Использование данных Sentinel-2 и Landsat для определения динамики фронта пожара, инициализации и настройки моделей распространения огня

Хвостиков С.А., Кашницкий А.В., Барталев С.А.

khvostikov@d902.iki.rssi.ru

Институт Космических Исследований РАН

Двадцать четвертая международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
ИКИ РАН 9 – 13 ноября 2026 г.

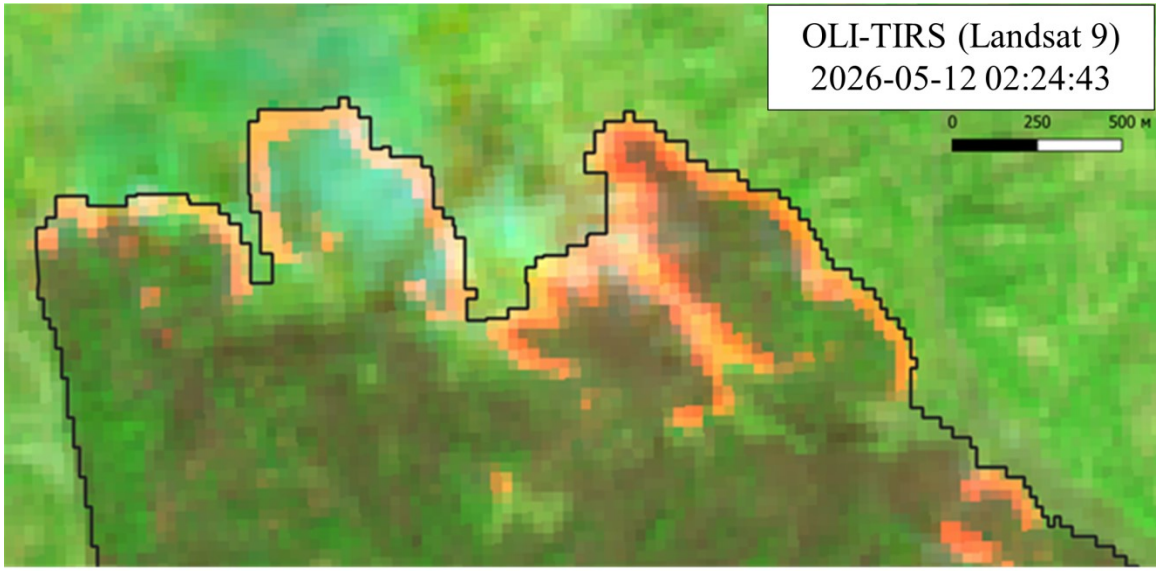
Введение

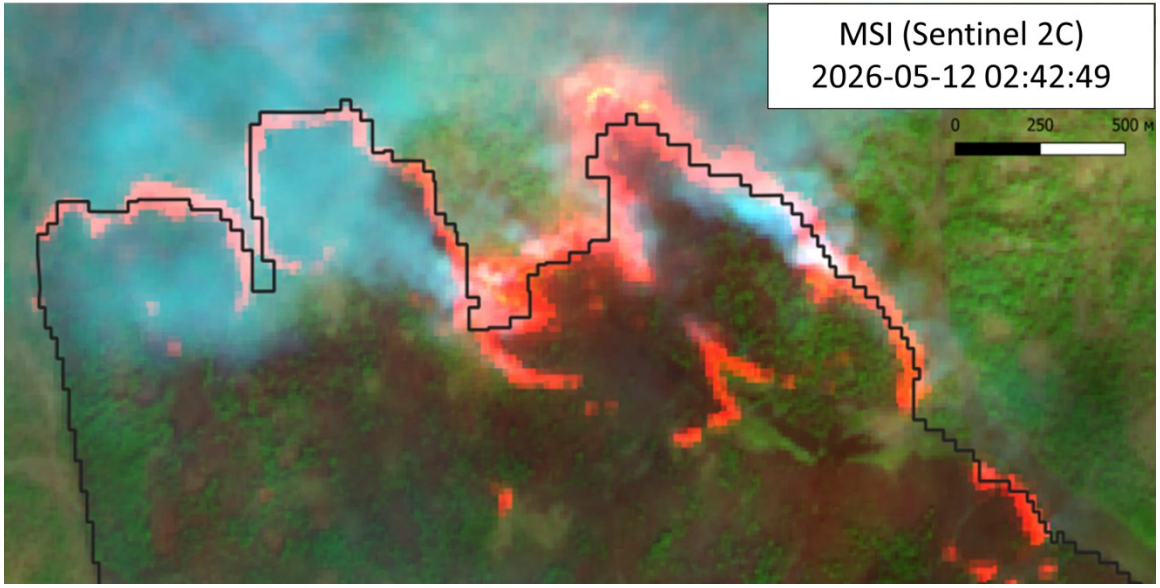
Спутниковый мониторинг динамики пожара важен для оценки положения фронта, оперативной оценки его площади и потенциальной угрозы, а также для прогноза дальнейшего распространения огня.

На данный момент сложилась уникальная ситуация беспрецедентного уровня обеспеченности спутниковыми данными пространственного разрешения 10-30 метров.

Наличие на орбите Земли трех спутников программы Sentinel-2 (прибор MSI) и двух спутников программы Landsat (приборы OLI/TIRS) делает возможным регулярное получение ежедневной, а в отдельных случаях и более частой информации о динамике природных пожаров.

Пример наблюдения динамики за 18 минут





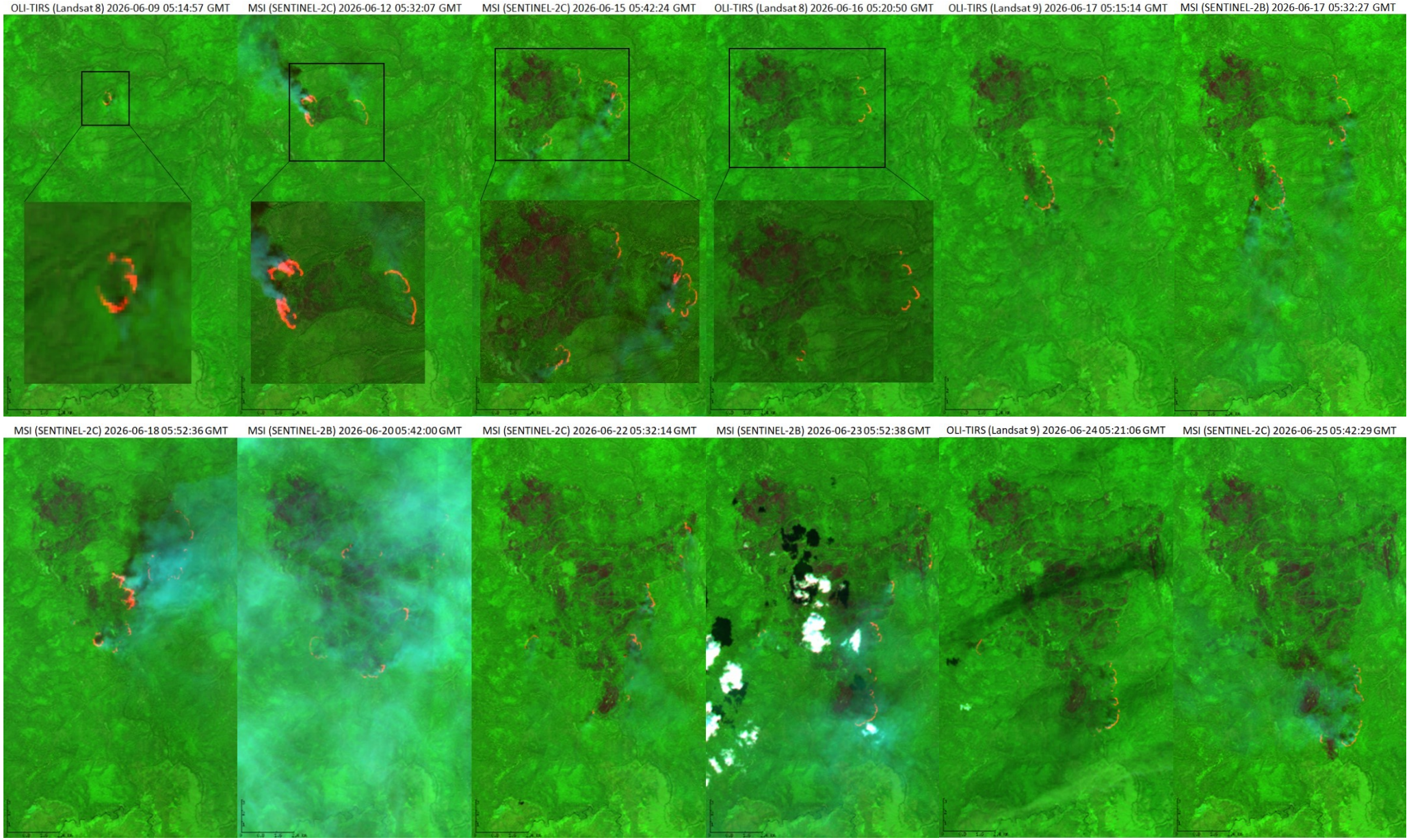
Наблюдения с разрешением 10-30 метров позволяют определить области активного горения и оценить оставленную огнем гарь.

На слайде показан пример наблюдений динамики пожара в Шимановском районе Амурской области за период 18 минут. Данные здесь и далее получены с помощью системы ВЕГА-Science

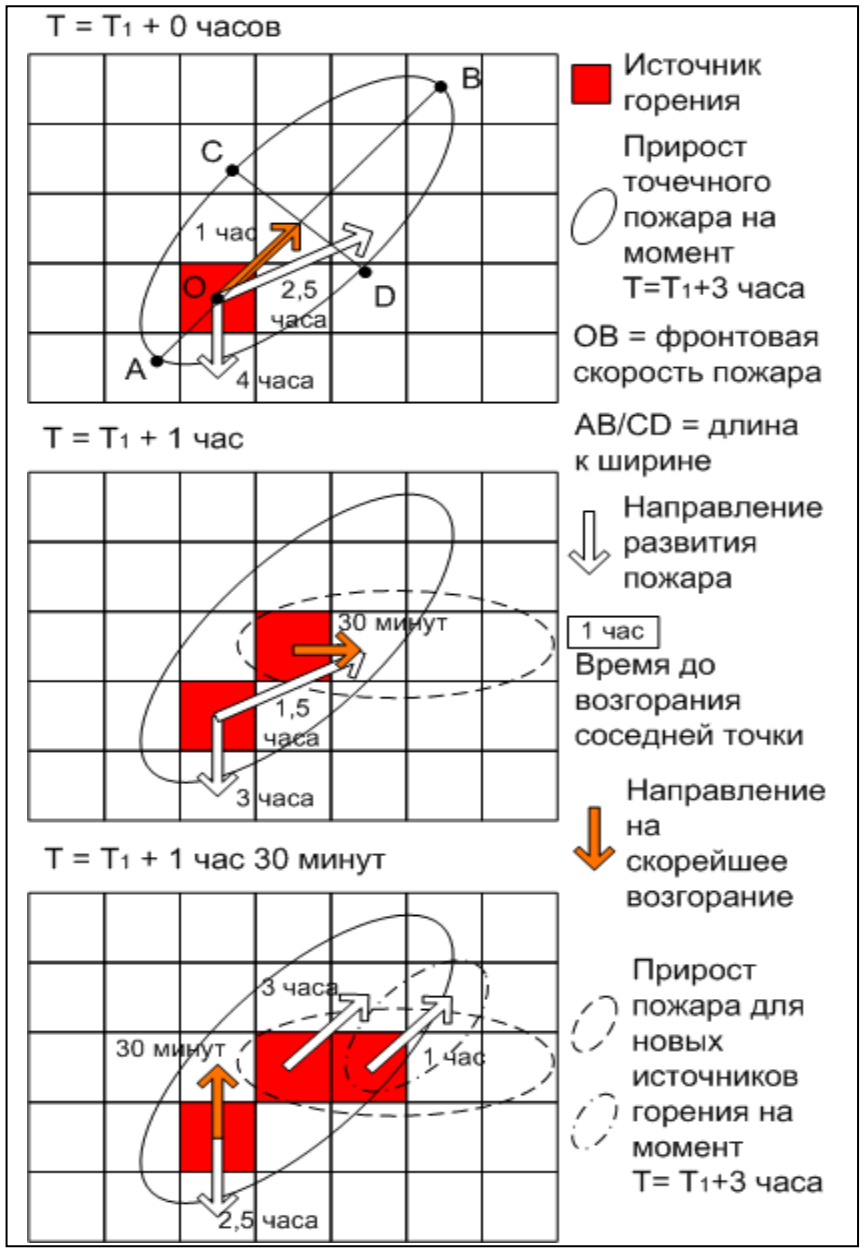
Черным отмечен контур пройденной огнем территории в начальный период времени (2026-05-12 02:24:43 UTC).

Для визуализации здесь и далее использовался RGB синтез изображений в следующих спектральных каналах: R: SWIR 2100–2280 нм, G: NIR 785–900 нм, B: Red 650–680 нм

Пример долгосрочного мониторинга



Моделирование развития пожаров



Прогноз развития пожара основан на имитационном моделировании распространения огня (уравнения модели Canadian Forest Fire Behavior Prediction System)

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

Расчет скорости производится по формулам:

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

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

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

Точечный пожар представлен как эллипс, соотношение его осей рассчитывается как

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

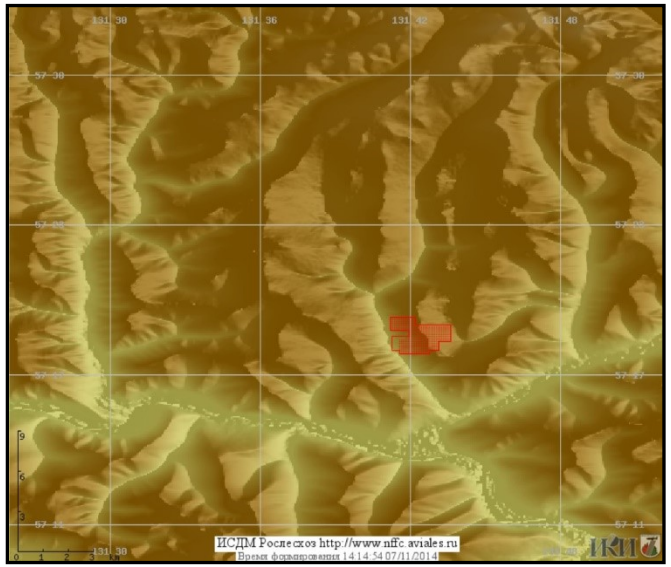
Моделирование производится на растровой сетке с разрешением 30 м.

Данные для моделирования пожара

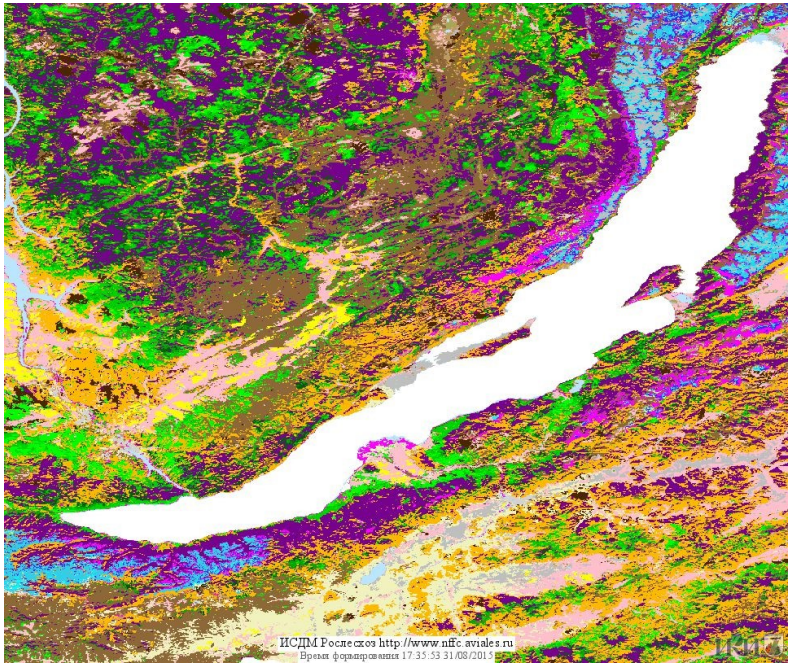
Для прогнозирования используются следующие данные:

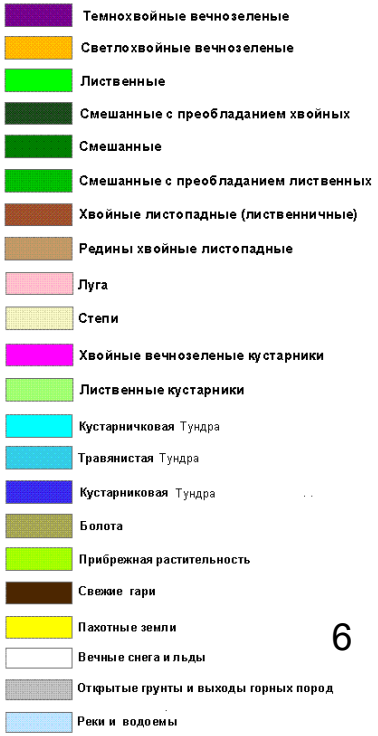
- Контур пожара и очаги активного горения для задания исходного пожара
- Карта растительных покровов для определения скорости горения (параметров горючих материалов)
- Температура, ветер и осадки (реанализ NCEP)
- Цифровая модель рельефа

Цифровая модель рельефа (ASTER GDEM)



Карта растительного покрова России



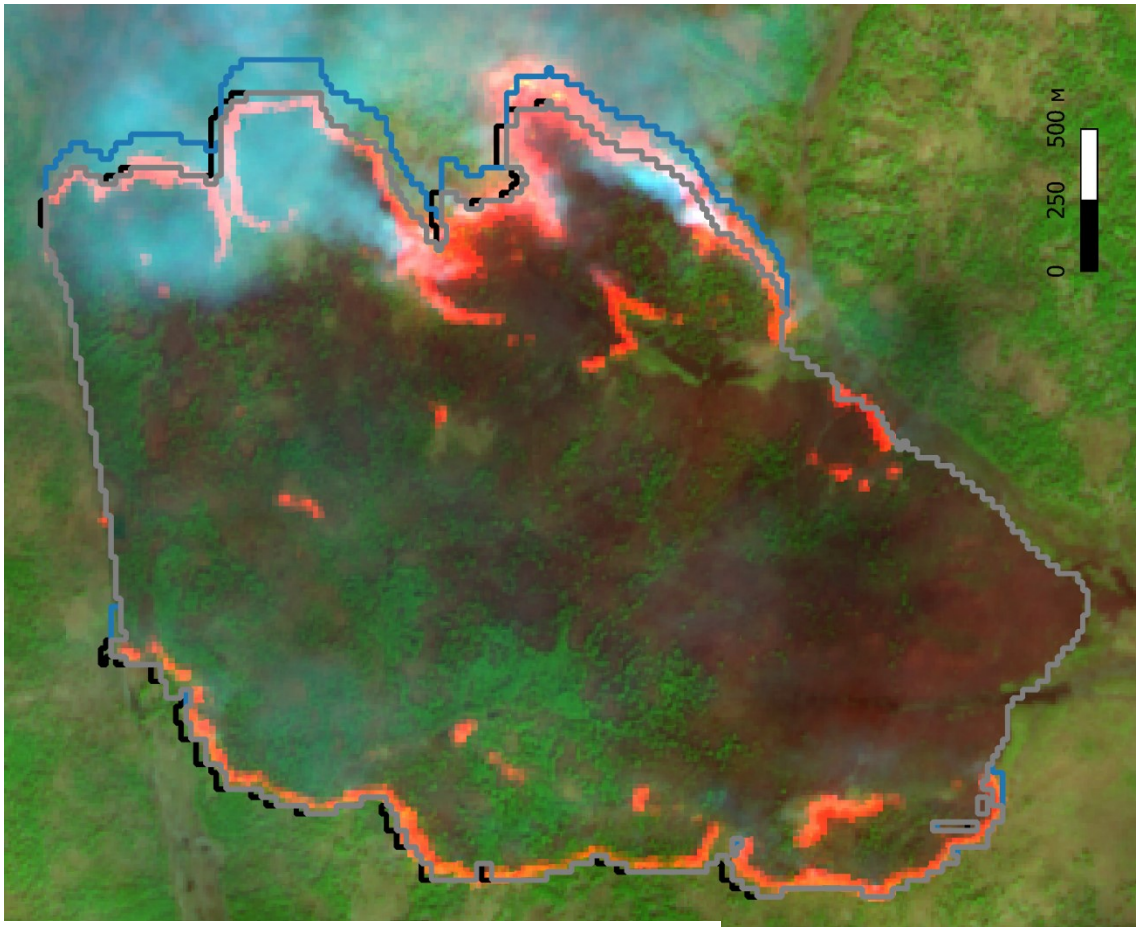


Результат моделирования пожаров

Для пожара 155 503 (идентификатор в системе ВЕГА-Science) характерно быстрое распространение на север (200 метров за 18 минут).

Модель воспроизводит значительно более медленное распространение в восточном направлении, что может свидетельствовать о некорректных метеоданных.

Задание модельного параметра ветра на 5 м/с в северном направлении улучшает модельный прогноз и позволяет точнее воспроизвести наблюдаемое по спутниковым данным развитие пожара.



Исходный контур

Прогноз

Прогноз с настройкой параметров

В фоне показан спутниковый снимок на момент окончания моделирования

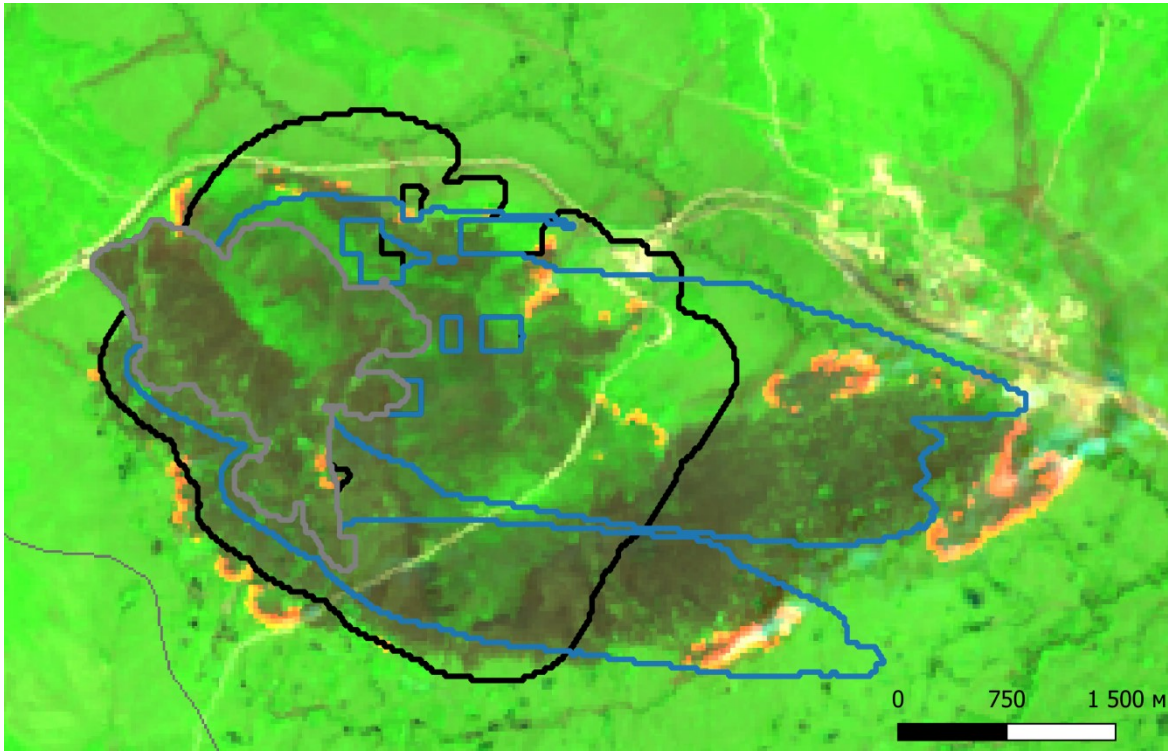
Результат моделирования пожаров

Для пожара 163 591 в период с 27 по 28 мая характерно быстрое распространение на 4,5 км в восточном направлении.

Модель также показывает преимущественно развитие на восток, но с меньшей скоростью и значимым боковым распространением.

Задание ветра 4 м/с в восточном направлении дает адекватный модельный прогноз, соответствующий наблюдаемой динамике фронта горения.

Переоценка на юго-восточном направлении связана с заданием одинаковых значений силы и направления ветра для всего интервала моделирования.



Исходный контур

Прогноз

Прогноз с настройкой параметров

В фоне показан спутниковый снимок на момент окончания моделирования

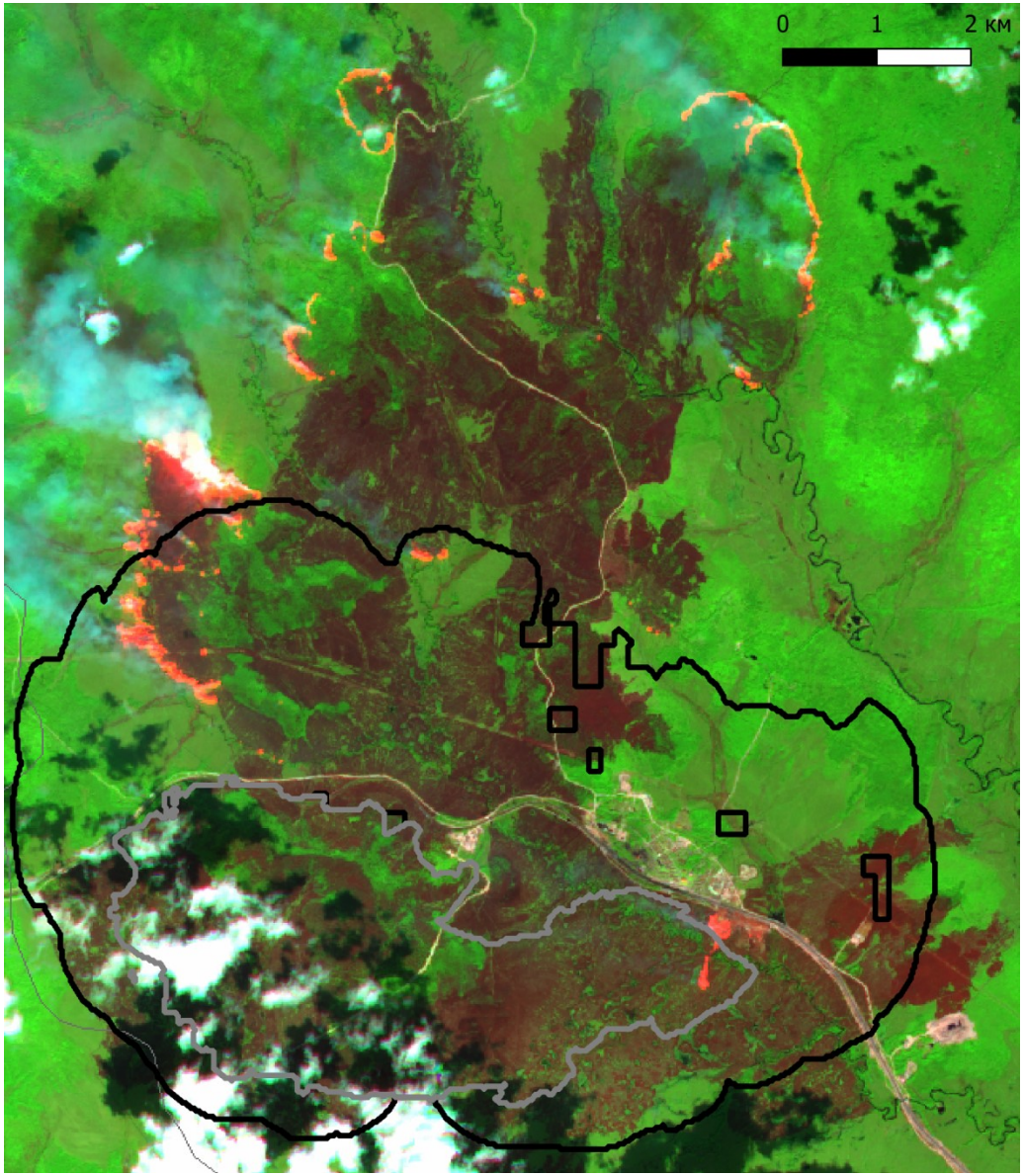
Результат моделирования пожаров

Для пожара 163 591 при его развитии с 28 мая по 2 июня характерно преимущественно распространение в северном и восточном направлении.

Модель успешно воспроизвела развитие пожара, несмотря на длительный период моделирования.

Недооценка на севере пожара может быть объяснена возникновением нового пожара.

Переоценка на северо-востоке предположительно связана с противопожарными мерами.



Исходный контур

Прогноз

Прогноз с настройкой параметров

В фоне показан спутниковый снимок на момент окончания моделирования

Заключение

Полученные результаты показали возможность мониторинга развития пожаров с высоким уровнем пространственной и временной детальности на основе совместного использования данных спутников систем Sentinel-2 и Landsat.

Полученные прогнозы распространения огня показали высокий уровень соответствия с фактическими спутниковыми наблюдениями его динамики.

Также было показано, как настройка параметров модели, в частности данных о метеоусловиях, позволяет значительно улучшить качество получаемых модельных прогнозов.

Приведенные в работе примеры также показывают, что регулярные наблюдения на основе спутниковых данных Landsat и Sentinel позволяет восстановить историю развития пожара и оценить скорость его распространения на разных участках фронта горения.

Работа выполнена в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 126031818938-6) с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».