

Метод уточнения положения фронта природного пожара на основе ассимиляции данных различных спутниковых аппаратов в вероятностную модель распространения огня

Хвостиков С.А., Барталев С.А.

khvostikov@d902.iki.rssi.ru



Введение

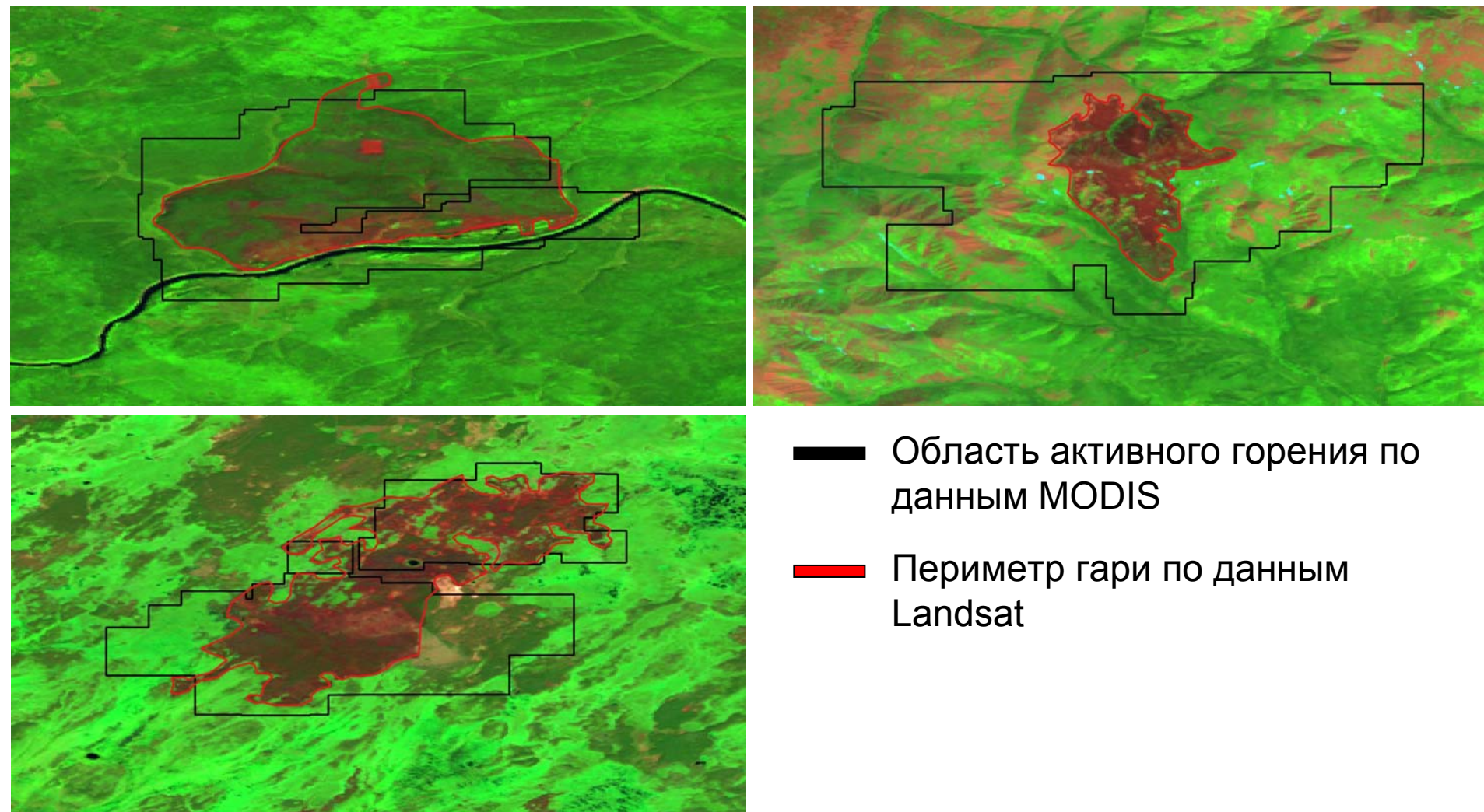
Оперативное получение информации о положении фронта горения критически важно для принятия решений по борьбе с пожаром;

Оперативная информация о положении фронта пожара может быть получена по спутниковым данным грубого пространственного разрешения;

Ранее было показано, что метод ассимиляции спутниковых данных в модель распространения огня увеличивает точность оценки положения фронта пожара;

Использование снимков различных спутниковых аппаратов требовало доработки метода для эффективного усвоения данных о точках активного горения по источникам с разным пространственными и временным разрешением.

Погрешность детектирования очагов горения по данным аппарата MODIS



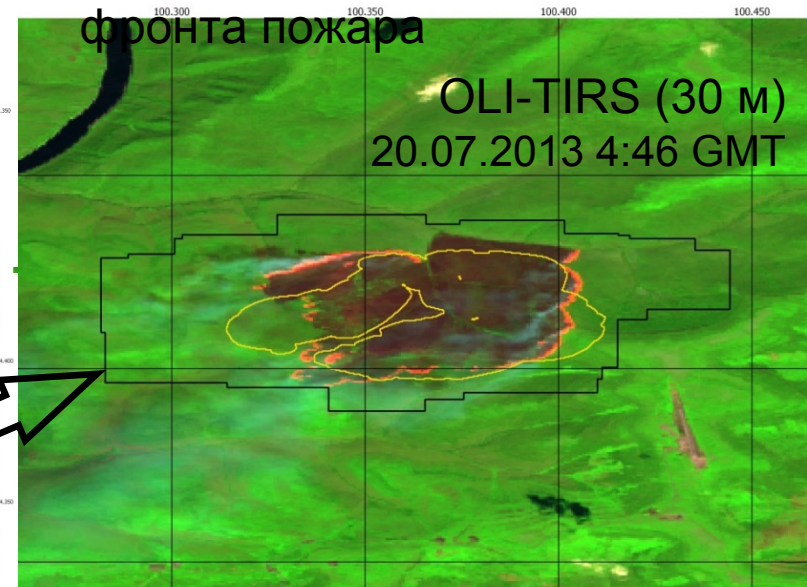
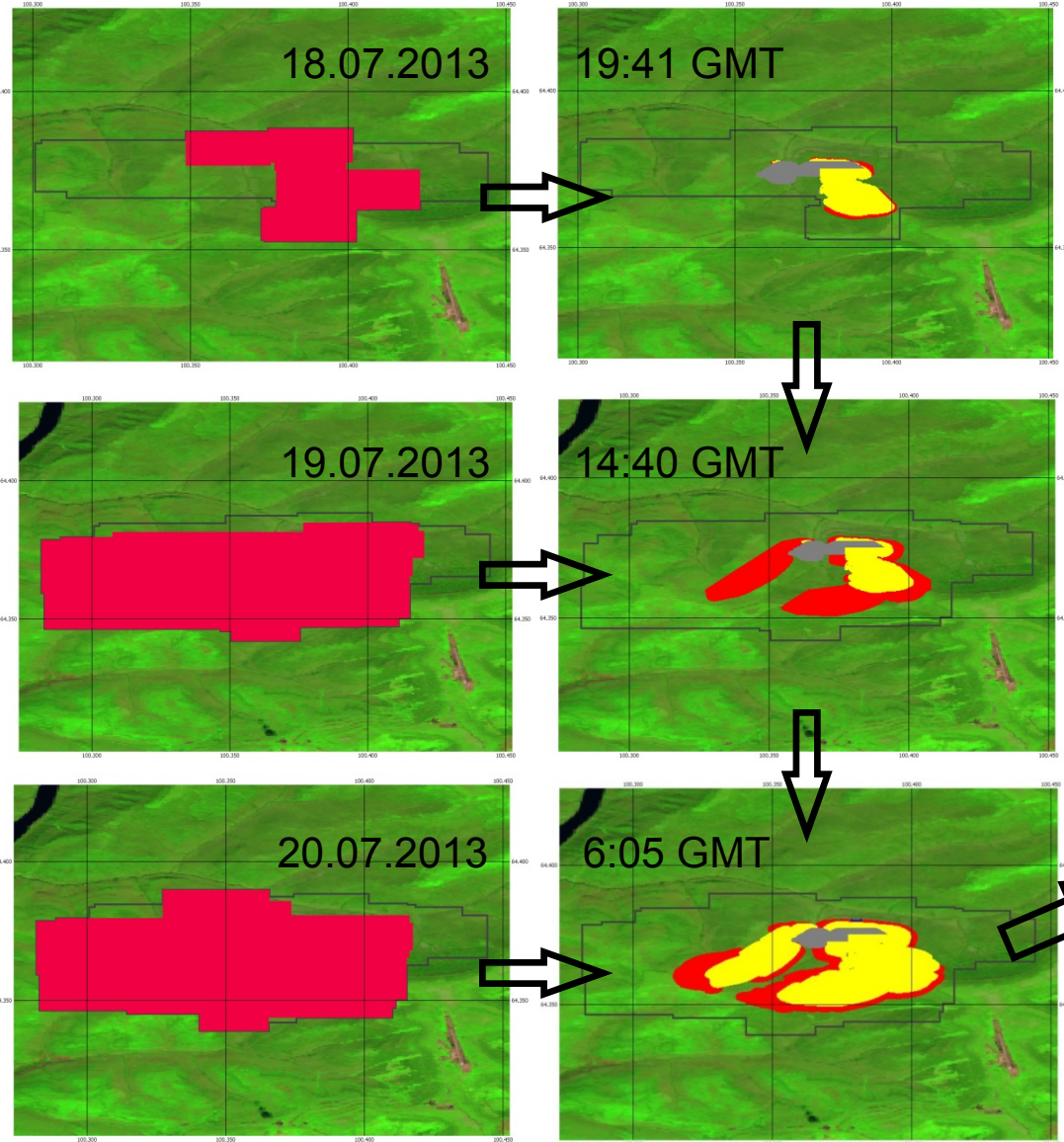
Идея метода уточнения динамики развития пожара

Очаги горения по ДЗЗ

Уточненный контур

Результаты спутникового детектирования очагов горения позволяют корректировать модель итеративно по мере появления новых данных

Уточненный модельный прогноз может давать более точную оценку положения фронта пожара



Модель динамики природных пожаров



Ранее в ИКИ была создана технология прогнозирования динамики пожара (на основе уравнений канадского пожарного индекса)

Скорость пожара вычисляется по данным о ветре, рельефе, типе и влажности горючих материалов

Расчет скорости производится по формулам:

$$\text{коэф_влажности} = a_0 * e^{(-b_0 * \text{влажность})} * (1 + \text{влажность}^{c_0} / d_0)$$

$$\text{индекс_скорости} = e^{0.05039 * \text{ветер}} * \text{коэф_влажности}$$

$$\text{фронтовая_скорость_пожара} = a_1 (1 - e^{-b_1 * \text{индекс_скорости}})^{c_1}$$

Точечный пожар представлен как эллипс, соотношение его осей рассчитывается как

$$\text{длина_к_ширине} = 1.0 + a_2 * (1 - e^{-b_2 * \text{ветер}})^{c_2}$$

Моделирование производится на растровой сетке с разрешением 30 м. Каждая новая загоревшаяся клетка учитывается при дальнейшем моделировании

Входные данные модели

Тип данных	Пространственное разрешение	Временное разрешение
Очаги активного горения по данным спутникового прибора MODIS	1 км	ежедневно
Очаги активного горения по данным спутникового прибора VIIRS (NPP)	750 м	ежедневно
Карта растительного покрова TerraNorte RLC	250 м	ежегодно
Цифровая модель рельефа ASTER	30 м	-
Маска водных объектов	30 м	-
Карта запасов стволовой древесины в лесах	250 м	ежегодно
Метеоданные, Росгидромет Прогноз на 3 дня	25 км	3 часа

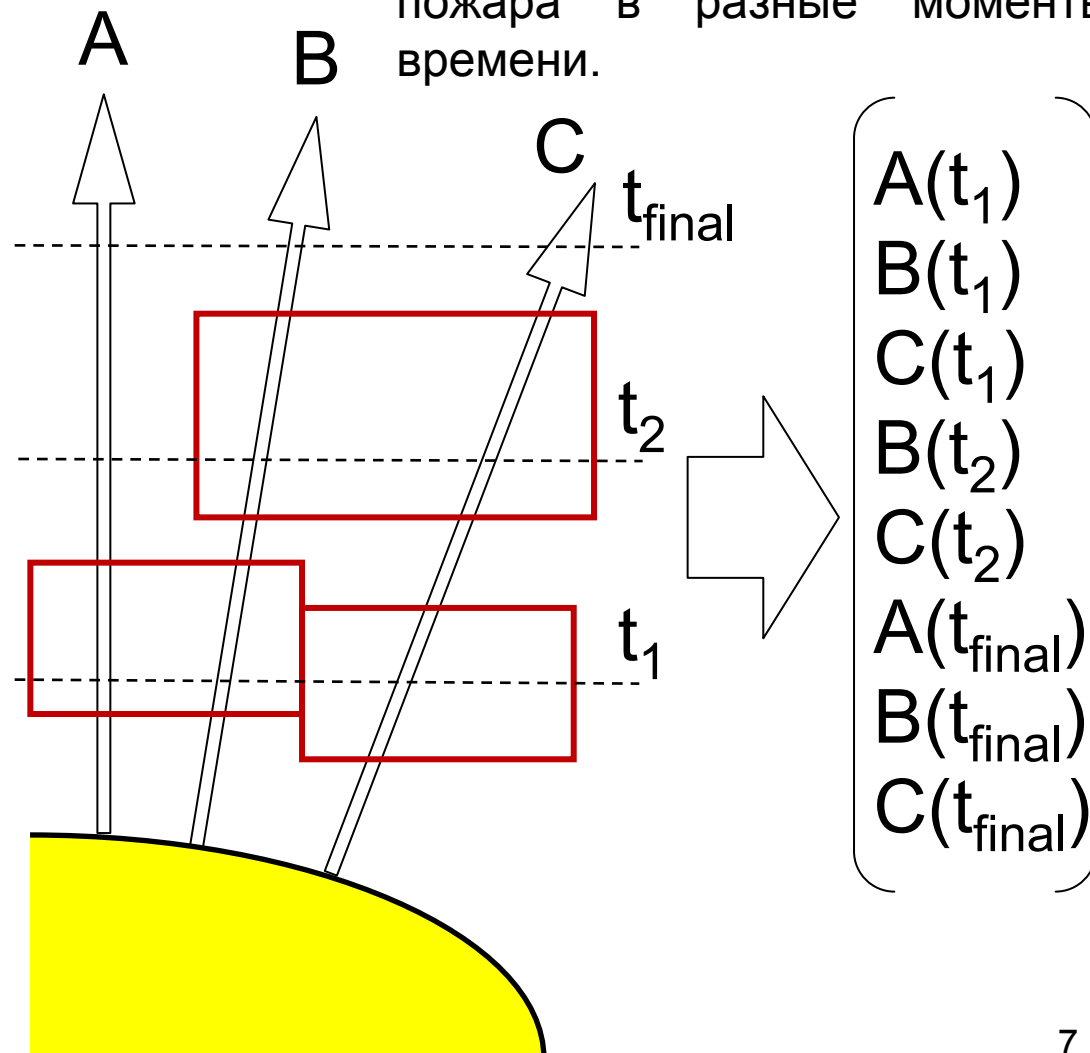
Задание направлений развития пожара

Нормали к исходному фронту горения определяют возможные направления развития пожара.

Положение пожара фиксируется в моменты, заданные разновременными спутниковыми наблюдениями.

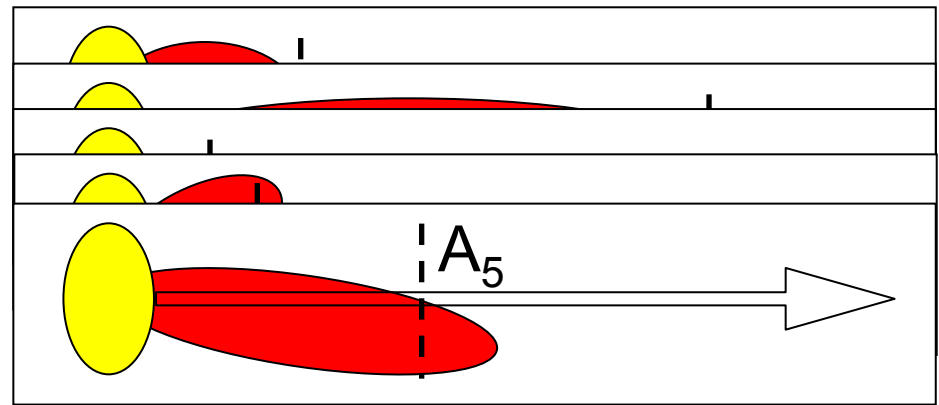
Положение пожара определяется пройденным вдоль нормали расстоянием от исходного фронта горения

Строится вектор модельных и спутниковых оценок положения пожара в разные моменты времени.



Модельная оценка

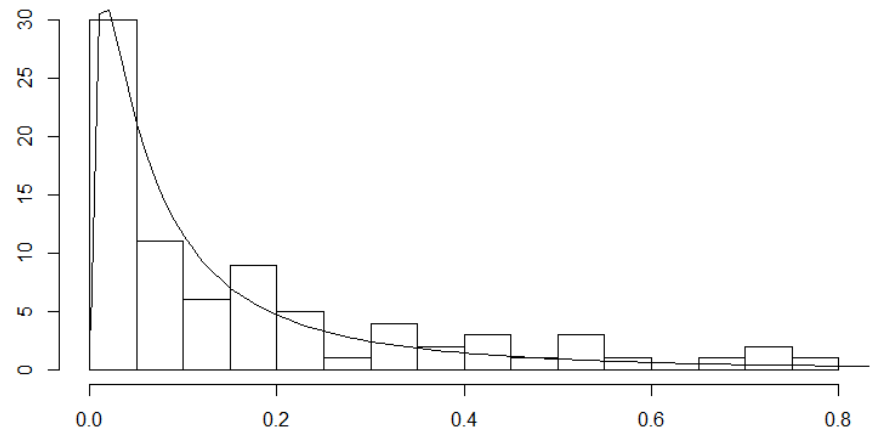
Вероятностная модель позволяет построить множество прогнозов распространения огня и получить модельные оценки положения пожара



Агрегация множества прогнозов позволяет построить вероятностное распределение для расстояний, пройденных огнем вдоль нормали

Пройденные расстояния аппроксимируются логнормальным вероятностным распределением

$$(A_1, A_2, \dots, A_n) \rightarrow \text{Log}N(\mu_{model}, \Sigma_{model})$$

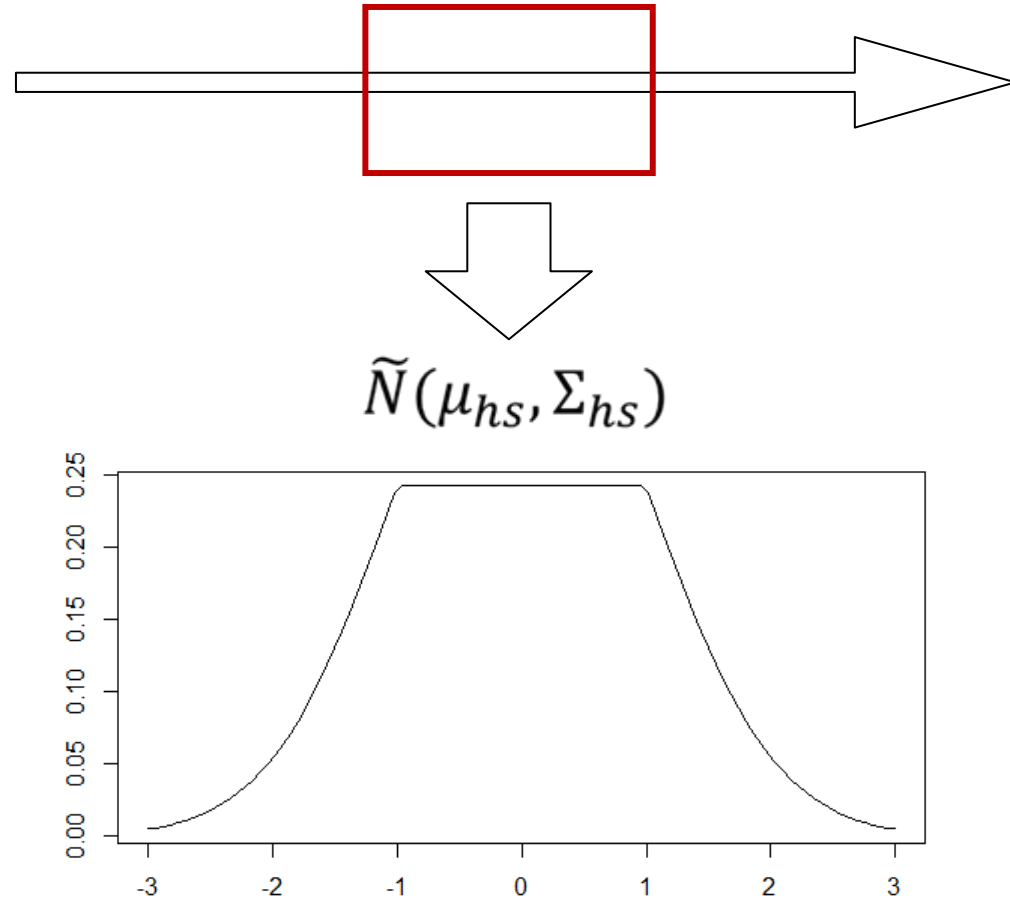


Спутниковая оценка

Детектированная по спутниковым данным область активного горения (хотспот) задает территорию, на которой происходит пожар

Положение пожара в этой области считается заданным нормальным распределением

Так как пожар может происходить в любой точке хотспота, то нормальное распределение «обрезается» для областей внутри хотспота

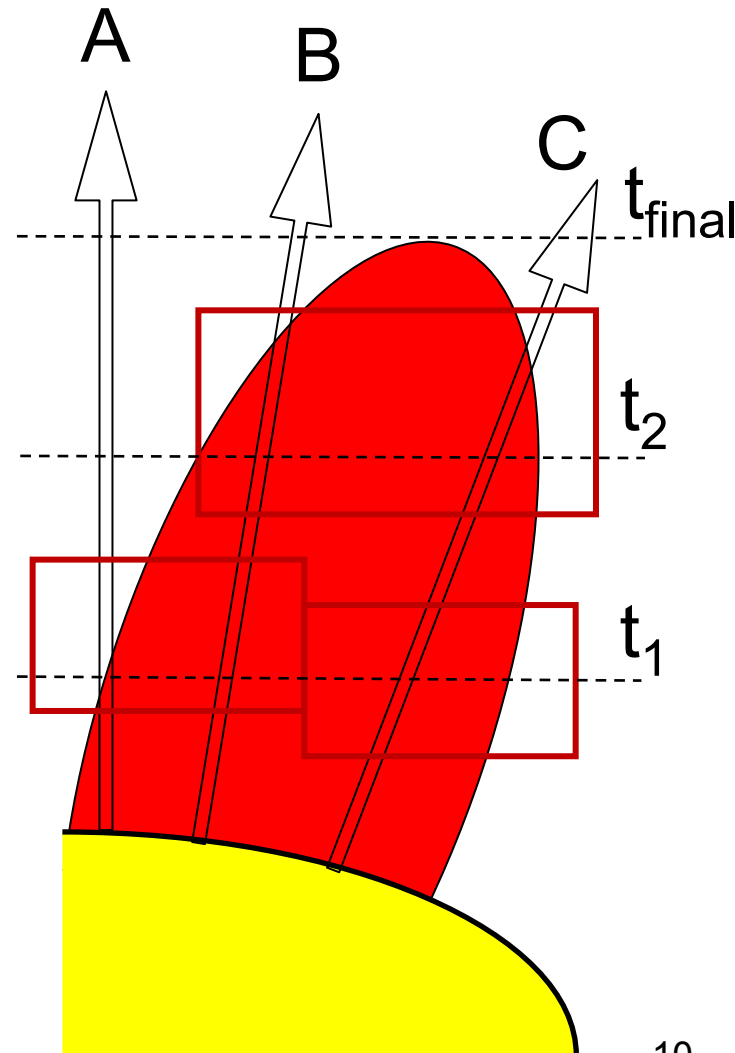


Поиск оптимального решения

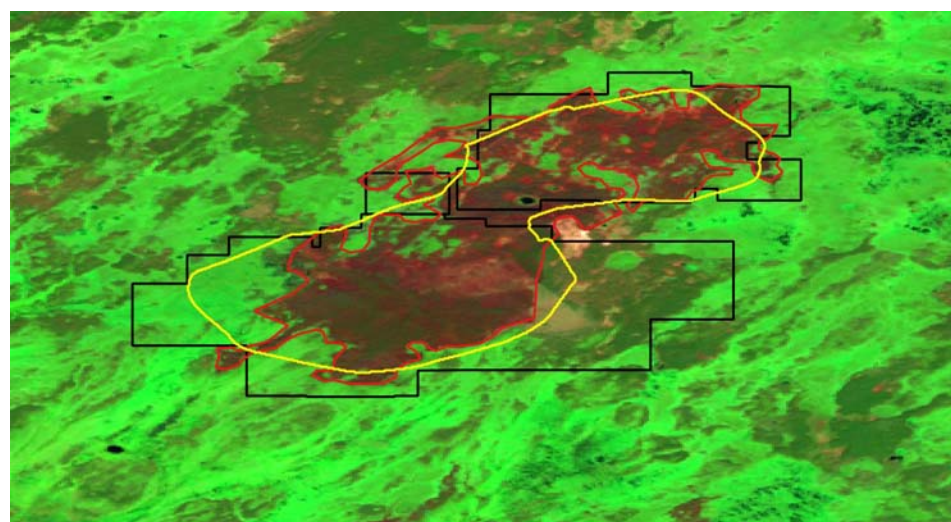
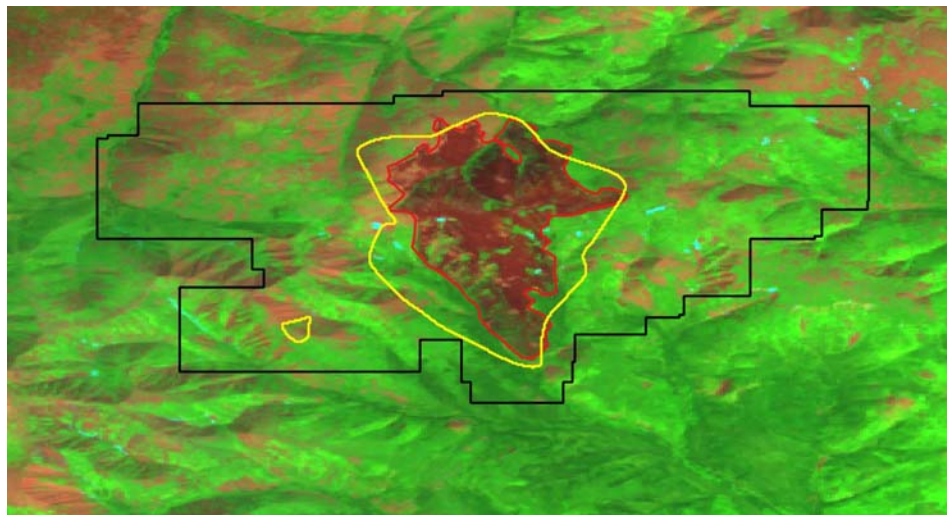
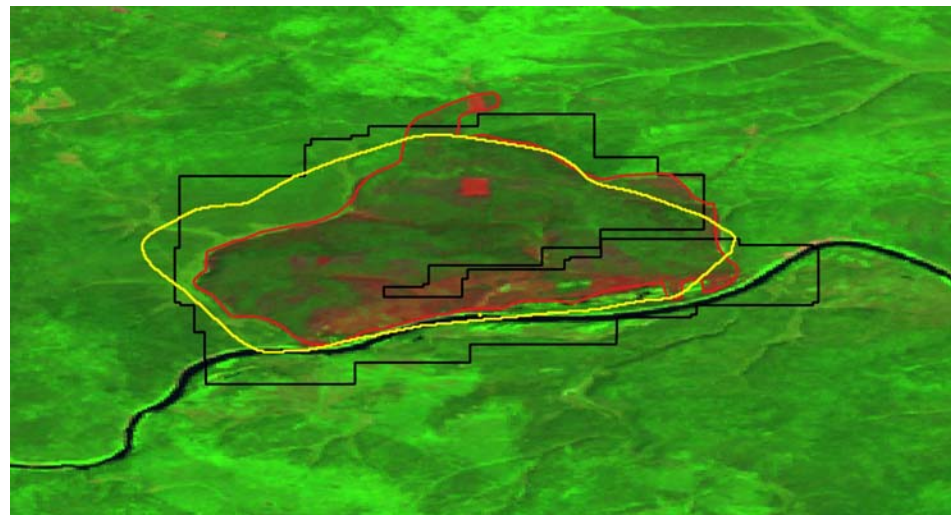
На основании полученных модельных и спутниковых вероятностных распределений возможного положения фронта пожара формируется критерий:

$$E(x) = (\log(x) - \mu_{model})\Sigma_{model}^{-1}(\log(x) - \mu_{model})^T + \sum_i \begin{cases} 1 & , |x(i) - \mu_{hs}(i)| < \sqrt{\Sigma_{hs}(i, i)} \\ \frac{(x(i) - \mu_{hs}(i))^2}{\Sigma_{hs}(i, i)} & , |x(i) - \mu_{hs}(i)| \geq \sqrt{\Sigma_{hs}(i, i)} \end{cases}$$

Его оптимизация позволяет получить уточненную оценку положения фронта пожара вдоль каждого направления, по которым можно восстановить всю область, пройденную огнем.



Примеры уточненных периметров пожаров



- Область активного горения по данным MODIS
- Периметр гари по данным Landsat
- Модельная оценка периметра пожара

Качество уточнения периметра пожара

Оценка проводилась для летних пожаров с длинным рядом спутниковых наблюдений

Уточненный периметр ближе к фактическому фронту пожара, чем данные ДЗЗ грубого пространственного разрешения

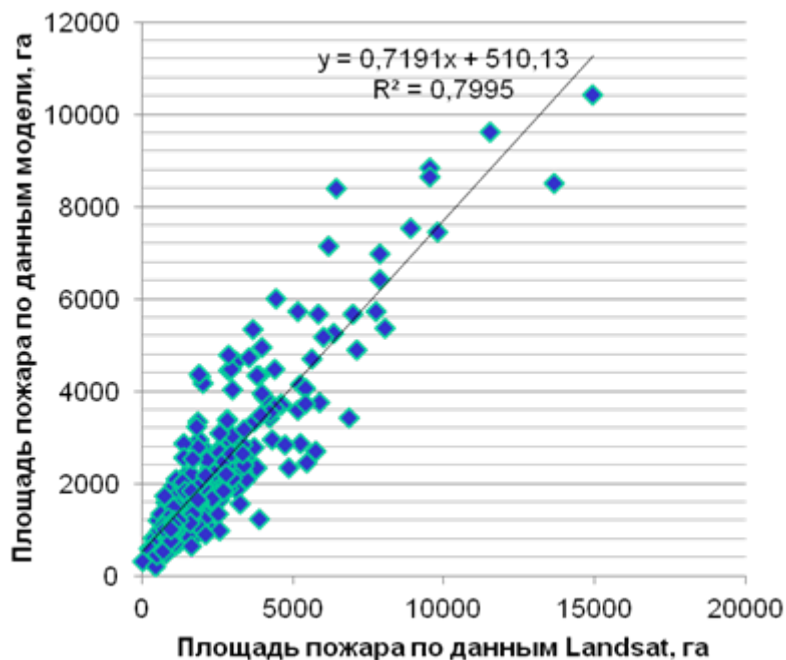
Расстояние от оценочного контура до гари по данным Landsat, среднее для 230 пожаров 2013 года

	Детектирование очагов активного горения	Уточненный периметр, старый метод	Уточненный периметр, новый метод
Максимальное расстояние для пожара, км	1.89	1.4	1.44
Среднее расстояние для пожара, км	0.65	0.41	0.44

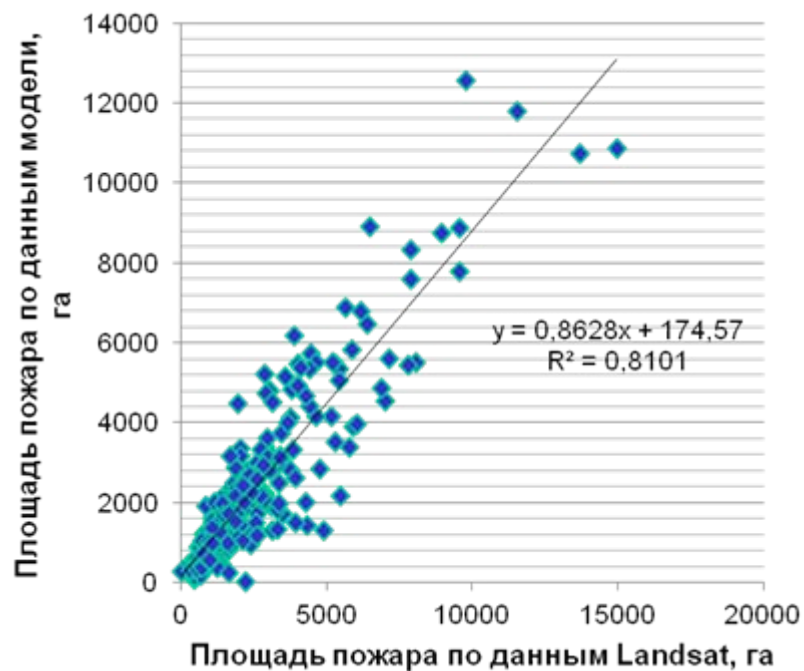
Качество уточнения площади пожара

Уточненный периметр пожара позволяет адекватно оценивать площадь, пройденную огнем

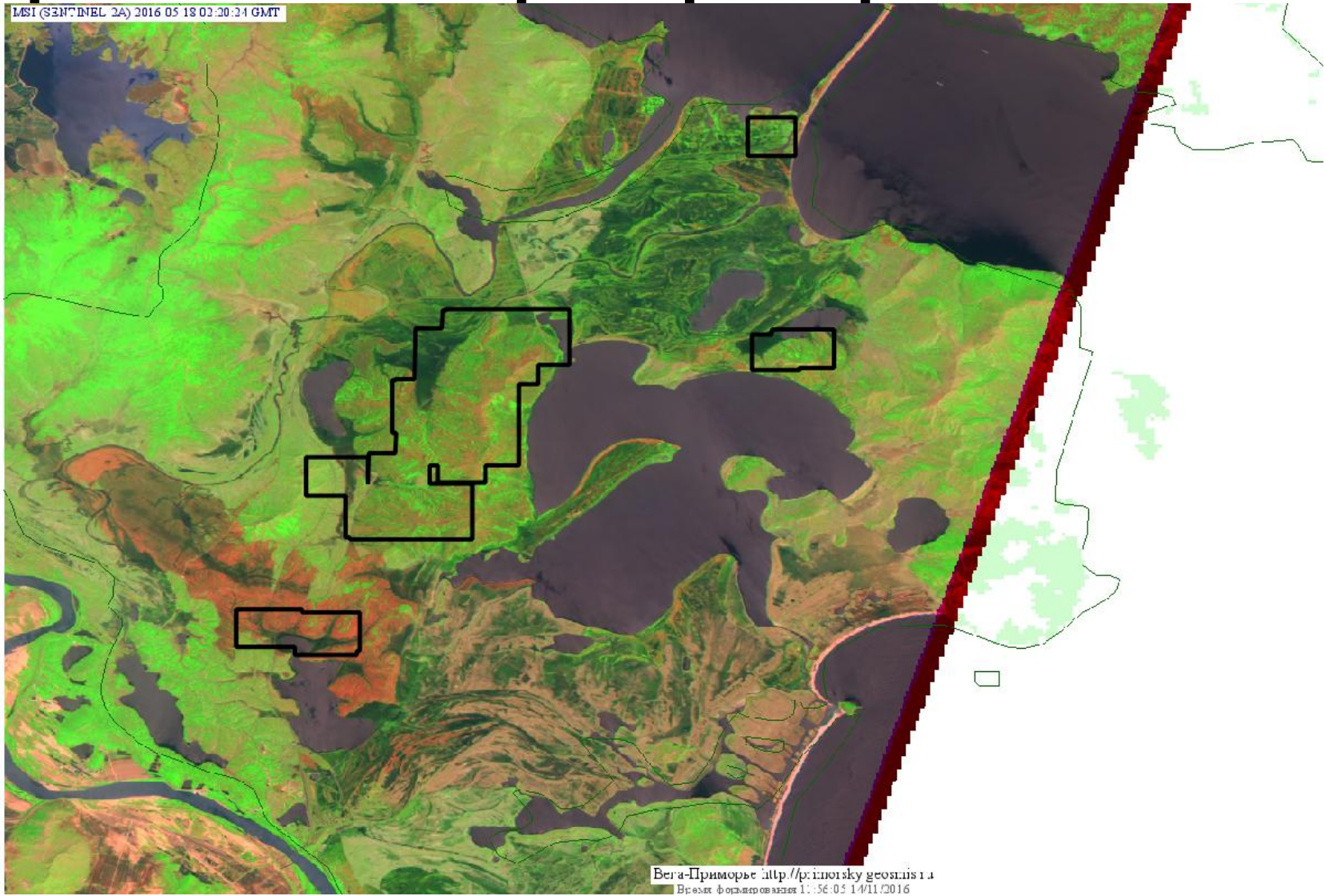
Старый метод



Новый метод

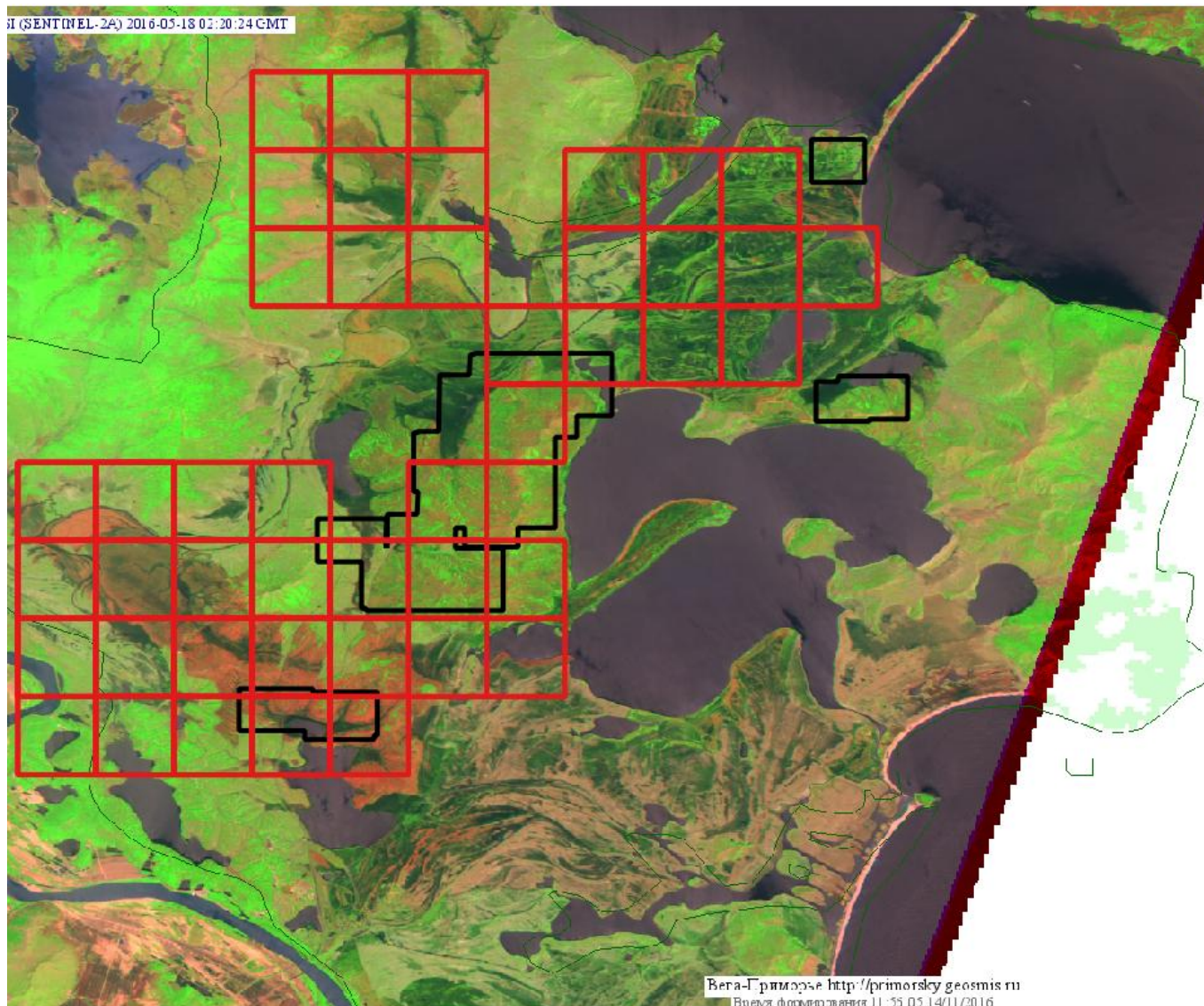


Травяные пожары Приморья по MODIS



Данные грубого пространственного и временного разрешения не всегда позволяют точно определить пройденную травяным пожаром область.

Травяные пожары Приморья по Himawari-8

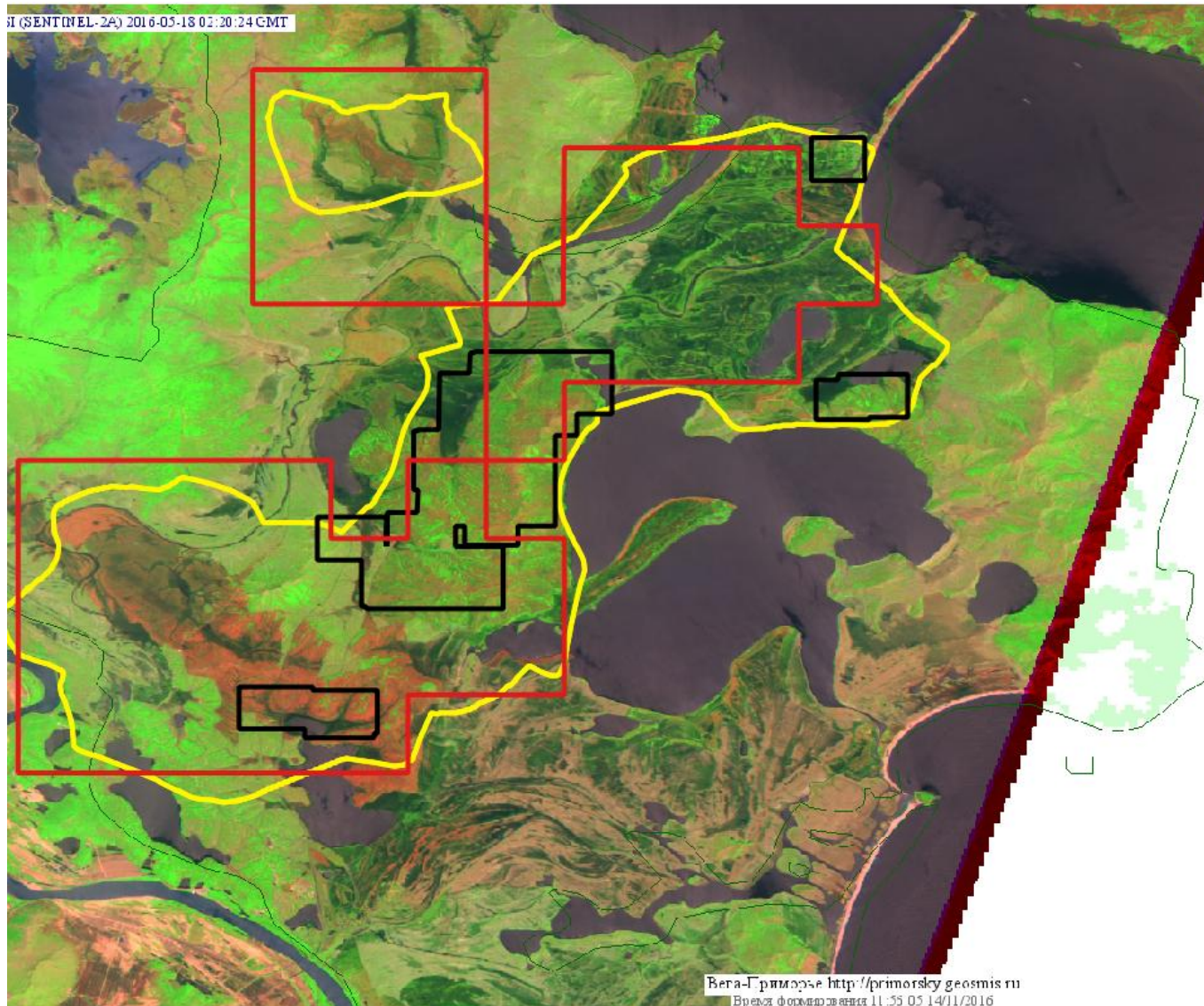


—
MODIS

—
HIMAWARI

Данные геостационара Himawari-8 способны дать более адекватную оценку пройденной огнем области.

Травяные пожары Приморья по модели



- MODIS
- HIMAWARI
- Уточнение по модели

Новый метод ассимиляции позволяет уточнить площадь, пройденную травяным пожаром.

Дальнейшие шаги

Разработка метода ассимиляции для травяных пожаров, учитывающего:

- необходимость выполнения ассимиляции на уровне малых областей
- проблему определения принадлежности хотспота к конкретному пожару

Исследование возможности использования хотспотов, полученных по данным более высокого разрешения (Landsat, Sentinel 2);

Исследование вычислительной эффективности различных методов оптимизации критерия ассимиляции;

Исследование возможности внедрения учета погрешностей модельных и спутниковых оценок в предыдущий момент времени.

Спасибо за внимание!