



Метод автоматического детектирования повреждений растительного покрова природными пожарами по данным спутников серий Landsat и Sentinel-2

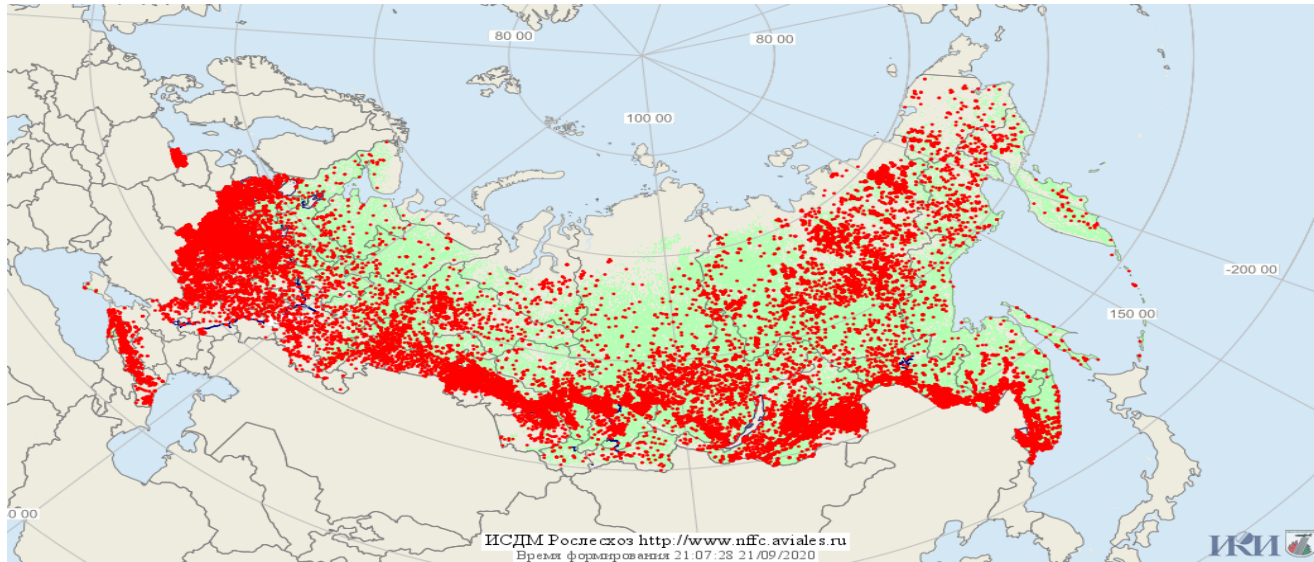
Кашницкий А.В.

Институт космических исследований РАН

Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН
14 – 18 ноября 2022 г.

Введение

Ежегодно леса России подвергаются воздействию разрушительных пожаров, общая площадь которых измеряется в миллионах гектар. В силу обширной и труднодоступной территории практически единственным способом изучения лесных пожаров и их последствий на всей территории страны является использование спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).



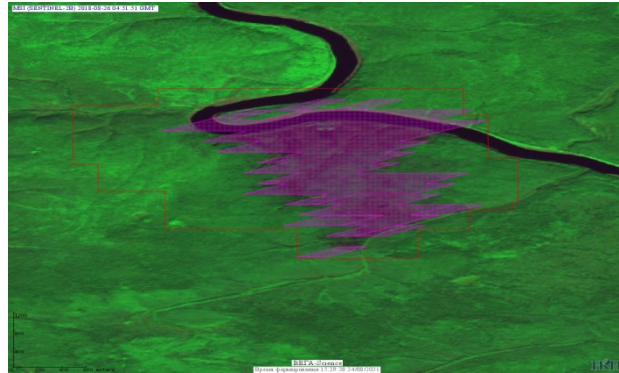
Все лесные пожары за 2019 год по данным активного горения

Введение

В области изучения по спутниковым данным лесных пожаров на территории России и их последствий выполнено множество работ. Однако работы, посвященные массовому анализу лесных пожаров на всю территорию России за длинный промежуток времени, выполнены на основе данных низкого и среднего пространственного разрешения (250-1000 м/пиксель). Такие оценки хотя и могут использоваться для анализа пожаров в масштабах регионов и страны, являются недостаточно точными и не применимы в ряде случаев, например, при анализе мелких лесных пожаров.



1



2



3

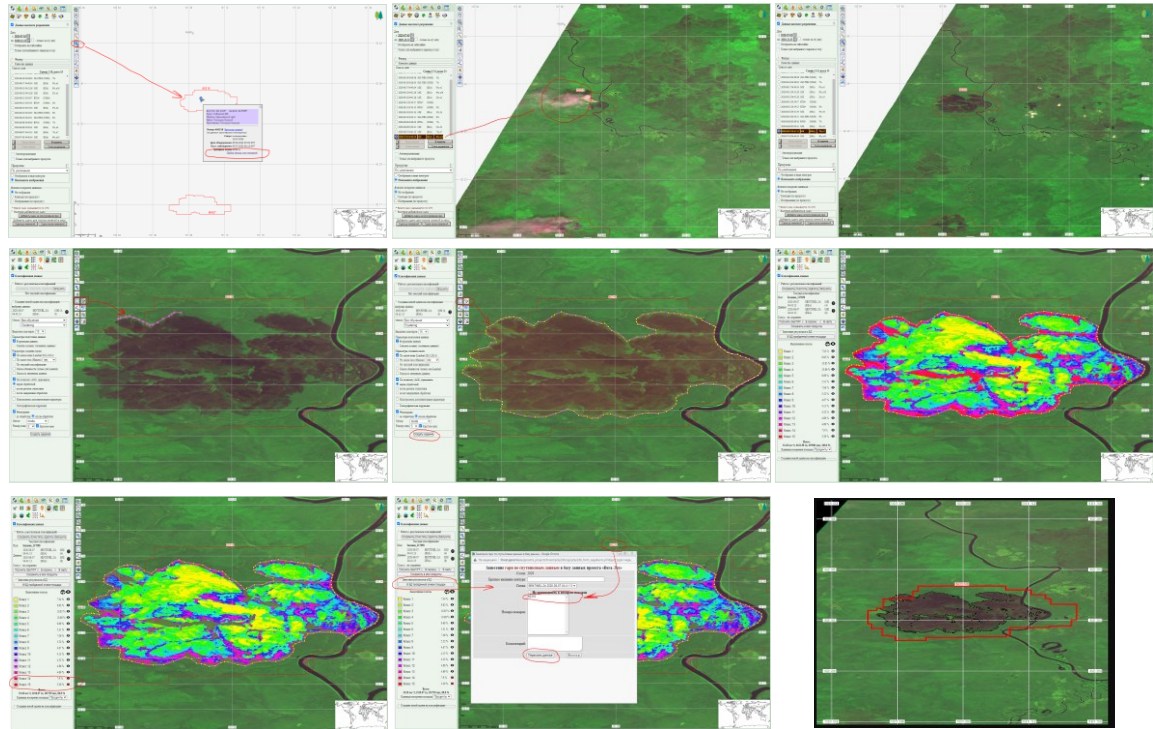
Пример контура пожара.

1 – по активному горению (1000 м/пиксель)

2 – на основе оценки повреждений по данным MODIS (250 м/пиксель)

3 – на основе оценки повреждений по данным MSI (10 м/пиксель)

Введение



Применяемая на данный момент в ИКИ РАН схема интерактивного получения контуров пожаров

Постановка задачи и путь ее решения

Необходимо разработать метод автоматического детектирования постпожарных повреждений растительного покрова на основе данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. С его помощью должна быть возможность получения точной и независимой информации о повреждениях лесов пожарами на территории России с пространственным разрешением 10-30 метров на пиксель.

Путь решения – использовать информацию о контурах природных пожаров на основе активного горения (MODIS) как указание для дальнейшего получения серий данных в оптическом и инфракрасном диапазоне (Landsat|Sentinel-2) и автоматическое выделение по ним поврежденных огнем участков в области обнаруженного активного горения. Проведение такой процедуры предполагается для каждого обнаруженного по активному горению лесного пожара на территории России.

Постановка задачи и путь ее решения

Основные проблемы, которые не позволяли ранее перейти от обработки с участием оператора к автоматическому алгоритму:

1. Выбор пригодных для детектирования повреждений растительности безоблачных спутниковых данных. Это решено на основе создания композитных изображений за короткий период после завершения пожара и за аналогичные периоды в два года предыдущих года.
2. Выбор области, в которой необходимо искать повреждения от конкретного пожара. Это решено с помощью использования целеуказаний по данным активного горения и многоэтапного последовательного расширения области поиска последствий пожара.
3. Отделение поврежденных огнем участков от иных темных объектов, например болот или гарей предыдущих лет. Это решено на основе сопоставления информации до момента возникновения пожара и после его завершения.

Схема алгоритма детектирования



Схема алгоритма детектирования



Полученный контур по активному горению – входная информация для алгоритма

Схема анализа данных детектирования активного горения

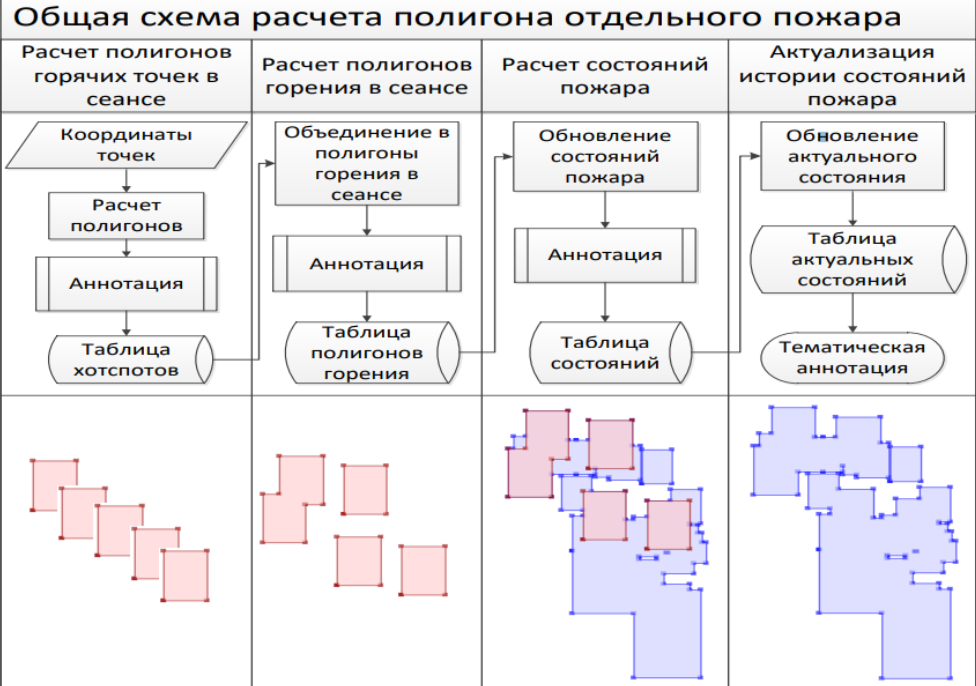
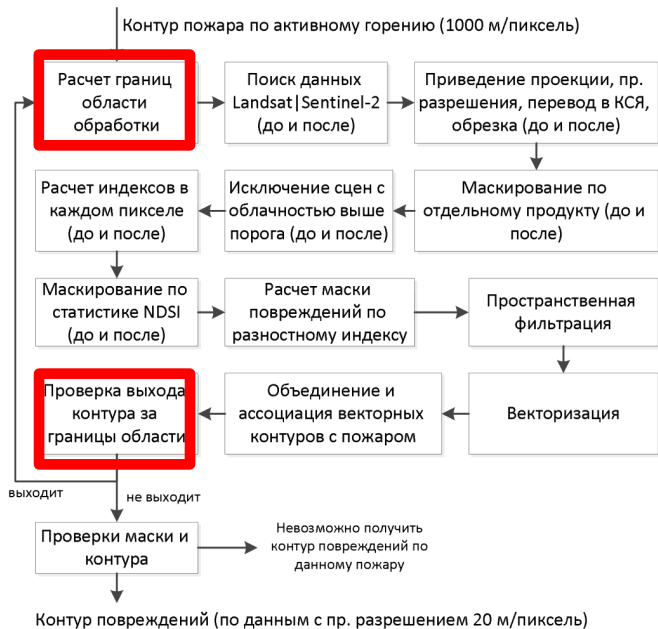


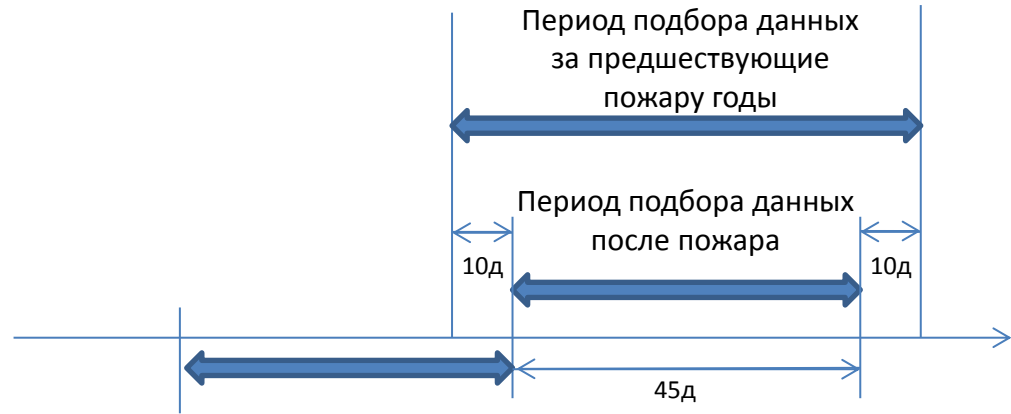
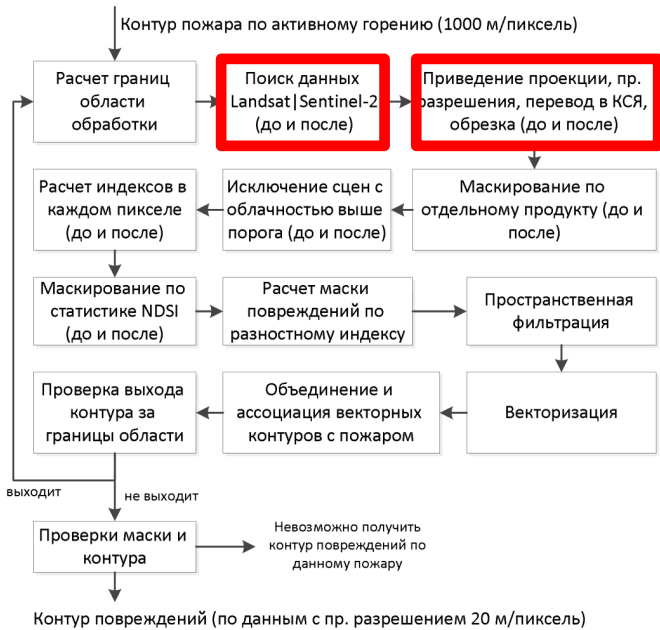
Схема получения контуров пожаров по активному горению (из презентации Лупян и др., 2021. Оценка площадей пройденных лесными пожарами с использованием данных коллекции MC6 прибора MODIS)

Схема алгоритма детектирования



Итеративный подбор границ области обработки

Схема алгоритма детектирования



На этих этапах производится поиск всех доступных данных, объединение фрагментов, приведение к одной проекции каждой сцены, перевод в КСЯ, обрезка по границам области обработки

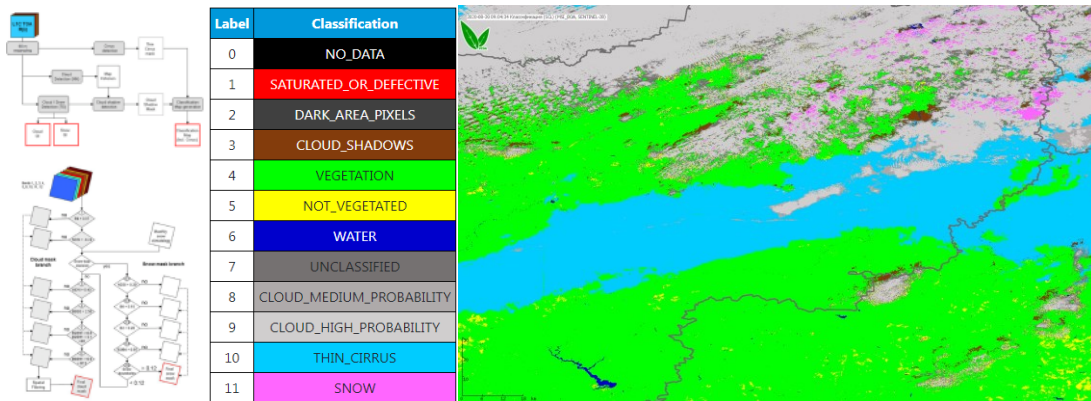
Схема алгоритма детектирования



Sentinel-2:

Маска sen2cor scene classification

(<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a/algorithm>)



Landsat:

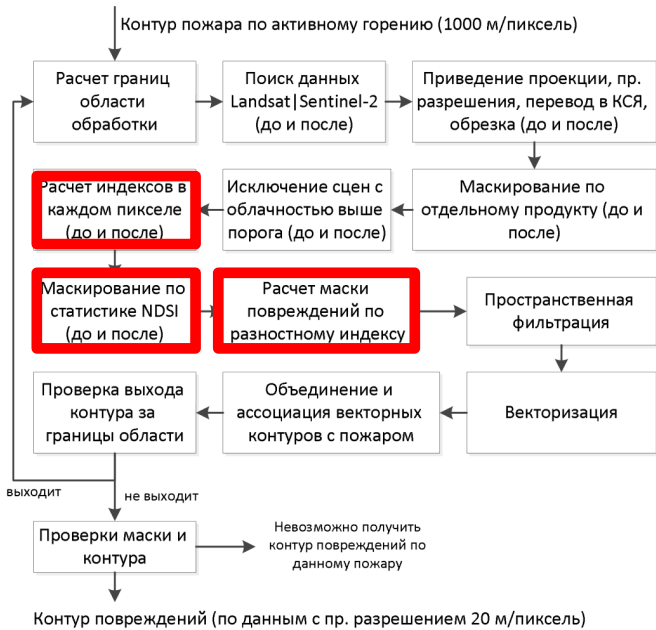
1. BQA landsat collection 2 (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-quality-assessment-bands>)

2. BQA landsat collection 1 (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band>)

3. Модифицированный Fmask (Колбудаев П.А., Бартаев С.А., Матвеев А.М., Плотников Д.Е. Технология обработки временных серий спутниковых данных Landsat-TM/ETM+ // Одиннадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 11-15 ноября 2013. Сборник тезисов конференции, 2013. С. 37.)

Проводится маскирование каждой сцены по имеющимся в архиве продуктам и полное исключение сцен с облачностью выше порога (не только отдельных пикселей, а сцен целиком, включая безоблачные пиксели облачных сцен)

Схема алгоритма детектирования



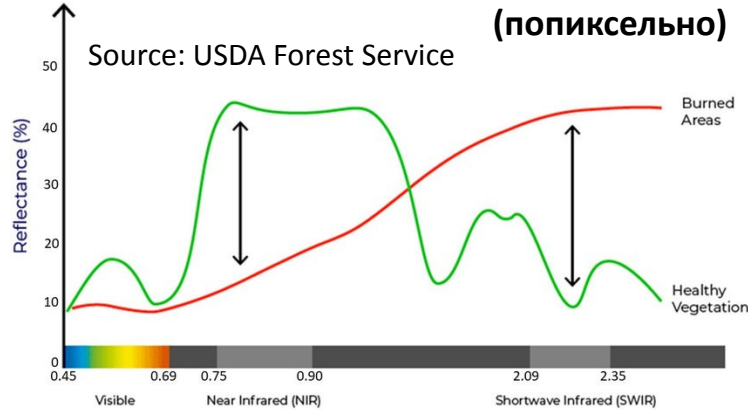
Исключение значений (попиксельно)

$$NDSI = \frac{BLUE - SWIR2}{BLUE + SWIR2}$$

Оставить только такие, где

$$NDSI_K - NDSI_{median}(\{NDSI_1, NDSI_2, \dots, NDSI_N\}) > 3 * std(\{NDSI_1, NDSI_2, \dots, NDSI_N\})$$

Маска повреждений по разностному индексу на чистых наблюдениях (попиксельно)



$$NBRs = \frac{SWIR2 - SWIR1}{SWIR2 + SWIR1}$$

$$medianNBRswir_{до} = median(\{NBRs_{1до}, NBRs_{2до}, \dots, NBRs_{Nдо}\})$$

$$stdNBRswir_{до} = std(\{NBRs_{1до}, NBRs_{2до}, \dots, NBRs_{Nдо}\})$$

$$medianNBRswir_{после} = median(\{NBRs_{1после}, NBRs_{2после}, \dots, NBRs_{Nпосле}\})$$

$$DifNBRs = medianNBRswir_{после} - medianNBRswir_{до}$$

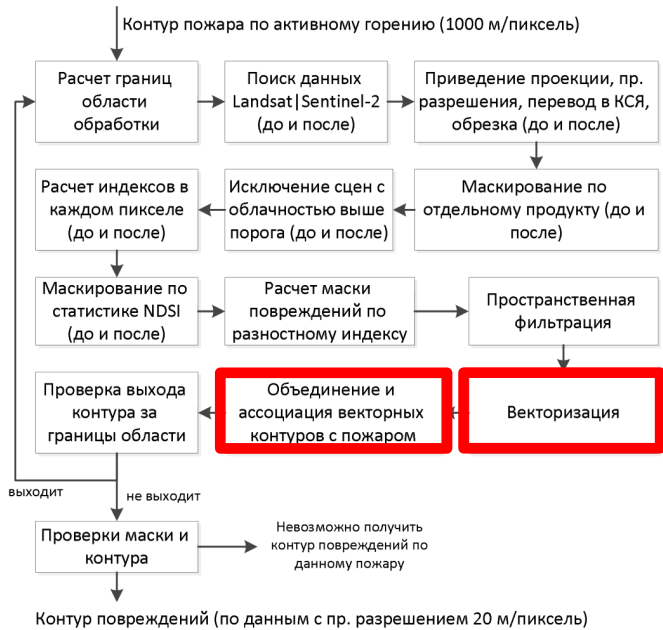
Маска – такие пиксели, где

$$DifNBRs > 0.15 \text{ или}$$

$$(DifNBRs > 0.05 \text{ и } DifNBRs > 2 * stdNBRswir_{до})$$

Коэффициенты подобраны эмпирически по тестовой выборке 2021 года и нуждаются в уточнении

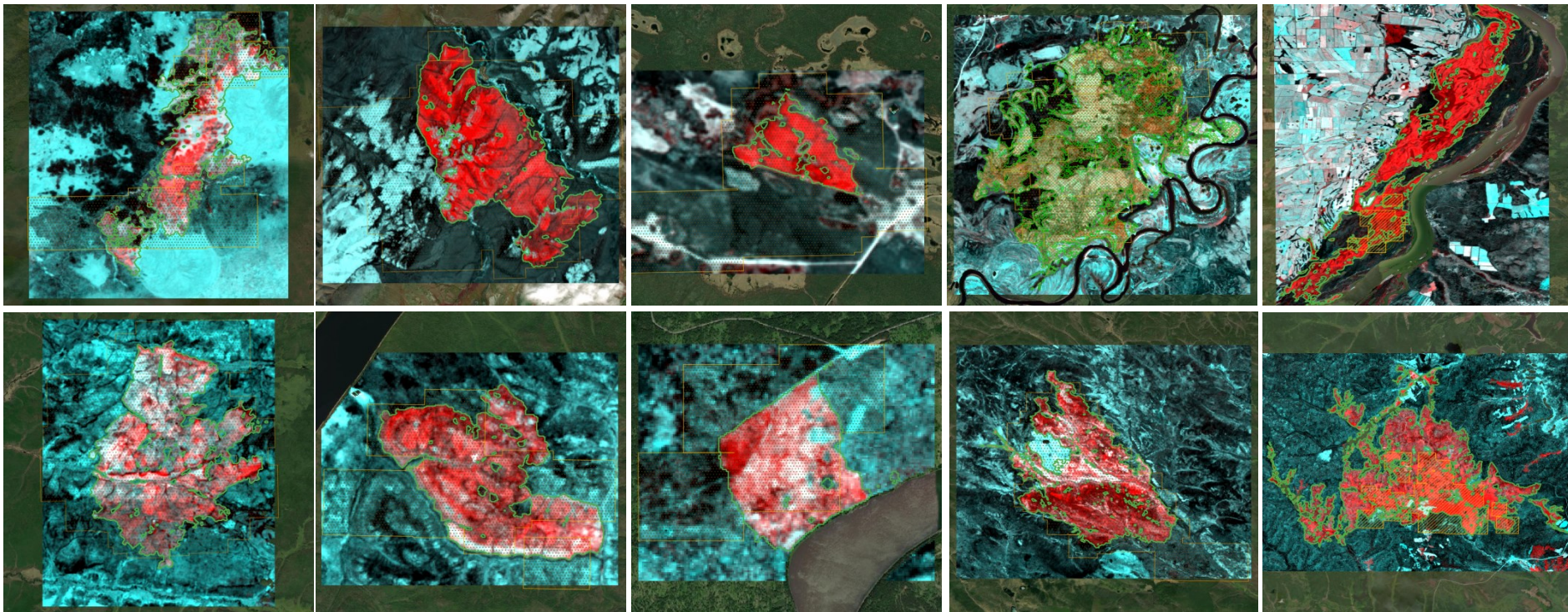
Схема алгоритма детектирования



Особенности векторизации, объединения и ассоциации найденных векторных контуров повреждений с пожаром

Результаты обработки

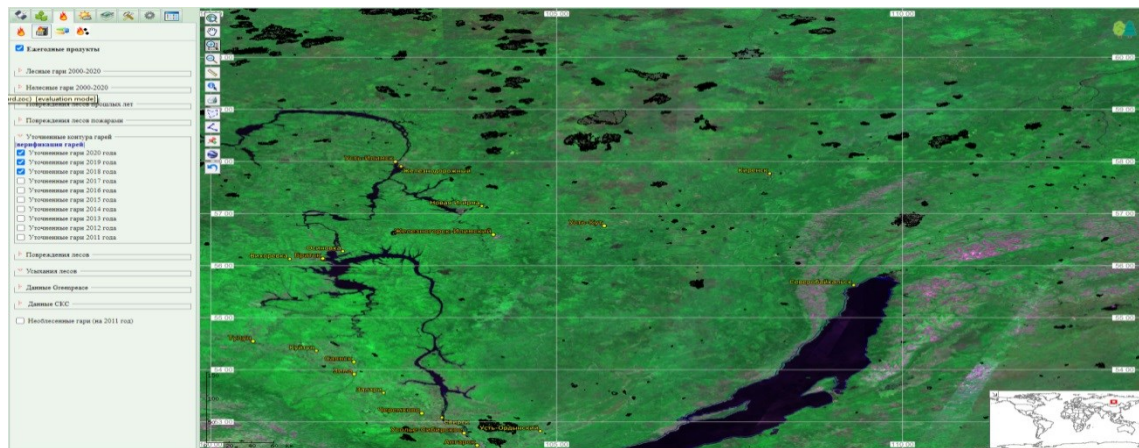
Была проведена обработка по существующей базе данных (только лесные пожары). Проведены эксперименты с настройкой параметров (основные – временные интервалы, различные спектральные индексы, разные способы выделения контура и фильтрации сцен)



Примеры результатов детектирования контуров повреждений. Зеленым – полученные в автоматическом режиме (20м/пкс), оранжевым – по активному горению(1000м/пкс), подложка 1 – разновременной синтез (R:NBRswirAfter, G:NBRswirPrevious, B:NBRswirPrevious), подложка 2 – мозаика World Imagery

Оценка точности

Оценка точности проведена по ранее созданной в ручном режиме базе контуров повреждений. База данных представляет собой набор записей, содержащих информацию о пространственном контуре постпожарных повреждений растительности (на основе данных высокого пространственного разрешения), характеристиках спутниковых данных, по которым этот контур был получен (включая дату), а также дополнительную информацию о пожаре на основе данных активного горения. База данных постоянно пополняется.

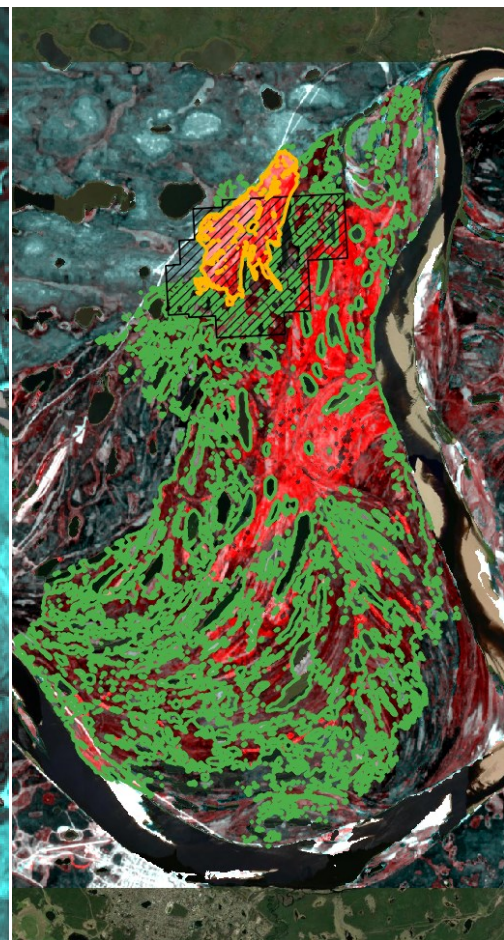
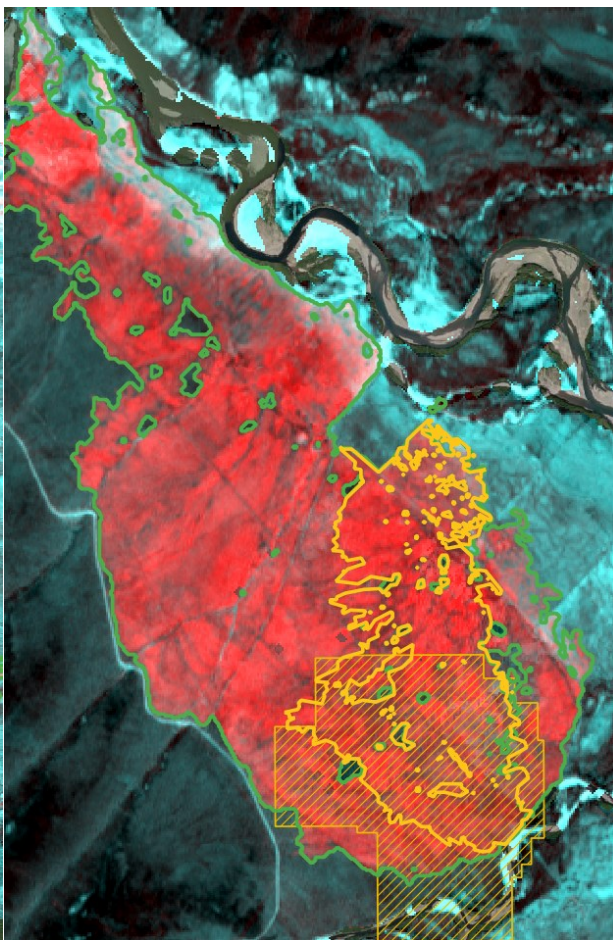
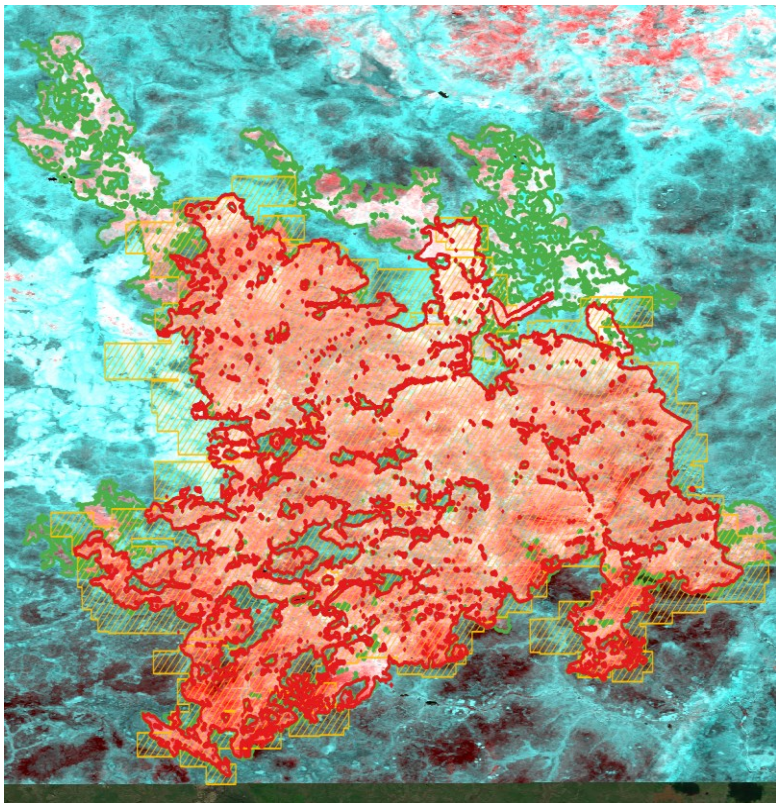


Слой контуров на север Иркутской области, подложка – композит по данным Sentinel-2 за летние месяцы 2021 года

year	complicated	verified
2009	0	5
2010	48	266
2011	630	1702
2012	418	1071
2013	850	1944
2015	199	526
2016	160	177
2017	189	256
2018	134	340
2019	355	617
2020	144	717
2021	0	251

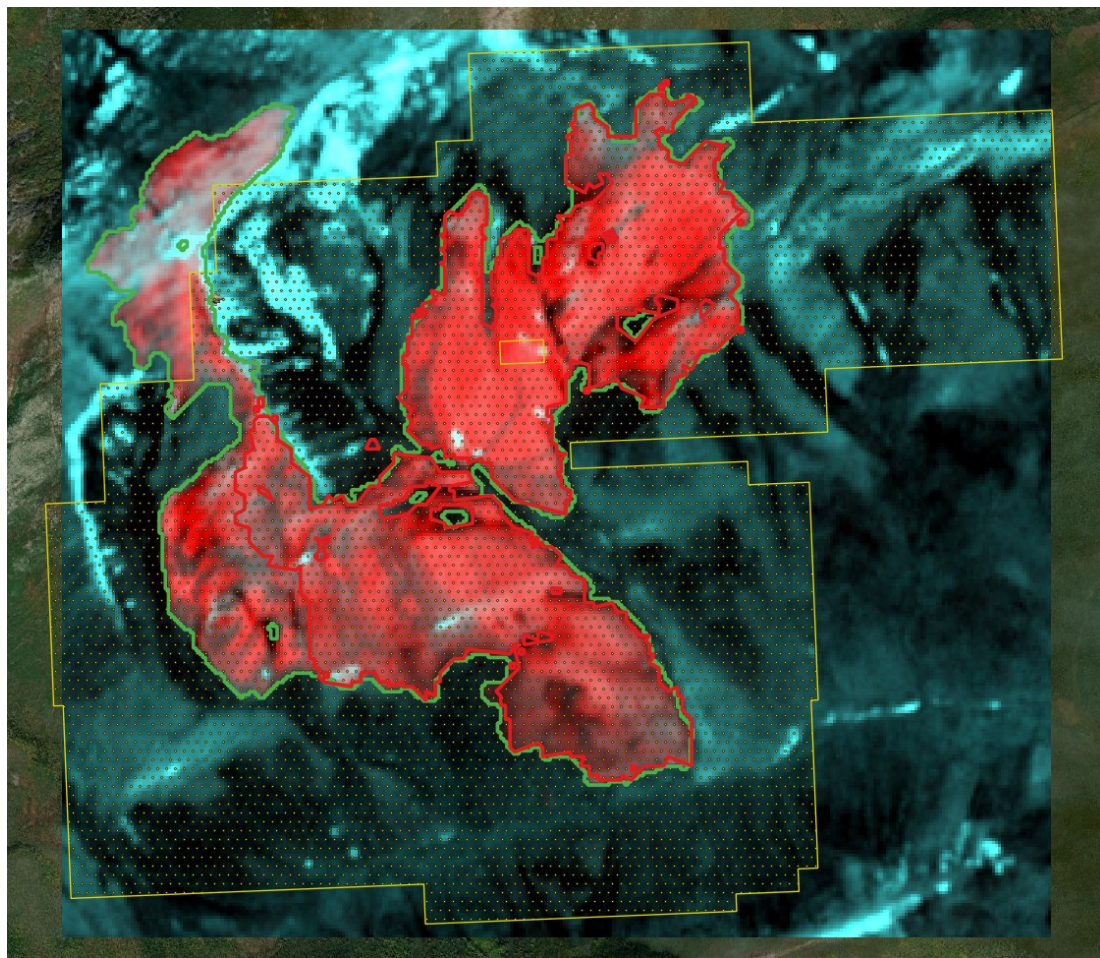
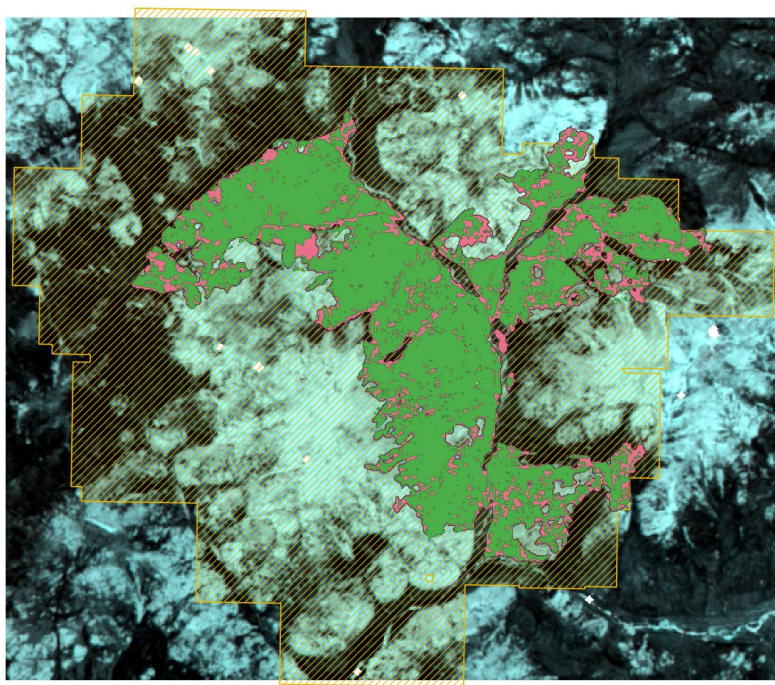
Оценка точности. Проблемы контрольной БД.

Ошибки контрольной БД из-за слишком быстрого закрытия пожара (активное горение еще продолжалось)



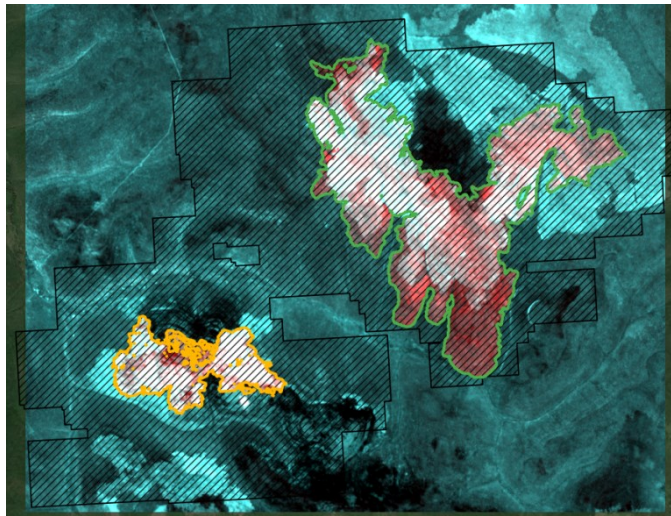
Оценка точности. Проблемы контрольной БД.

Ошибки недобора площадей (возможно из-за незначительности повреждений или вынужденного подбора далекой даты снимка после)

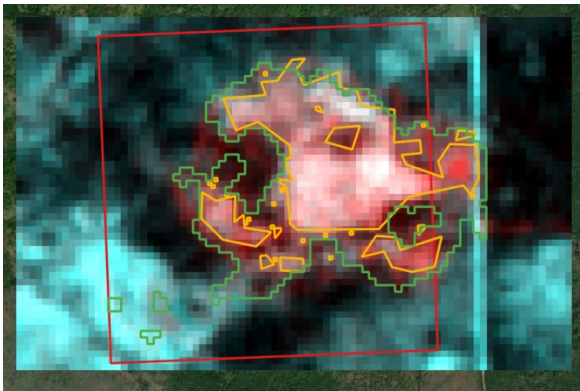


Оценка точности. Проблемы контрольной БД.

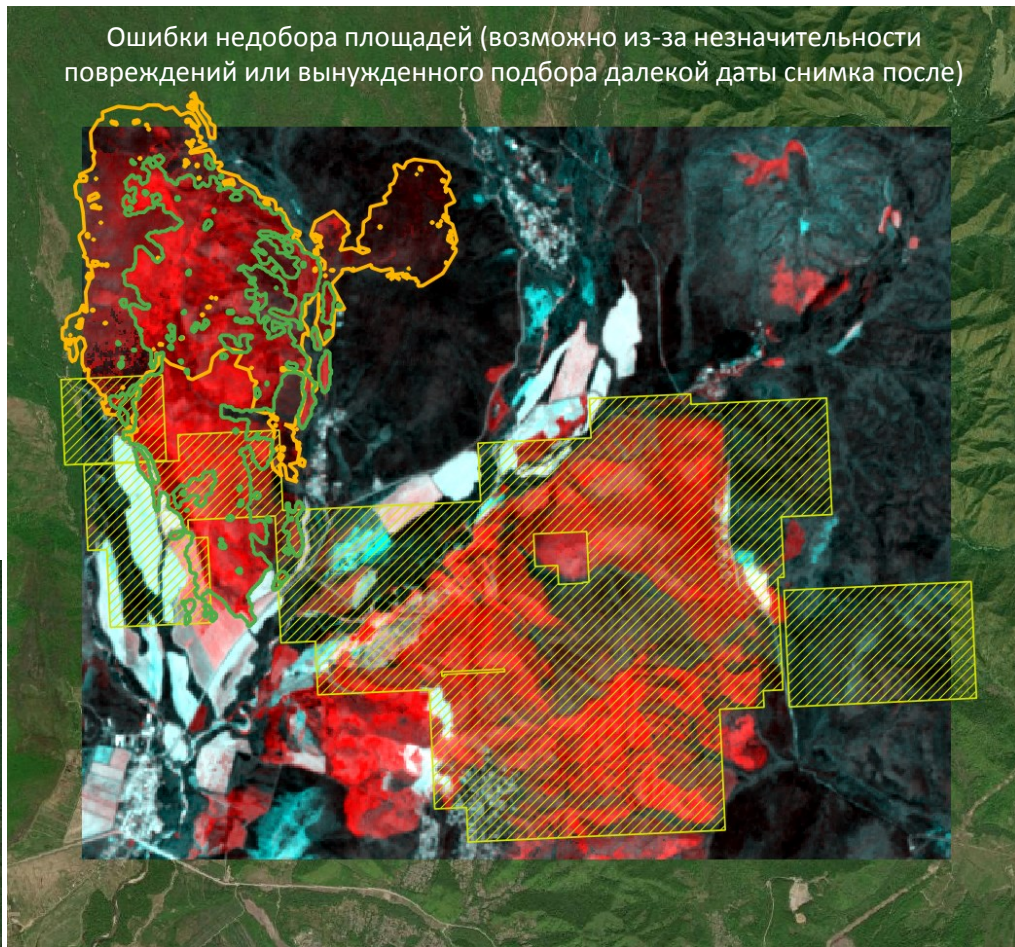
Ошибки привязки
(повреждения не того
пожара или не
все
повреждения)



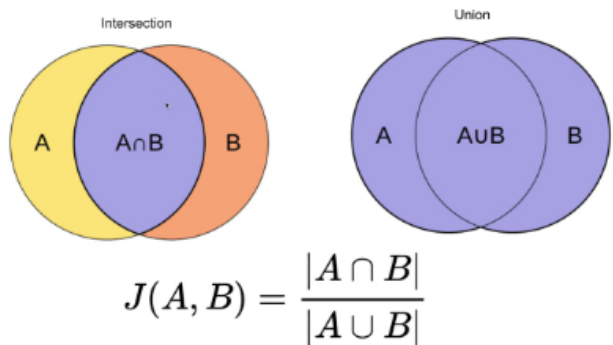
Ошибки недобора
площадей и
несовершенства
процедуры
упрощения контура



Ошибки недобора площадей (возможно из-за незначительности
повреждений или вынужденного подбора далекой даты снимка после)



Оценка точности



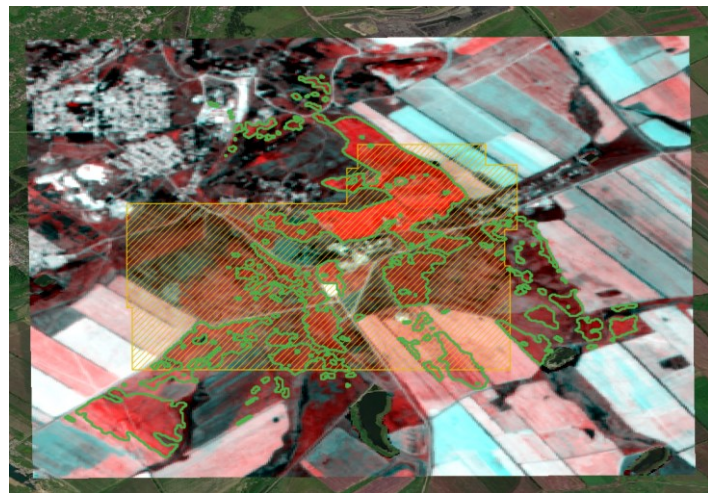
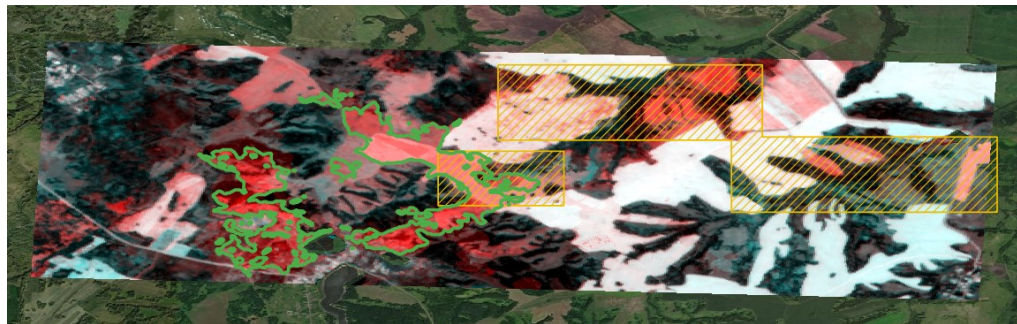
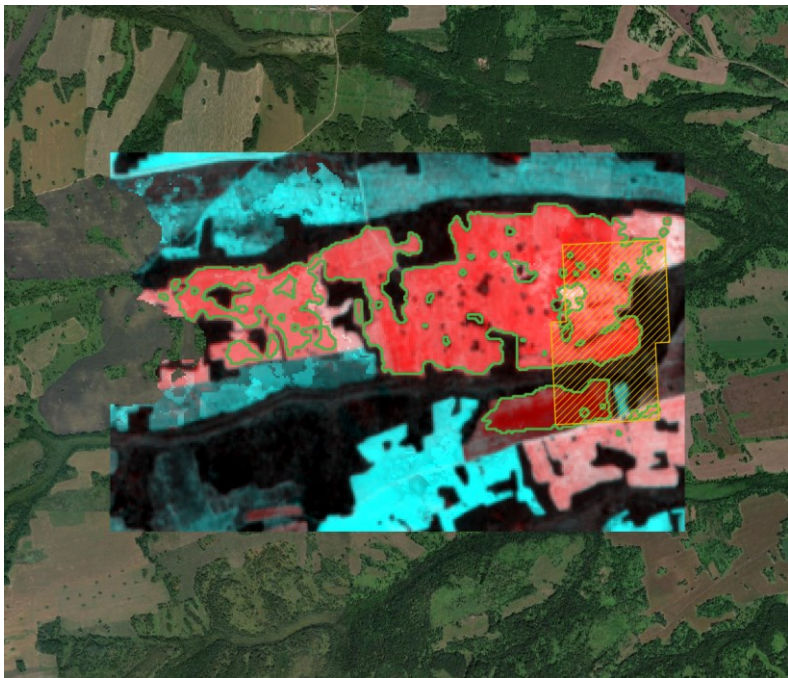
Контрольная БД и результаты обработки – векторные контура (MULTIPOLYGON)

В связи с этим в качестве метрики оценки выбрана метрика Жаккара

Год	Всего гарей в контрольной БД	Гарей с $J > 0.7$ (% от найденных)	Гарей с $J > 0.5$ (% от найденных)	Гарей с $J < 0.5$ (% от найденных)	Не удалось найти контур (% от всех)	Средняя J	Средняя J без вероятных ошибок контрольной БД (где $J=0$)
2021	251	172 (71%)	205 (84%)	38 (16%)	8 (3%)	0.70	0.74
2020	861	596 (74%)	672 (83%)	133 (17%)	56 (7%)	0.72	0.76

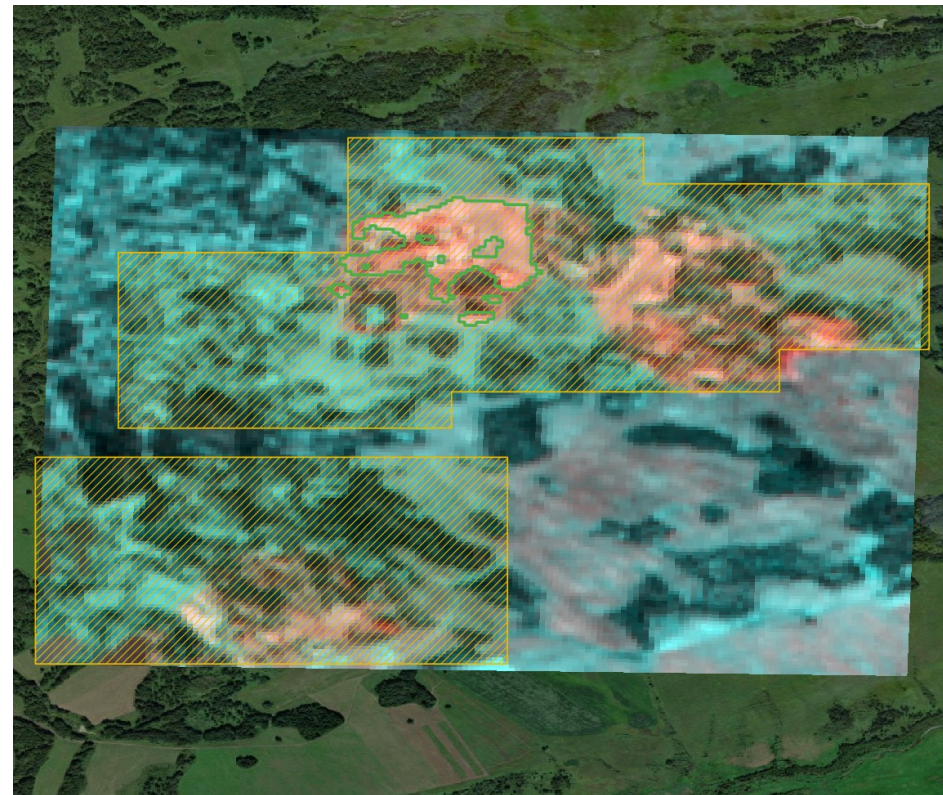
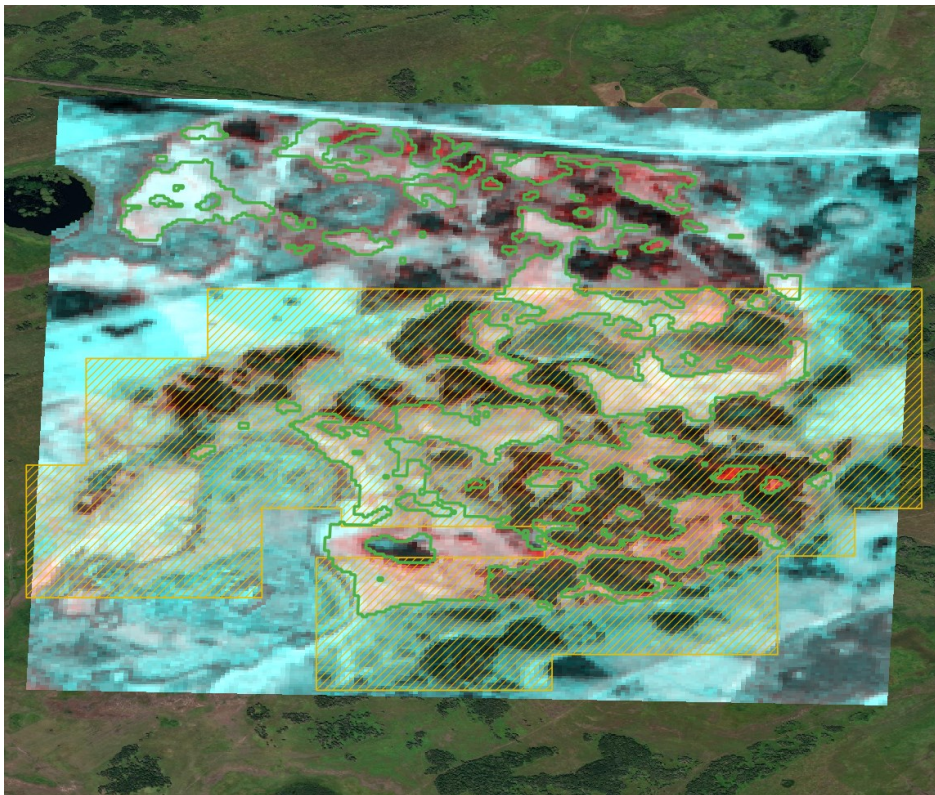
Примеры ошибок и проблем

Методические проблемы с влиянием хозяйственной деятельности (сельское хозяйство)



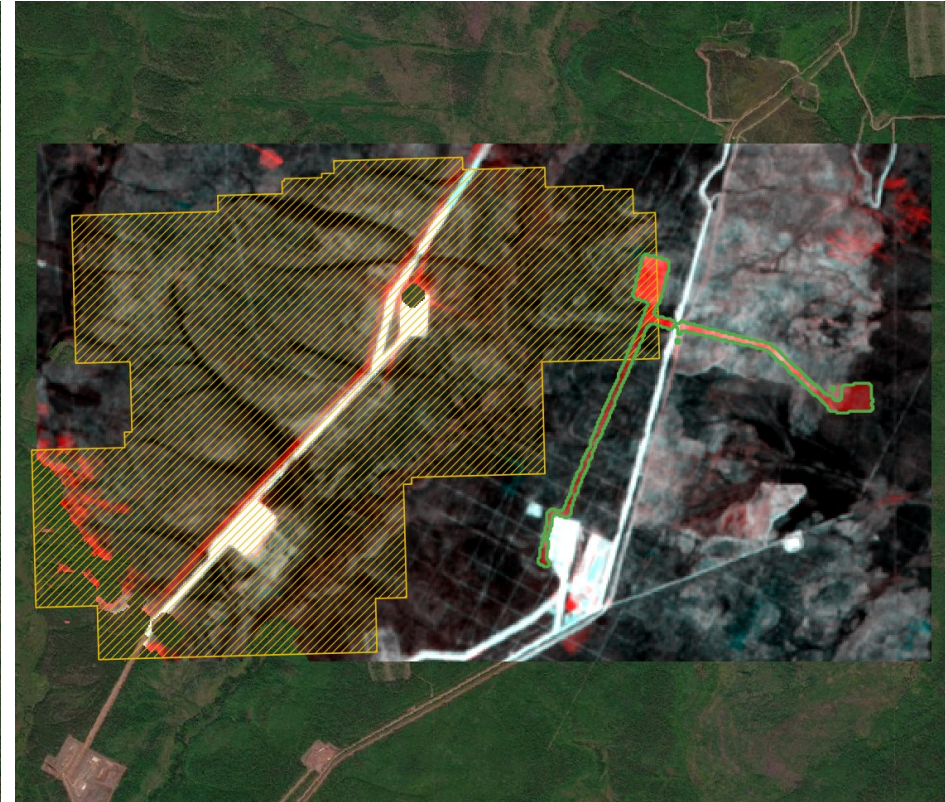
Примеры ошибок и проблем

Проблемы на частично покрытых лесом территориях



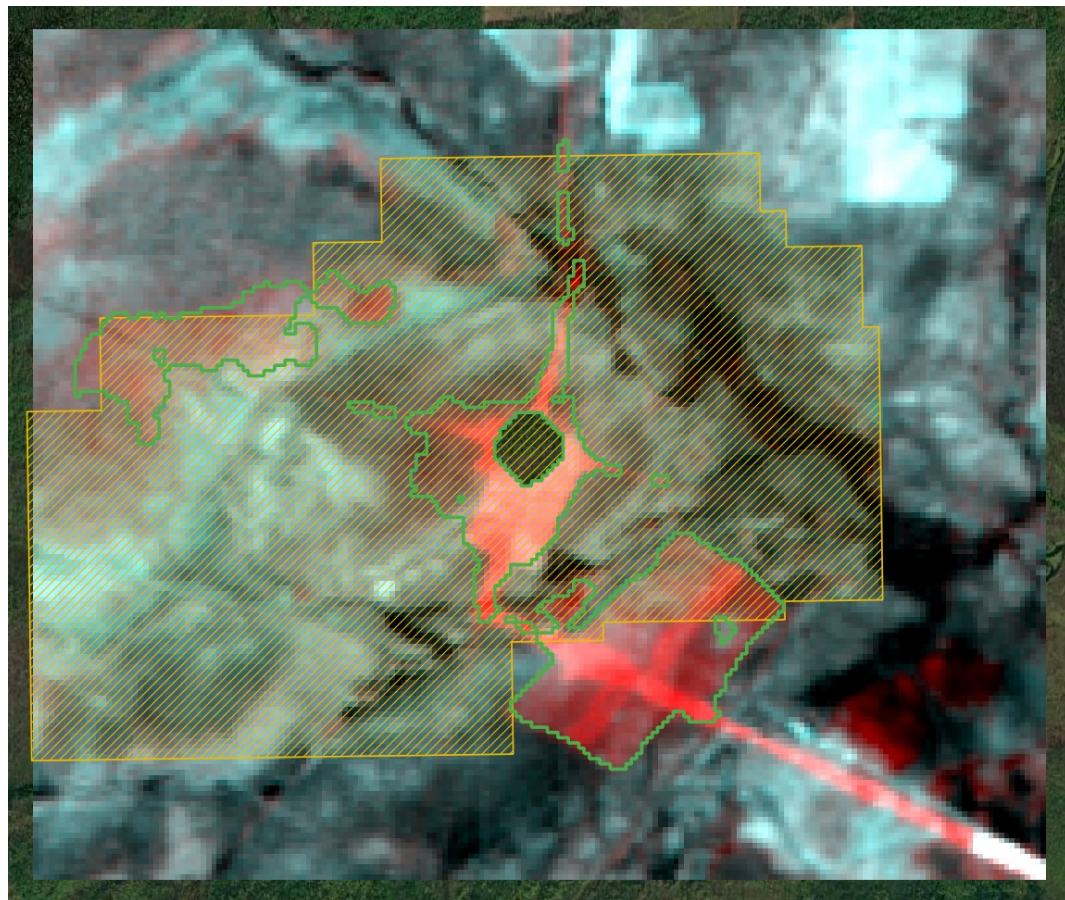
Примеры ошибок и проблем

Методические проблемы с влиянием хозяйственной деятельности (рубки леса)



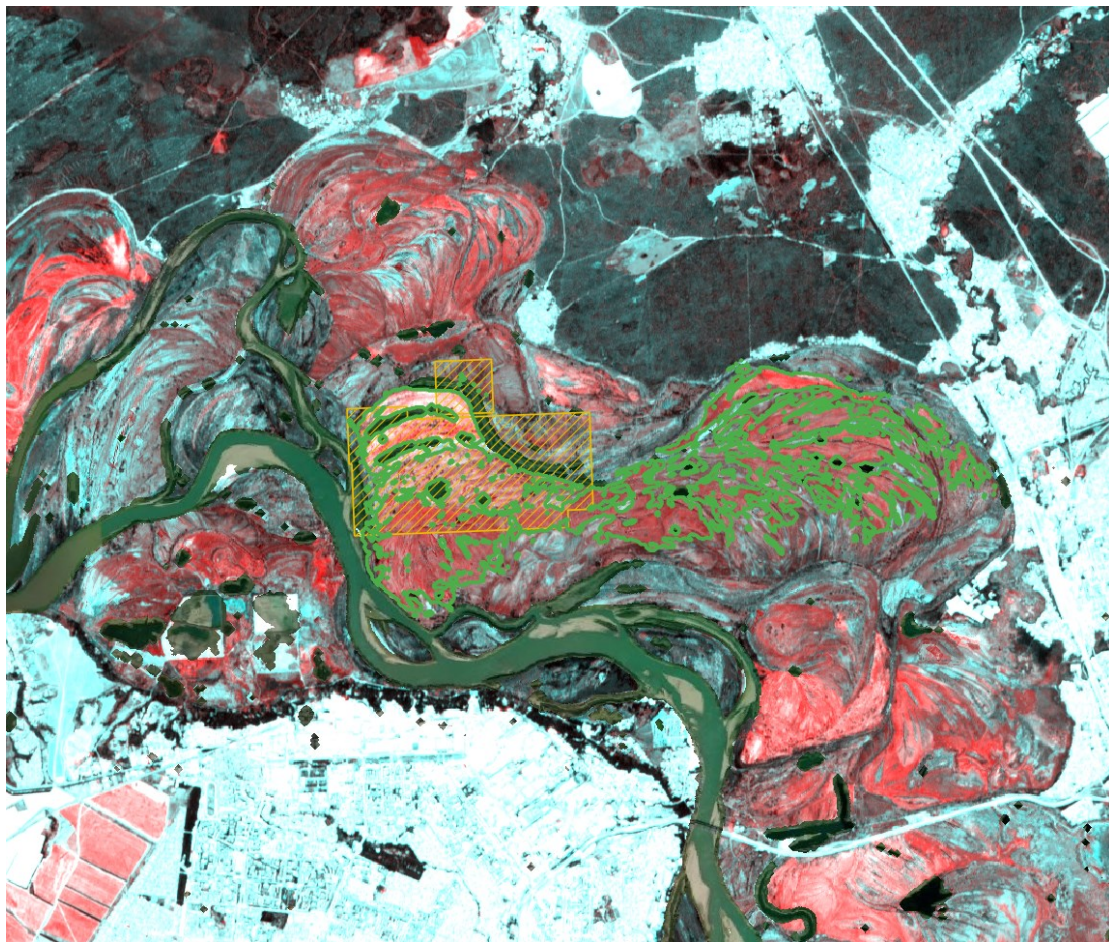
Примеры ошибок и проблем

Методические проблемы с влиянием
хозяйственной деятельности
(постоянные огни)



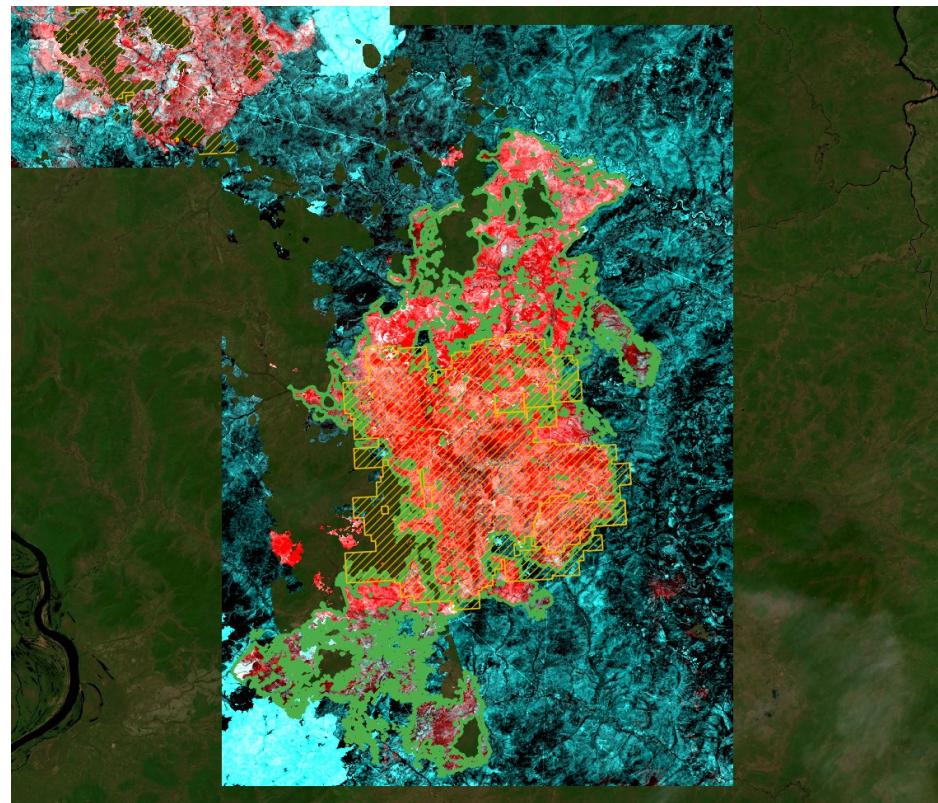
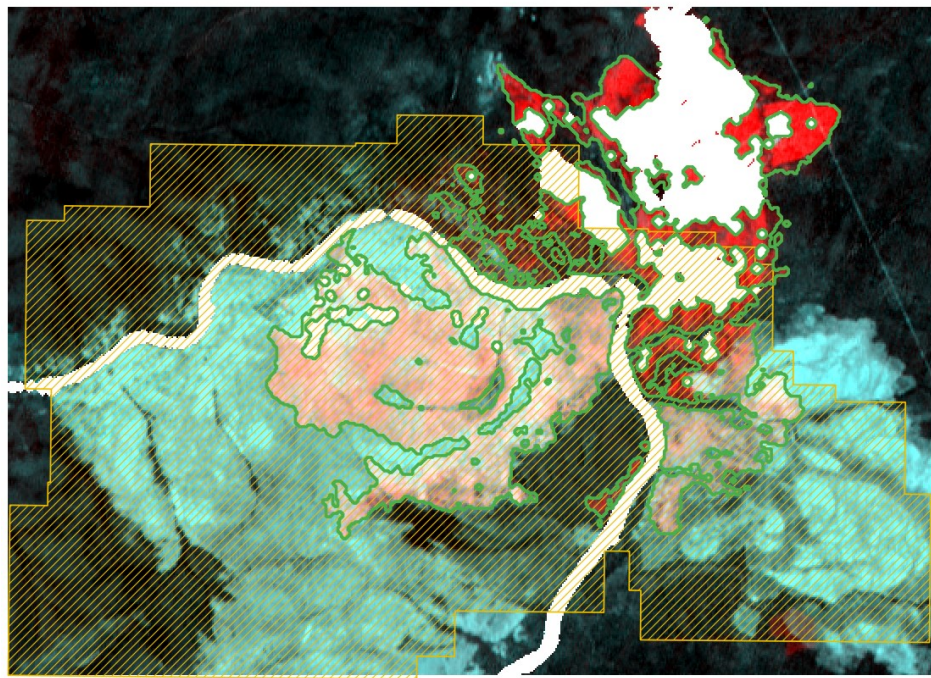
Примеры ошибок и проблем

Вопросы пойменных участков (были пойменные пожары или изменения не связаны огнем?)



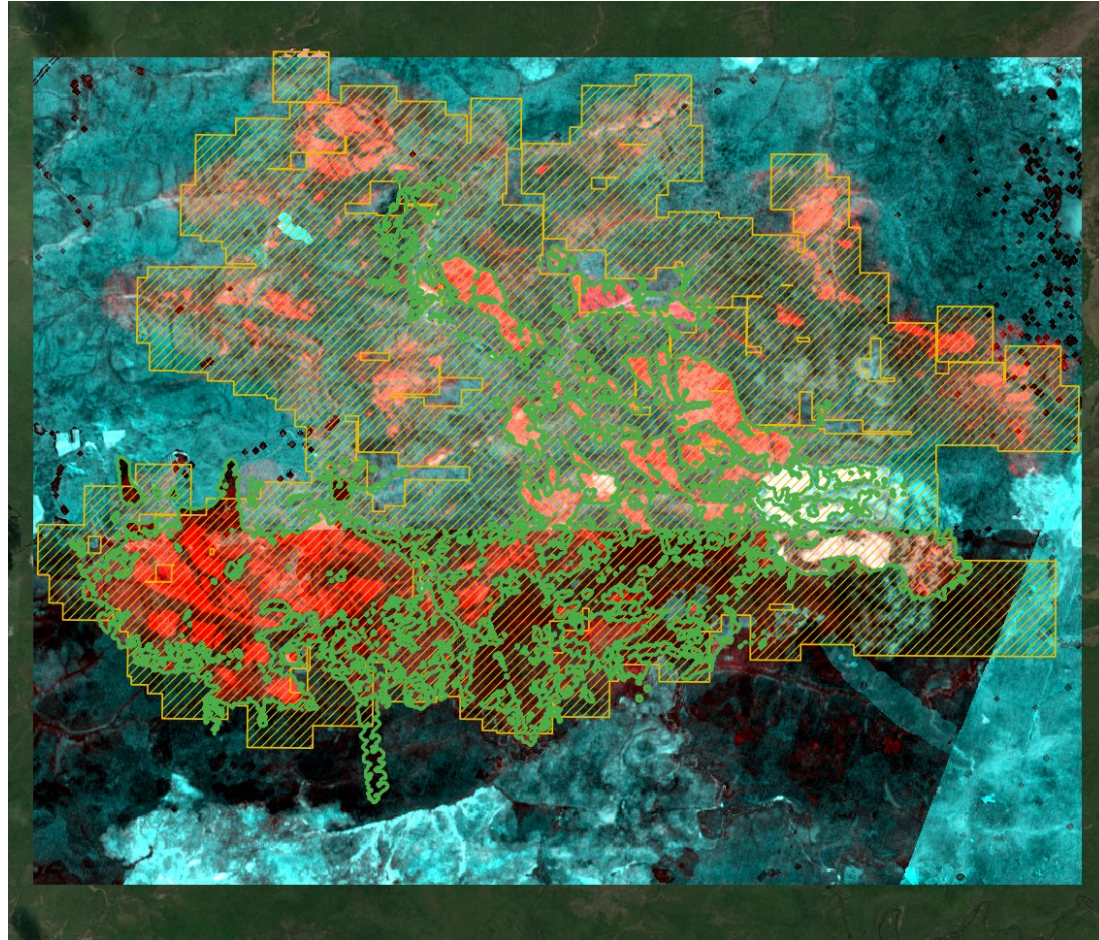
Примеры ошибок и проблем

Проблемы наличия данных (пропуски участков)



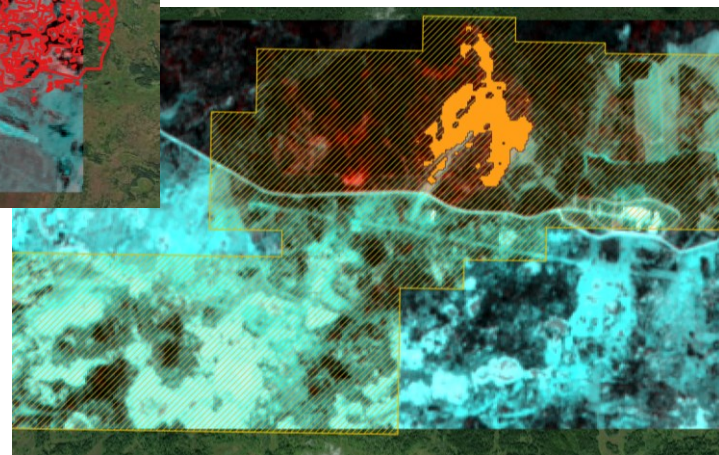
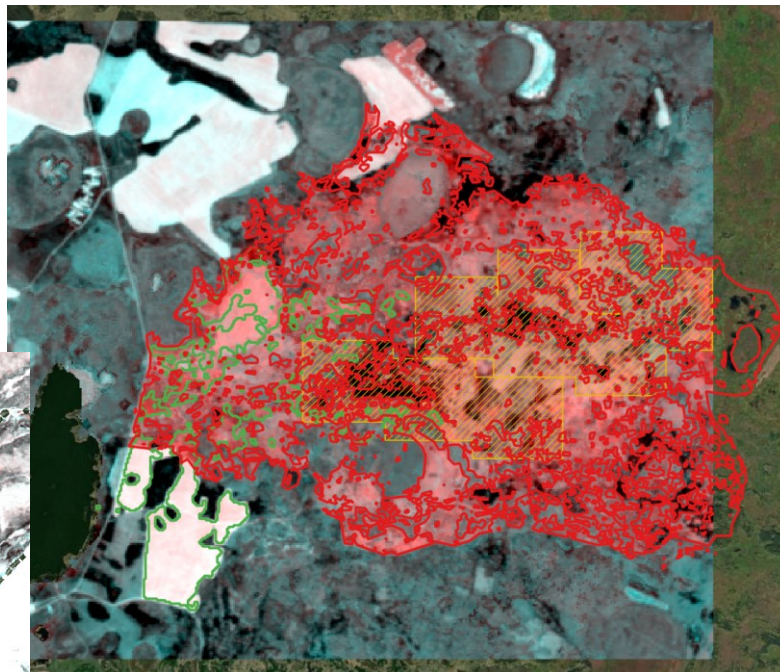
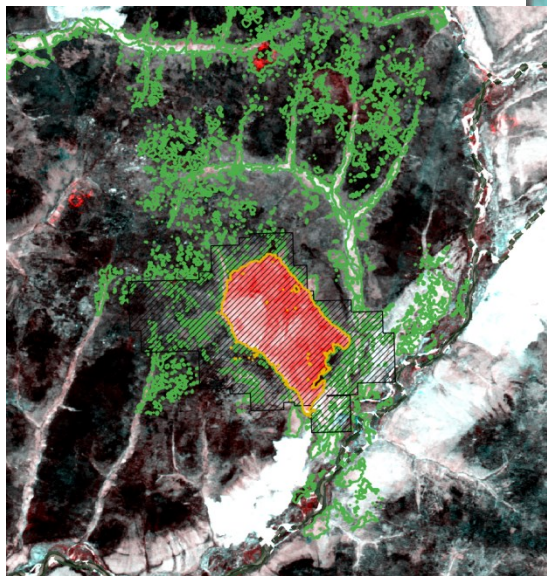
Примеры ошибок и проблем

Проблемы наличия данных
(неравномерное покрытие)



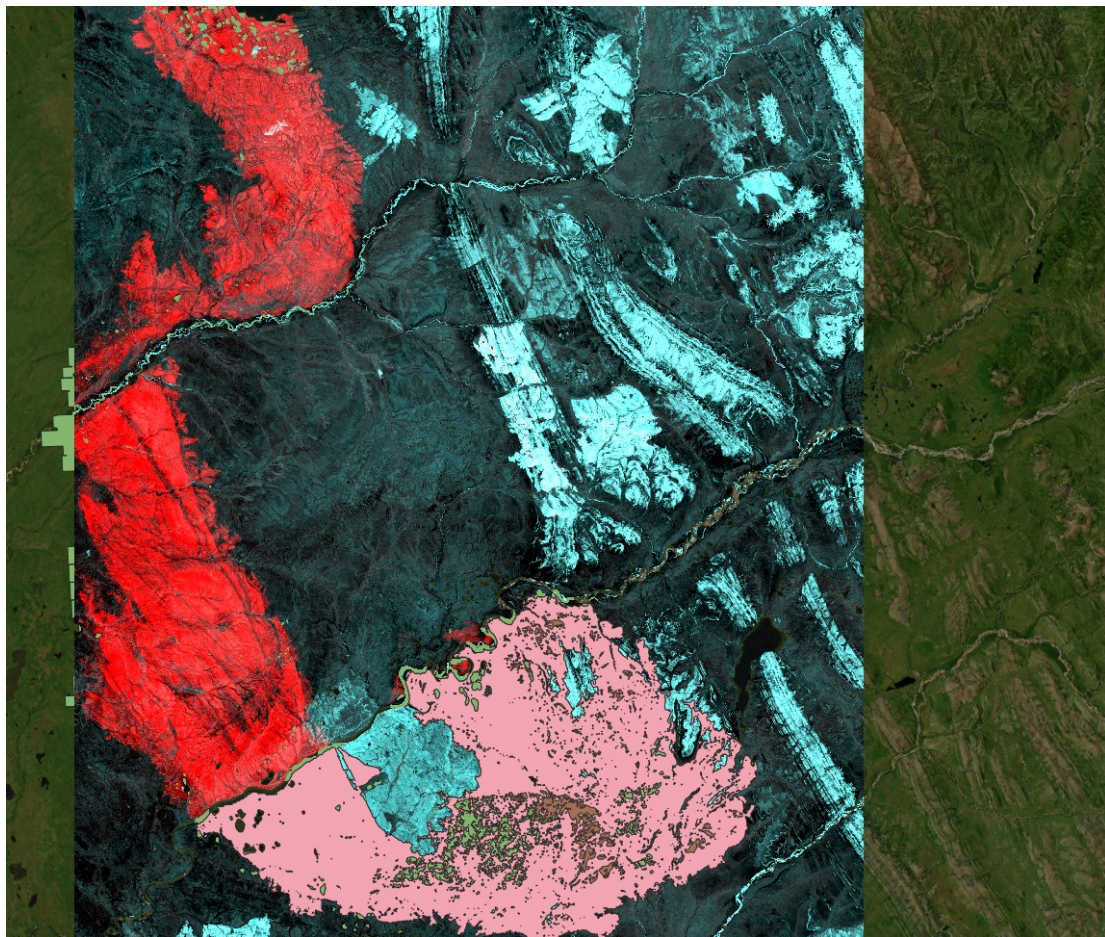
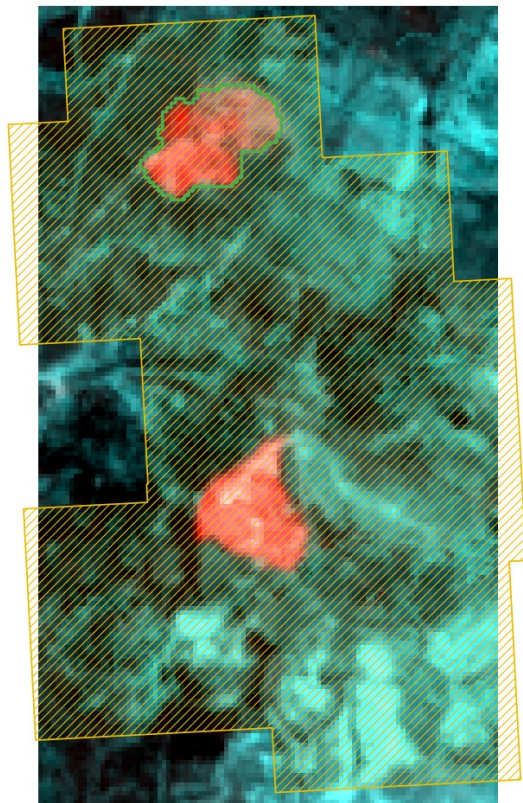
Примеры ошибок и проблем

Проблемы порогов и
слабых повреждений



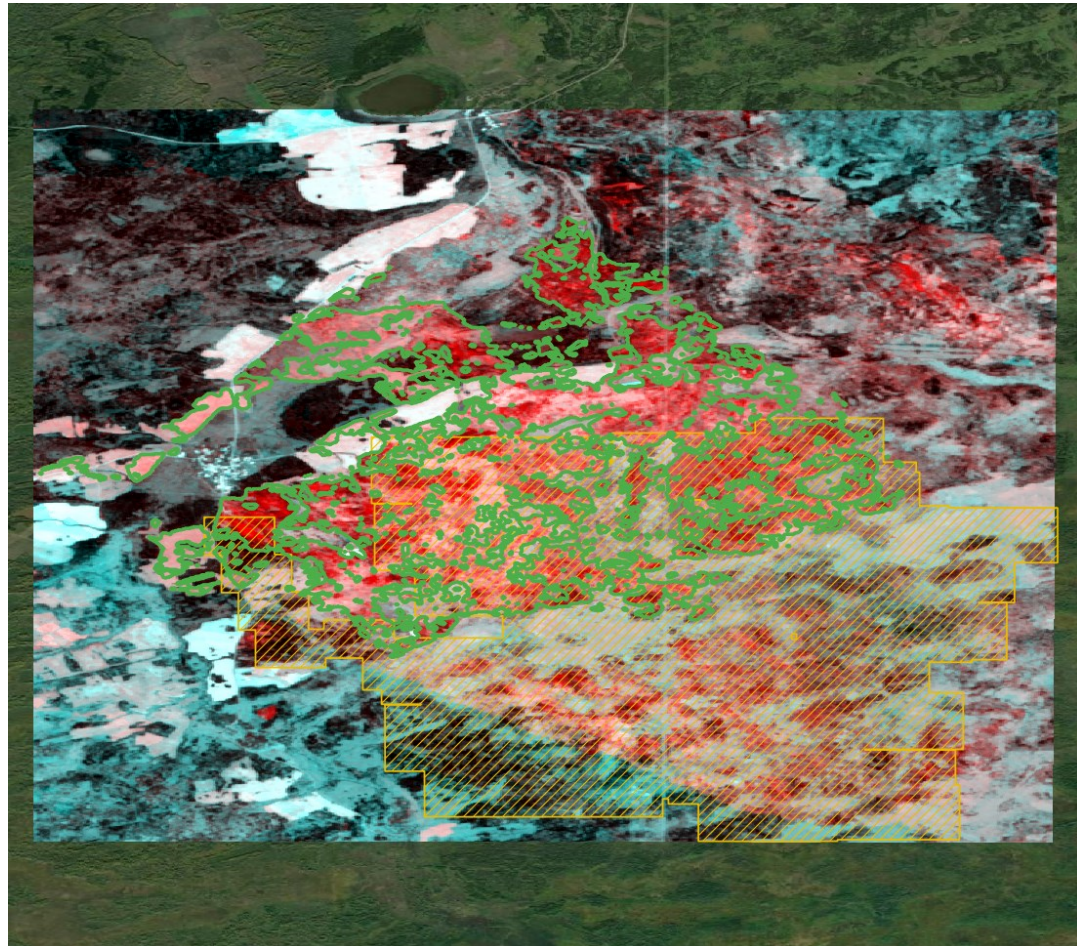
Примеры ошибок и проблем

Проблемы объединения векторных объектов и ассоциации контуров с пожаром



Примеры ошибок и проблем

Возможны и комбинации описанных сложных ситуаций



Заключение

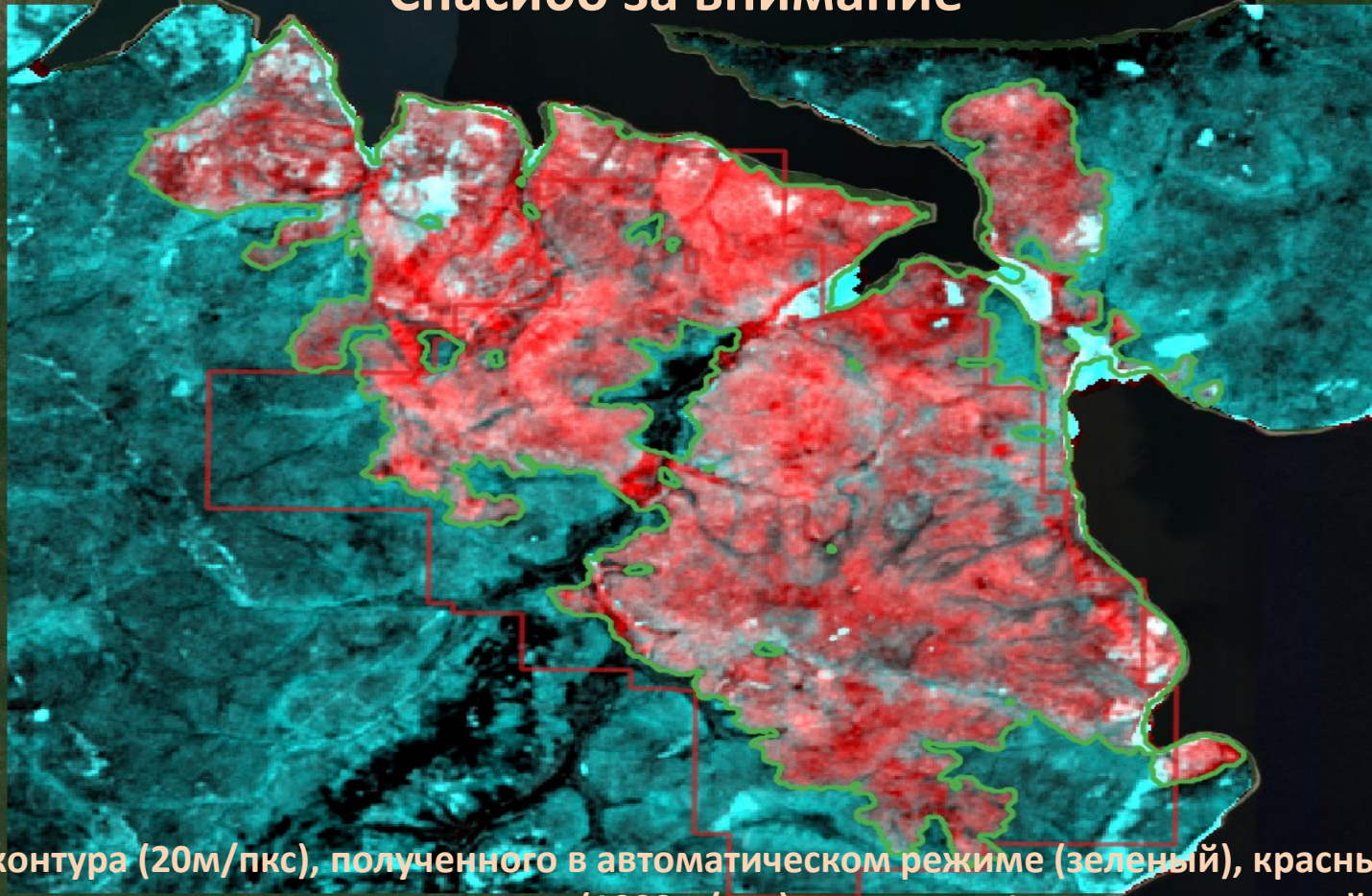
Несмотря на ряд проблем, можно заключить, что разработанный метод вполне пригоден для массового автоматического детектирования повреждений растительности природными пожарами в случае наличия достаточно сильных повреждений и достаточного числа безоблачных съемок.

Направление дальнейших работ:

1. совершенствование метода и решение обозначенных проблем;
2. реализация возможности совместного использования серии данных Landsat|Sentinel-2;
3. выработка критериев гарантийного срабатывания алгоритма;
4. коррекция контрольной БД, в том числе с учетом результатов настоящей работы;
5. переход к выделению внутри контуров участков разной степени повреждений, а также повреждений разных типов растительного покрова (в первую очередь, лесов);
6. валидация карт и контрольной выборки, в том числе с использованием наземной информации;
7. создание карт повреждений лесной растительности и внедрение их в оперативную практику.

Работа выполнена при поддержке гранта МК-4903.2021.1.5.
Получение и обработка спутниковых данных были выполнены с помощью возможностей Центра коллективного пользования ИКИ-Мониторинг (Лупян и др., 2019), развиваемого при поддержке темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Спасибо за внимание



Пример контура (20м/пкс), полученного в автоматическом режиме (зеленый), красный контур - пожар по данным активного горения (1000м/пкс), подложка 1 – разновременной синтез (R:NBRswirAfter, G:NBRswirPrevious, B:NBRswirPrevious), подложка 2 – мозаика World Imagery