

---

# Выявление крупномасштабных изменений в лесах по данным MODIS

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



# Необходимость выявления изменений в лесных экосистемах

---

- Учет лесных ресурсов, планирование лесохозяйственных мероприятий и лесопользования
- Оценка и прогноз социально-экономических последствий
- Проведение природоохранных мероприятий (сохранение редких видов животных и биоразнообразия)
- Необходимость получения данных для моделирования глобальных изменений климата (циклы углерода и воды)



# Ограничения существующих данных об изменениях в лесных экосистемах

---

## Данные национальной статистики

Пространственно-временная неоднородность данных по точности и регулярности. Точность и регулярность данных изменяется в зависимости от разрядности лесоустройства. Периодичность обновления данных привязана к инвентаризации лесов, проводимой раз в 10-15 лет.

## Данные спутниковых наблюдений

Эпизодичность и фрагментарность имеющихся оценок. Большинство оценок получено в рамках исследовательских проектов.



# Изменения в лесных экосистемах

---

## Основные факторы, вызывающие изменения в лесах

- Факторы мгновенного действия
  - Вырубки
  - Пожары
  - Насекомые
- Факторы долгосрочного действия
  - Промышленные выбросы
  - Изменения климата

## Лесовосстановление

- Лесовосстановление после воздействия возмущающих факторов
- Заращение сельскохозяйственных угодий



# Цели и задачи исследования

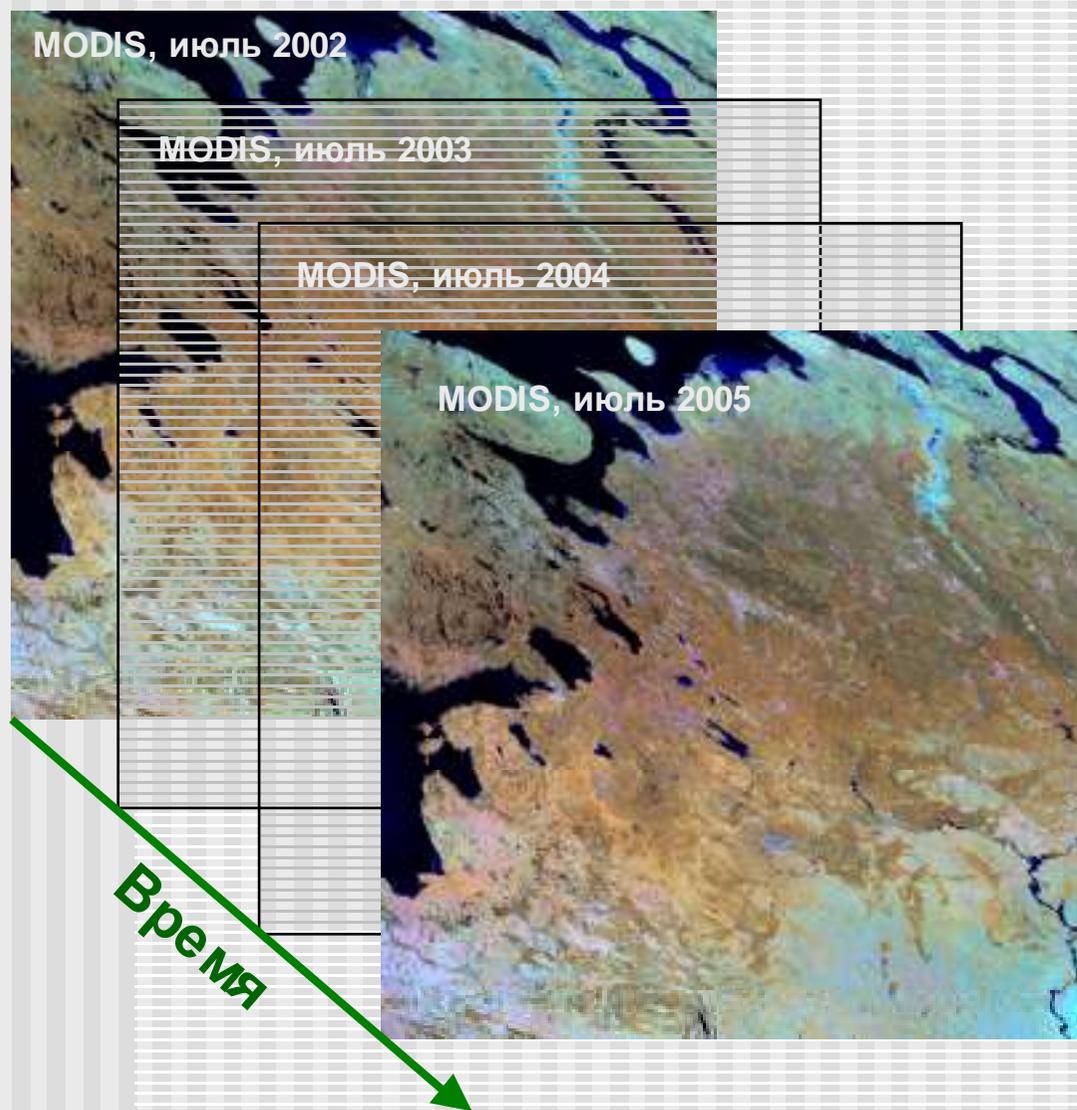
---

**Цель** - развитие методов и автоматических технологий использования данных спутниковых наблюдений для решения задач мониторинга изменений бореальных лесов

**Задача** - разработать метод оценки изменений в лесах в результате сплошных вырубок и пожаров по разновременным спутниковым данным MODIS



# Временные и пространственные рамки исследования



## Выбранный регион:

- Европейская часть России
- Площадь более 4875264 км<sup>2</sup>

## Временной интервал:

- январь 2002 – декабрь 2005

# Спутниковые данные

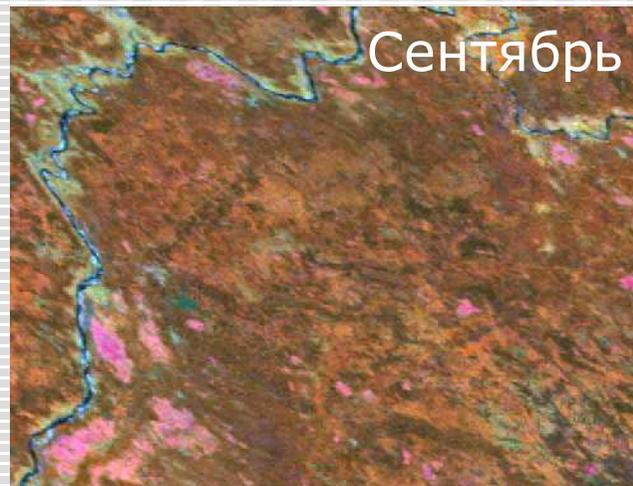
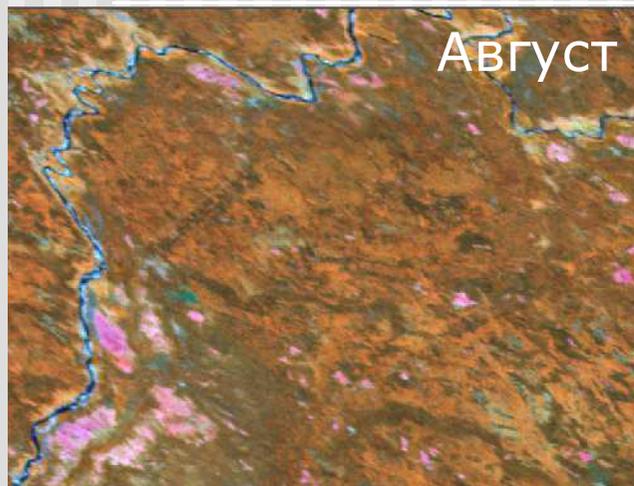
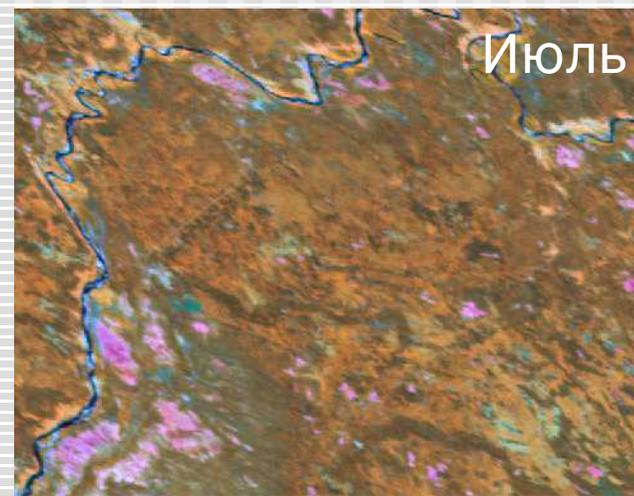
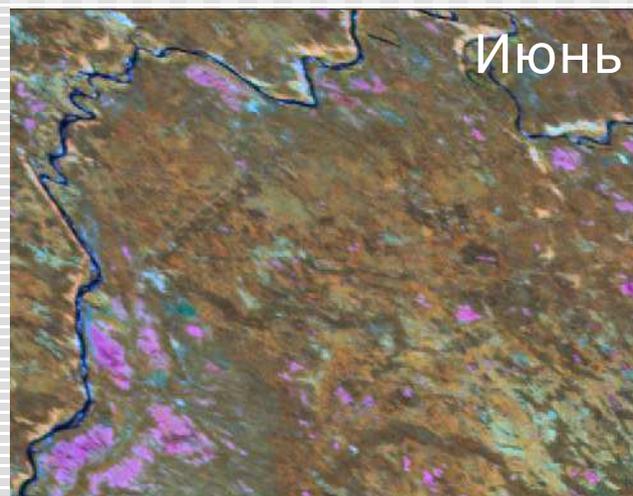
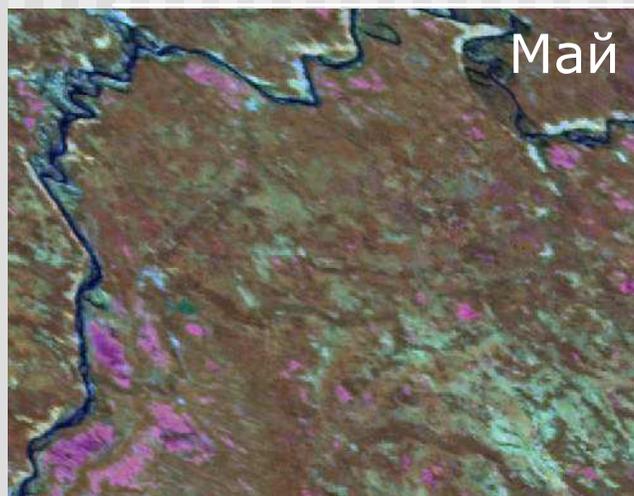
---

## Композитные изображения Terra-MODIS

- Получены на основе данных ежедневных наблюдений с зенитным углом наблюдения менее  $40^\circ$
- Очищены от влияния облаков, теней и снежного покрова (за исключением зимних мозаик)
- Используемые спектральные каналы :
  - красный 620-670 нм
  - ближний инфракрасный 841-876 нм
  - средний инфракрасный 1628-1652 нм

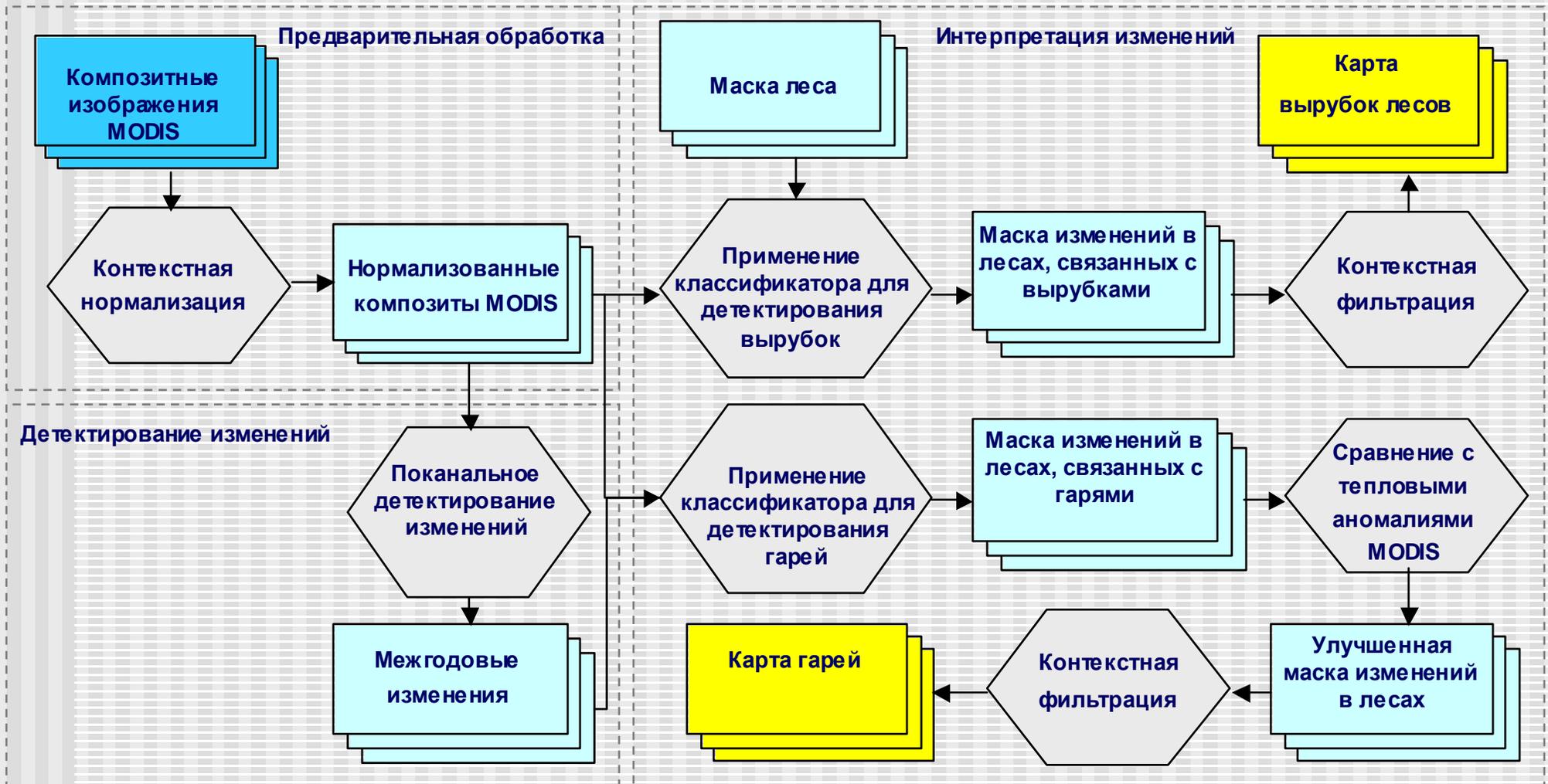


# Примеры композитных изображений за 2002 год



R – NIR, G – SWIR, B -Red

# Логическая схема метода выявления изменений



# Контекстная нормализация изображений

---

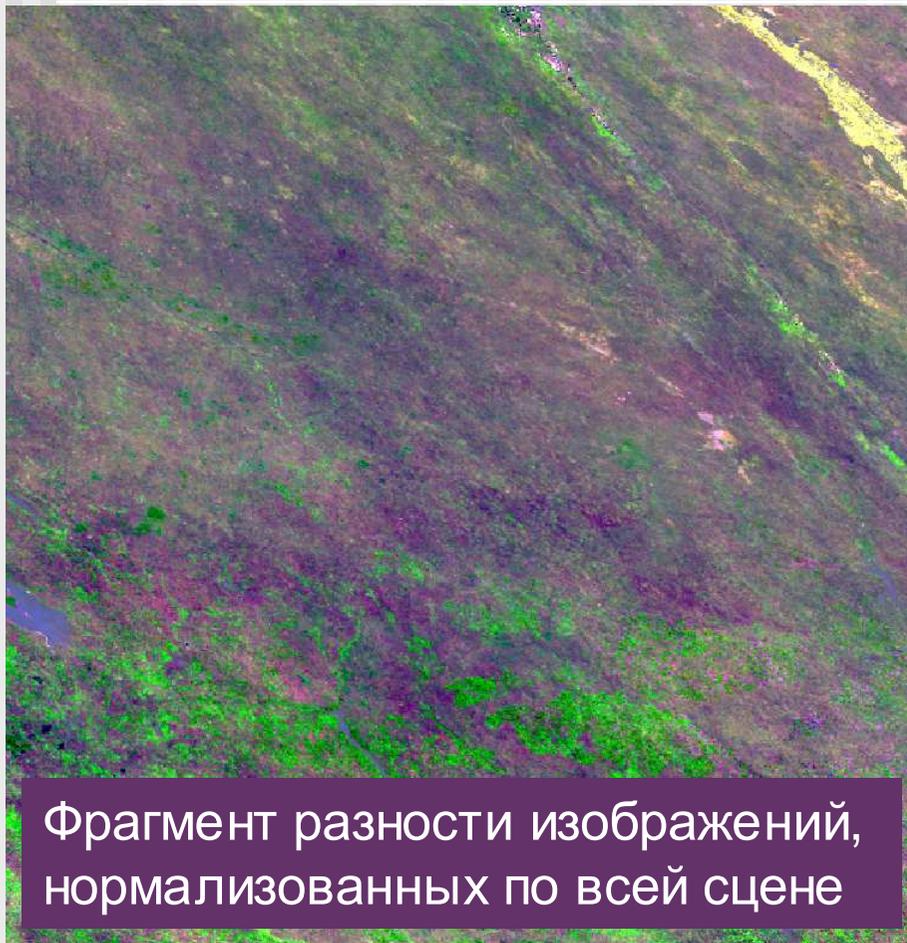
- Нормализация производилась независимо по каждому из каналов
- Для нормализации используется стандартное уравнение линейной регрессии  $X' = AX + B$ , где  $A$  и  $B$  рассчитываются на основе корреляции неизменных пикселей  $X$  и  $Y$  ( $X$  и  $Y$  – исходные изображения)
- Коэффициенты  $A$  и  $B$  вычисляются для каждого пиксела по некоторой его окрестности
- В качестве неизменных пикселей выбирались те, значения которых по изображению разности находились в пределах одного стандартного отклонения от среднего в рассматриваемой окрестности

**Преимущества:** нормализация учитывает региональные фенологические особенности

**Открытые вопросы:** выбор оптимального размера окна и подбор порогов



# Примеры нормализации изображений



# Выявление изменений

---

- Выявления изменений производилось независимо по каждому из каналов, после чего все изменения объединялись в одну карту изменений
- В качестве измененных пикселей выбирались те, значения которых по изображению разности находились вне двух стандартных отклонений от среднего в рассматриваемой окрестности

**Преимущества:** отказ от фиксированных порогов для всего изображения

**Открытые вопросы:** выбор оптимального размера окна и подбор порогов



# Интерпретация изменений

---

- Исследование мозаик на делимость следующих классов:

хвойный лес,

смешанный лес,

лиственный лес,

лес по болоту,

вырубки в хвойном лесу,

вырубки в смешанном лесу,

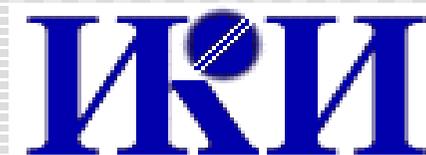
вырубки в лиственном лесу,

лес после пожара,

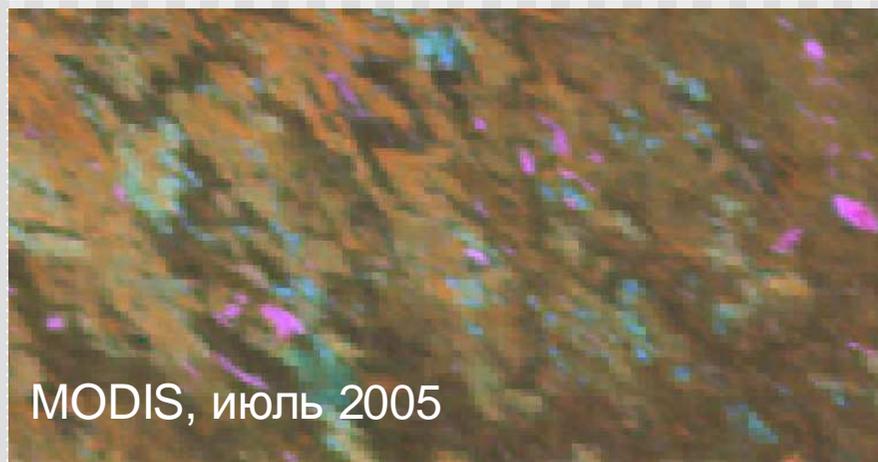
сельскохозяйственные земли

- Делимость классов рассматривалась по двум критериям:

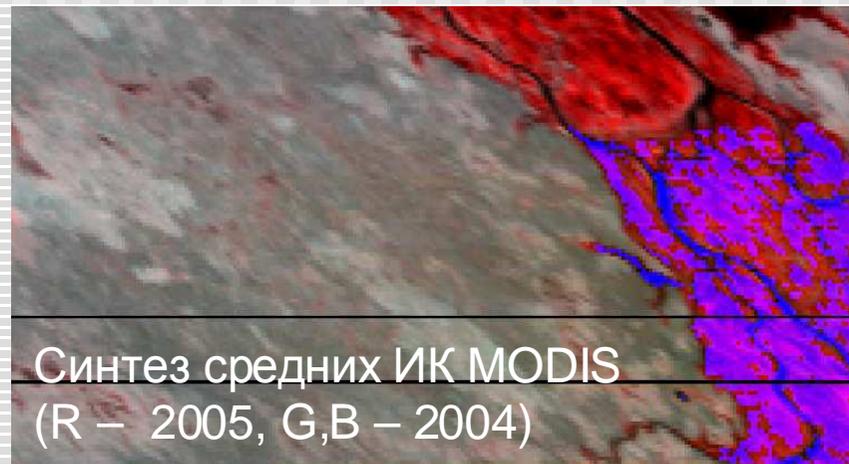
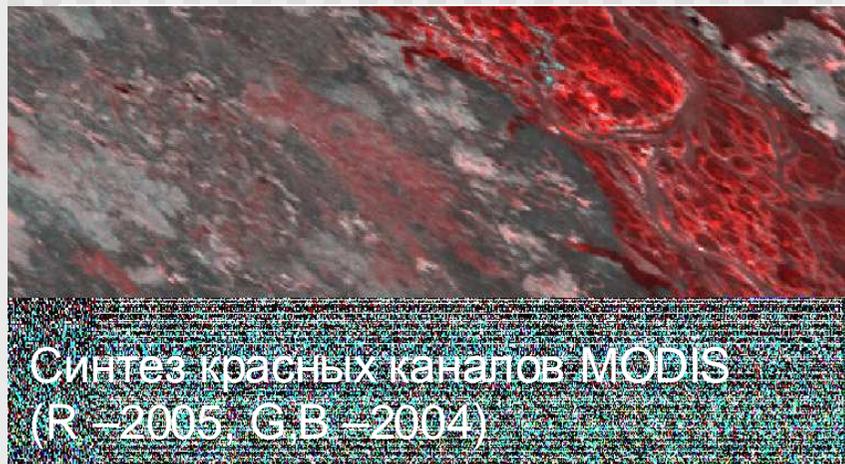
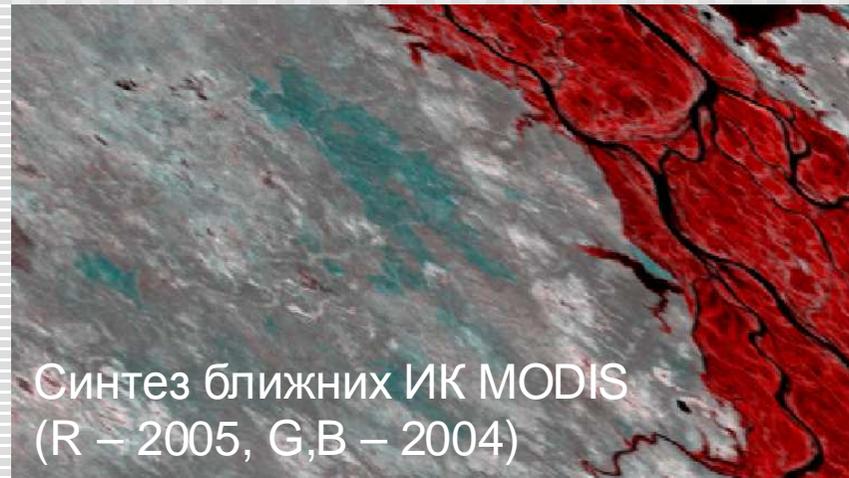
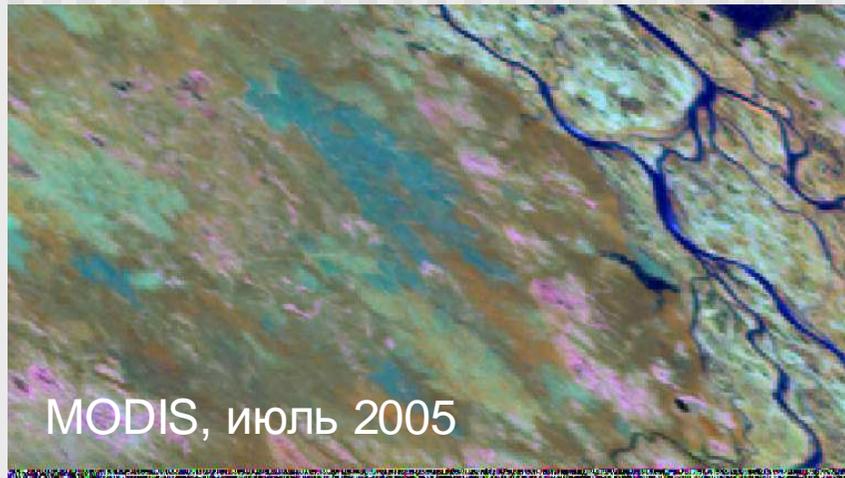
трансформированной дивергенции и критерия Jefferies-Matusita



# Интерпретация изменений



# Интерпретация изменений



# Детектирование вырубок

- Использование маски лесов, построенной на основе зимних и летних мозаик MODIS
- Применение набора пороговых правил

$$R_{red}^{июнь_{t_2}} - \text{MIN}(R_{red}^{июнь_{t_1}}, R_{red}^{июль_{t_1}}, R_{red}^{август_{t_1}}) \geq \text{MAX}_{i,j}(R_{red}^i - R_{red}^j)$$

$$\text{MIN}(R_{red}^{июнь_{t_2}}, R_{red}^{июль_{t_2}}, R_{red}^{август_{t_2}}) > \text{MAX}(0.025, R_{red}^{июнь_{t_1}}, R_{red}^{июль_{t_1}}, R_{red}^{август_{t_1}})$$

$$\text{MAX}(R_{red}^{июнь_{t_1}}, R_{red}^{июль_{t_1}}, R_{red}^{август_{t_1}}) < 0.035,$$

где  $i, j$  – последовательные сезоны,

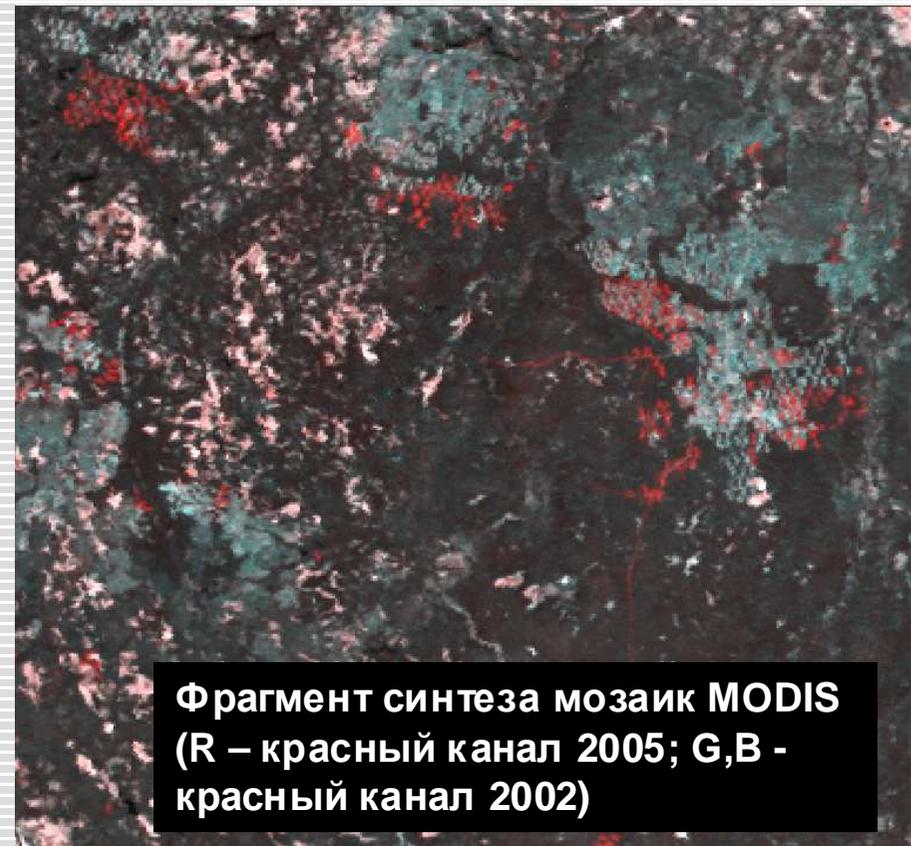
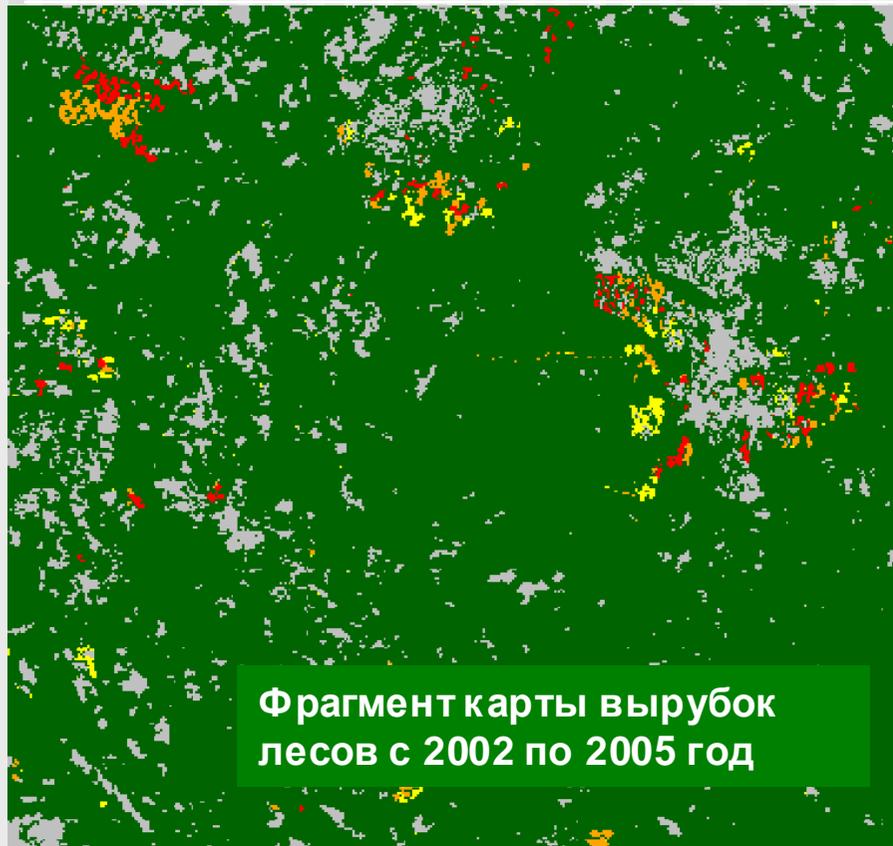
$t_1$  – год до вырубки,

$t_2$  – год после вырубки

- Контекстная фильтрация, в процессе которой происходит добор граничных пикселей

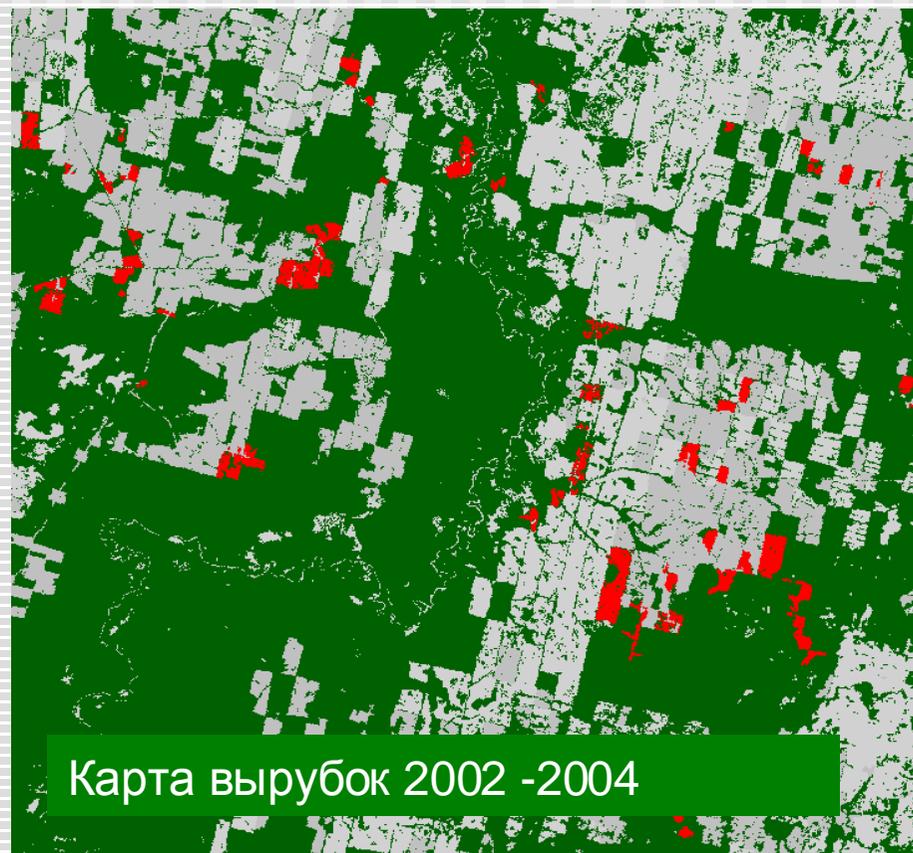
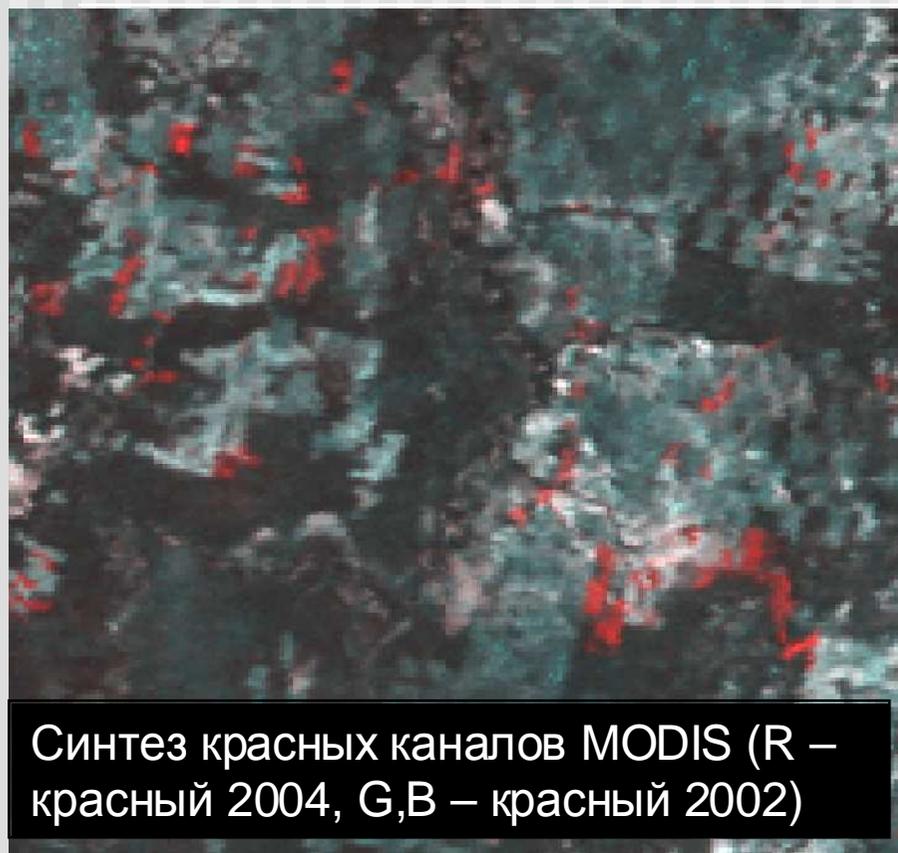


# Примеры детектирования вырубок



- Лесные территории
- Не лесные территории
- Вырубки леса в период 2002-2003
- Вырубки леса в период 2003-2004
- Вырубки леса в период 2004-2005

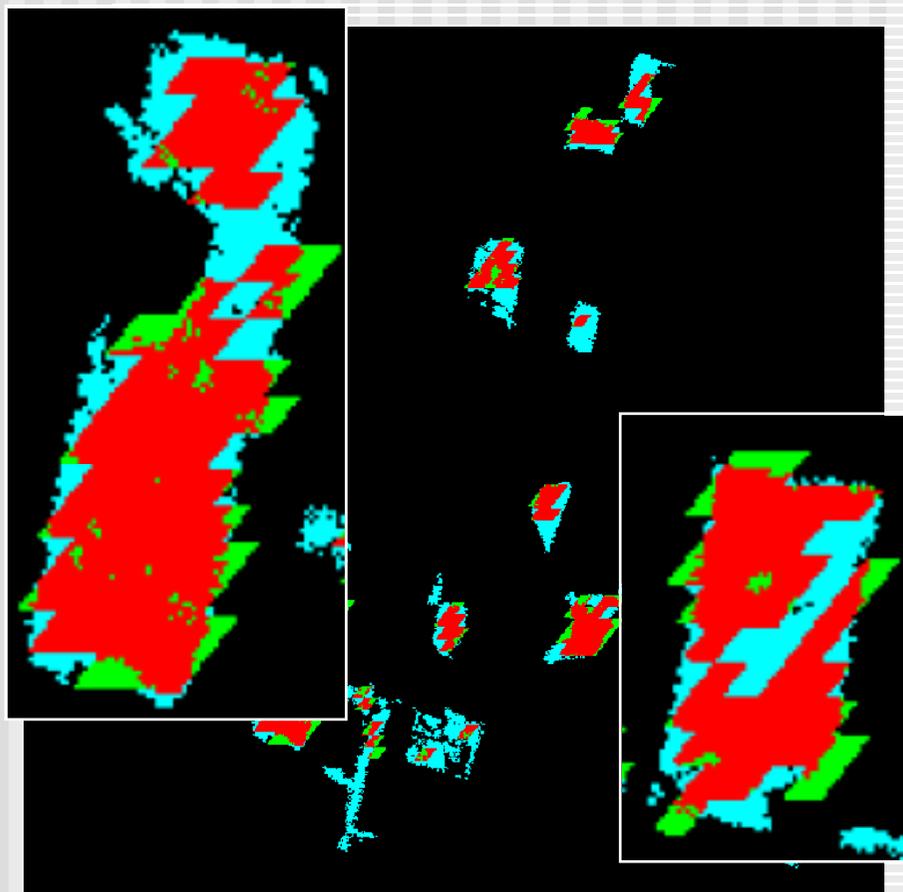
# Сравнение с данными высокого разрешения



Сравнение вырубок, наблюдаемых с помощью Terra-MODIS и вырубок, полученных с помощью МСУ-Э и Landsat на тестовом участке в республике Коми с 2002 по 2004 год



# Сравнение с данными высокого разрешения



- Общая площадь вырубок выявленных по высокому разрешению (Landsat ETM+ и МСУ-Э) – 130,877 км<sup>2</sup> : из них 59,22 % совпали с вырубками, определенными по MODIS
- Общая площадь вырубок выявленных по MODIS – 113,044 км<sup>2</sup> : из них 68,56 % совпали с вырубками, определенными по высокому разрешению

-  Вырубки, выявленные по высокому и среднему разрешению
-  Вырубки, выявленные только по среднему разрешению
-  Вырубки, выявленные только по высокому разрешению

# Детектирование гарей

- Применение набора пороговых правил

$$\text{MAX}(R_{\text{NIR}}^{\text{июнь-}t_1}, R_{\text{NIR}}^{\text{июль-}t_1}, R_{\text{NIR}}^{\text{август-}t_1}) - R_{\text{NIR}}^{\text{июнь-}t_2} \geq \text{MAX}_{i,j}(|R_{\text{NIR}}^i - R_{\text{NIR}}^j|, 0.05)$$

$$\text{MIN}(R_{\text{NIR}}^{\text{июнь-}t_2}, R_{\text{NIR}}^{\text{июль-}t_2}, R_{\text{NIR}}^{\text{август-}t_2}) \leq \text{MIN}_i(R_{\text{NIR}}^i)$$

$$\text{MIN}(R_{\text{NIR}}^{\text{июнь-}t_2}, R_{\text{NIR}}^{\text{июль-}t_2}, R_{\text{NIR}}^{\text{август-}t_2}) < 0.21,$$

где  $i, j$  – последовательные сезоны,

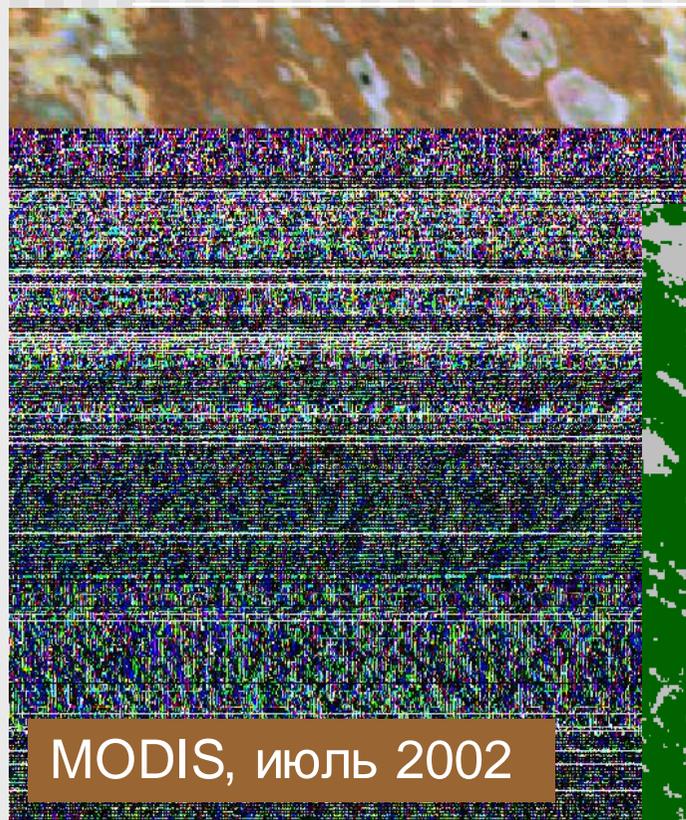
$t_1$  – год до вырубki,

$t_2$  – год после вырубki

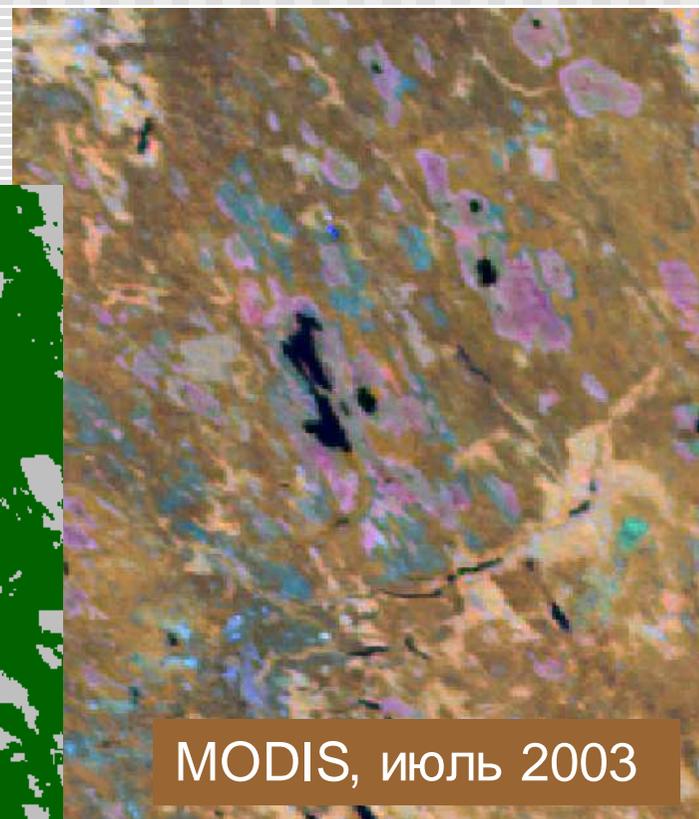
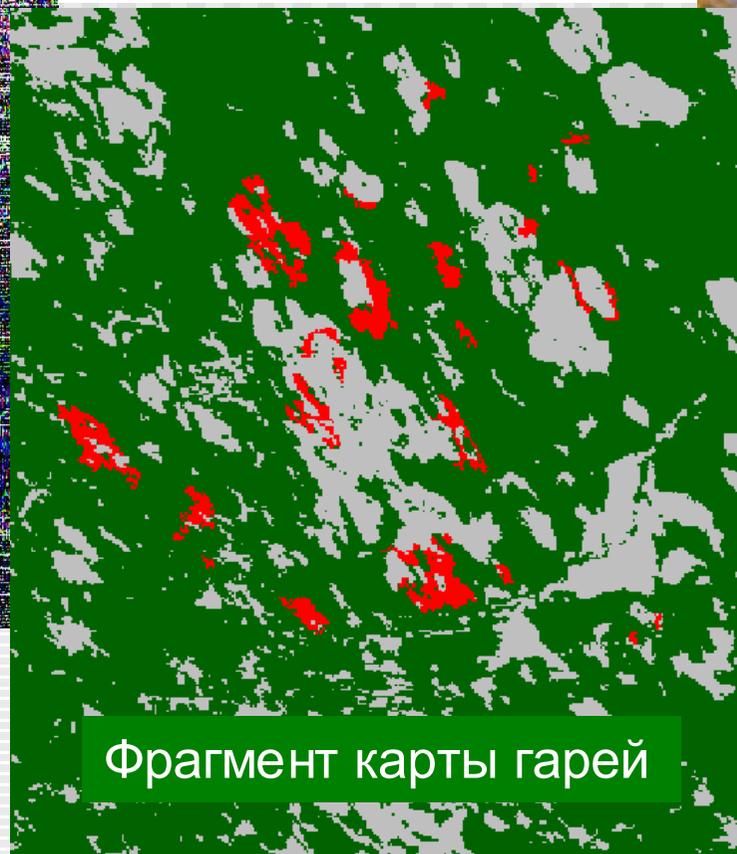
- Сравнение маски предполагаемых гарей с тепловыми аномалиями MODIS
- Контекстная фильтрация, в процессе которой происходит подбор граничных пикселей



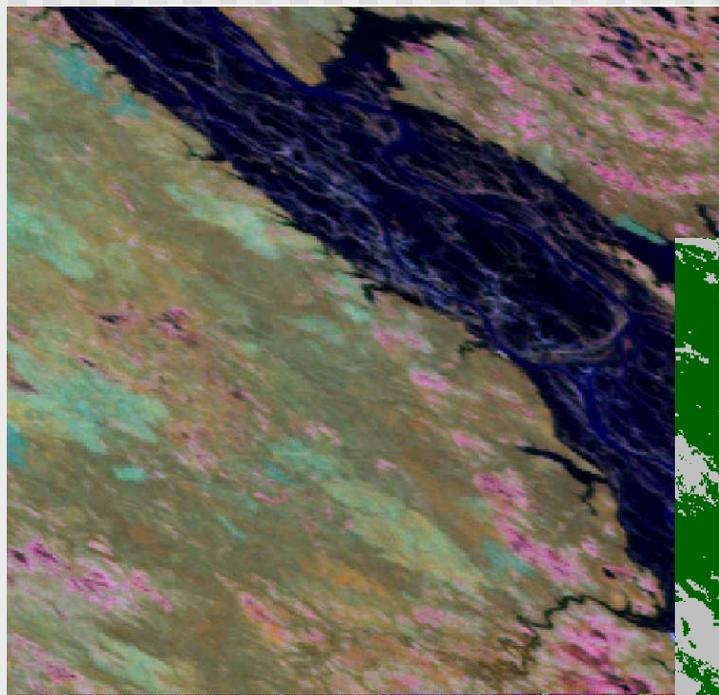
# Примеры детектирования гарей



- Покрытые лесом территории
- Покрытые не лесом территории
- Выявленные гари



# Примеры детектирования гарей

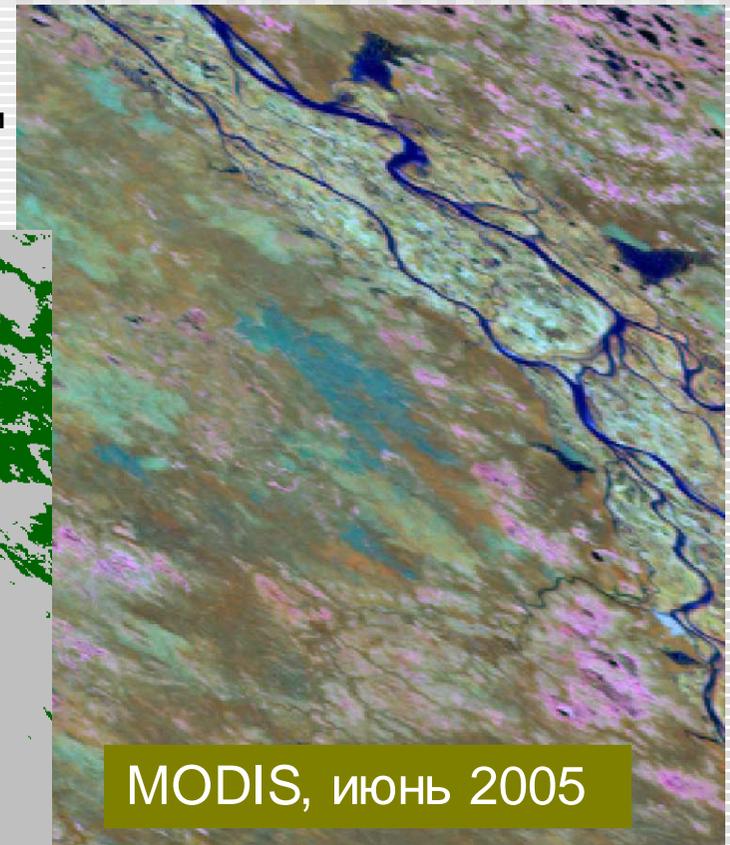


MODIS, июнь 2004

-  Покрытые лесом территории
-  Покрытые не лесом территории
-  Выявленные гарей



Фрагмент карты гарей

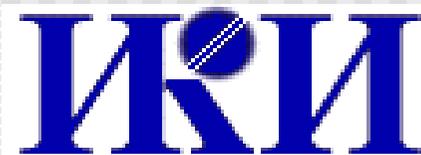


MODIS, июнь 2005

# Ближайшие перспективы

---

- Подбор параметров алгоритма
- Полностью автоматическая реализация метода
- Распространение метода на большие территории
- Валидация полученных карт изменений с использованием снимков высокого разрешения (МСУ-Э, Landsat)
- Сравнение полученных продуктов по горям с аналогичными продуктами



---

Спасибо за внимание