

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР)

**ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННОЙ
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ТИПОВ
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

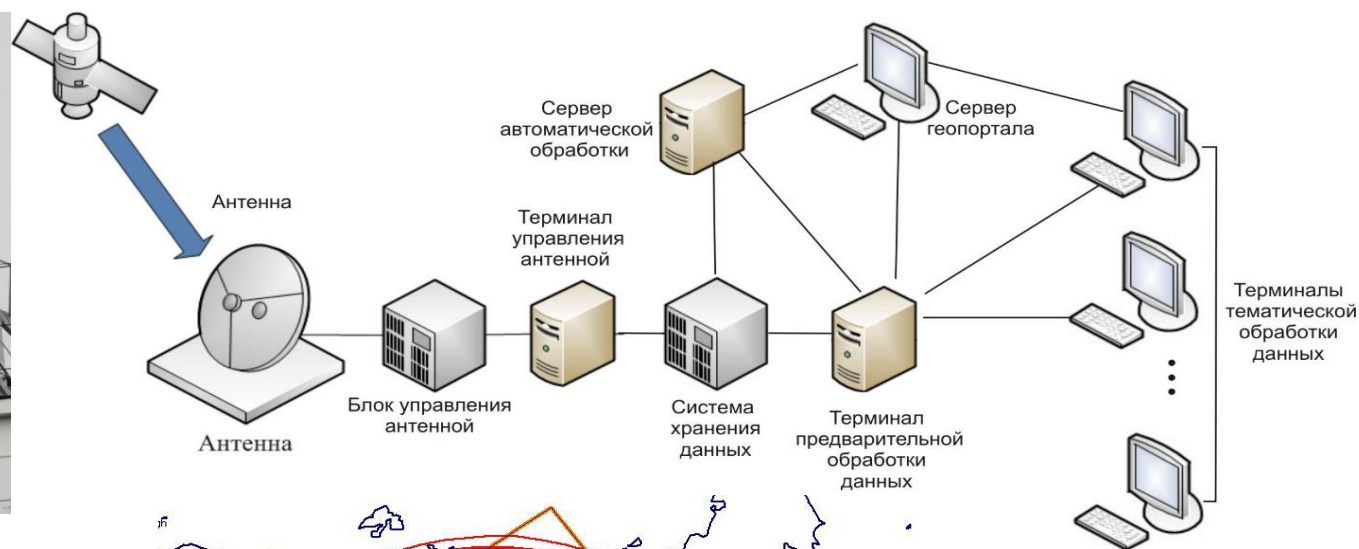
Катаев Михаил Юрьевич

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
**XIII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому
мониторингу с 15 по 19 октября 2019 г.**

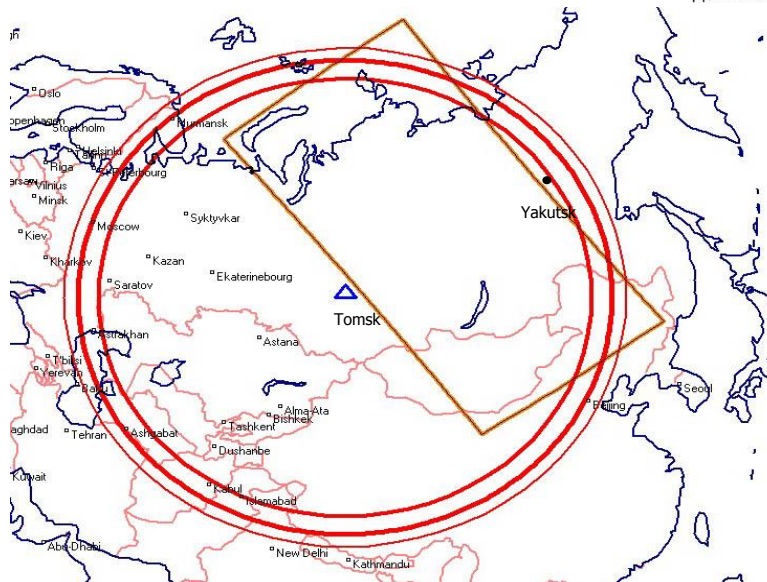
ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из основных этапов анализа спутниковых изображений является кластеризация, которая заключается в разбиении изображения на непересекающиеся области на основе схожести их спектральных или пространственно-временных характеристик (текстурных, морфологических или др.). Методы кластеризации позволяют выделять на спутниковых изображениях классы, соответствующие различным типам природных и антропогенных объектов. При этом какие-либо априорные сведения о количестве классов и их характеристиках, как правило, отсутствуют. Кроме того на изображениях высокого пространственного разрешения (10-30 метров) существенно возрастает неоднородность спектральных характеристик объектов (смешивание). Используемые в настоящее время методы кластеризации, включенные в состав популярных программных пакетов ERDAS Imagine, MultiSpec, ENVI, ArcGIS, SNAP и др. не полностью учитывают особенности спутниковых изображений высокого разрешения для данной территории Земли (типы поверхности, угол освещения Солнцем, состояние атмосферы и др.). Наиболее распространенный подход к кластеризации мультиспектральных спутниковых изображений в отсутствие обучающей выборки основан на использовании алгоритмов, использующих пространстве спектральных признаков изображения (спектральных каналов). Целью является изучение различных аспектов кластеризации.

Центр космического мониторинга Земли ТУСУР



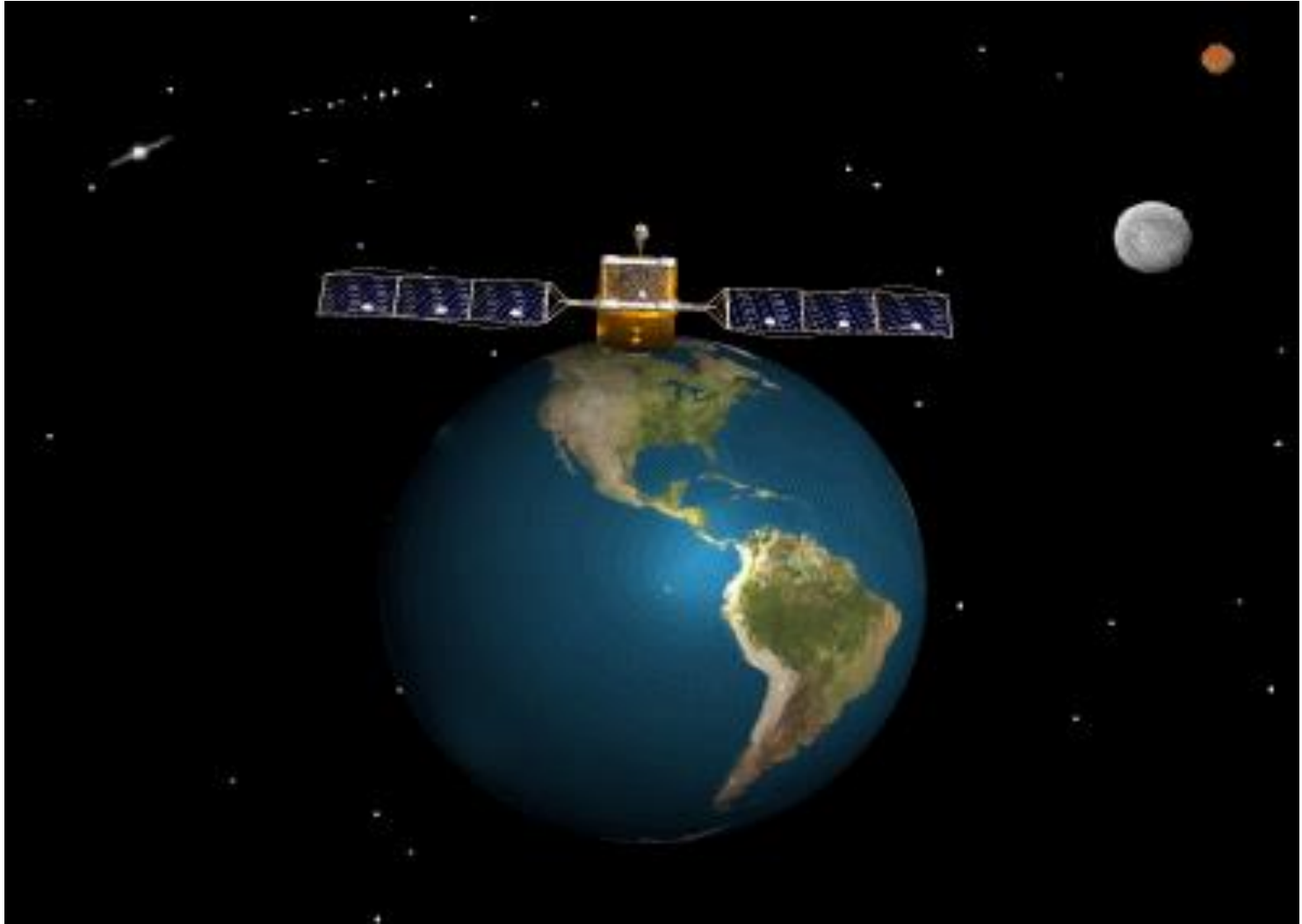
«УниСкан-24» (антенная система, терминал приема, терминал обработки).





**Спутниковые системы
для изучения атмосферы
поверхности Земли,
а также Солнца**

- ACE
- TRACE
- SOHO
- Wind
- Voyager 1 & 2
- RHESSI
- Geotail
- Cluster
- TIMED
- ERBS
- QuikSCAT
- Jason-1
- IMAGE
- Ulysses
- Polar
- FAST
- ACRIMSAT
- Landsat 7
- NMP/EO-1
- TOREX/Poseidon
- TRMM
- Aqua
- SAGE III/METEOR-3M
- UARS
- Terra
- GRACE
- EP-TOMS
- Aura
- SORCE
- ICESat



ПРОЦЕСС ИЗМЕРЕНИЯ

5



Виды спутников.

КА с прибором низкого пространственного разрешения:



250 м – 1 км

КА с прибором высокого пространственного разрешения:



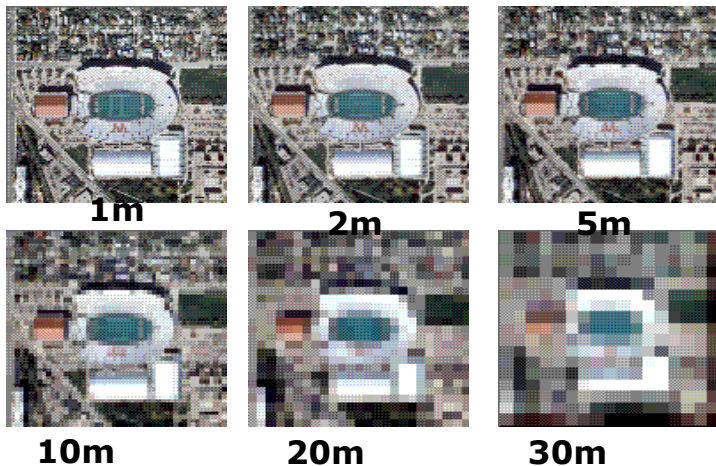
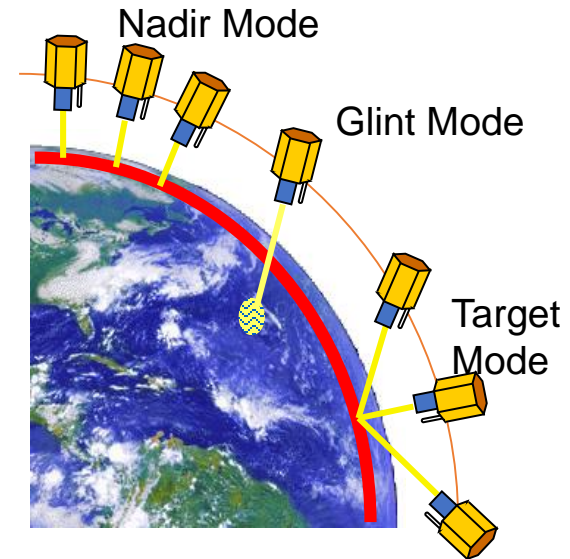
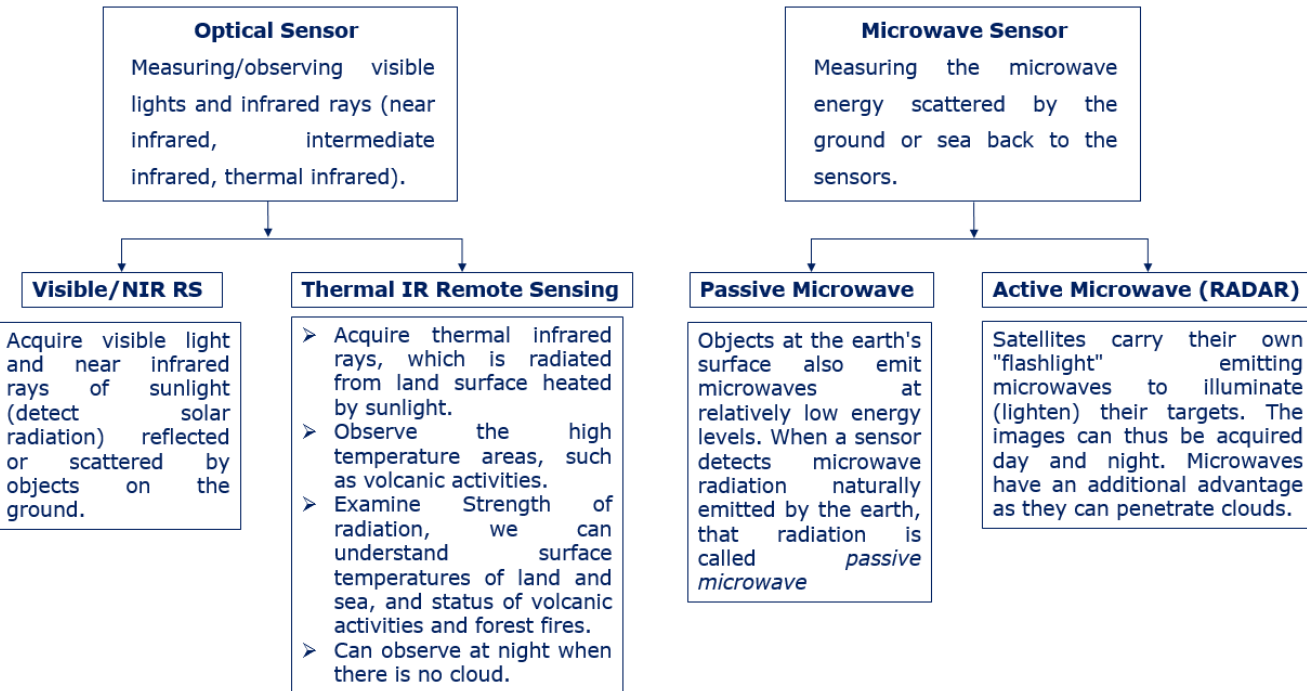
10 м – 100 м

КА с прибором сверхвысокого пространственного разрешения:

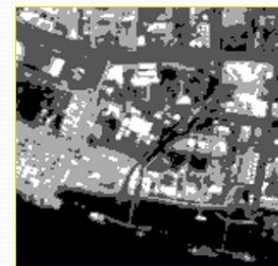


1 м – 10 м

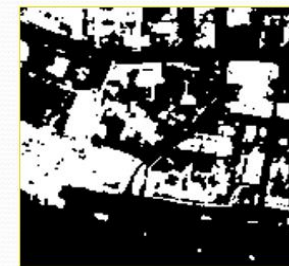
Типы спутниковых сенсоров



3-bit (8 levels)



2-bit (4 levels)



1-bit (2 levels)

Дистанционное зондирование

- **Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)** – получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры пассивными и активными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние и движется с большой скоростью.

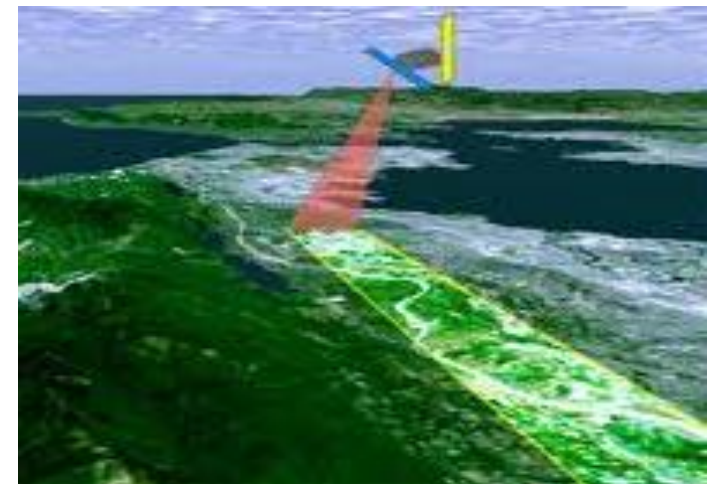
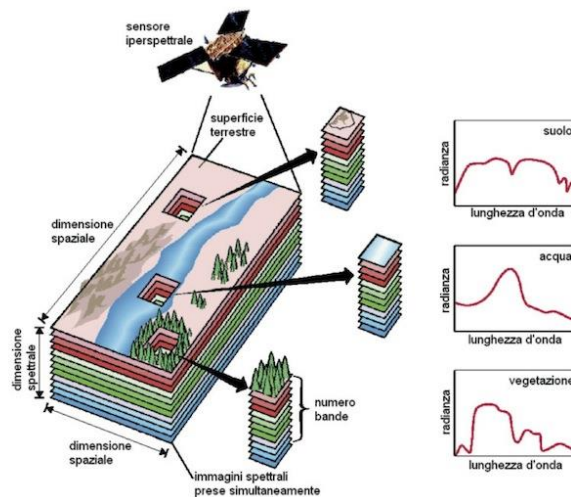
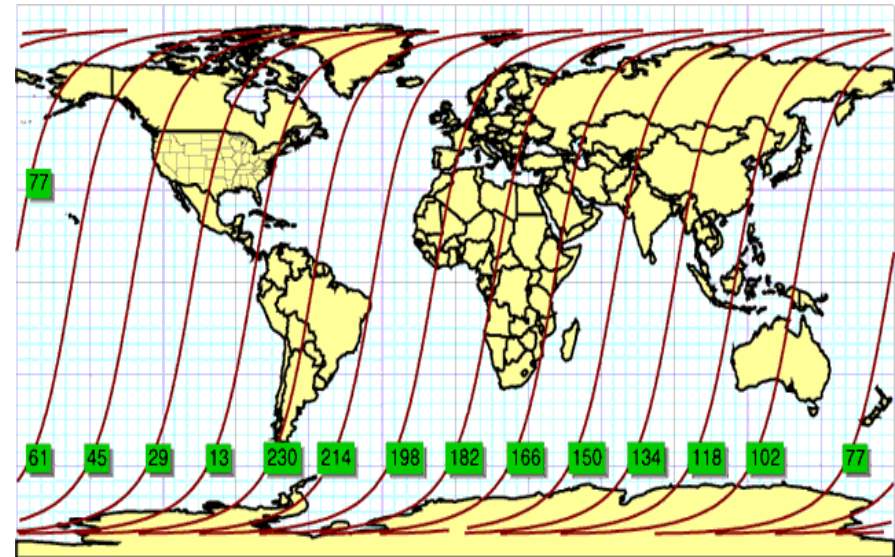
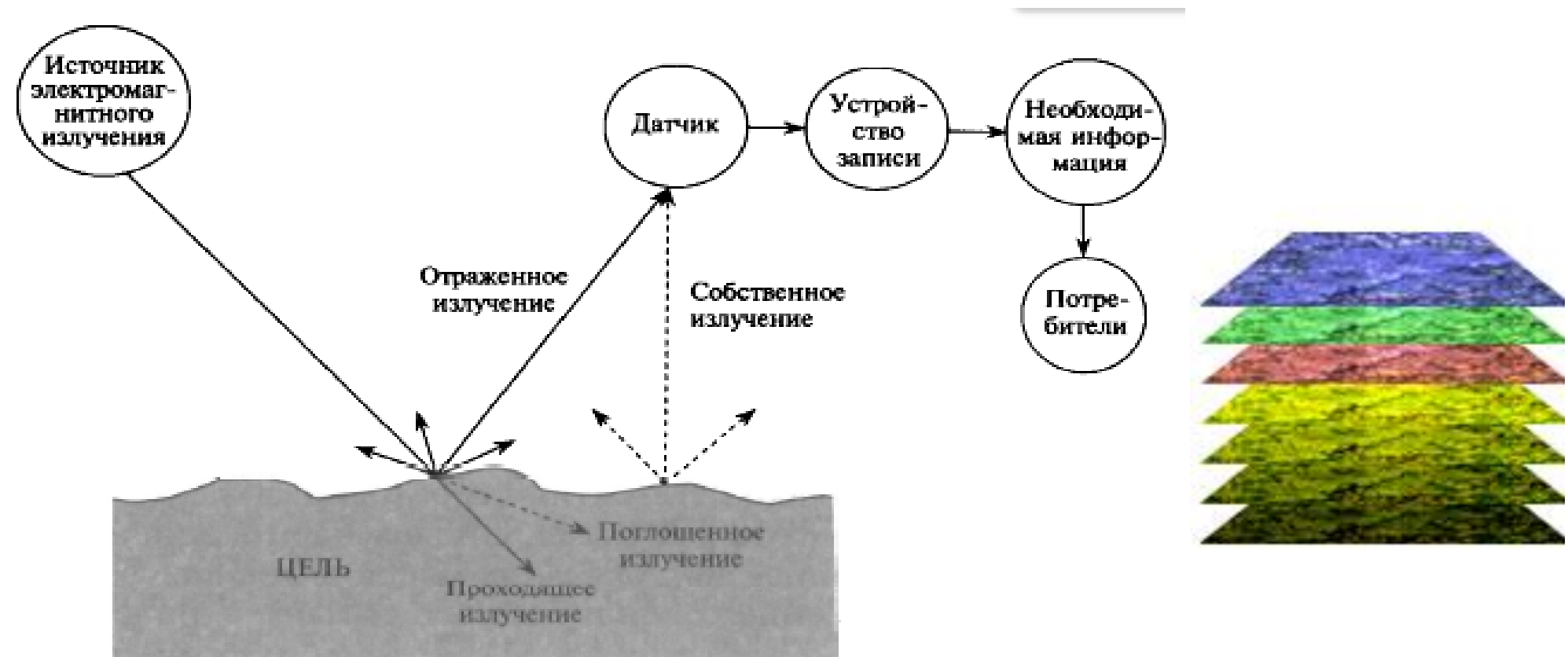
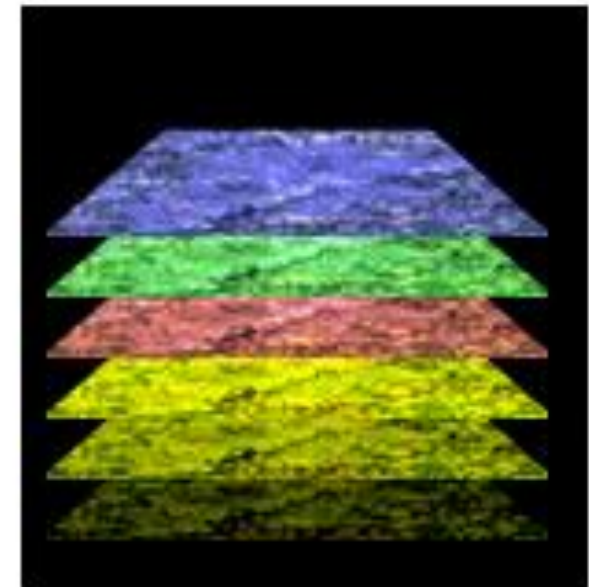
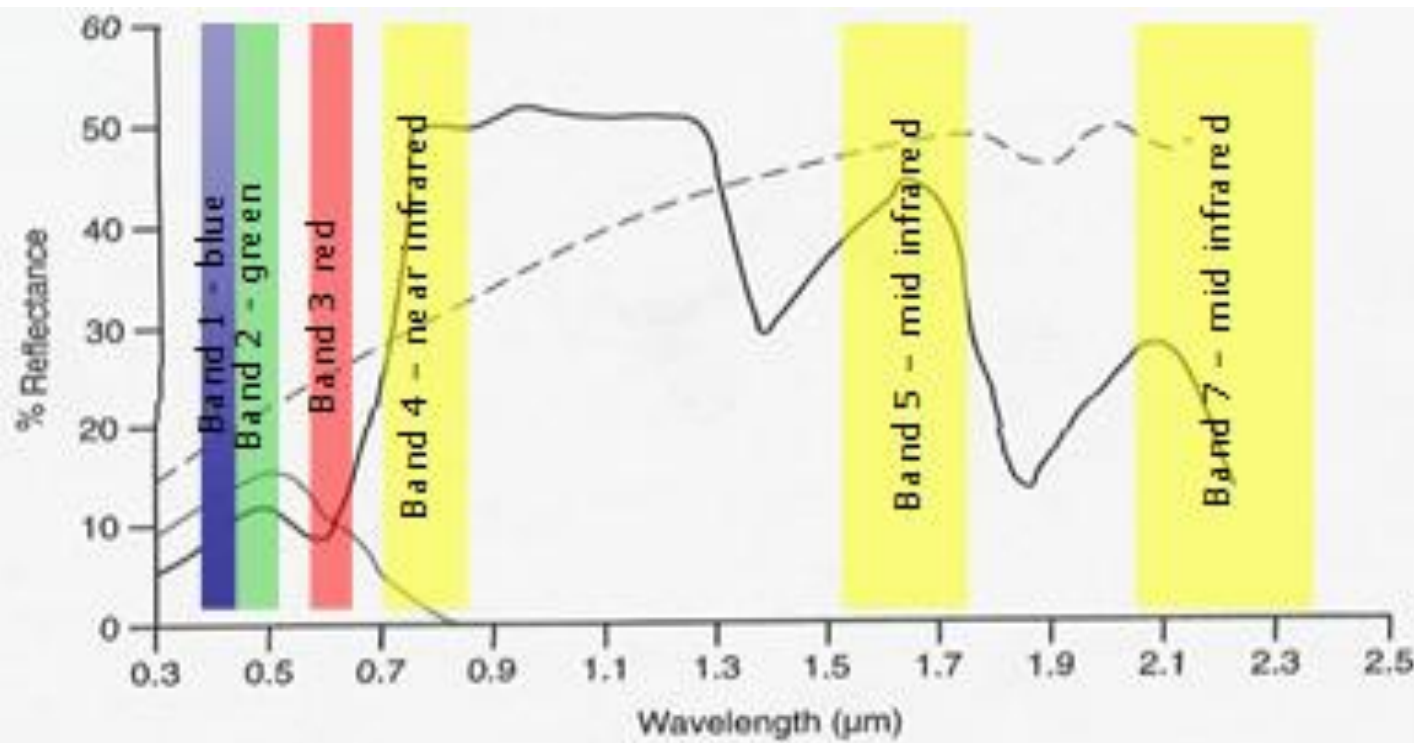


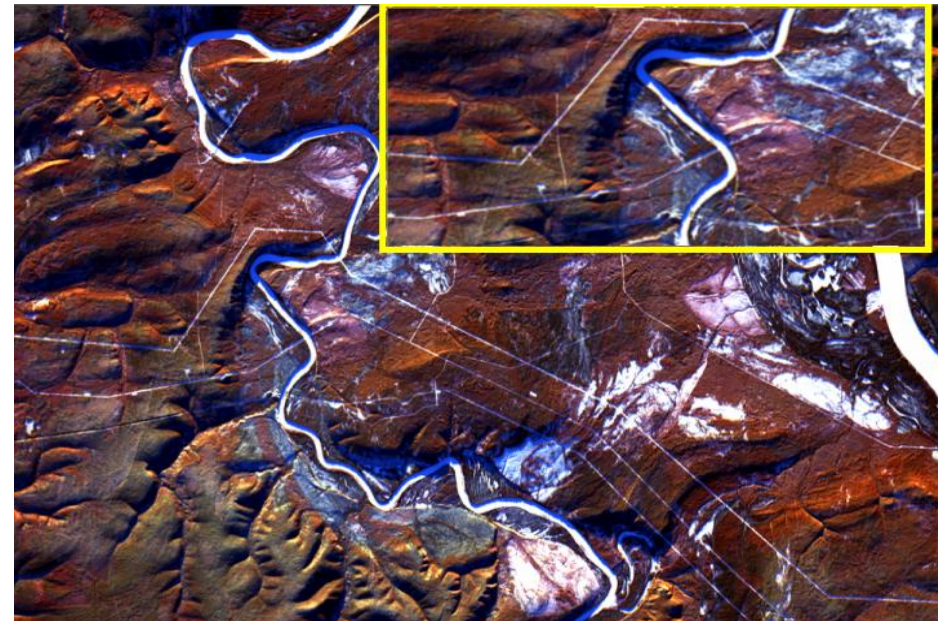
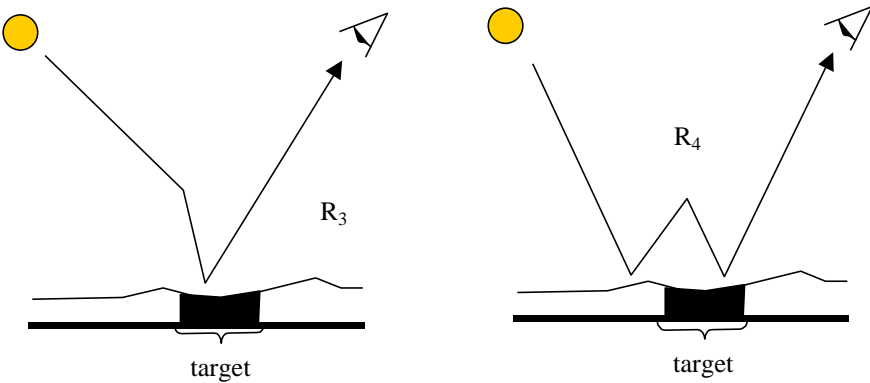
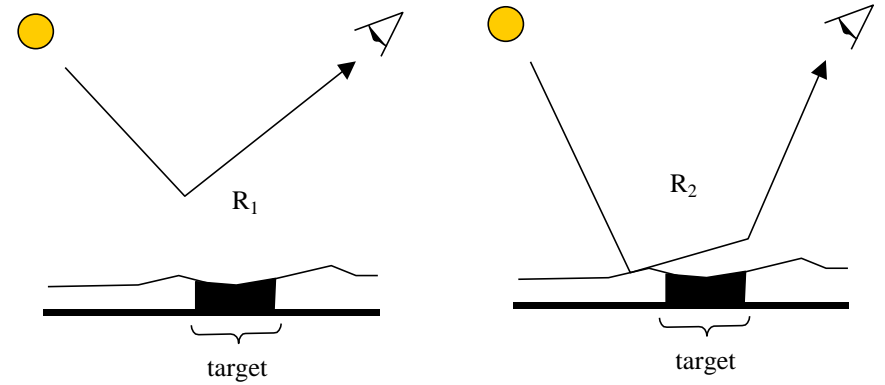
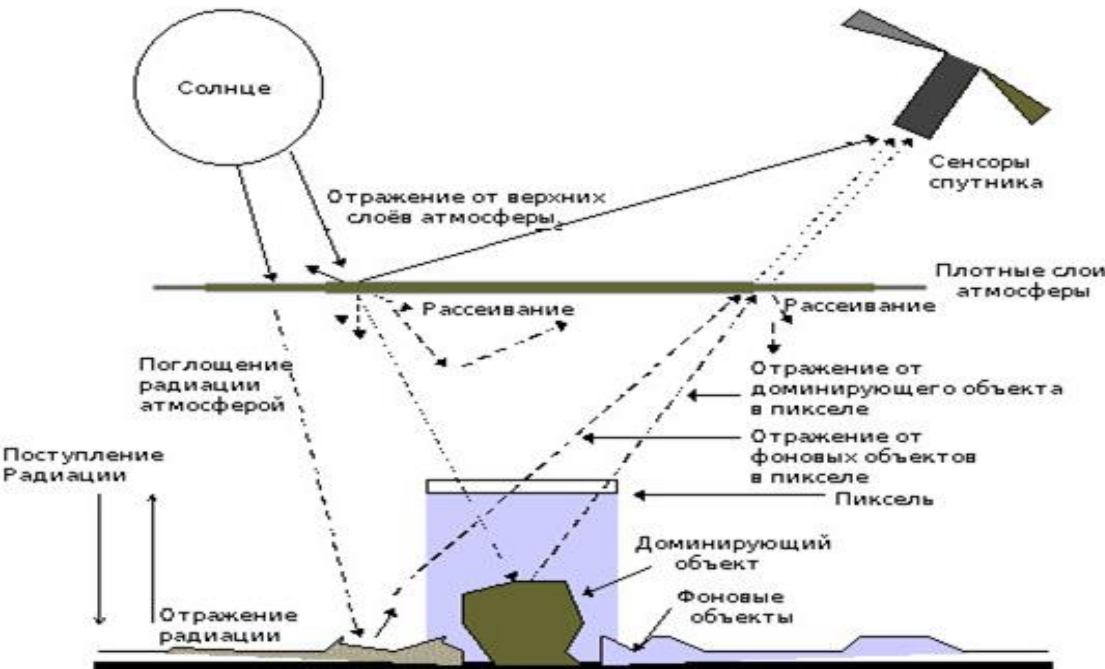
Схема дистанционного зондирования.



Спектральные каналы

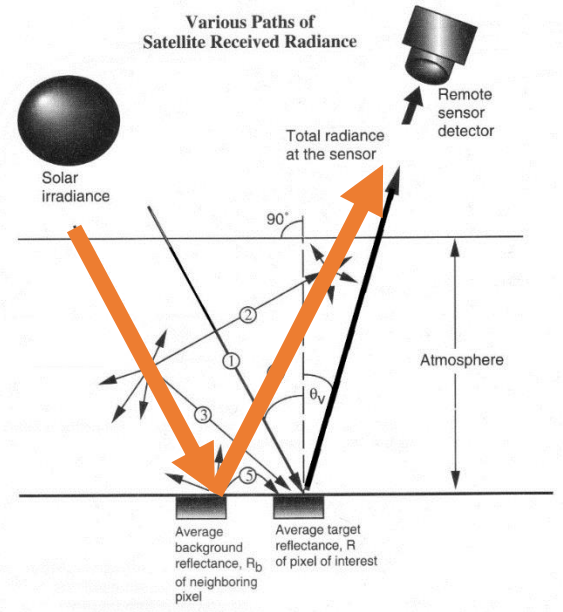
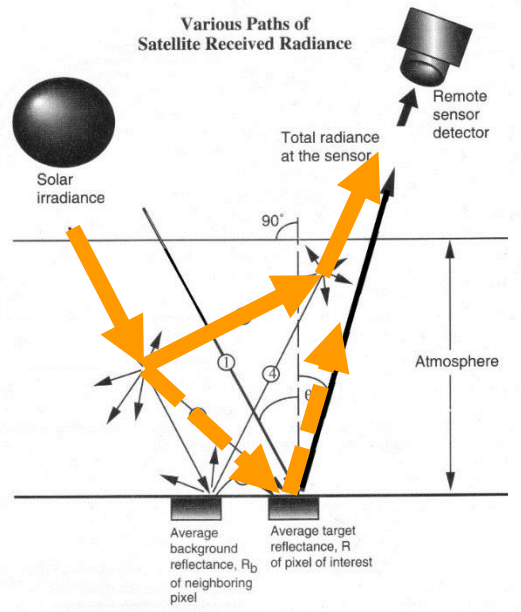
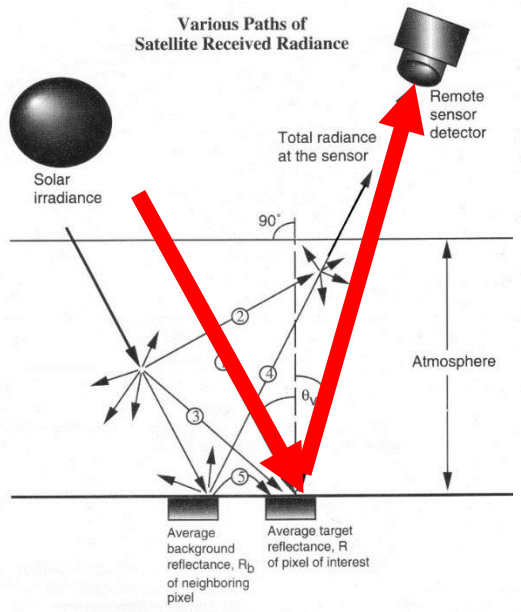
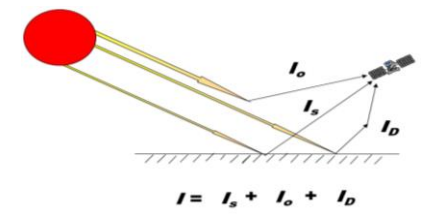


Коррекция спутниковых изображений



Радиометрическая коррекция – атмосферные условия

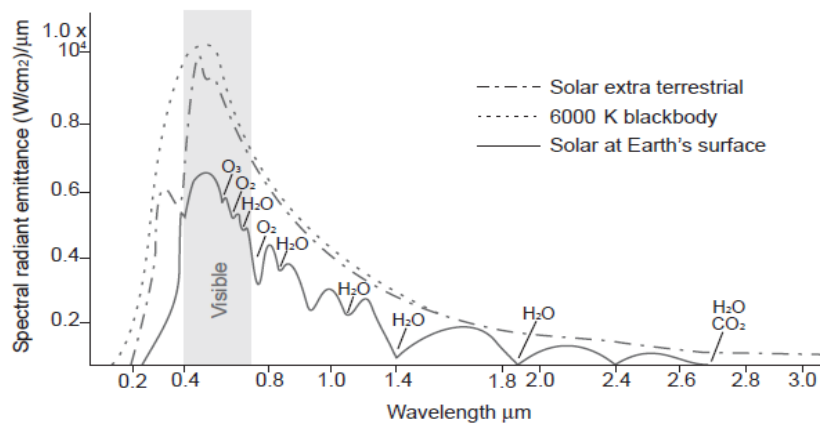
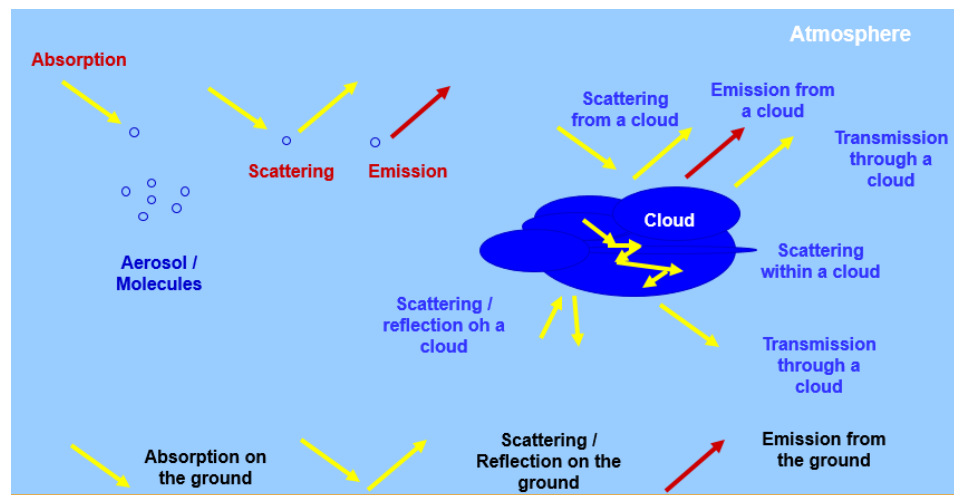
• Atmospheric effects



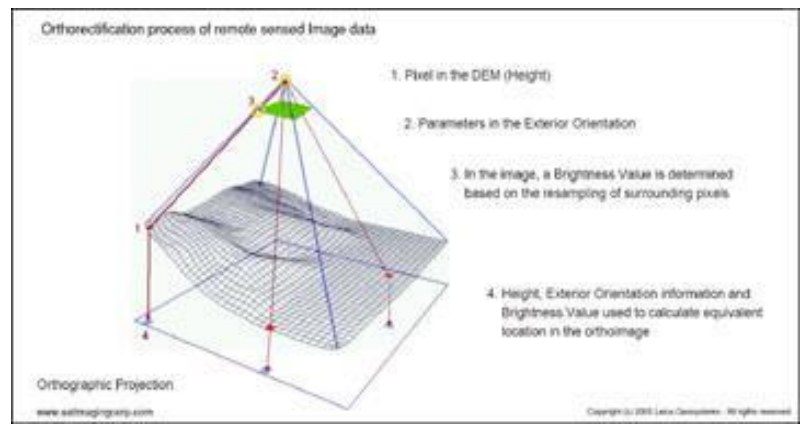
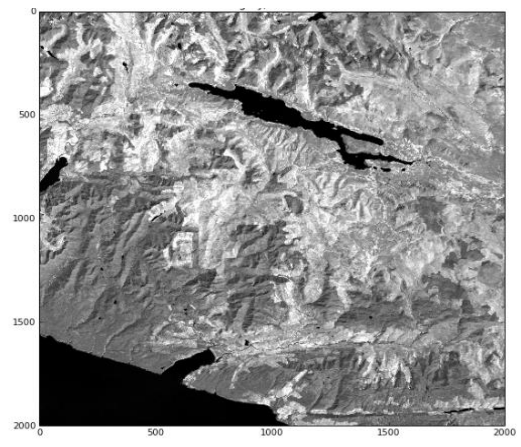
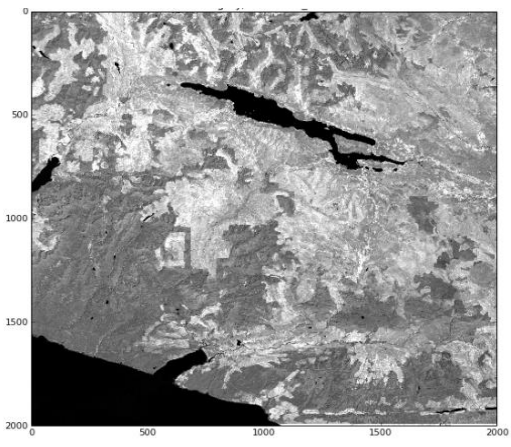
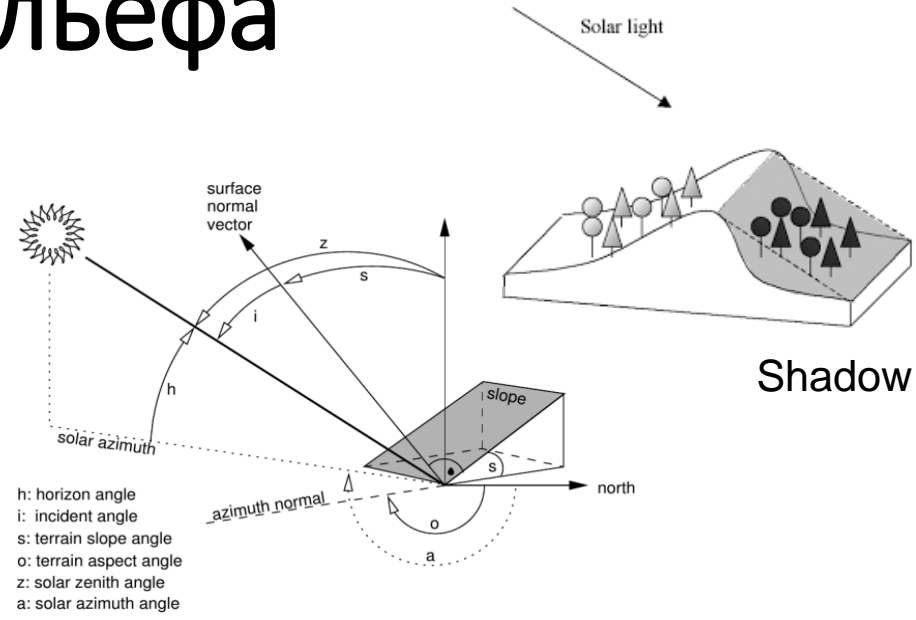
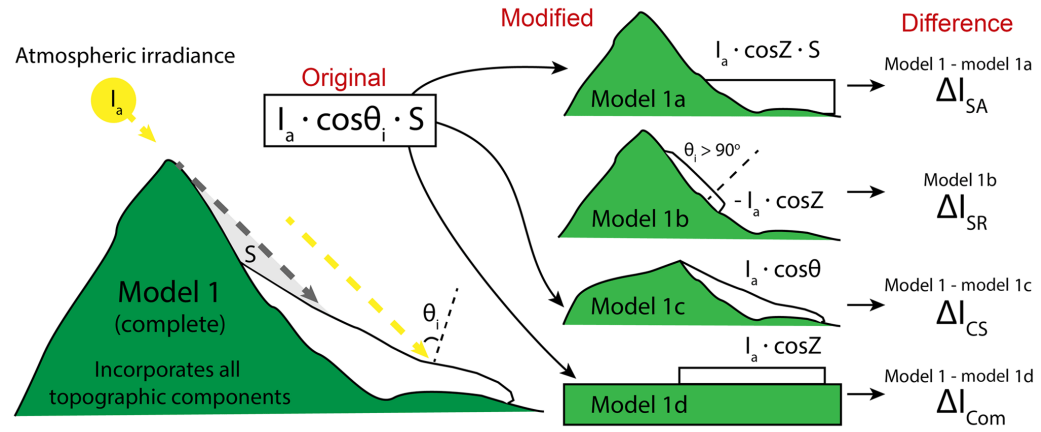
Распространение излучения в атмосфере

Contributions:

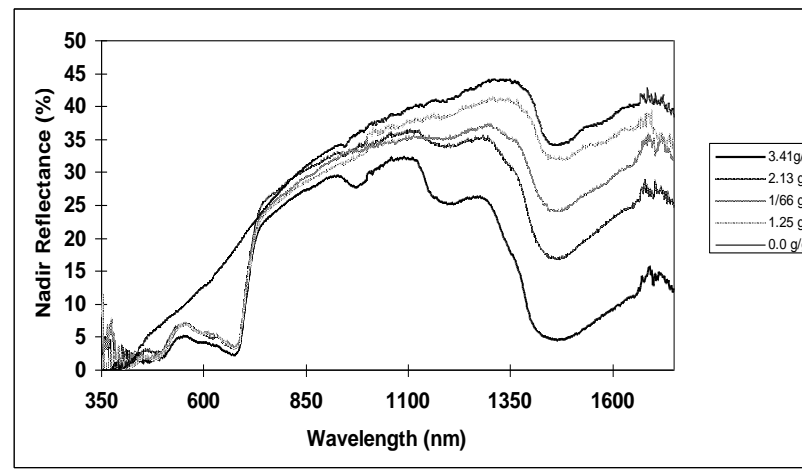
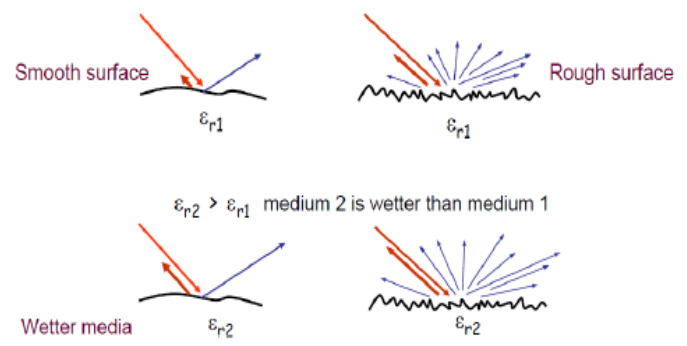
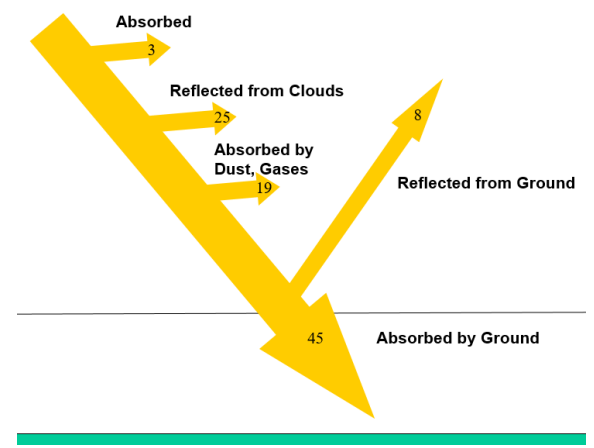
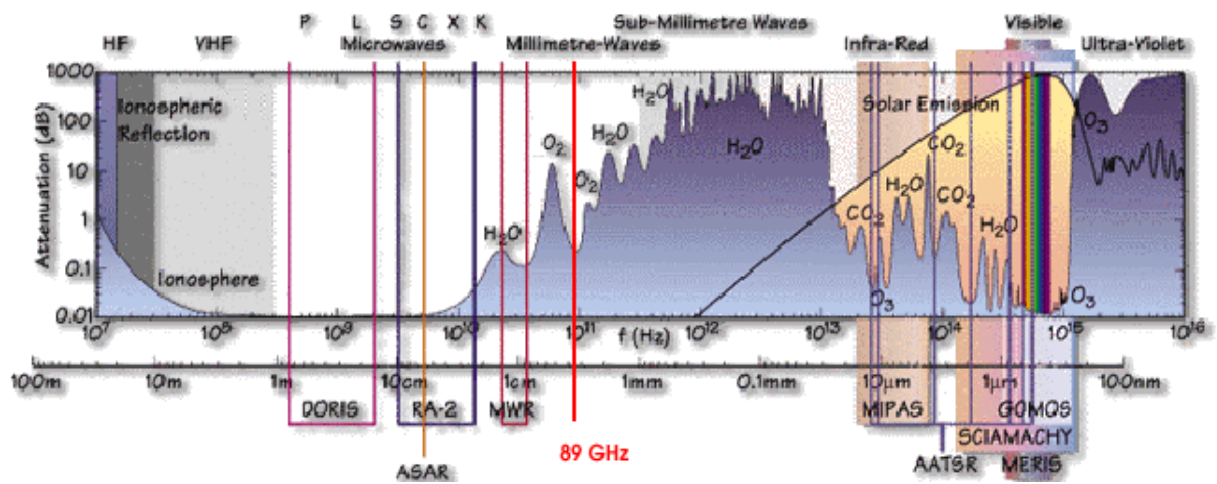
- Direct Solar Ray
- Reflection on the Surface
- Reflection from Clouds
- Scattering in the Atmosphere
 - Rayleigh Scattering
 - Mie Scattering
 - Raman Scattering
- Absorption in the Atmosphere
- Emission in the Atmosphere
- Emission from the Surface
- Emission from Clouds



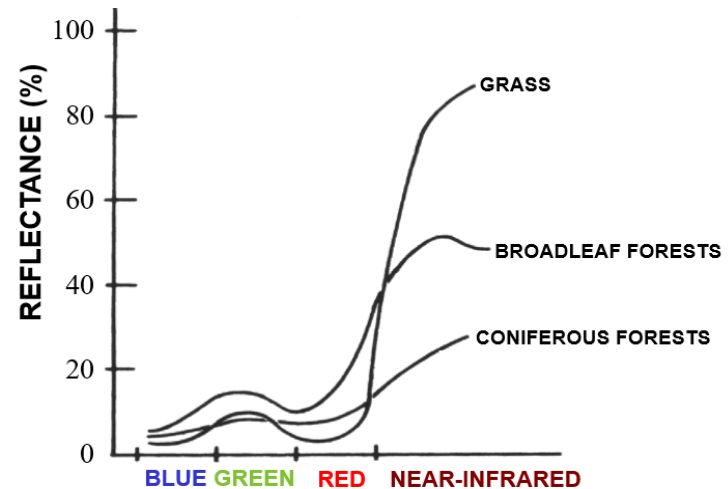
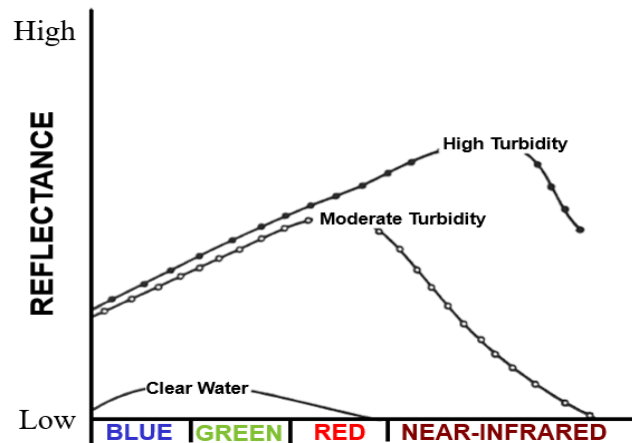
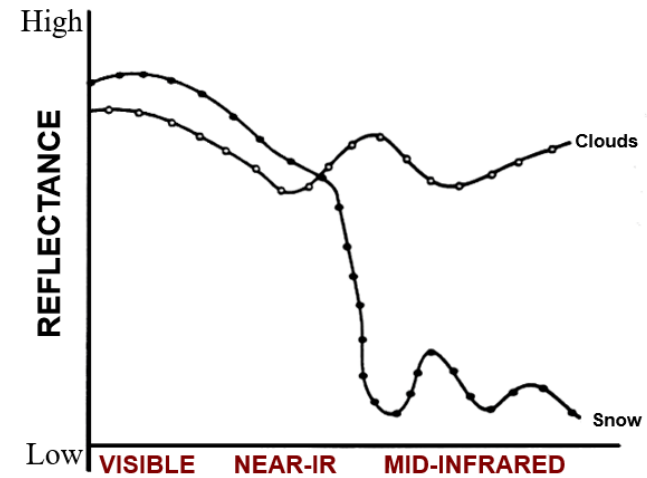
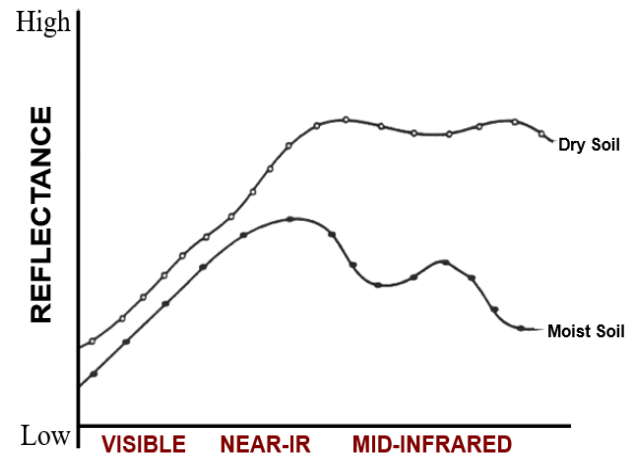
Эффект рельефа



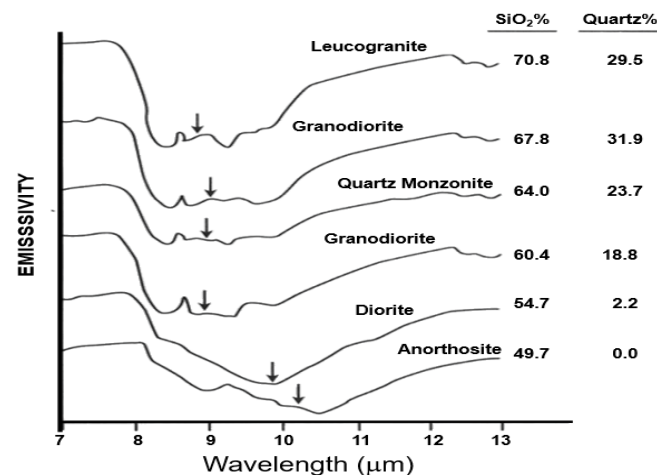
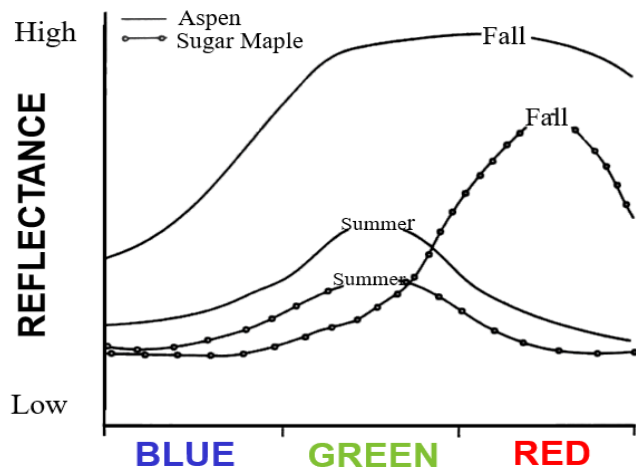
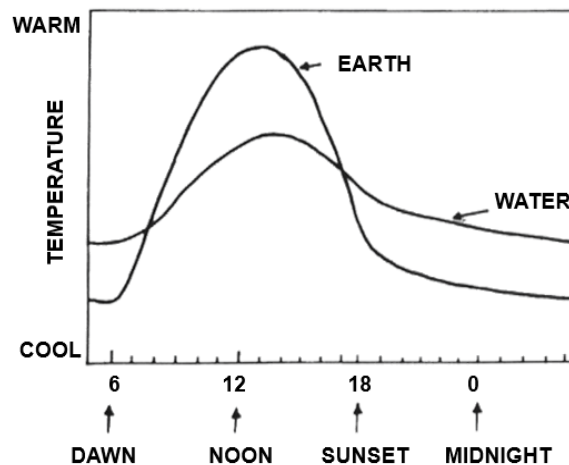
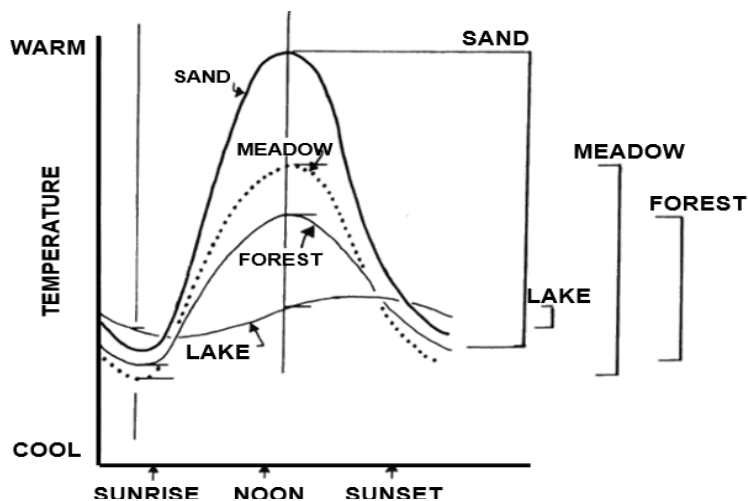
Взаимодействие излучения с поверхностью



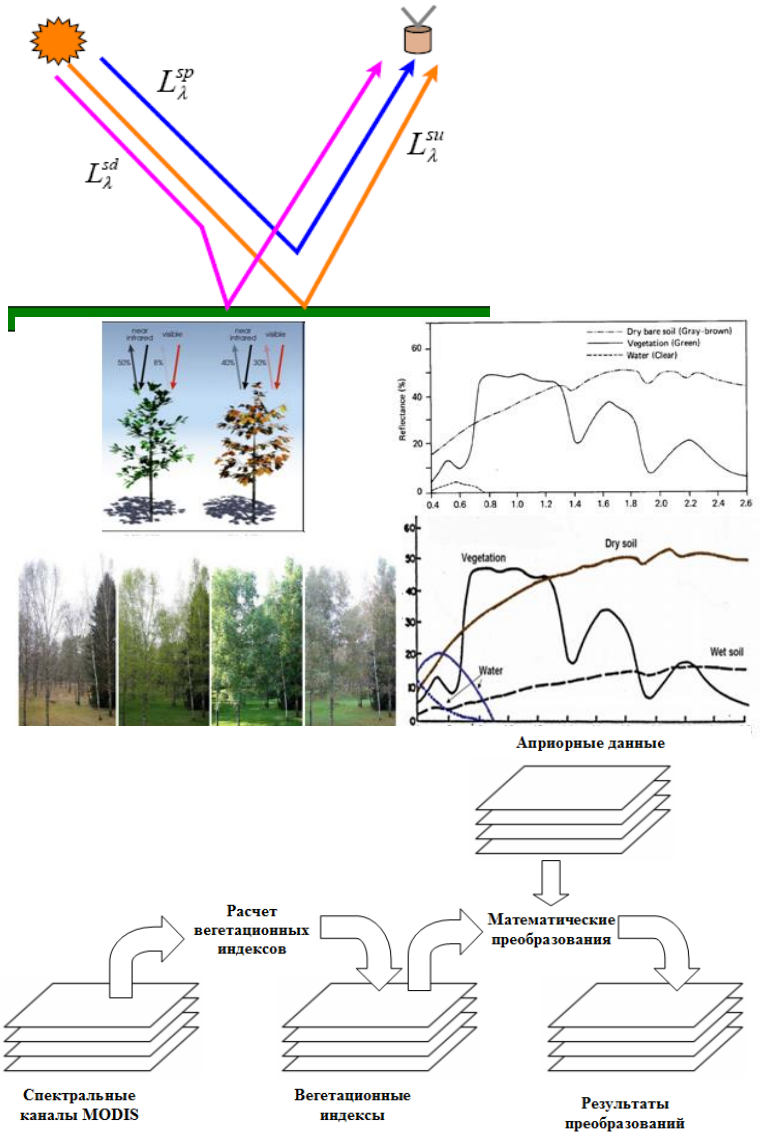
Спектральное отражение от поверхности



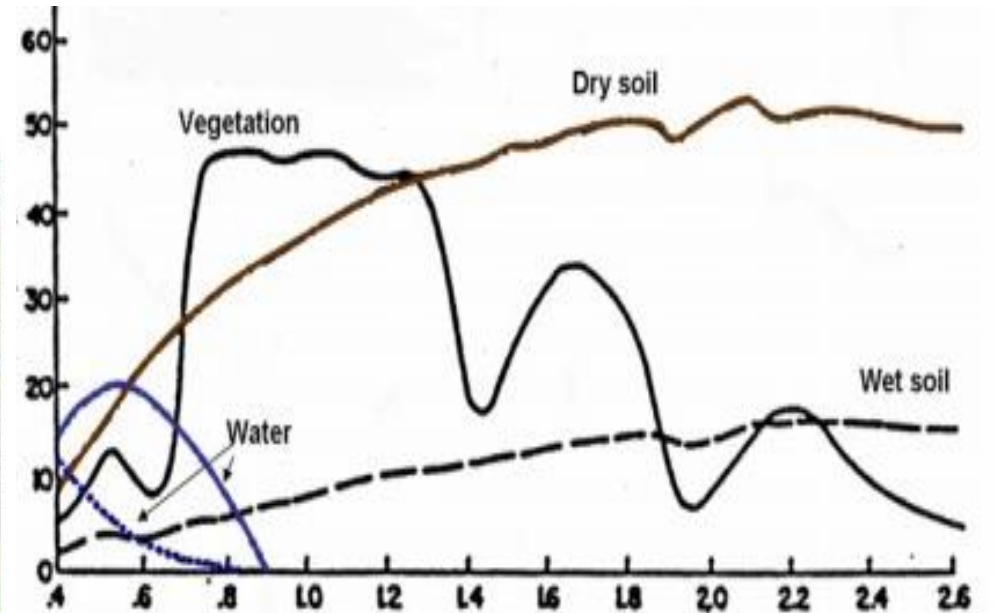
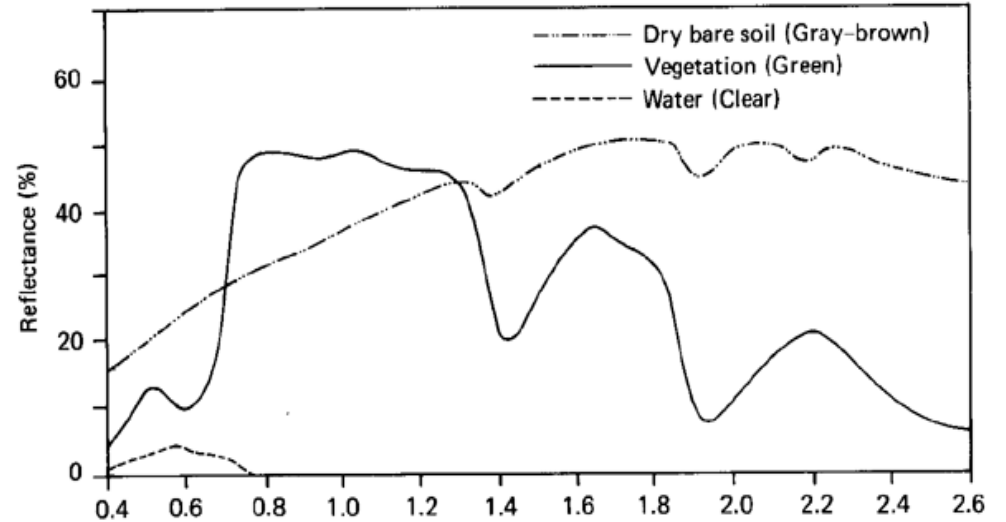
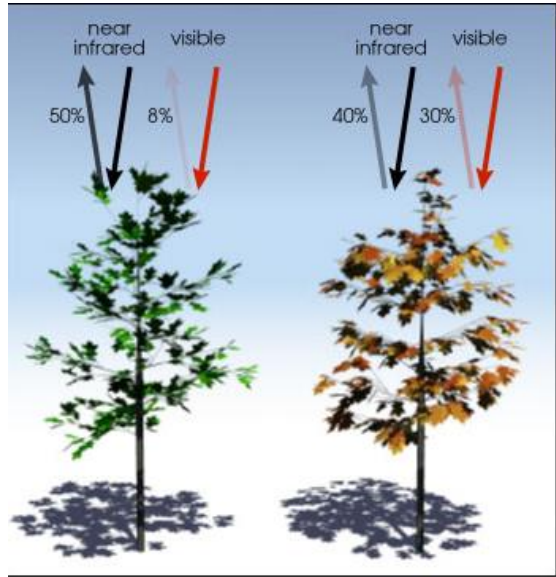
Зависимость отражения от температуры



ИЗУЧЕНИЕ ТИПОВ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

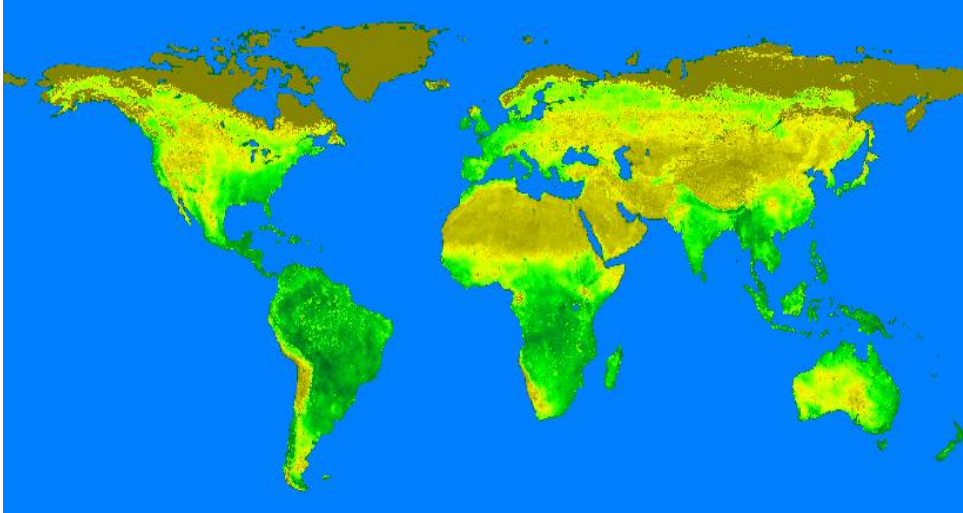


Спектры отражения природных объектов

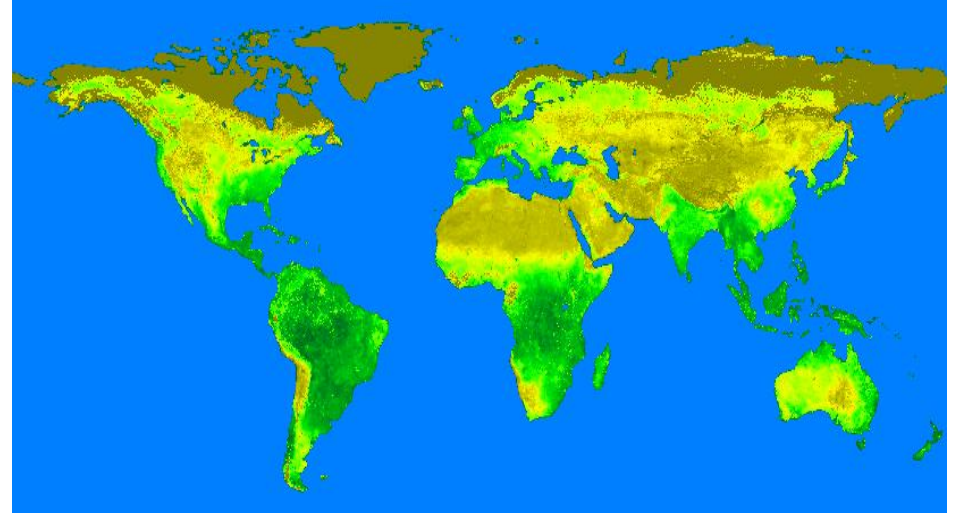


Изменение вегетации растений за разные годы

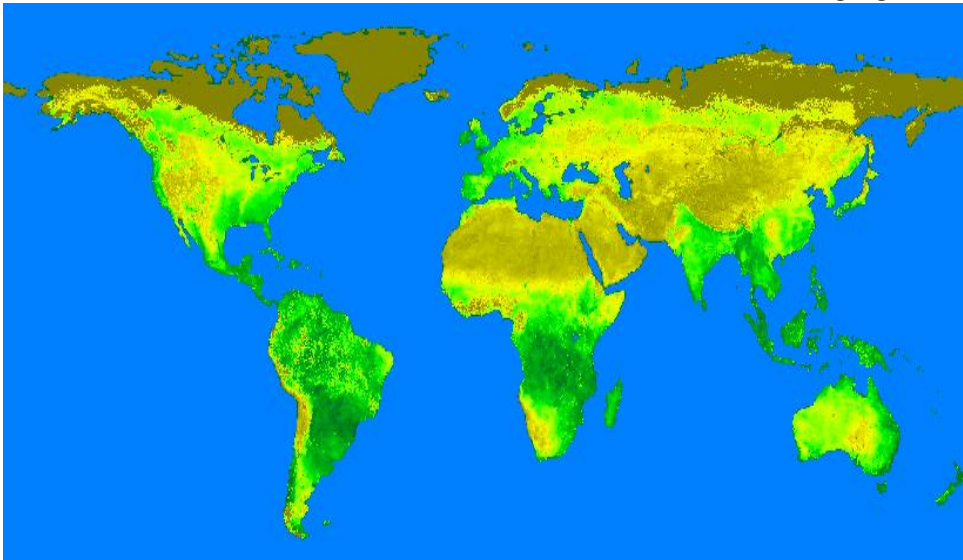
2017



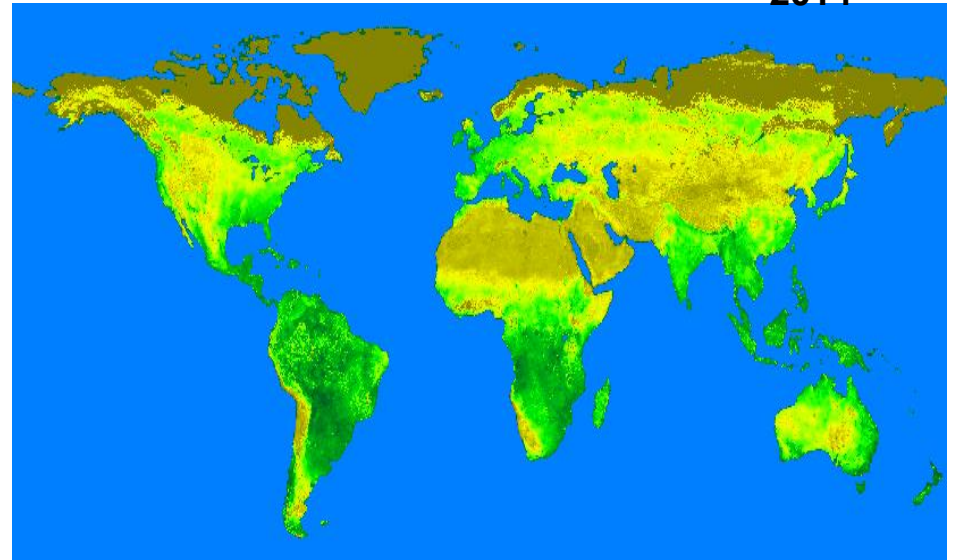
2016

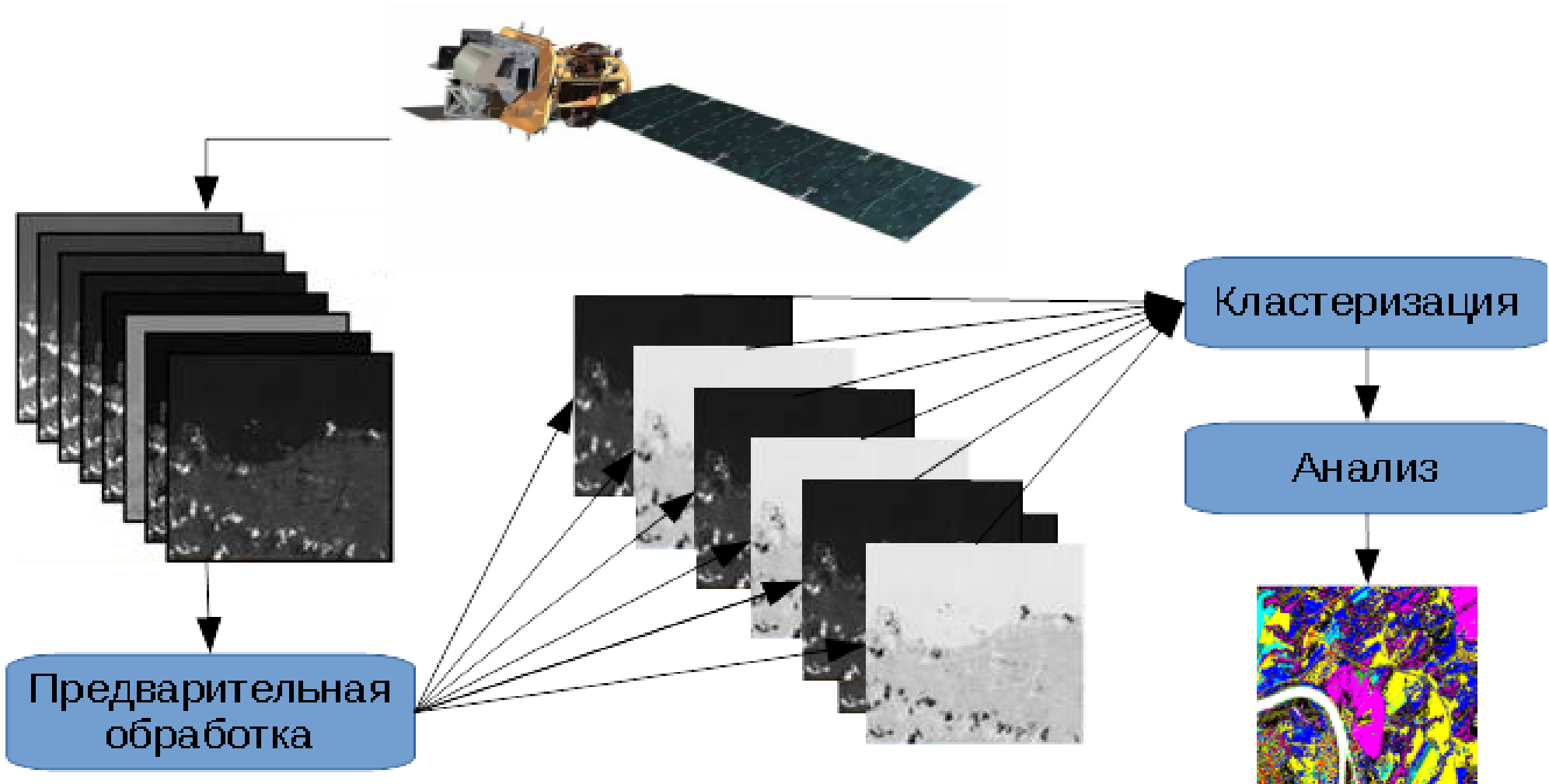


2015

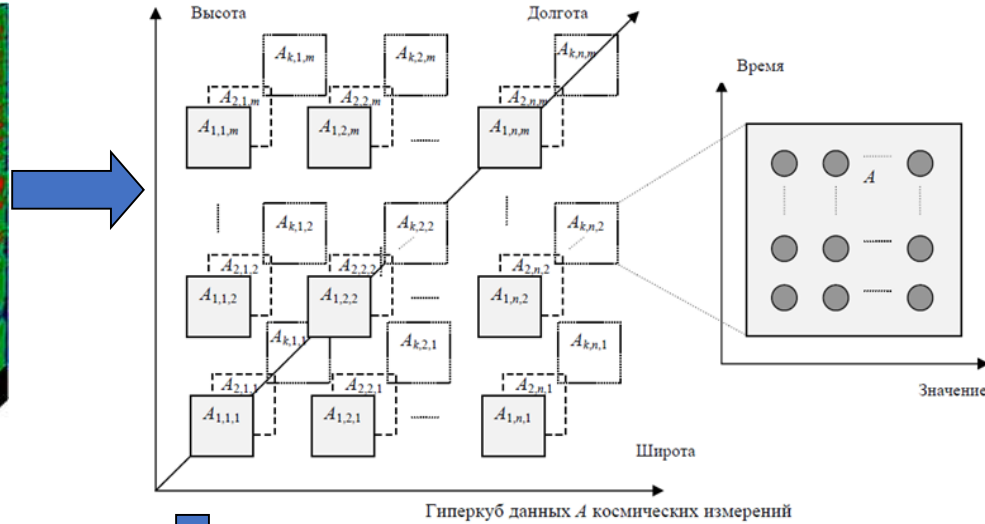
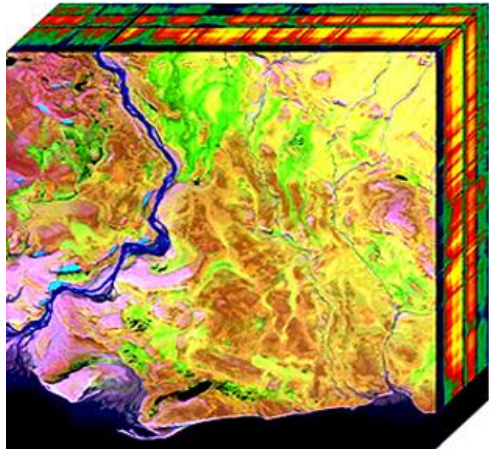


2014

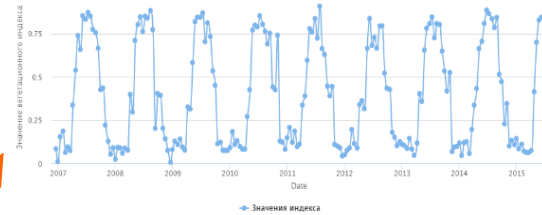




BigData и классификация пространственно-временных структур данных дистанционного зондирования

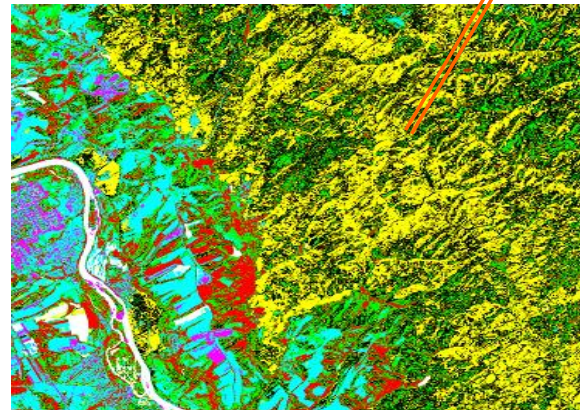


Способ представления данных для достижения скоростных свойств алгоритмов манипуляции, сжатия и классификации.

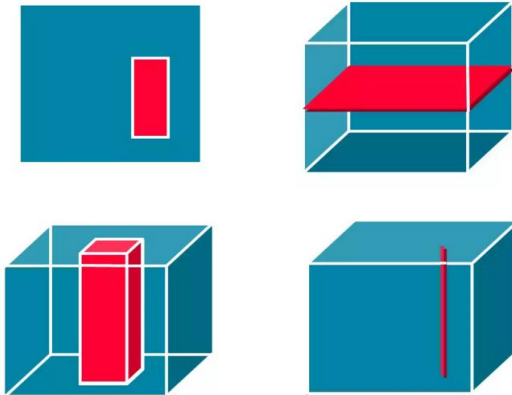


Изучение временных последовательностей рассчитанных индексов

Классификация – выделение типов поверхности

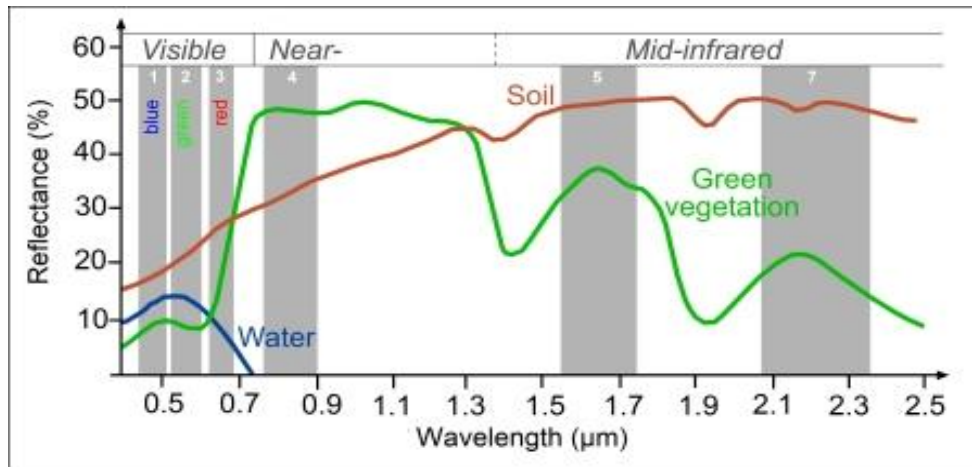


Манипуляция данными при вариантах считывания

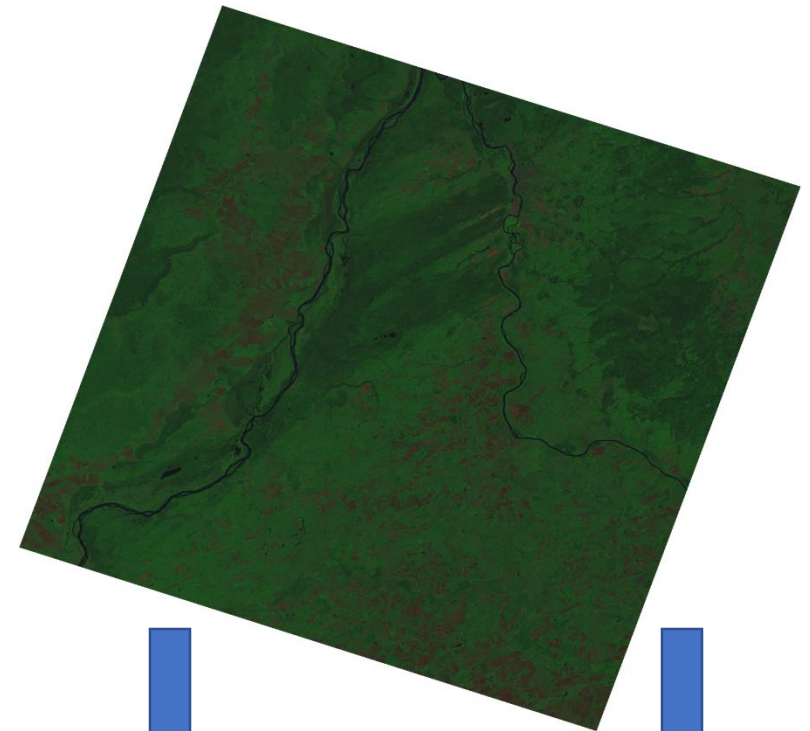


Типы данных для кластеризации

1. Кластеризация по отражению



2. Кластеризация по RGB изображению



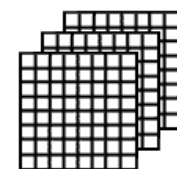
3. Кластеризация по индексам

Вегетационный NDVI
 Снежный NDSI
 Водный NDWI Greeness

4. Текстурные признаки

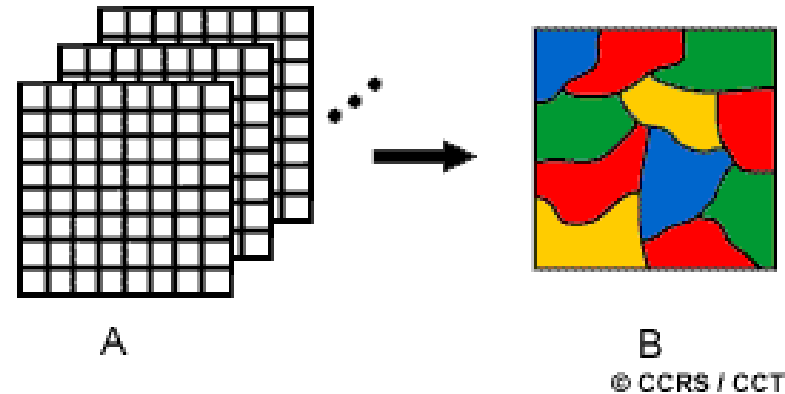
Horalik
 Statistic

5. Время



Краткий обзор методов кластеризации

- Классические алгоритмы (Алгоритмы, основанные на минимизации функционала, Алгоритм К – средних, Форель(FOREL), ИСОМАД(ISODATA), ПУЛЬСАР, иерархические алгоритмы.
- Современные алгоритмы
 - DBSCAN, BIRCH, CLARANS
- Различные подходы нечеткой кластеризации
- Подходы, основанные на нейронных сетях (NN, CNN)
- Непараметрические методы (RF, SVM, PCA)



$$d(i, j) = \sqrt[q]{(|x_{i_1} - x_{j_1}|^q + |x_{i_2} - x_{j_2}|^q + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|^q)}$$

$$d(i, j) = \sqrt{(|x_{i_1} - x_{j_1}|^2 + |x_{i_2} - x_{j_2}|^2 + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|^2)}$$

$$d(i, j) \geq 0$$

$$d(i, i) = 0$$

$$d(i, j) = d(j, i)$$

$$d(i, j) \leq d(i, k) + d(k, j)$$

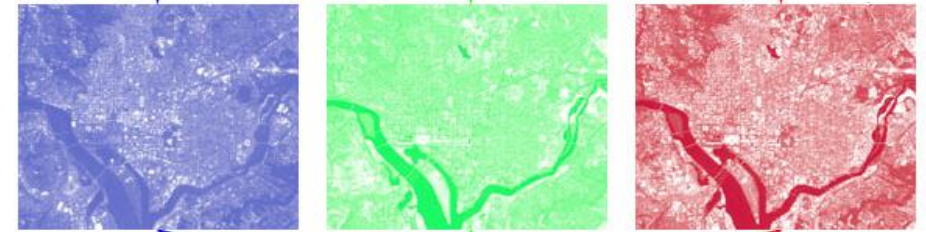
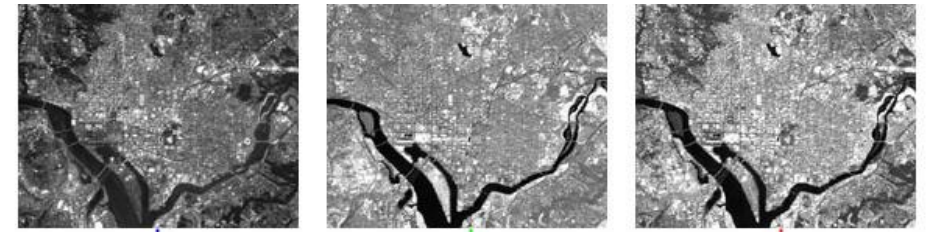
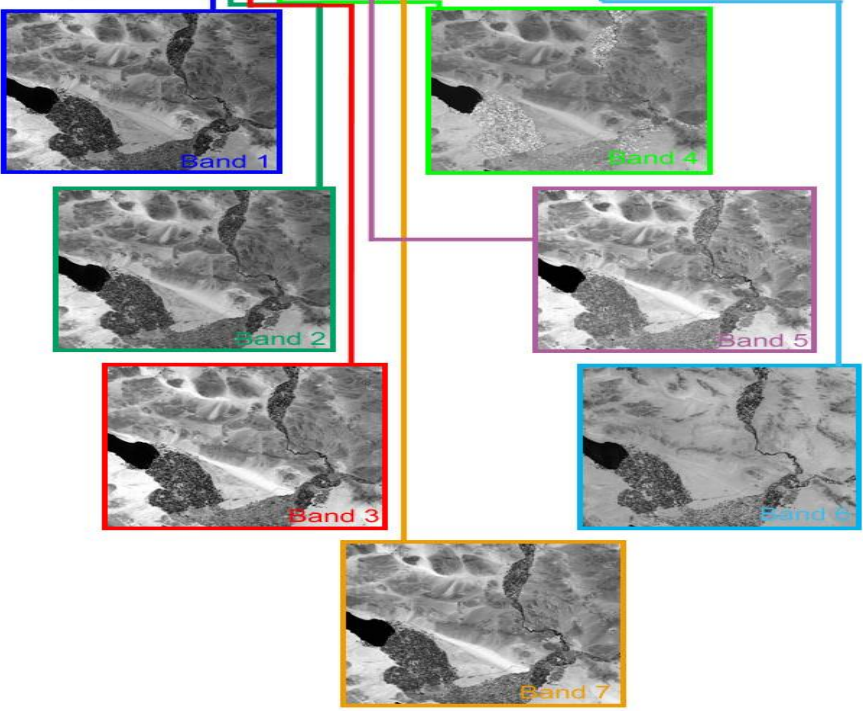
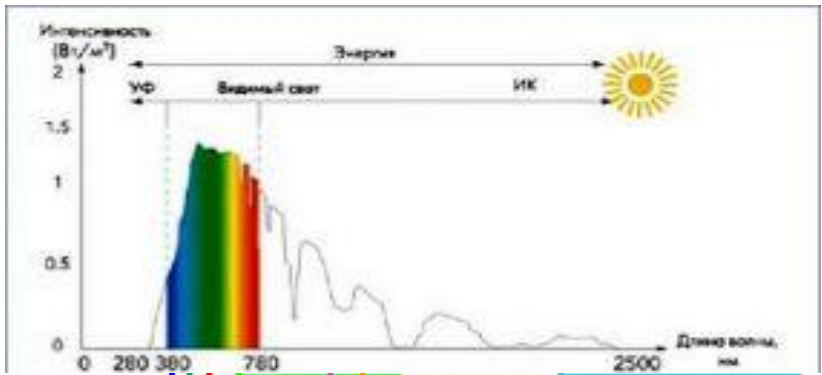
$$d(i, j) = |x_{i_1} - x_{j_1}| + |x_{i_2} - x_{j_2}| + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|$$

Сравнение математических методов кластеризации

Методы, основанные на применении бинаризации	<ul style="list-style-type: none"> – простота реализации; – высокая скорость обработки. 	– большая вероятность ошибочной сегментации
Методы, основанные на поиске границ регионов	<ul style="list-style-type: none"> – возможность изменения порога классификации; – низкая чувствительность к изменениям характеристик изображения. 	<ul style="list-style-type: none"> – алгоритм не работает при разрыве границы; – неточное выделение областей; – низкая скорость работы; – многоступенчатость метода.
Методы, основанные на поиске регионов	<ul style="list-style-type: none"> – широкая область применения; – возможность изменения порога классификации; – скорость работы; – устойчивость к ошибкам на первых этапах метода; – точность сегментации. 	– при работе с большими областями возрастает вероятность ошибки и снижается быстродействие.
Методы использующие Марковское случайное поле	– высокое качество сегментации по текстуре.	– сложность реализации.
Методы теории графов	– возможность помимо однородности цвета и текстуры сегментов управлять также формой сегментов, их размером и сложностью границ.	<ul style="list-style-type: none"> – низкая скорость работы; – большие затраты памяти.
Методы основанные на признаке движения	– точность сегментации. – при изменении освещенности возможно появление аномальных векторов;	– большая вычислительная сложность.

СИНТЕЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ LANDSAT

Спутниковые каналы



Цветное синтезированное изображение

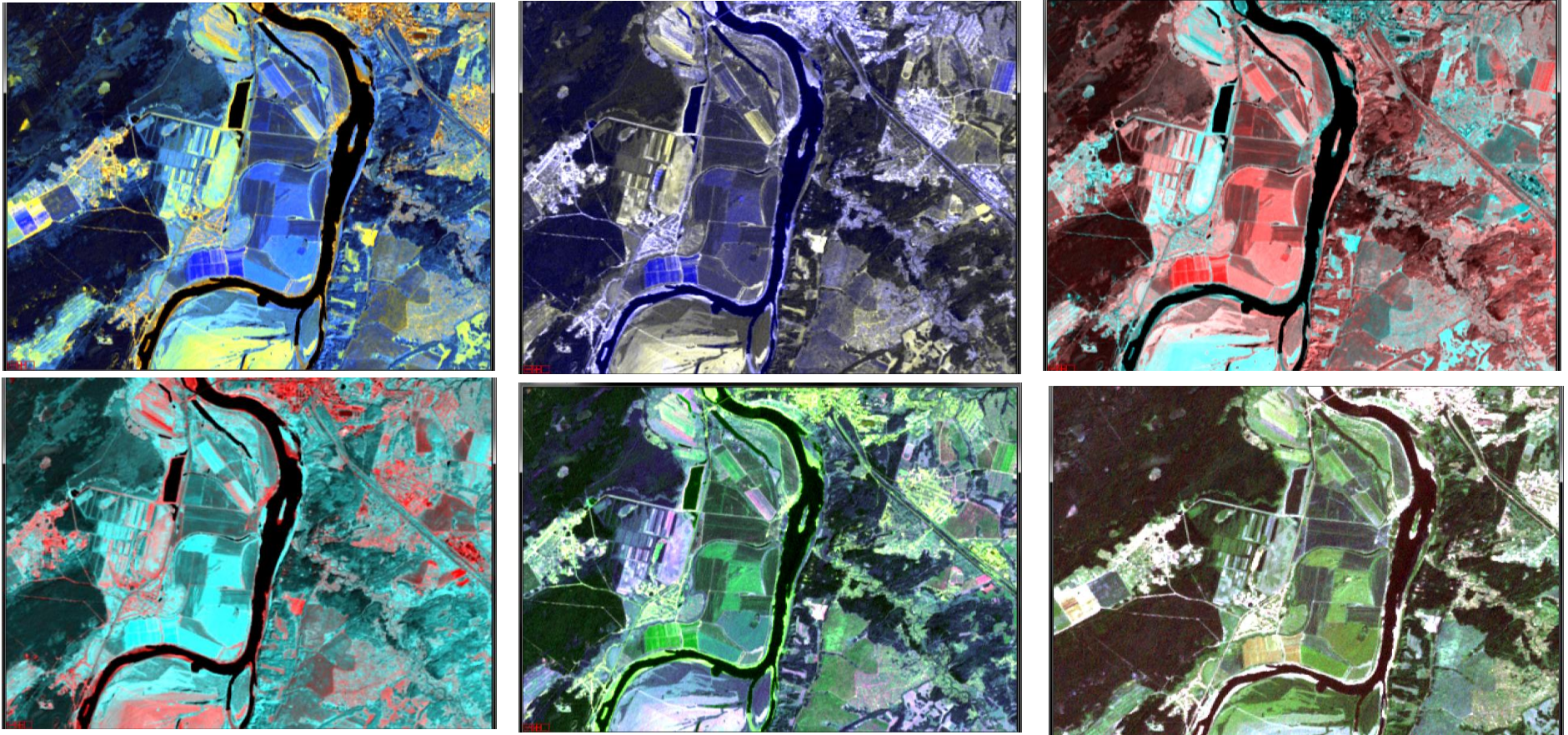


Спектральные каналы 4, 3, 2



Спектральные каналы 5, 4, 3

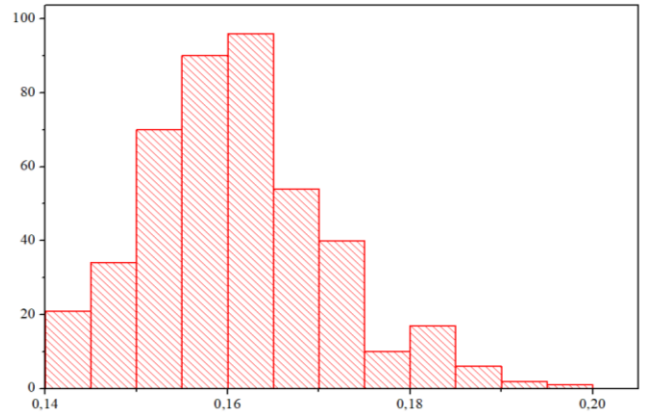
Пример синтеза изображений для СХ района Кисловка, Томский район



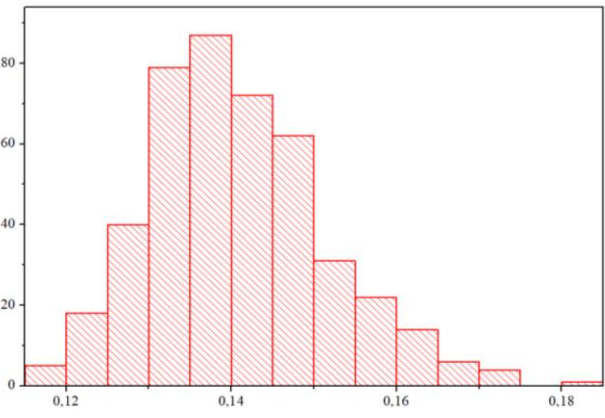
Синтезированные рисунки на основе знаний спектров отражения позволяют выделять различного типа состояния почвы и растительности.

Гистограммы яркостной составляющей спутникового изображения

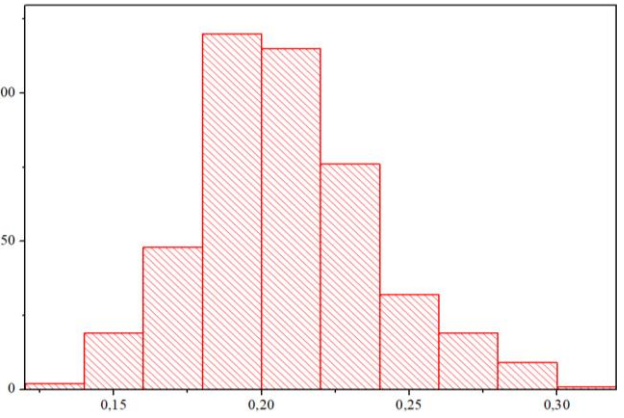
Канал 1



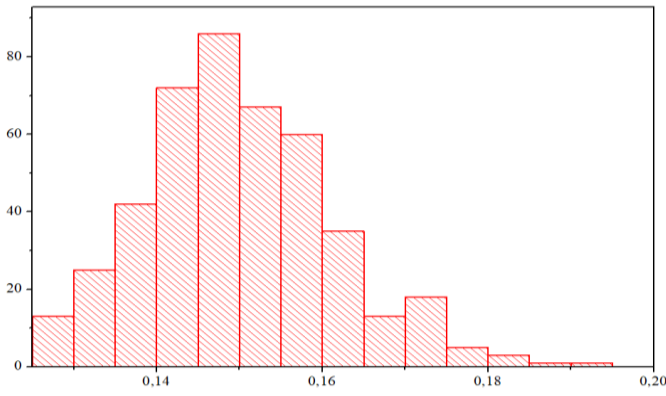
Канал 3



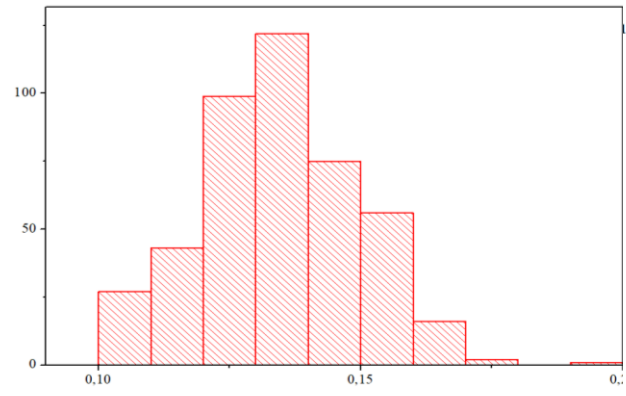
Канал 5



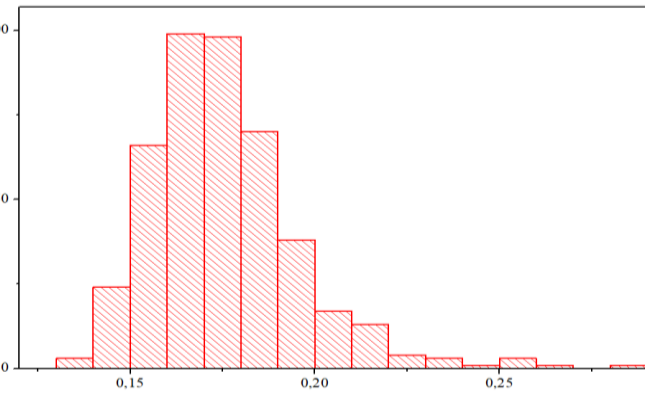
Канал 2



Канал 4

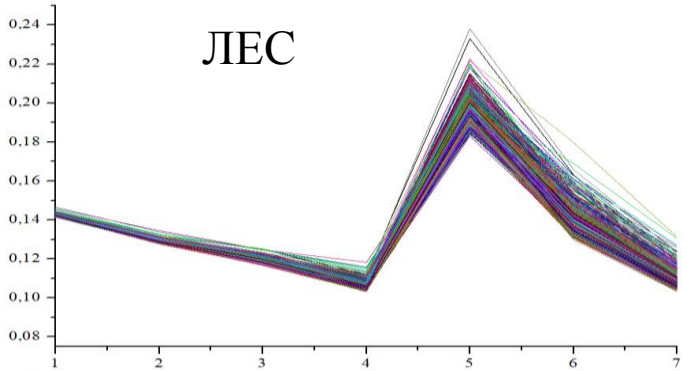


Канал 6

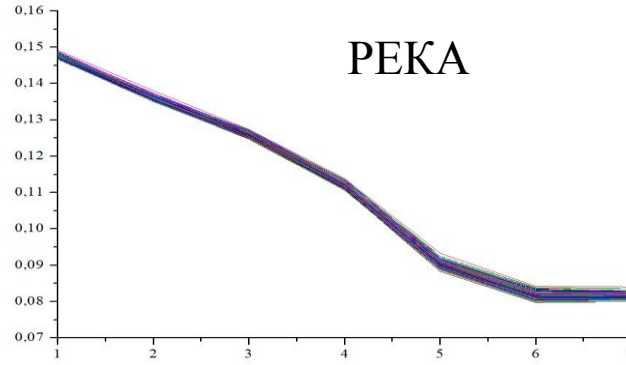


ГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

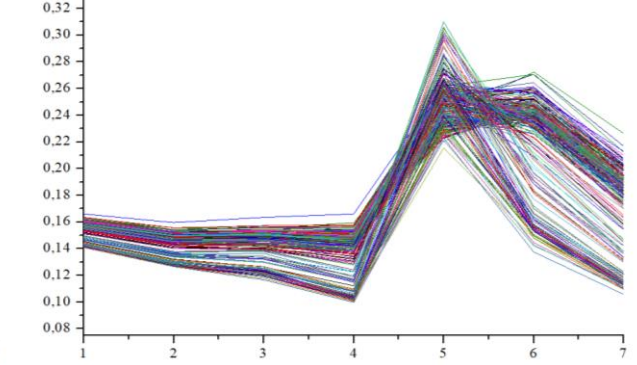
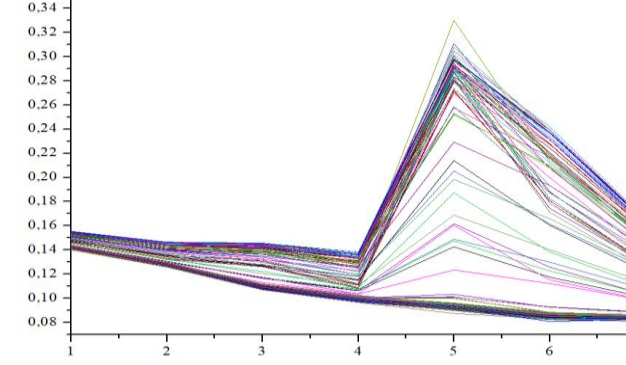
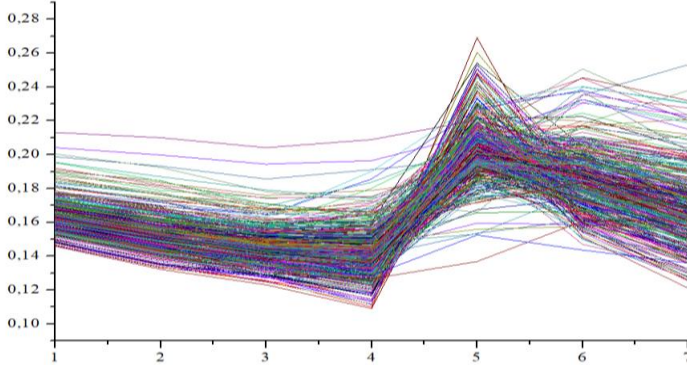
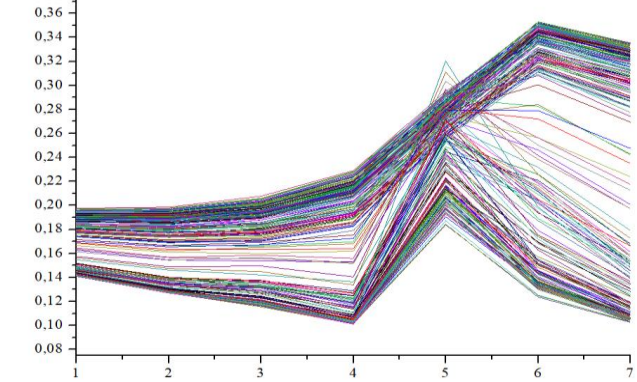
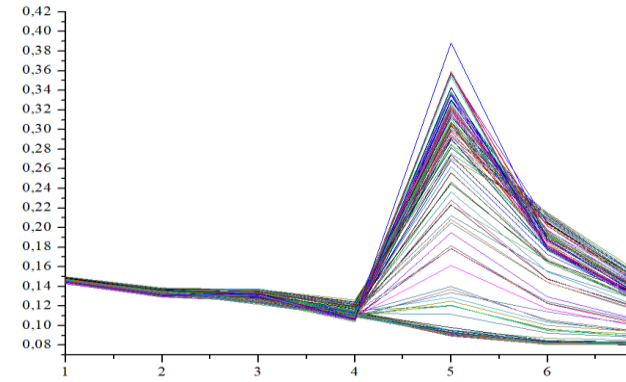
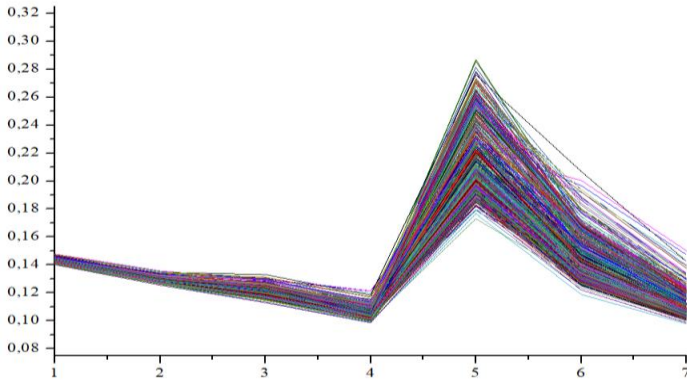
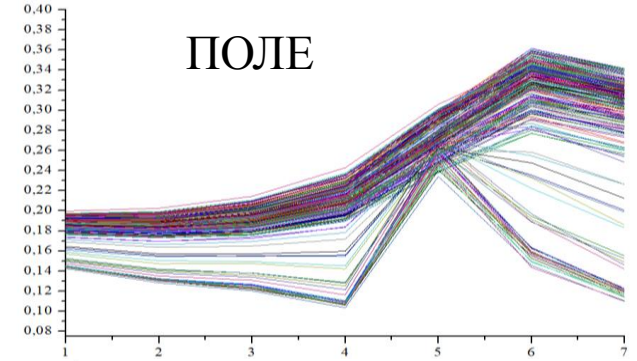
ЛЕС



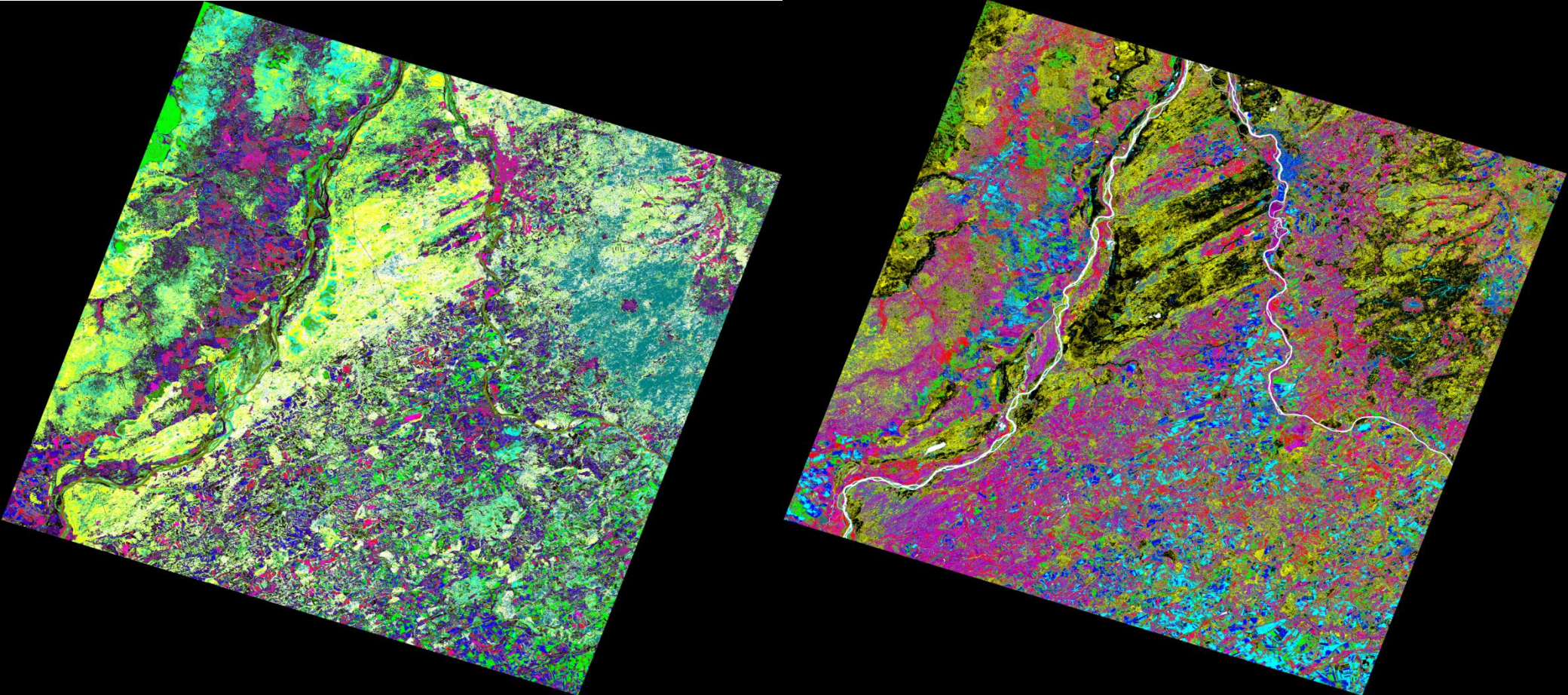
РЕКА



ПОЛЕ



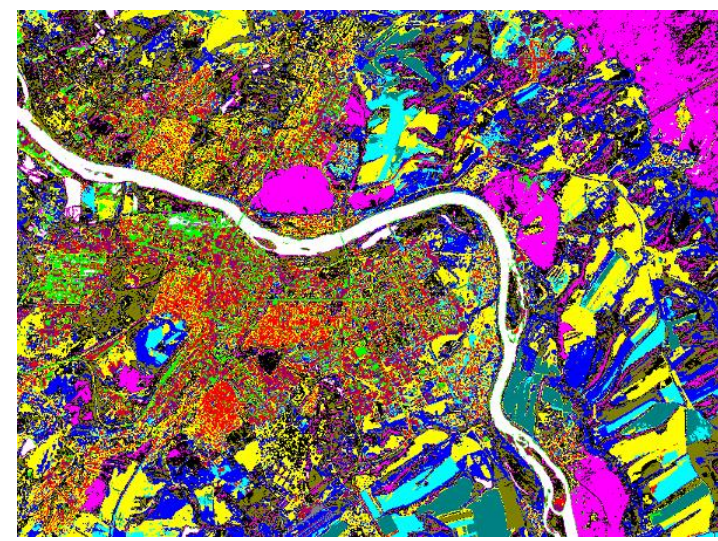
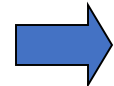
Кластеризация синтезированных изображений RGB



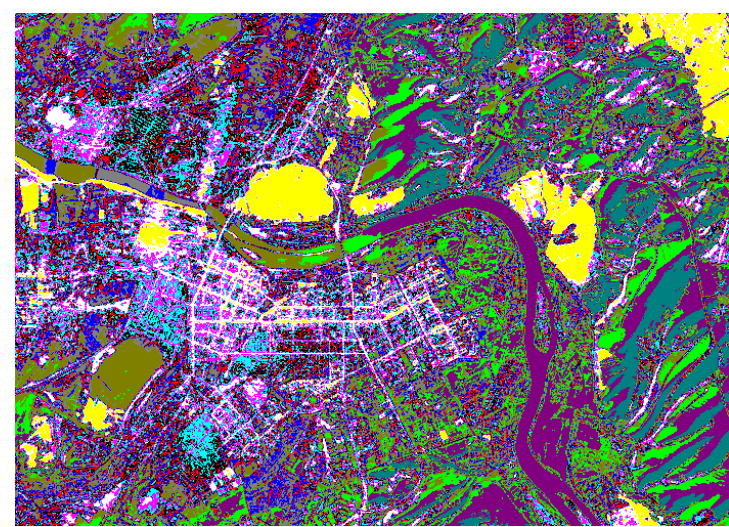
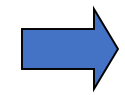
Комбинация каналов 4, 3, 2.

Комбинация каналов 5, 4, 3.

ПРИМЕР КЛАСТЕРИЗАЦИИ



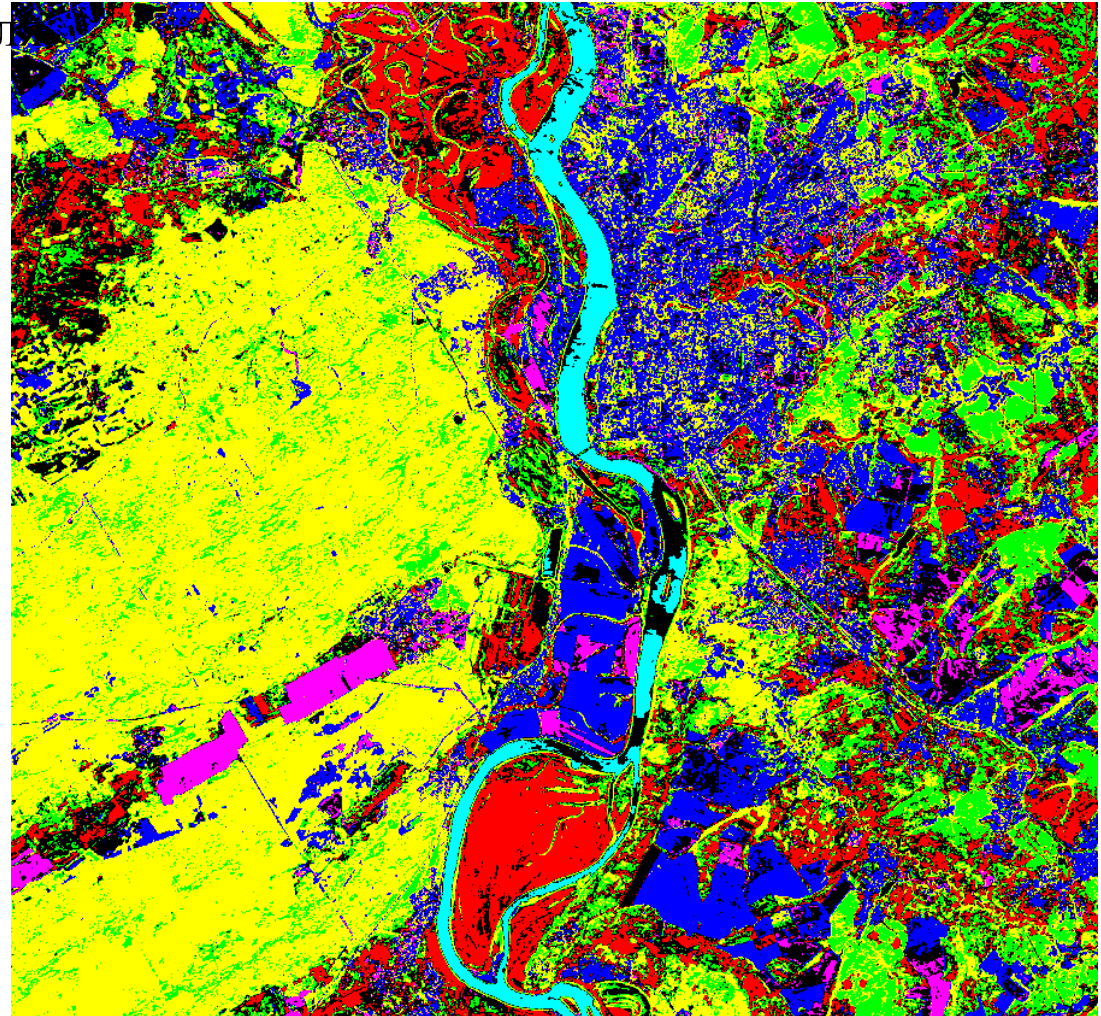
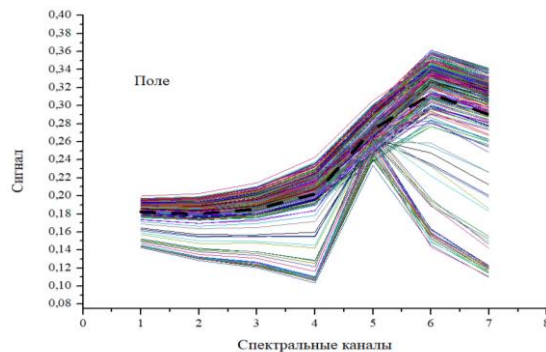
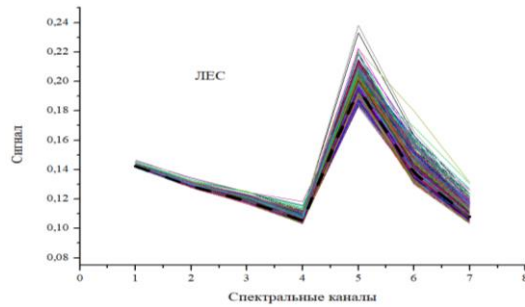
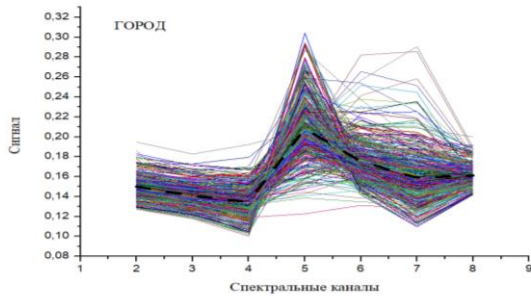
Лето



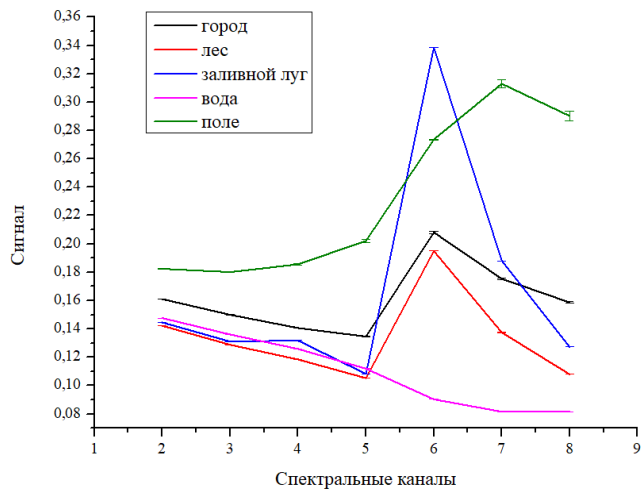
Зима

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПО СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ 1

Значения яркости в каждом канале для разных типов поверхности при спектральных кривых

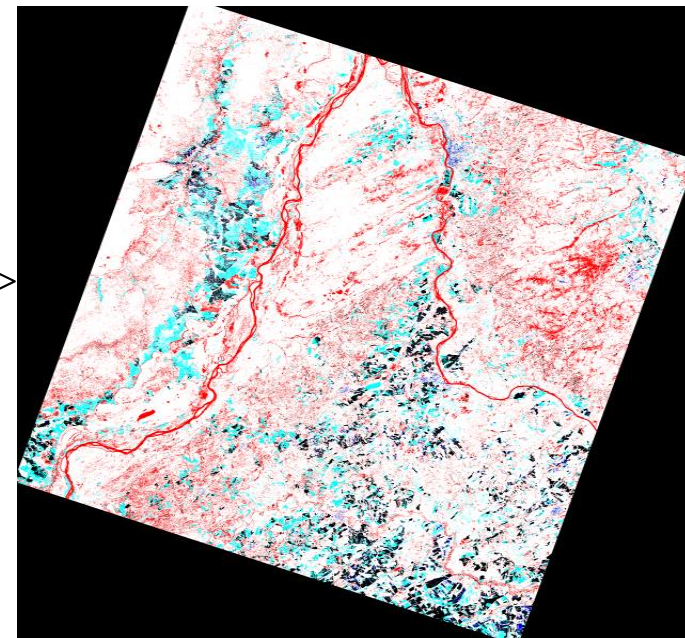


КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПО СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ 2

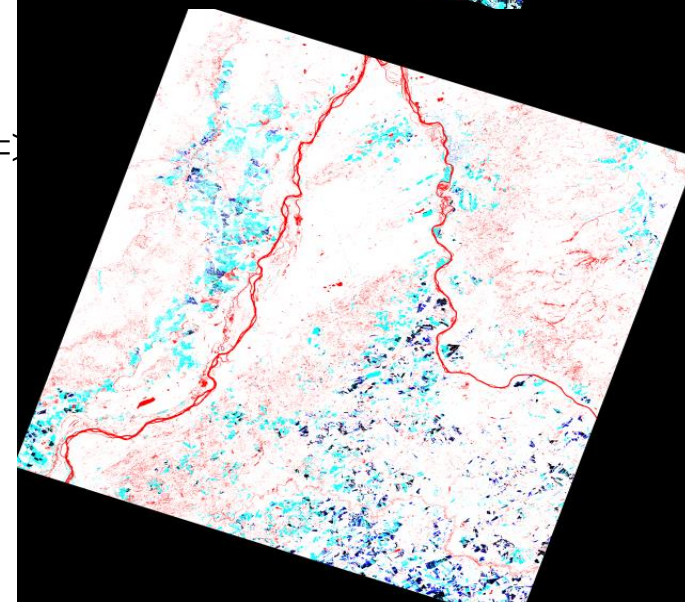


Средние значения яркости в каждом канале для разных типов поверхности

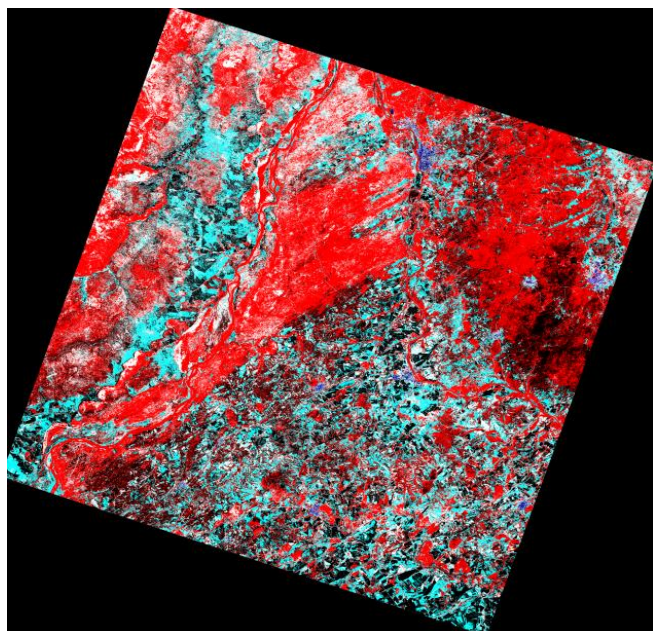
Средние значения $\pm 20\%$ =>



Средние значения $\pm 30\%$ =>

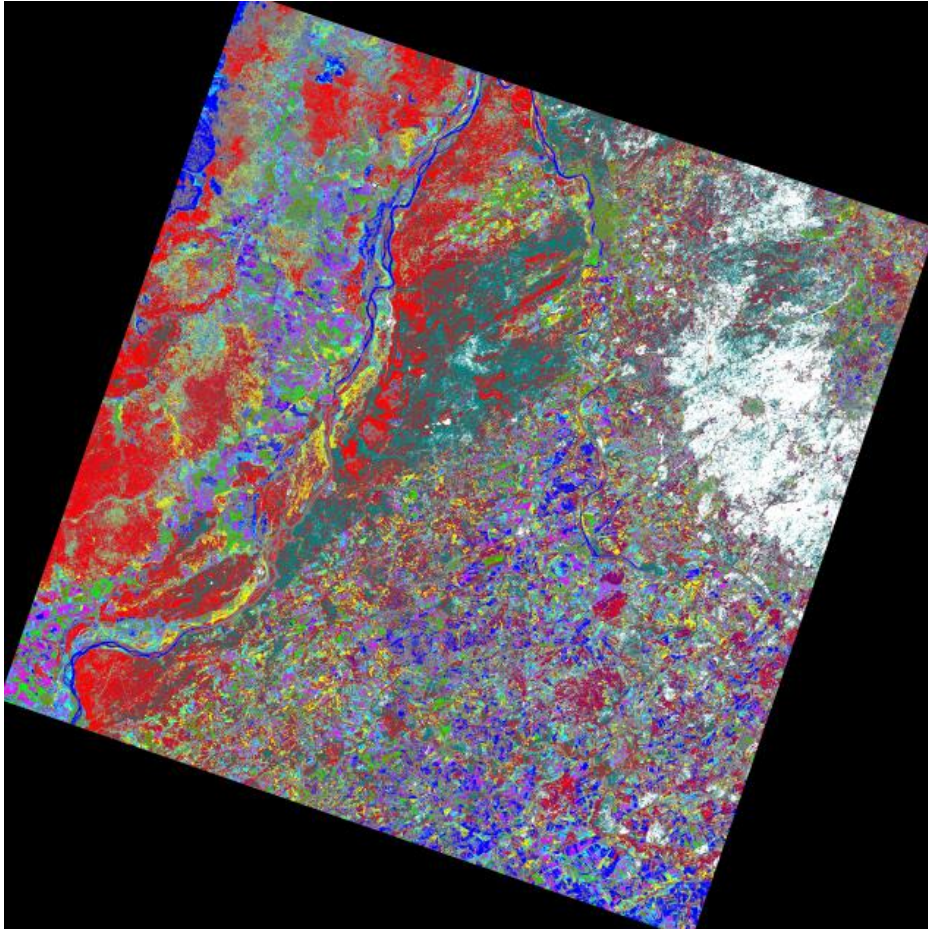


<= Средние значения $\pm 10\%$

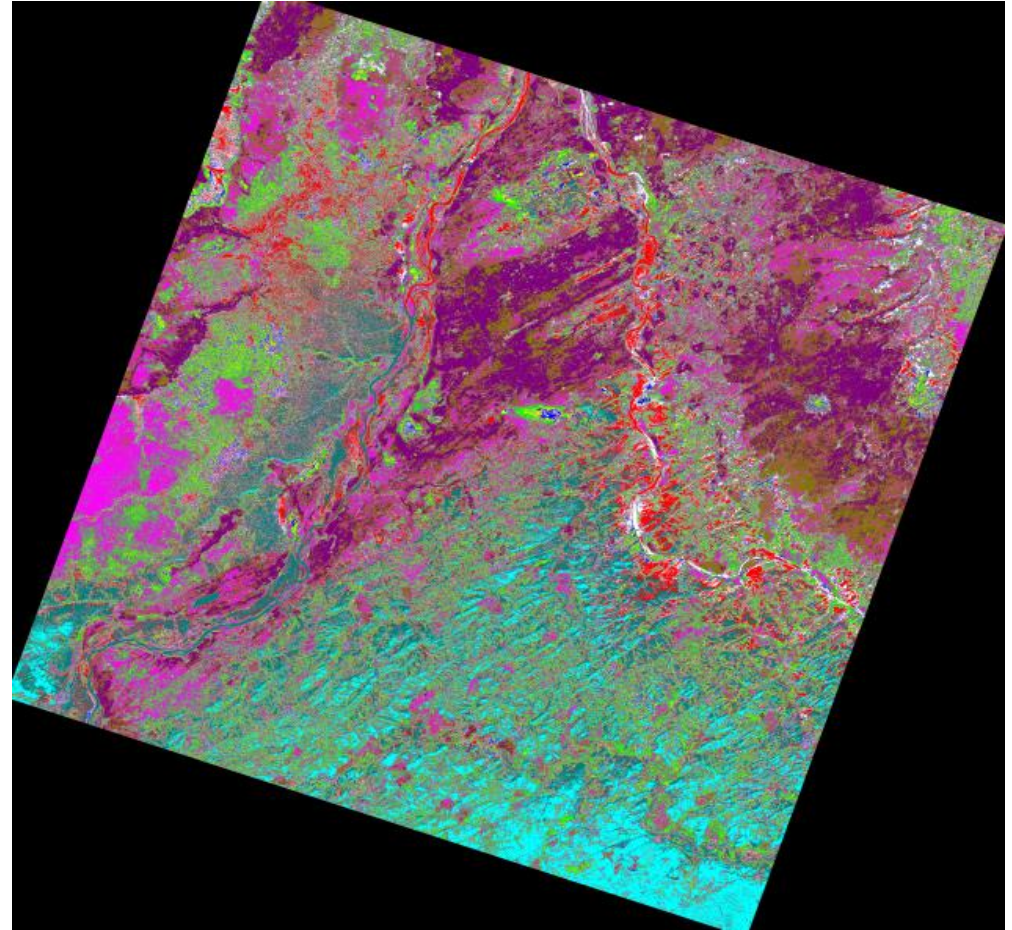


СРАВНЕНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЛЕТНИХ И ЗИМНИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

34

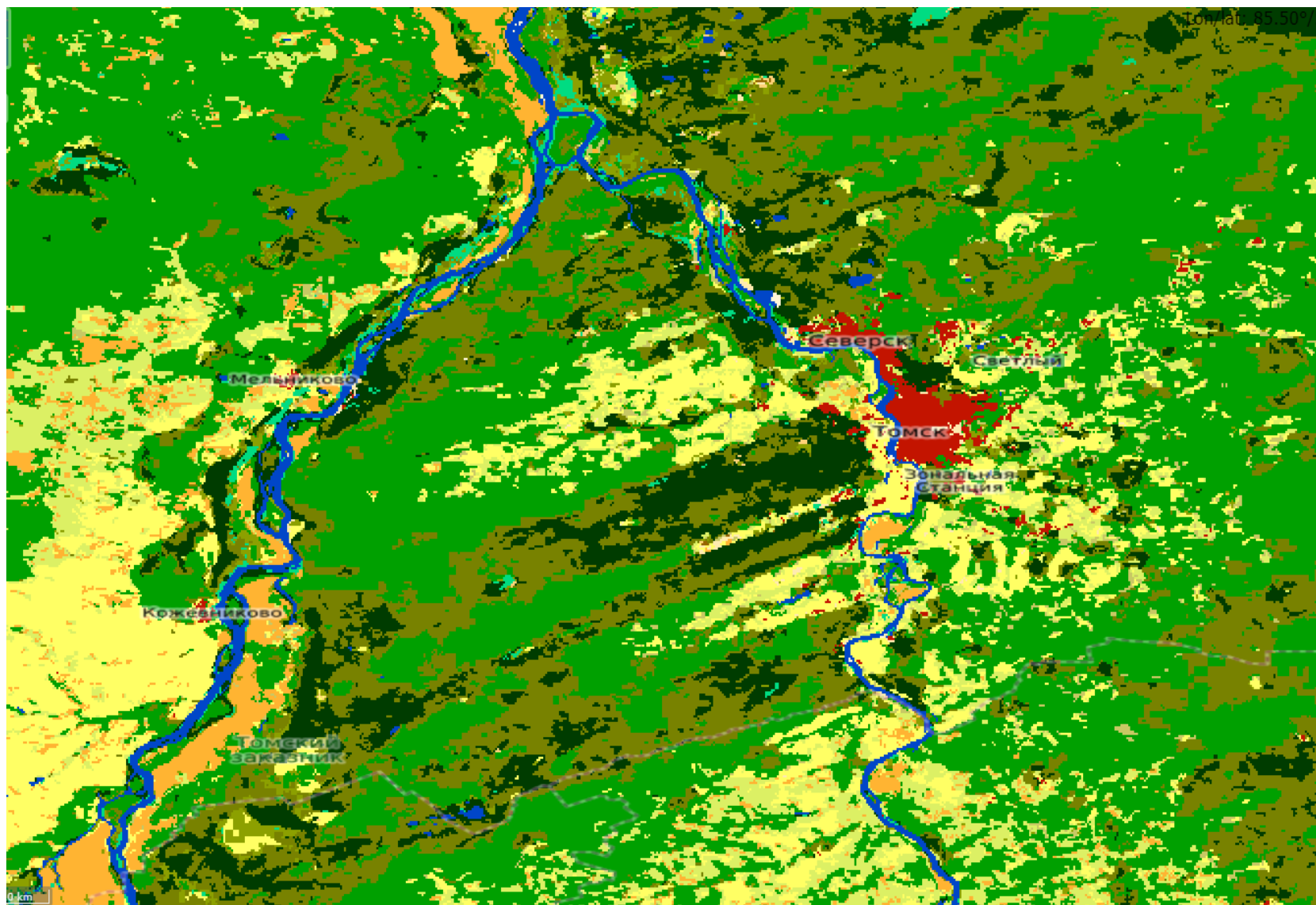


Лето (7 каналов)

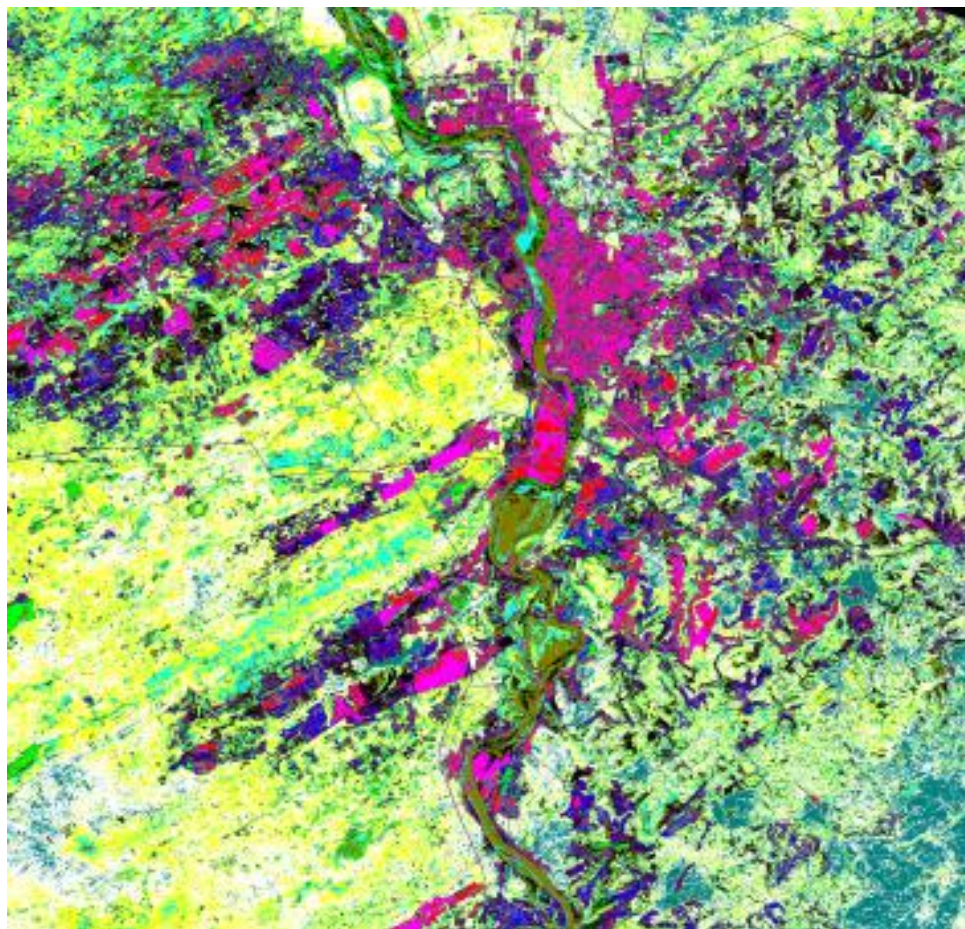


Зима (7 каналов)

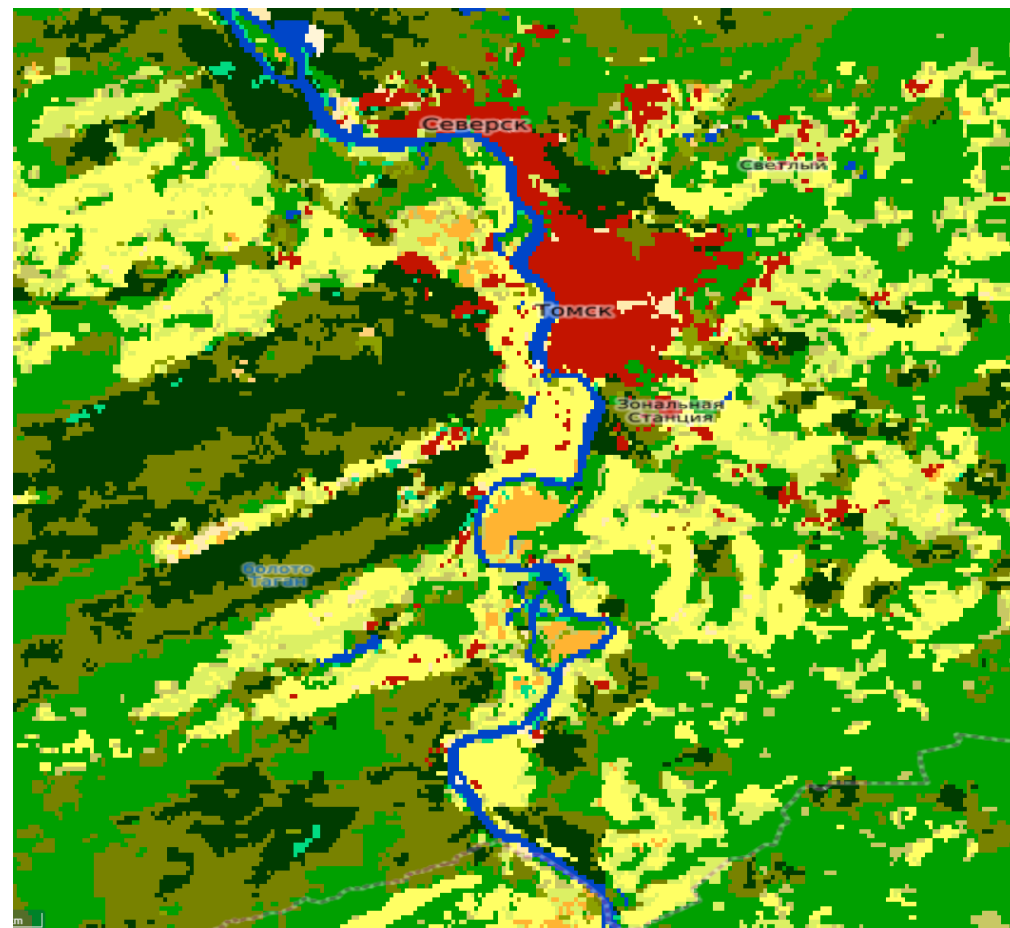
АНАЛОГ (GLOBALAND30)



СРАВНЕНИЕ



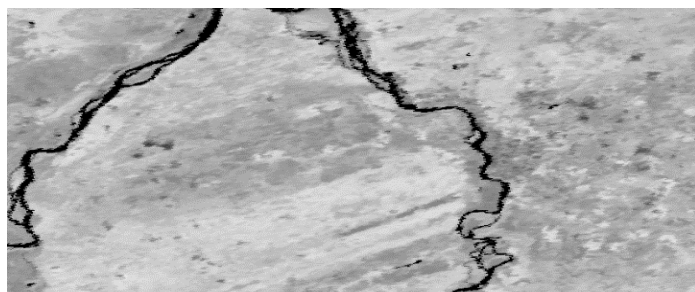
Наши результаты



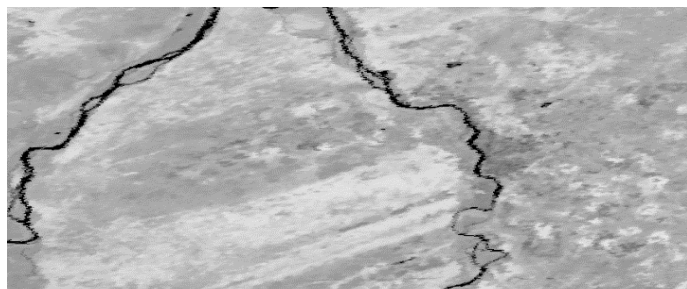
Globaland30

Два метода поиска обнаружений

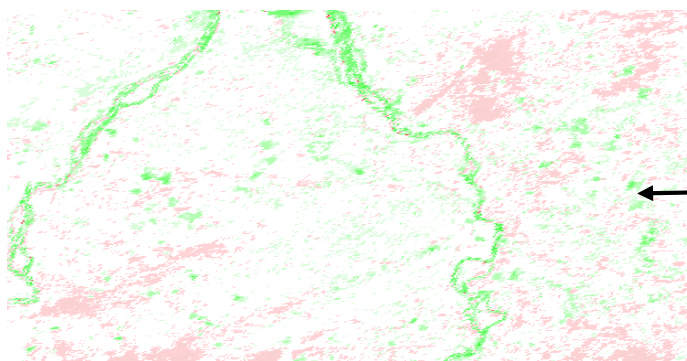
Разностный метод



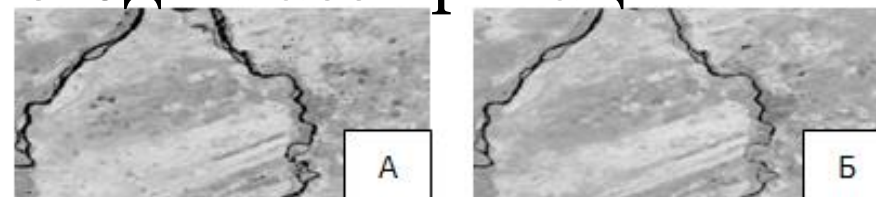
-



=

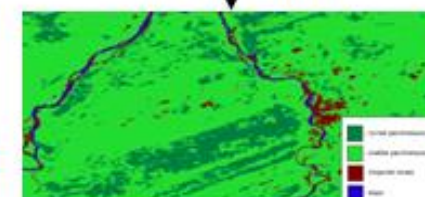
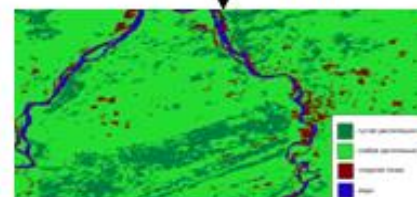


Метод классификации



Классификация

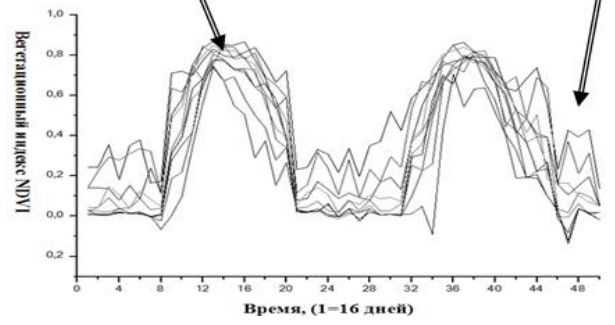
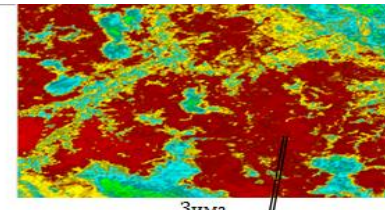
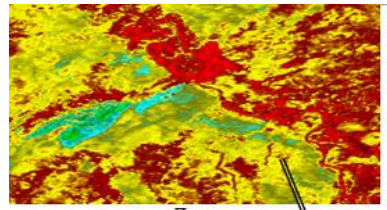
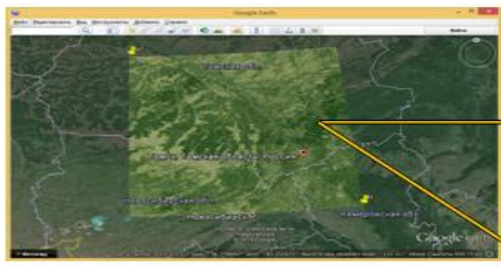
Классификация



Сравнение

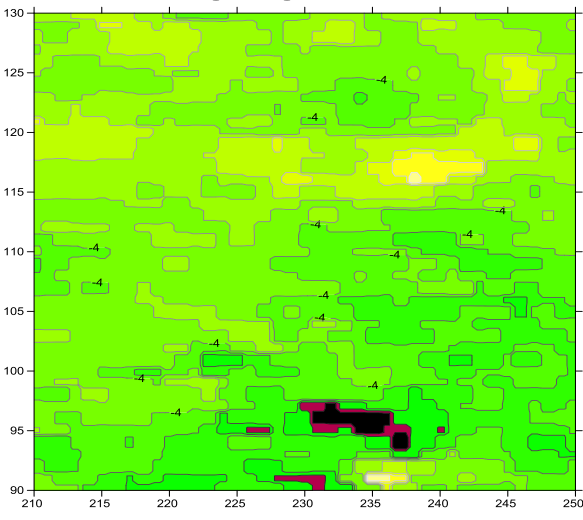
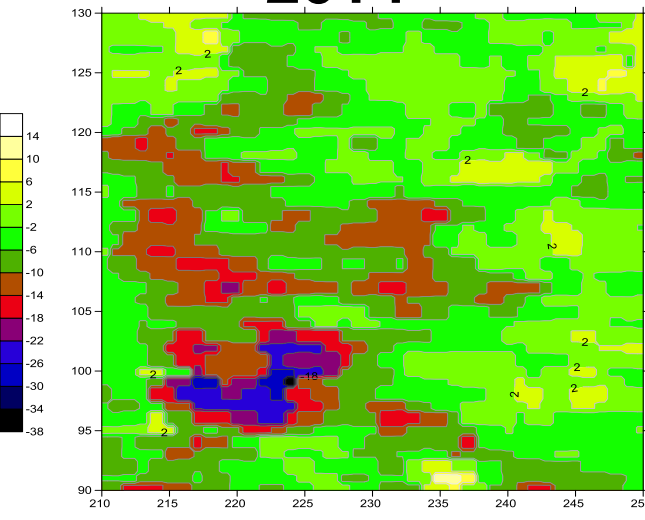


ПОИСК ИЗМЕНЕНИЙ

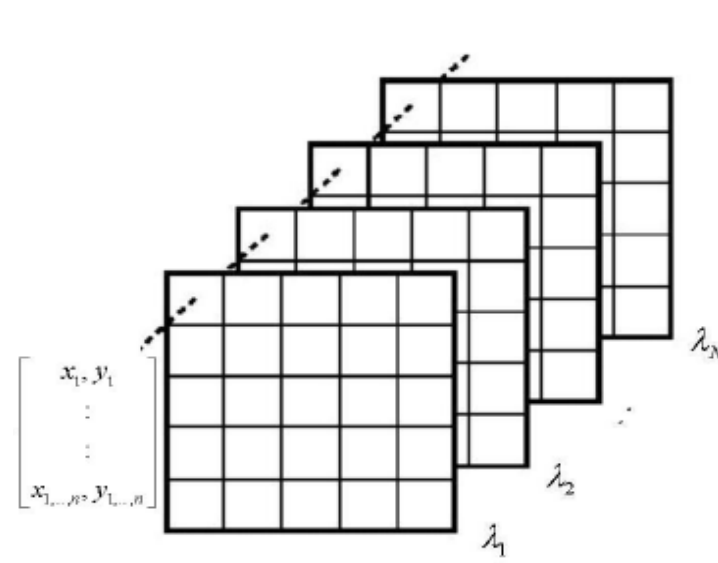


2014

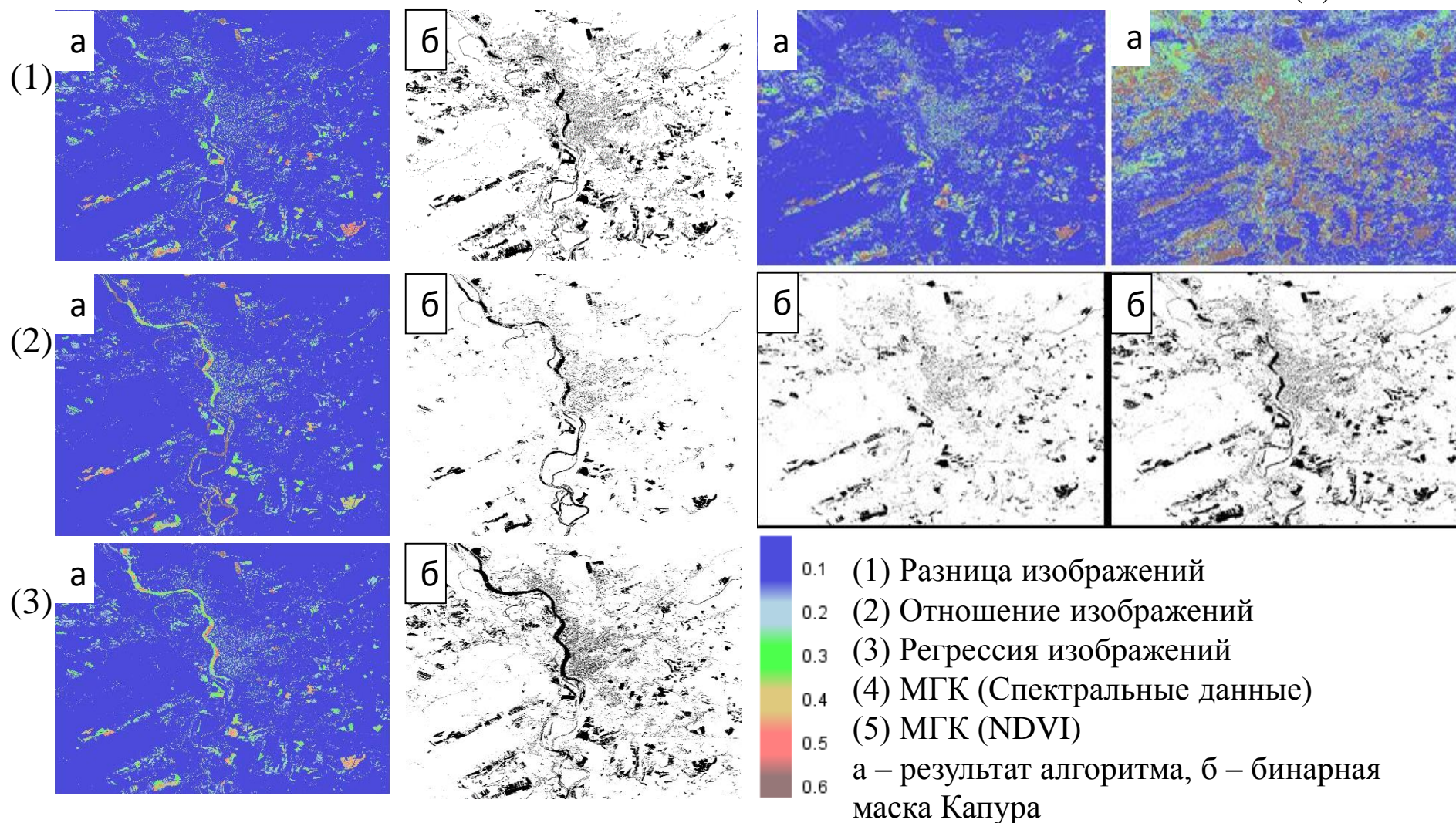
2010



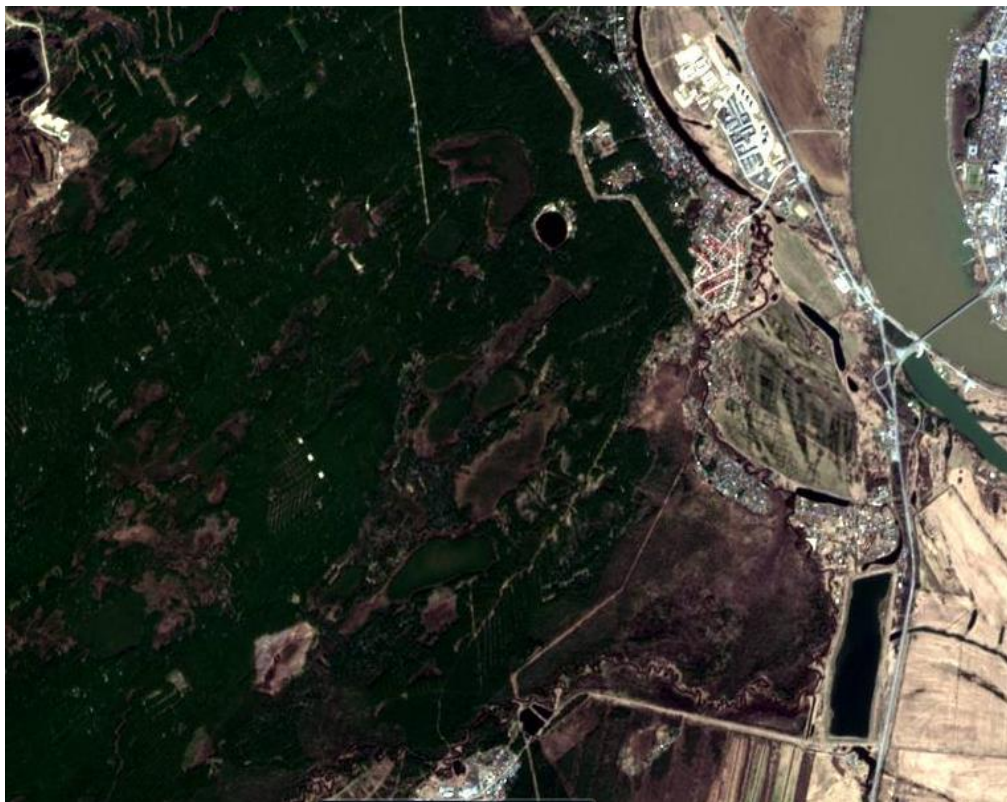
Мкрн. Зеленые горки, г.Томск



Результаты работы алгоритмов пространственных изменений во времени



Получение информации о состоянии лесных насаждений



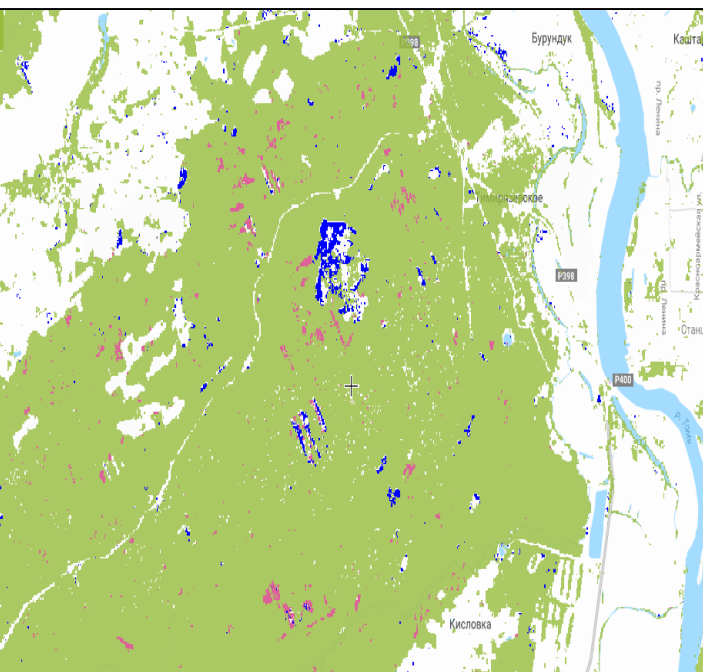
Синтезированное
изображение

10.05.2018

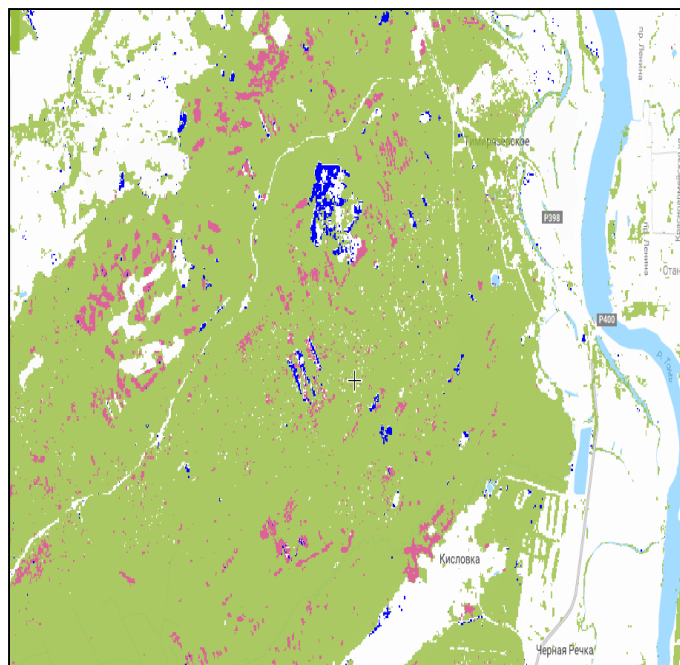


Вегетационный индекс

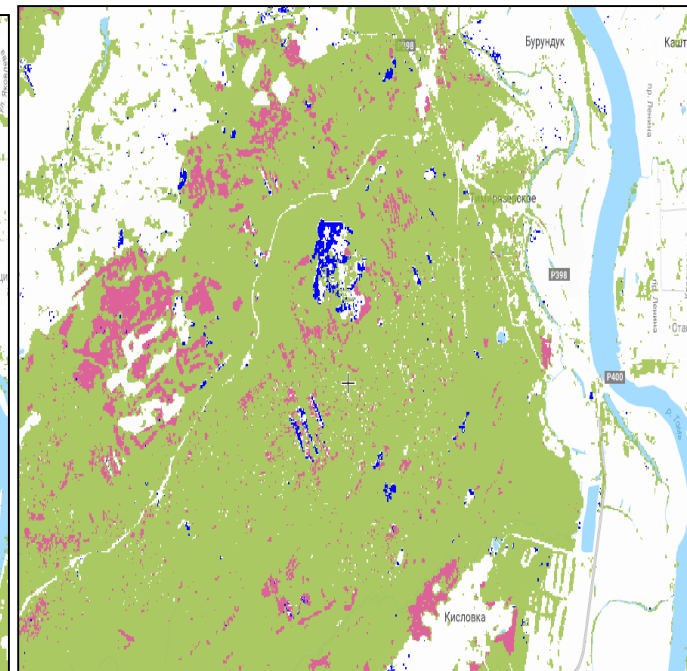
Картографирование и анализ состояния объектов



2005 г.



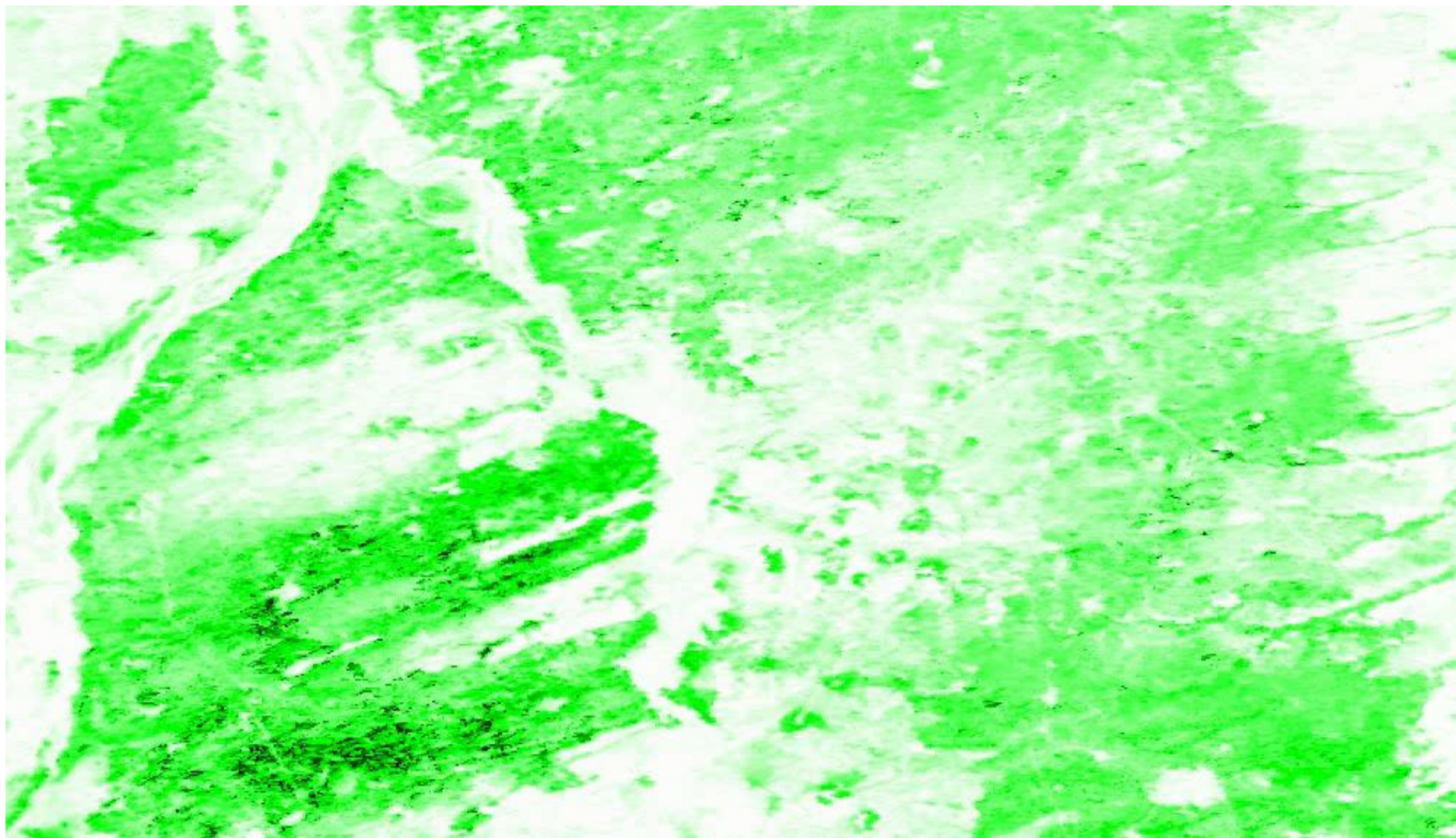
2010 г.



2015 г.

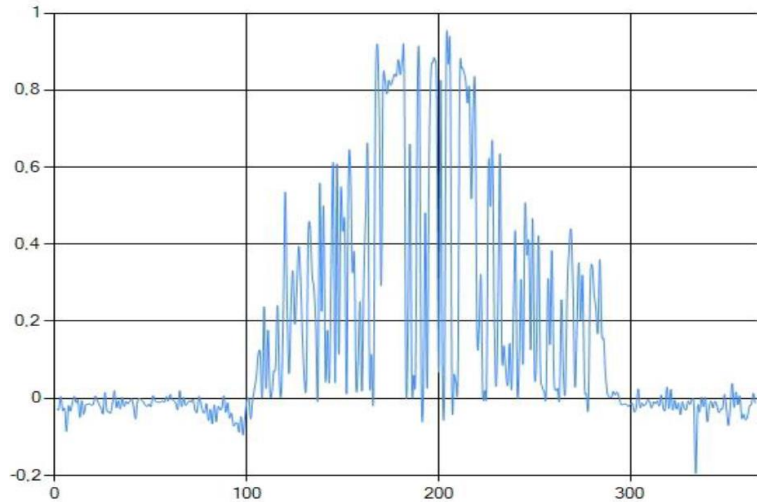
Карта изменения состояния леса за 10 лет, в районе г.Томска.
Розовым показаны участки, где лес вырублен или его состояние изменилось.

2016-год томского междуречья

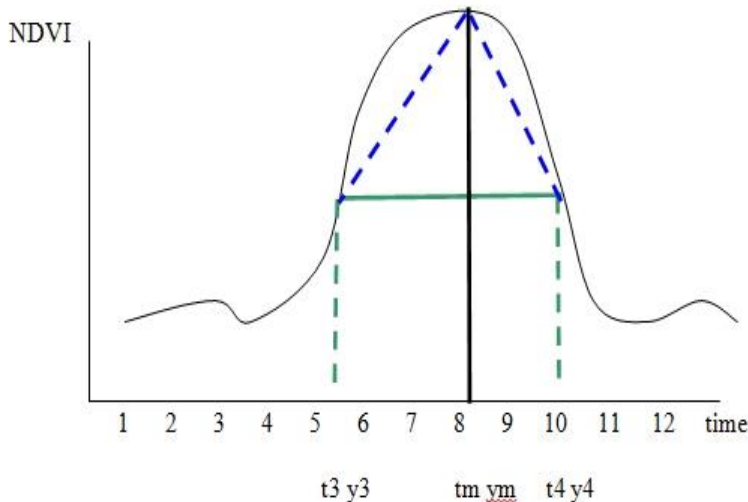
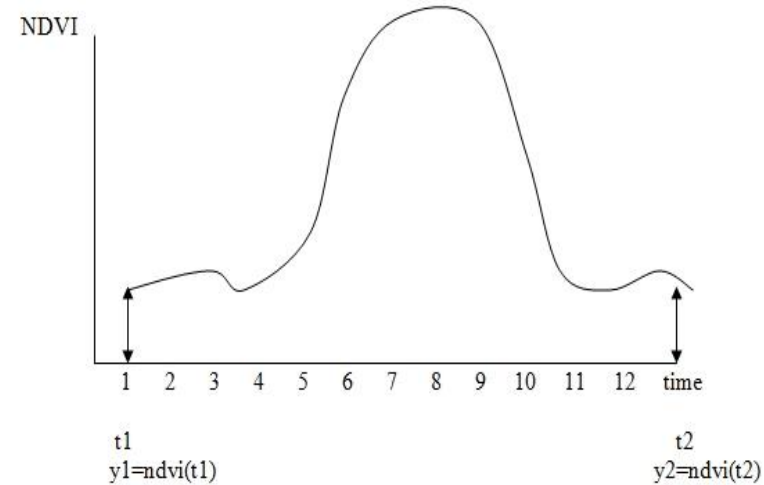


Временной ряд функции вегетационного индекса

Исходный временной ряд NDVI.



Нормализованный временной ряд NDVI

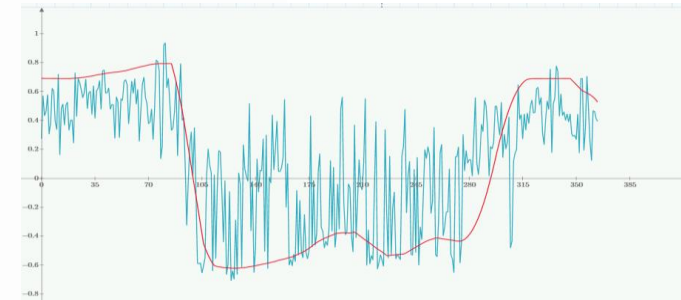
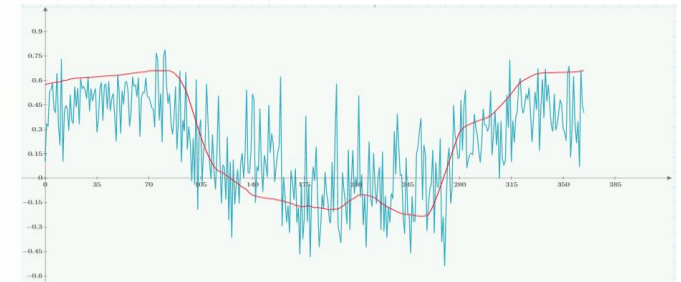
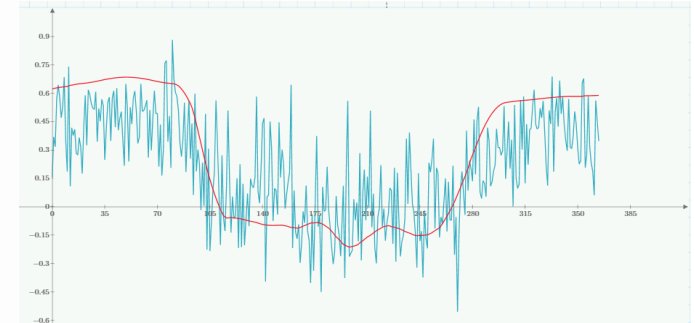
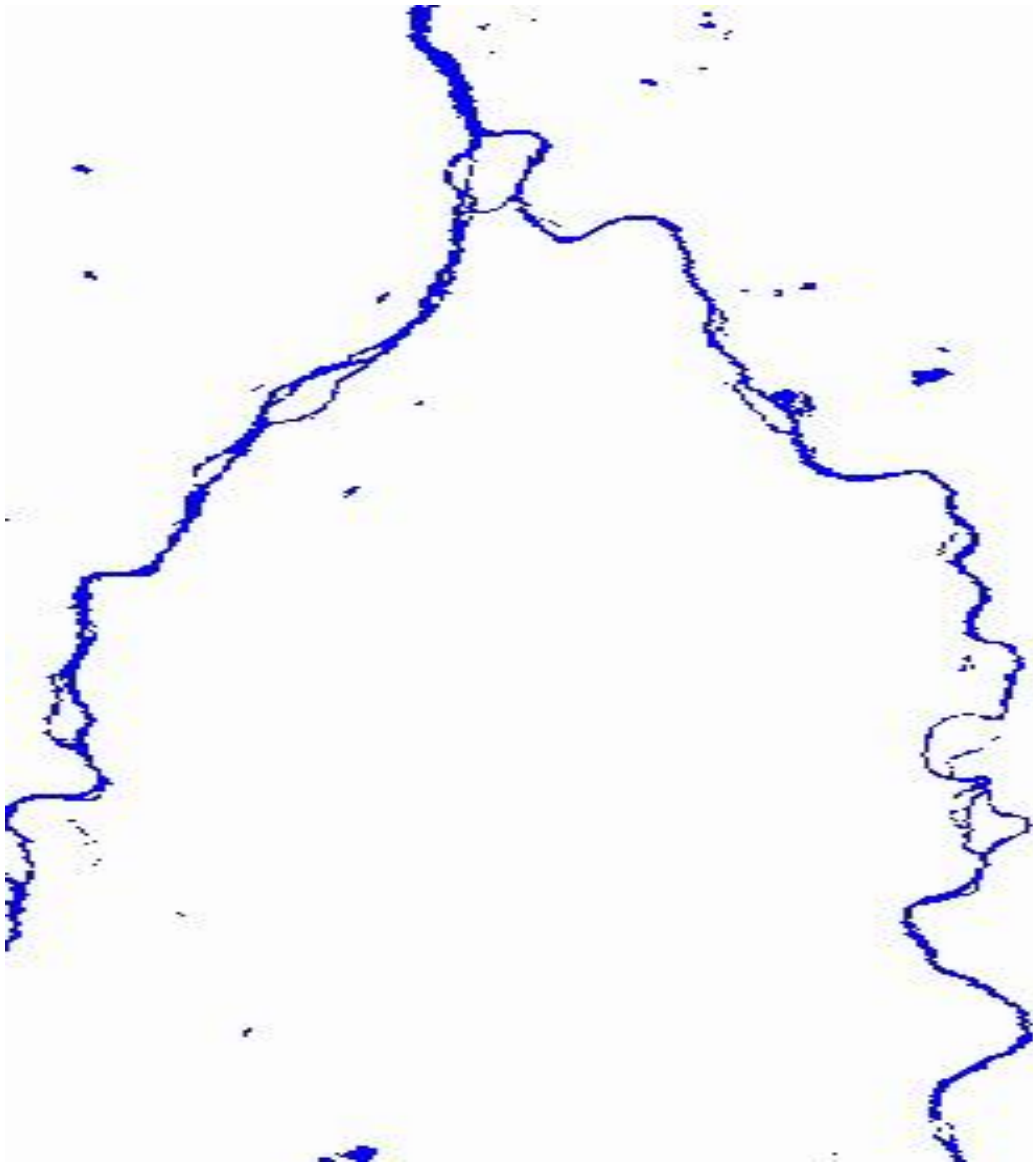


Определение параметров

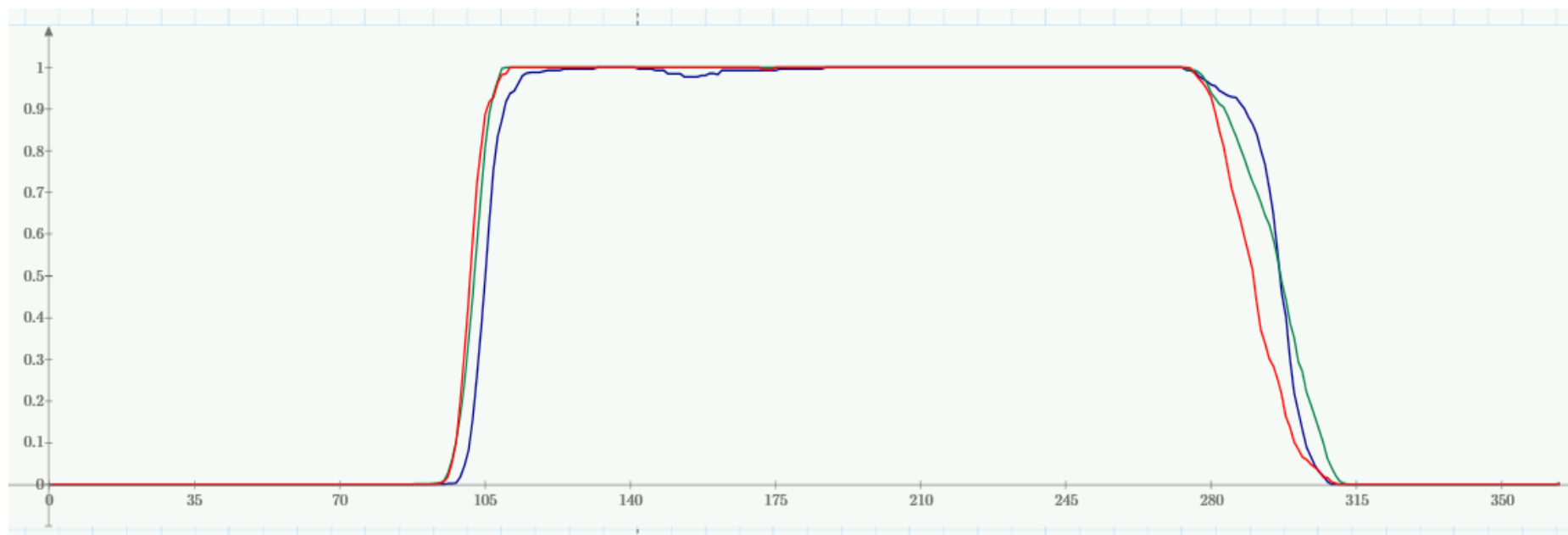
Время t1	0	ВИ	-0,0284
Время t2	364	ВИ	-0,0122
угол наклона b	0,000044		
Максимум Функции tm	167	ym	0,9189
Время t5	104	ВИ	0,0584
Время t6	286	ВИ	0,0584
Дельта t	182		
t3 при A3/2	119	t4 при A3/2	248
Дельта t1	129		
Альфа1	0,0083		
Альфа2	0,0030		
Площадь	112,2722		

Параметры годового цикла NDVI

Время паводка и замерзания.

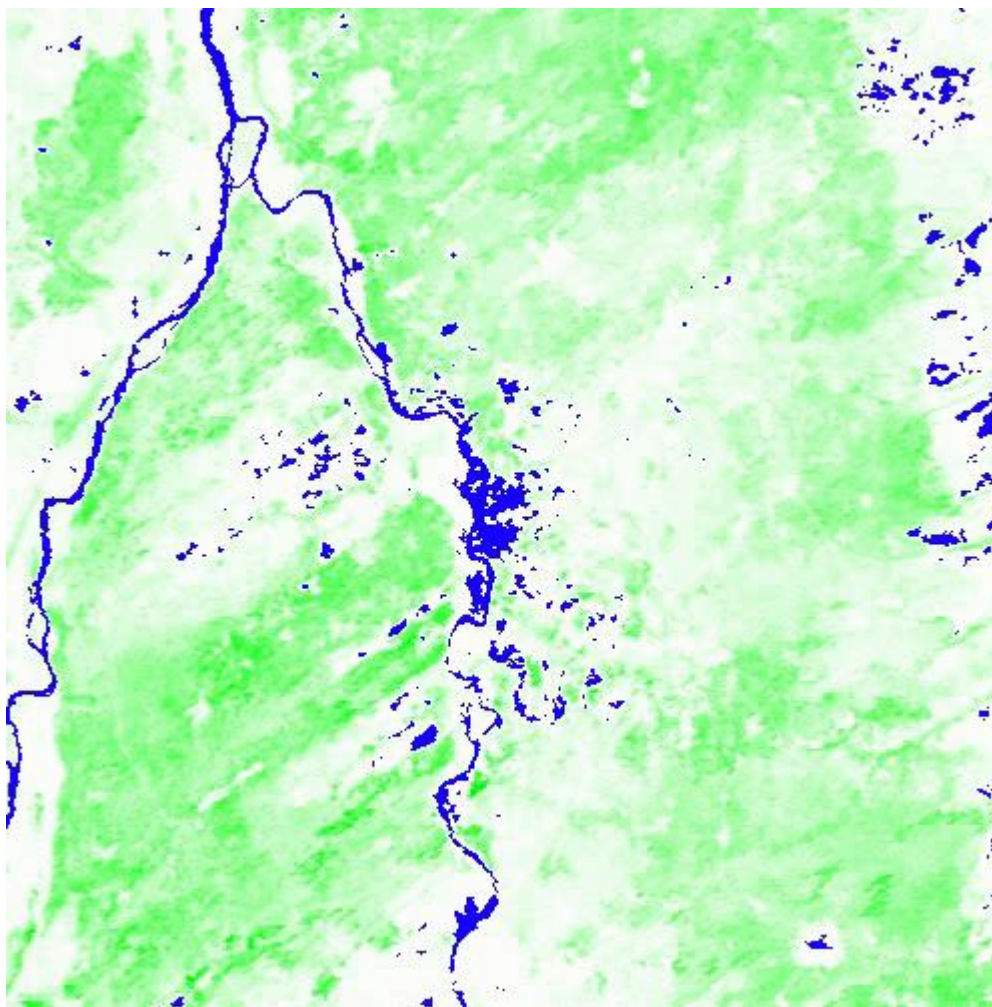


Время оттаивания и замерзания рек Оби и Томи



красная — юг, зелёный — середина (Колпашево), синий — север

Процесс схода снега



СПАСИБО

ЗА

ВНИМАНИЕ

!!!