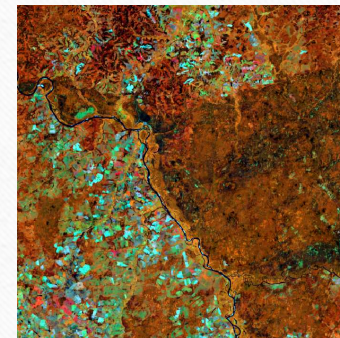
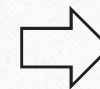
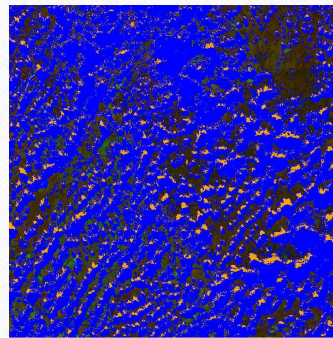
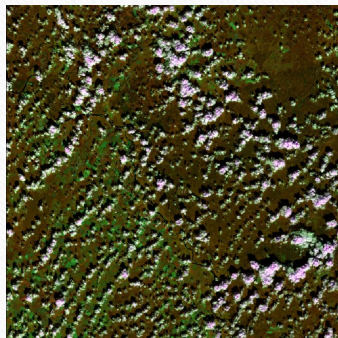


Примеры:

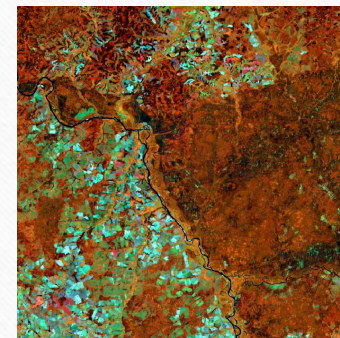
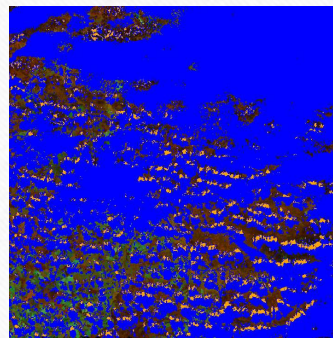
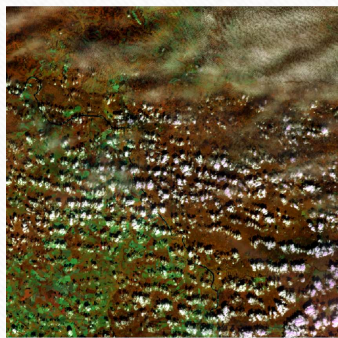
Высокая облачность
13.07.2022



Кучевые облака
23.07.2022



Перьевые облака и дымка
12.08.2022



Заключение и выводы

- Предварительная обработка данных спутниковых наблюдений, приведенная в этой работе, позволяет получать изображения, очищенные от влияния шумов, облачного и снежного покрова, теней, а также влияния их краевых эффектов, и других мешающих факторов
- Алгоритм предварительной обработки данных получил развитие в сторону усовершенствования методов детектирования областей расположения теней от дымки и облаков, а так же коррекции и улучшения набора маскирующих изображений на основе анализа временных рядов, для работы с объектами, геометрический размер которых на данных среднего пространственного разрешения пренебрежимо мал
- Все этапы предварительной обработки, разработанные на основе данных TERRA-MODIS, AQUA-MODIS, и адаптированные под данные NPP-VIIRS, успешно перенесены на данные Sentinel-2A и Sentinel-2B, с учетом особенностей и специфики прибора, и данных высокого пространственного разрешения, обеспечивая однородность предварительной обработки на разных типах данных и их согласованность, необходимую для дальнейшего совместного использования в задачах ДЗЗ растительного покрова

Спасибо за внимание!

Работа выполнена в рамках реализации проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Обработка данных осуществлялась с использованием вычислительного кластера "ИКИ-Мониторинг" (Лулян, 2019), поддерживаемого программой "Мониторинг" (государственный регистрационный номер 122042500031-8).