

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

Исполнители:

- Дородных Н.О., с.н.с. ИДСТУ СО РАН
- Николайчук О.А., в.н.с. ИДСТУ СО РАН
- Юрин А.Ю., зав. лаб. ИДСТУ СО РАН
- Пестова Ю.В., аспирант ИДСТУ СО РАН (окончание аспирантуры 2025 г.)

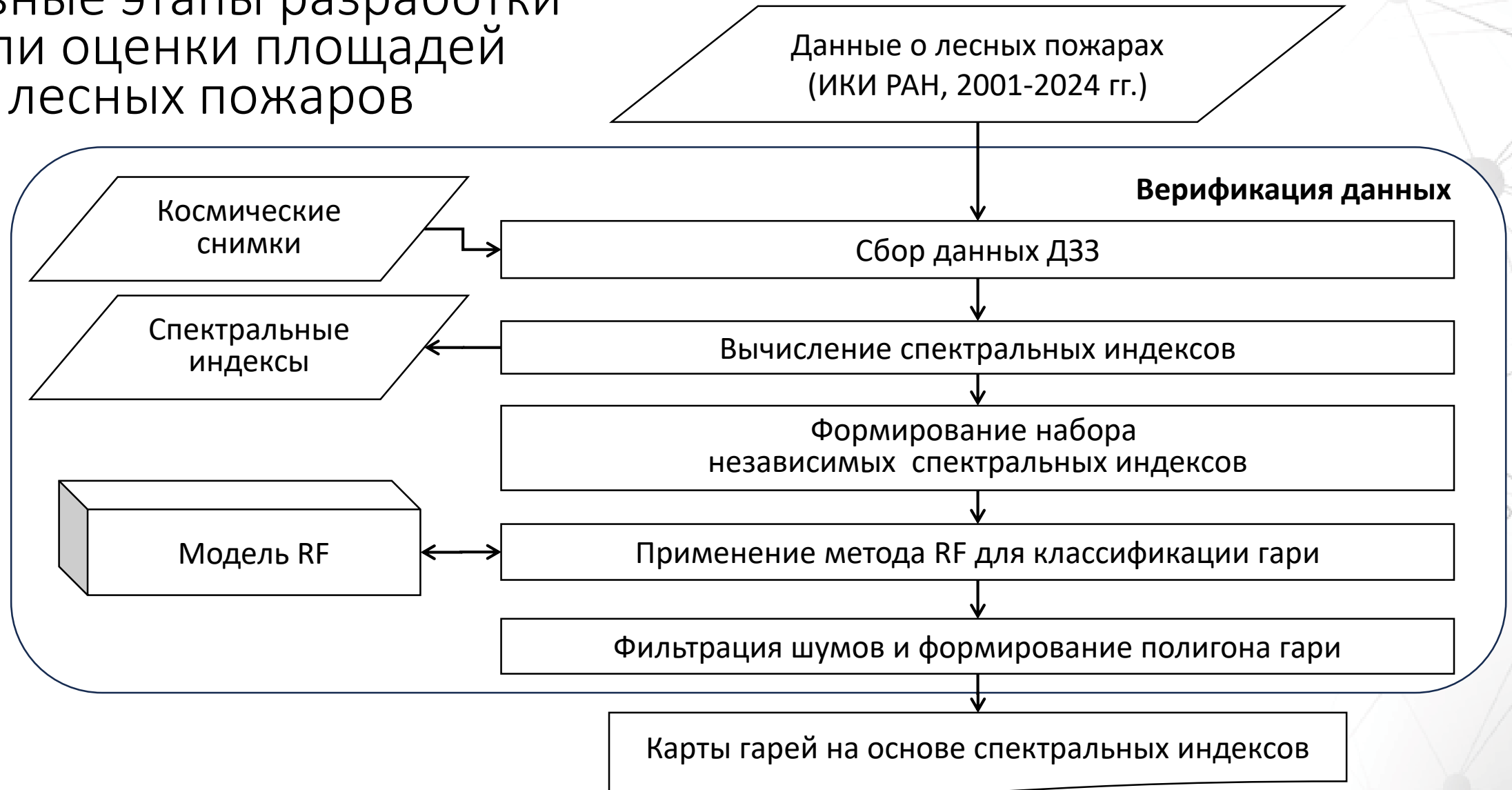
Тема диссертации:

Автоматизированная информационная система прогнозирования риска лесных пожаров территории на основе методов машинного обучения

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

2/20

Основные этапы разработки модели оценки площадей гарей лесных пожаров

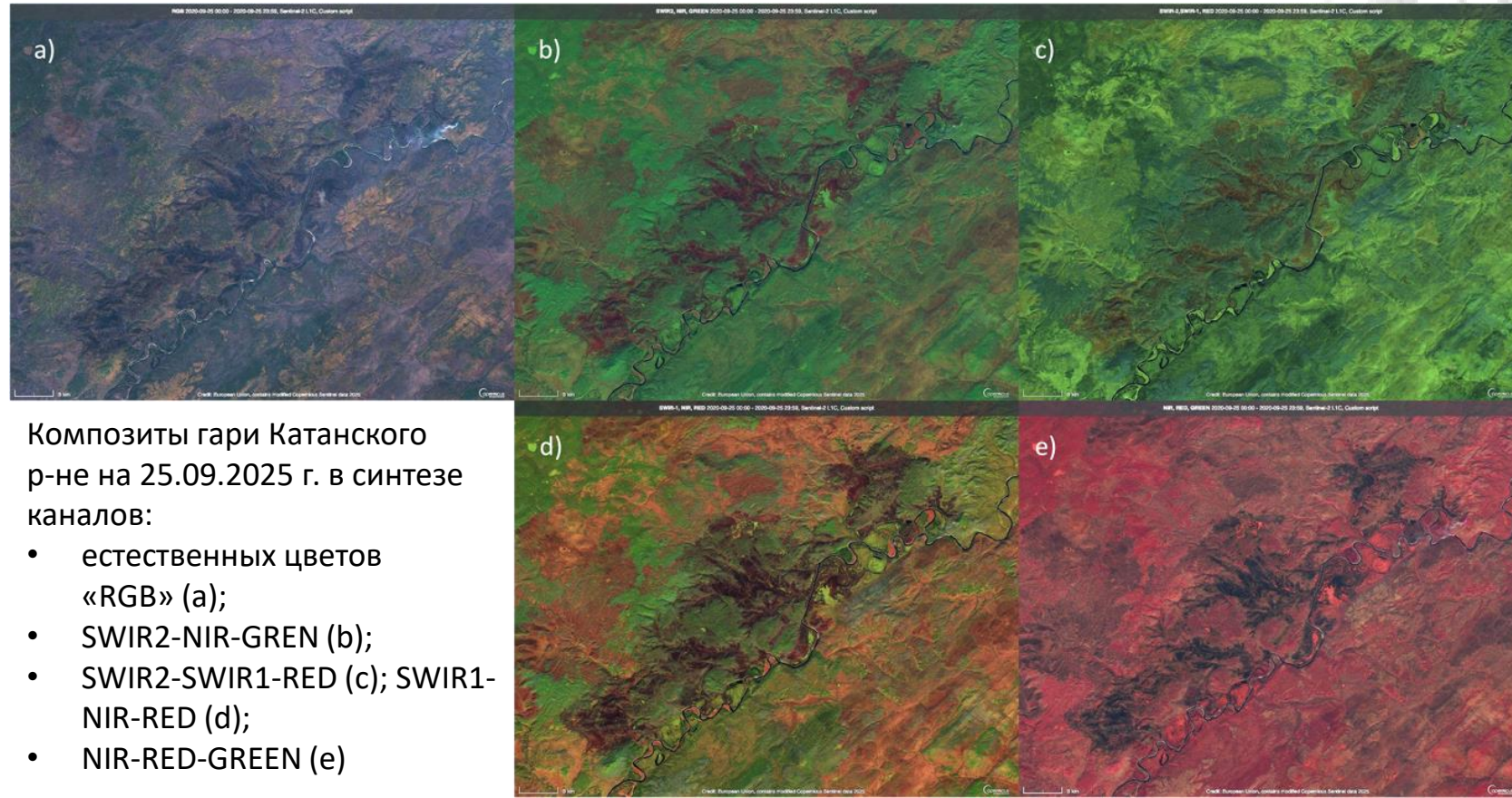


Спектральные характеристики спутниковых снимков

Дешифрование данных ДЗЗ – процесс выявления, распознавания и определения качественных и количественных характеристик объектов, процессов и явлений земной поверхности, основанный на использовании **дешифровочных признаков**.

Дешифровочные признаки – характерные особенности природных и антропогенных объектов, процессов и явлений земной поверхности и атмосферы (объектов дешифрирования), фиксируемые в данных дистанционного зондирования Земли из космоса и позволяющие выявить, распознать и интерпретировать эти объекты, процессы и явления [ГОСТ Р 59082-2020, 2025].

Вегетационные индексы (ВИ) – математические комбинации отражательной способности в различных спектральных диапазонах, используемые для оценки состояния растительности



Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

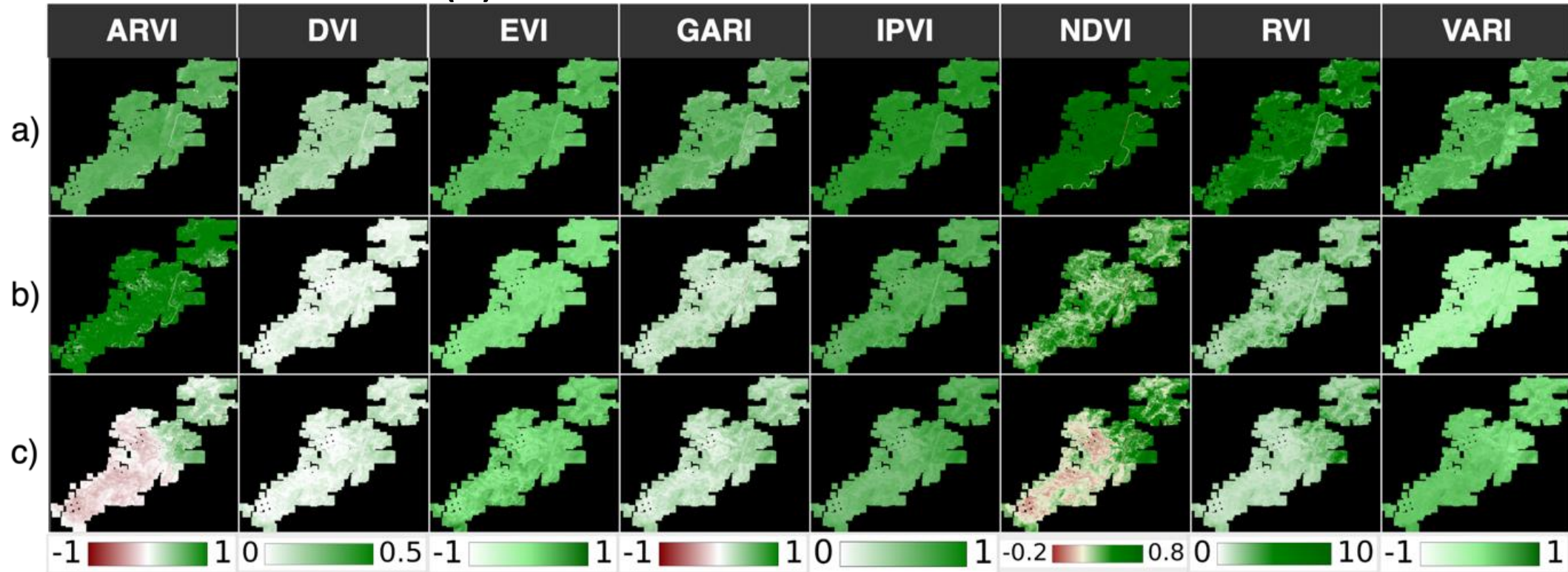
4/20

Индексы, чувствительные к растительной массе		
Нормализованный разностный вегетационный индекс	$NDVI = \frac{(N - R)}{(N + R)}$	Оценка общего количества здоровой биомассы. Диапазон значений: [-1, 1]
Улучшенный вегетационный индекс	$EVI = \frac{2.5 \cdot (N - R)}{(N + 6R - 7.5B + 1)}$	Оценка общего количества биомассы и ее состояние. [-1, 1]
Инфракрасный процентный вегетационный индекс	$IPVI = \frac{N}{N + R}$	Оценка растительности на основе процентного вклада NIR. [0, 1]
Разностный вегетационный индекс	$DVI = N - R$	Простая оценка биомассы. Более высокие значения: больше биомассы.
Относительный вегетационный индекс	$RVI = \frac{N}{R}$	Оценка объема зеленой фитомассы. [0, 10]
Индексы, устойчивые к влиянию атмосферы		
Индекс зеленой растительности, стойкий к влиянию атмосферы	$GARI = \frac{(N - [G - (B - R)])}{(N + [G - (B - R)])}$	Оценка состояния растительности, устойчивая к атмосферным воздействиям. [-1, 1]
Видимый атмосферостойкий вегетационный индекс (VARI)	$VARI = \frac{(G - R)}{(G + R - B)}$	Индекс предназначен для выделения растительности в видимой части спектра, при этом сглаживая различия в освещении и атмосферные эффекты. [-1, 1]
Устойчивый к атмосфере вегетационный индекс	$ARVI = \frac{N - (R - \gamma \cdot (R - B))}{N + (R - \gamma \cdot (R - B))}, \gamma = 2$	Корректирует атмосферные эффекты, показывает состояние растительности. [-1, 1]

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

5/20

Вегетационные индексы, чувствительные к растительности (I)



Композиты изменения вегетационных индексов, чувствительных к растительности на территории лесного пожара:

- в течение месяца до пожара (a);
- в течение месяца после пожара (b);
- в течение месяца через год после пожара (c)

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

6/20

Индексы, чувствительные к растительной массе		
Индекс хлорофилла – дальний инфракрасный (RE)	$CIRE = \frac{N}{RE} - 1$	Оценка содержания хлорофилла в листьях. [-1, 2]
Индекс зеленого хлорофилла	$GCI = \frac{N}{G} - 1$	Используется для оценки состояния азота, раннего обнаружения стресса. [-1, 3]
Структурно-нечувствительный индекс пигментов	$SIPI = \frac{N - A}{N - R}$	Оценивает отношение каротиноидов к хлорофиллу, устойчив к структурным особенностям листа и внешним воздействиям. [0, 2]
Индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове		
Нормализованный разностный водный индекс	$NDWI = \frac{(N - S)}{(N + S)}$	Оценка влажности лесных горючих материалов. [-1, 1]
Индекс отражения огрубевшим углеродом растительных тканей	$PSRI = \frac{(R - G)}{N}$	Оценка общего количества сухих и отмерших растений. [-1, 1]
Индексы, устойчивые к влиянию почвы		
Вегетационный индекс с учетом почвы	$SAVI = \frac{1.5 \cdot (N - R)}{(N + R + 0.5)}$	Оценка общего количества биомассы для территорий с разряженной вегетативной массой, где почва видна сквозь растительный покров. [-1, 1]
Модифицированный вегетационный индекс с учетом почвы	$MSAVI = \frac{(2N + 1 - \sqrt{(2N + 1)^2 - 8(N - R)})}{2}$	Модифицированный индекс SAVI. Учитывает влияние почвы. [-1, 1]

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

8/20

Индексы выгорания растительности

Нормализованный индекс выгорания	$NBR = \frac{(N - S2)}{(N + S2)}$	Разница между NBR до и после пожара, известная как дельта NBR (dNBR), часто используется в качестве показателя степени ожога и восстановления растительности. [-1, 1]
Альтернативный нормализованный индекс выгорания	$NBR2 = \frac{(S1 + S2)}{(S1 - S2)}$	Оценка выгоревших территорий на основе SWIR каналов. Отрицательные значения указывают на выгоревшие территории. [-1, 1]
Нормализованный индекс выгорания плюс (NBRPLUS)	$NBR+ = \frac{(N - S2 - G - B)}{(N + S2 + G + B)}$	Учитывает погрешности оценки ПВ/ВА прибрежных зон и облачности. [-1, 1]
Разностный нормализованный индекс выгорания	$dNBR = NBR_{до} - NBR_{после}$	Разность NBR до и после пожара, используется для оценки степени выгорания и восстановления растительности. [-1, 1]
Относительный индекс выгорания	$RdNBR = dNBR / \sqrt{ NBR_{до} }$	Более надежный показатель для сравнения закономерностей нарушения и восстановления растительности. [0, 1]
Индекс выжженной площади	$BAI = \frac{1}{(0.1 - R)^2 + (0.06 - N)^2}$	Определяет выгоревшие области, чем выше значение, тем сильнее выгорание. [0, 200]
Индекс выжженной площади на основе коротковолнового инфракрасного (S2)	$BAIS2 = \left(1 - \sqrt{\frac{RE2 \cdot RE3 \cdot N2}{R}}\right) \cdot \left(\left(\frac{S2 - N2}{\sqrt{S2 + N2}}\right) + 1\right)$	Оценка выгоревших территорий с использованием SWIR каналов. [-1, 1]

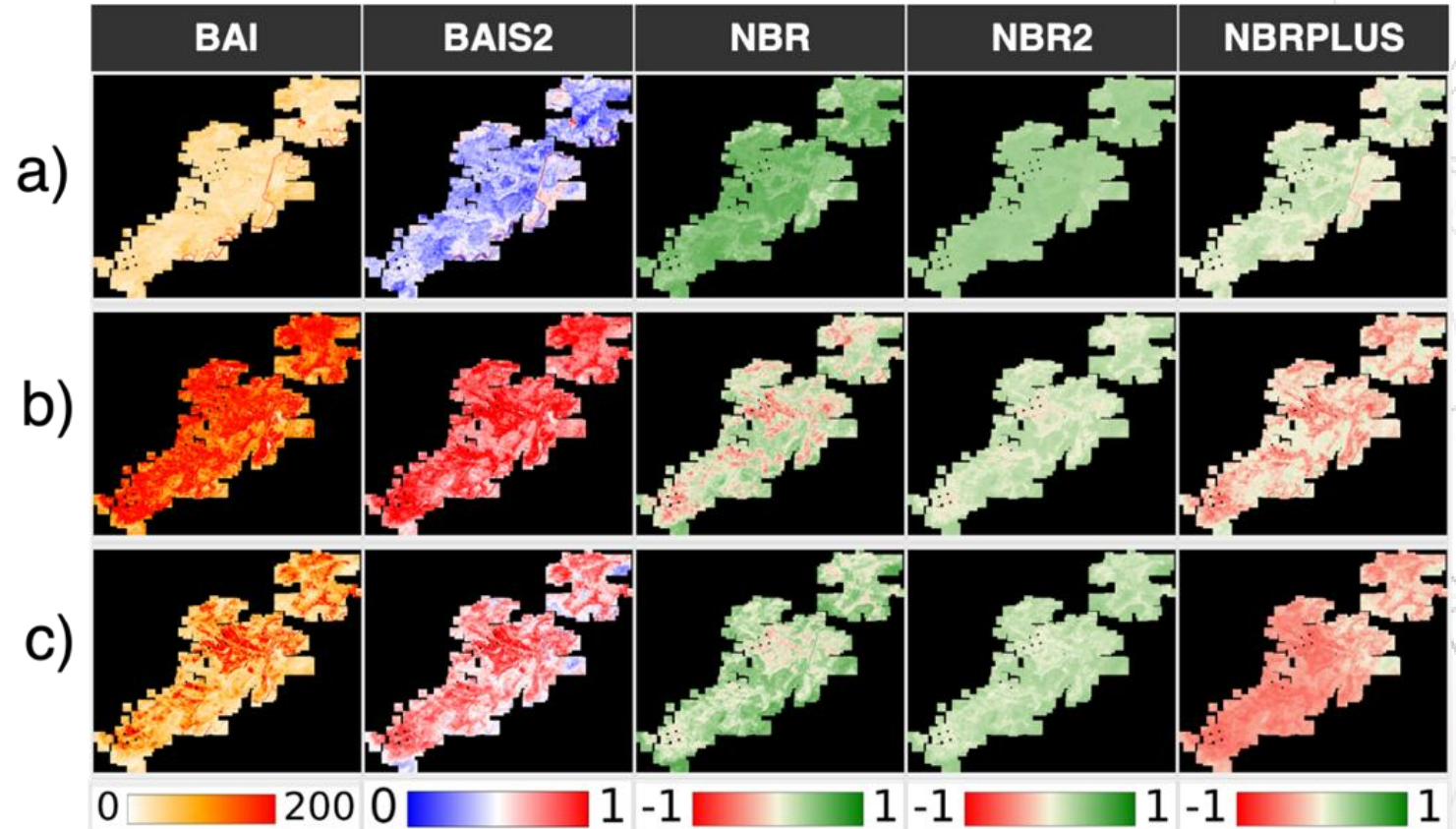
Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

9/20

Вегетационные индексы, чувствительные к выгоранию (III)

Композиты изменения вегетационных индексов, чувствительных к выгоранию на территории лесного пожара:

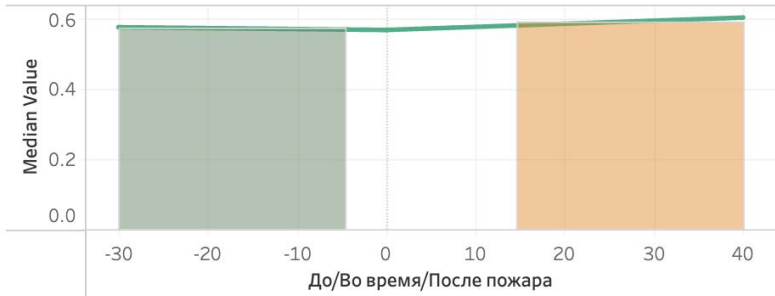
- в течение месяца до пожара (a);
- в течение месяца после пожар (b);
- в течение месяца через год после пожара (c).



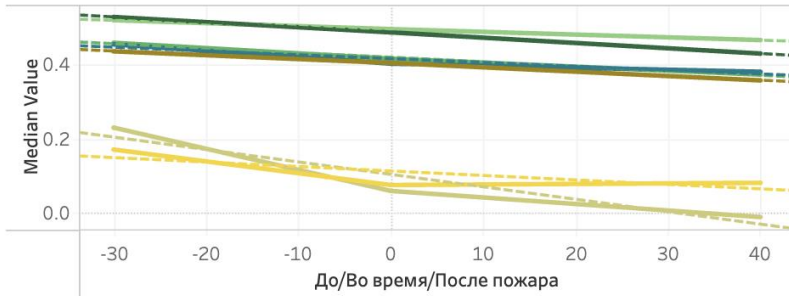
Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

Инструментальная панель «Анализ вегетационных индексов»

Лиственный лес



NBR



Количество пожаров: 620
За период: 4/3/2020 - 9/11/2020
Средняя длительность пожара, дни: 7.283

Index

- BAI
- BAIS2
- NBR
- NBRPLUS
- NBR2
- PSRI
- NDWI
- ARVI
- DVI
- EVI
- GARI
- IPVI
- NDVI
- RVI
- MSAVI
- SAVI
- GCI
- CIRE

Типы растительности

- Пастбища
- Поля
- Редколесье
- Кустарники
- Хвойный лес
- Смешанный лес
- Лиственный лес

Начало по... 4/3/2020 9/3/2020

Группы ин... (All)

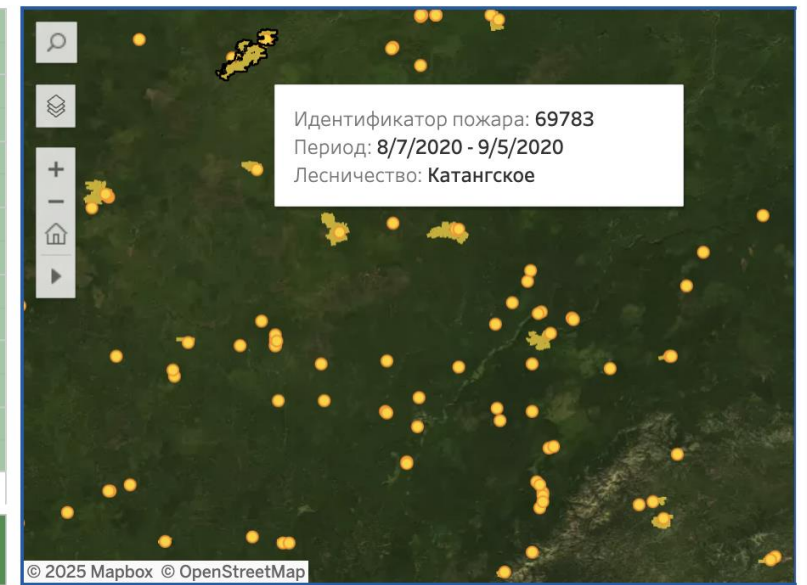
Лесничест... (All)

Шкала вр... До/Во время/После...

Индекс NBR

Приоритет изменения индексов

Тип растит..	NBR	NBRPLUS	IPVI	NDVI	SAVI	MSAVI	NDWI	NBR2	DVI	BAIS2	BAI	RVI	CIRE	GCI	PSRI	SIPI	EVI	ARVI	GARI
Поля	0.07794	0.07568	0.06972	0.06739	0.05428	0.04993	0.04510	0.03245	0.02642	0.02366	0.00042	0.00038	0.00018	0.00018	0.00013	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000
Пастбища	0.06517	0.06006	0.05833	0.05748	0.04770	0.04473	0.04465	0.02332	0.02209	0.01996	0.00037	0.00034	0.00020	0.00017	0.00014	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000
Редколесье	0.07569	0.07321	0.07171	0.06411	0.05440	0.05378	0.04395	0.02648	0.02457	0.02265	0.00062	0.00035	0.00026	0.00024	0.00015	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000
Кустарники	0.06797	0.06774	0.06683	0.06010	0.05033	0.04906	0.04460	0.02393	0.02377	0.01887	0.00058	0.00031	0.00025	0.00025	0.00014	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000
Хвойный лес	0.07304	0.07074	0.07034	0.05482	0.04964	0.04761	0.04607	0.02540	0.02229	0.01733	0.00065	0.00028	0.00027	0.00024	0.00013	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000
Смешанны..	0.06993	0.06888	0.06832	0.05655	0.04820	0.04765	0.04242	0.02296	0.02215	0.01906	0.00071	0.00029	0.00027	0.00026	0.00015	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000
Лиственный..	0.07536	0.07382	0.07303	0.06257	0.05587	0.05546	0.04678	0.02641	0.02272	0.02204	0.00067	0.00033	0.00029	0.00027	0.00015	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000
Общий приоритет:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19



Поля	Пастбища	Редколесье	Кустарники	Хвойный Лес	Смешанный Лес	Лиственный Лес
17,113,962,497	2,056,868,407	9,507,500,038	3,148,351,878	4,609,082,620	9,074,945,137	17,682,929,036

Алгоритм реализации модели оценки площадей возгораний лесных пожаров



1. Разметка данных:
создание 375 точечных образцов на территории Киренского лесничества за 2019 г. с целевой бинарной переменной «class», где 1 – «гарь» (138 точек), а 0 – «не гарь» (237 точек).
2. Подготовка данных.
3. Интеграция вегетационных индексов и размеченных образцов.
4. Разделение данных:
тренировочная и тестовая выборки: 70 к 30.
5. Обучение модели классификации гарей на основе метода случайного леса «smileRandomForest».
6. Оценка результатов.



Алгоритм подготовки данных

1. **Сбор данных.** Коллекции снимков Sentinel-2 получены за период с марта по октябрь с различными интервалами: за 2019 г.; за 2020 г.; ежемесячно за 2019 г.
2. **Маскирование облаков и атмосферных артефактов.** Пиксели с облаками исключены, а значения отражательной способности приведены к диапазону $[0, 1]$ делением на 10 000.
3. **Расчет спектральных индексов.** Для каждого изображения рассчитаны ВИ: NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, ARVI, GARI, VARI, IPVI, RVI, DVI, SIPI, PSRI, CIRE, BAIS2, BAI, GCI, NDWI, NBR, NBR2, NBRPLUS.
4. **Агрегирование вегетационных индексов** на основе медианного композита снимков.
5. **Генерация временных разностей на основе месячных изменений.** Для каждого текущего и последующего ежемесячного интервала итеративно рассчитаны экстремумы дифференциальных значений вегетационных индексов.
6. **Генерация временных разностей на основе годовых изменений.** На основе медианных композитов снимков за 2019 г. и 2020 г. было получено изображение разности вегетационных индексов.

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

13/20

Определение признакового пространства на основе набора вегетационных индексов

Определение периода расчета вегетационных индексов, наиболее чувствительных к изменению растительного покрова

Группа индексов	Спектральный индекс	Период изменения	Изменение через месяц	Изменение через год
Биохимические	SIPI	месяц	0,050	0,010
	PSRI	месяц	0,039	0,005
	NDWI	месяц	-0,006	0,028
	SAVI	год	-0,021	-0,023
	MSAVI	год	-0,021	-0,022
	GCI	год	-0,311	-0,744
	CIRE	год	-0,039	-0,130
Выгорание	BAIS2	месяц	0,050	0,043
	BAI	месяц	20,906	10,423
	NBRPLUS	год	-0,010	-0,048
	NBR2	год	-0,016	-0,018
	NBR	год	-0,041	-0,045
Растительность	VARI	месяц	-0,052	-0,042
	EVI	месяц	-0,029	-0,016
	DVI	месяц	-0,013	-0,011
	RVI	год	-0,205	-0,668
	NDVI	год	-0,017	-0,042
	IPVI	год	-0,009	-0,021
	GARI	год	-0,019	-0,031
	ARVI	год	0,051	-0,014

Формирование признакового пространства

Наиболее информативные индексы: dNBR_year, BAI, dBAI, dNBR2_year, dNBRPLUS_year, dBAIS2, dVARI_year, dARVI_year, PSRI

	class	dNBR_year	BAI	BAIS2	dBAI	dNBR2_year	dNBRPLUS_year	dBAIS2	dNBR	NBR	dBAIS2_year	dBAI_year
dNBR_year	0.789	1.000	0.662	0.684	0.497	0.714	0.590	0.360	-0.472	-0.630	-0.824	-0.794
BAI	0.762	0.662	1.000	0.910	0.629	0.506	0.325	0.407	-0.525	-0.720	-0.578	-0.656
BAIS2	0.740	0.684	0.910	1.000	0.660	0.482	0.356	0.508	-0.628	-0.871	-0.589	-0.617
dBAI	0.659	0.497	0.629	0.660	1.000	0.312	0.164	0.755	-0.843	-0.649	-0.397	-0.517
dNBR2_year	0.622	0.714	0.506	0.482	0.312	1.000	0.751	0.181	-0.259	-0.439	-0.727	-0.583
dNBRPLUS_year	0.489	0.590	0.325	0.356	0.164	0.751	1.000	0.069	-0.151	-0.368	-0.661	-0.414
dBAIS2	0.460	0.360	0.407	0.508	0.755	0.181	0.069	1.000	-0.759	-0.498	-0.307	-0.346
dNBR	-0.603	-0.472	-0.525	-0.628	-0.843	-0.259	-0.151	-0.759	1.000	0.733	0.358	0.422
NBR	-0.676	-0.630	-0.720	-0.871	-0.649	-0.439	-0.368	-0.498	0.733	1.000	0.532	0.507
dBAIS2_year	-0.727	-0.824	-0.578	-0.589	-0.397	-0.727	-0.661	-0.307	0.358	0.532	1.000	0.755
dBAI_year	-0.768	-0.794	-0.656	-0.617	-0.517	-0.583	-0.414	-0.346	0.422	0.507	0.755	1.000

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

Оценка точности модели (I)

Наиболее значимыми вегетационные индексы:
чувствительные к выгоранию (dNBR_year, BAI, dBAI, dNBR2_year).

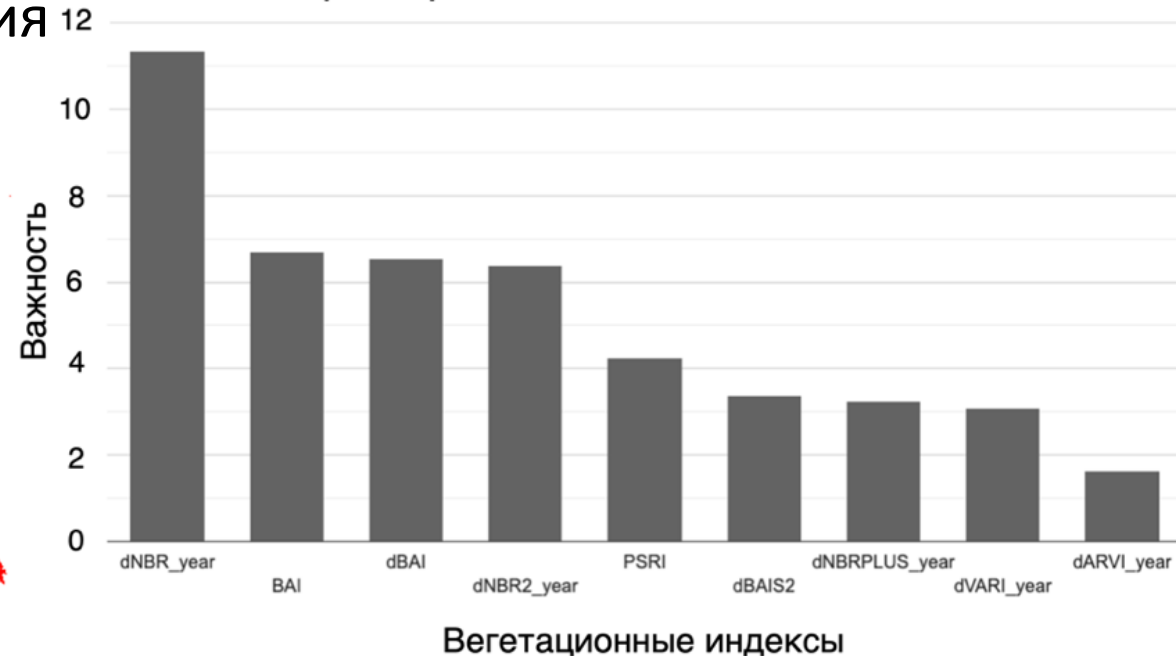
Наименее значимыми вегетационные индексы:
чувствительные к растительности (dVARI_year, dARVI_year).

PSRI оказывает большее влияние, чем индексы возгорания dBAIS2 и dNBRPLUS_year

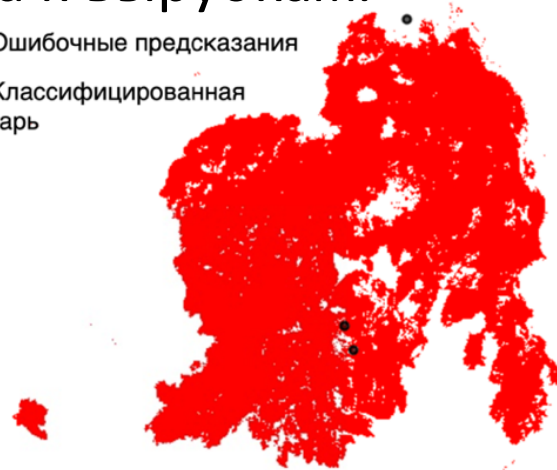
За счет большего влияния индекса старения (PSRI) модель четче распознает границы возгорания и менее чувствительна к вырубкам.

Accuracy - 0.975
F1-score - 0.962

Важность факторов модели Random Forest

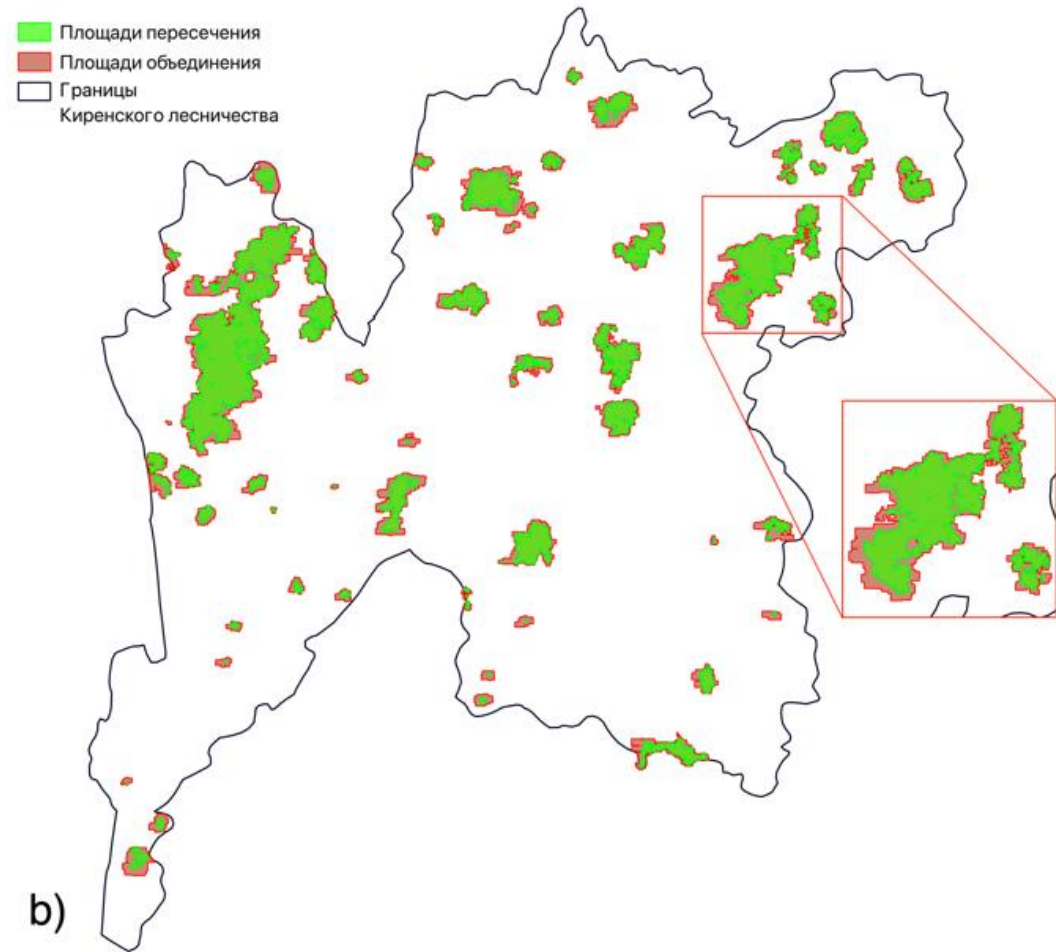
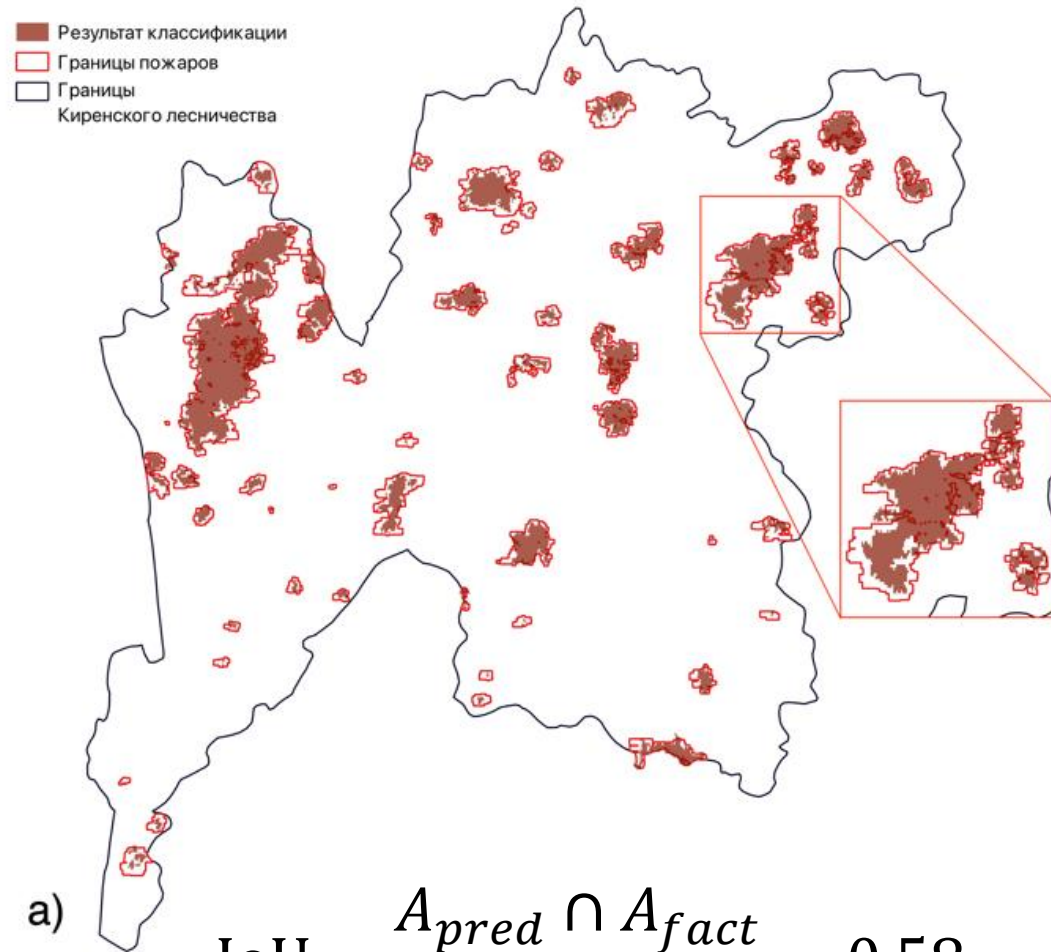


- Ошибочные предсказания
- Классифицированная гарь



		Предсказанные	
		Неповрежденная территория	Гарь
Фактические	Неповрежденная территория	100%	0%
	Гарь	6.25%	93.75%

Оценка точности модели (II)

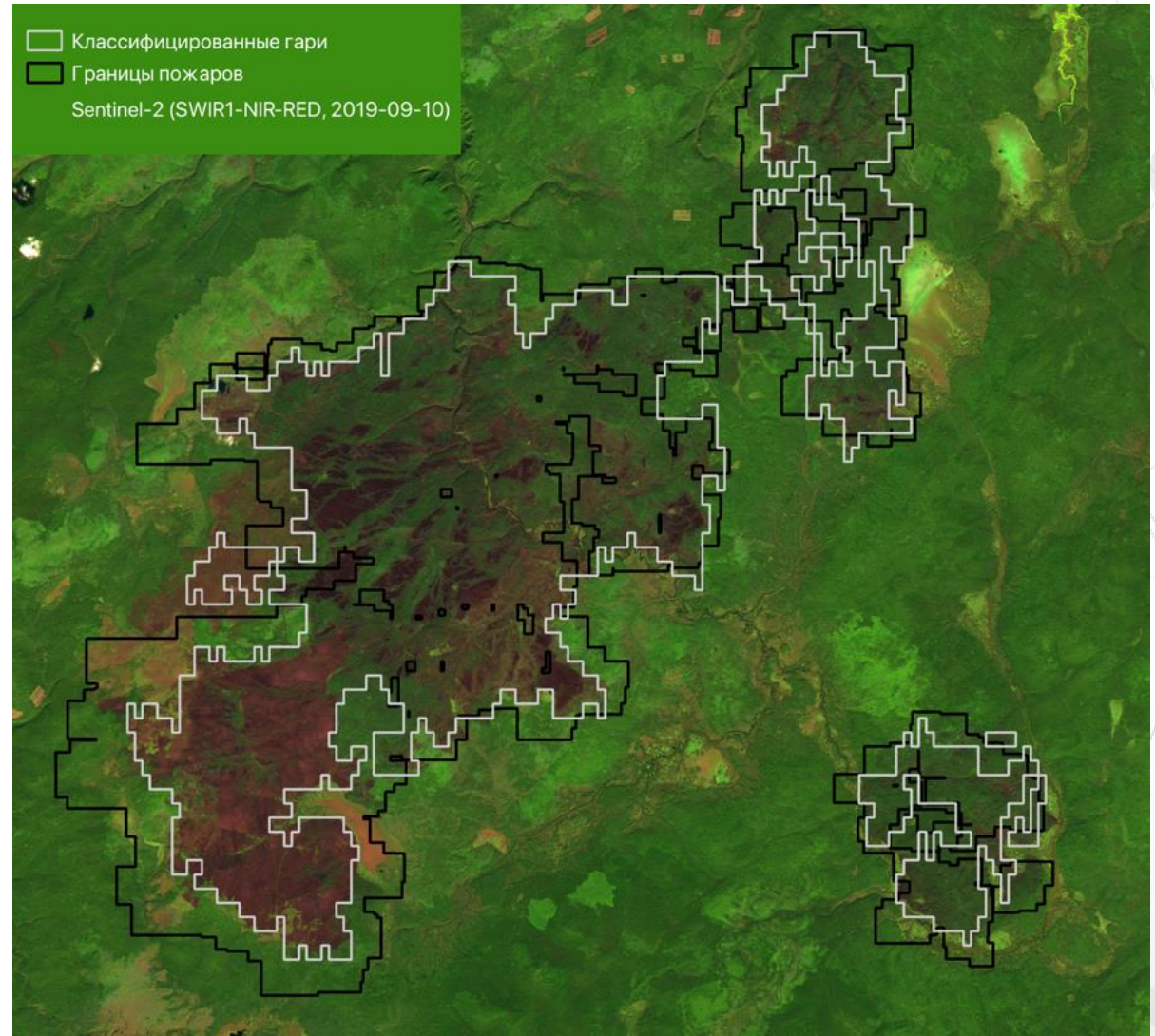


a)
$$\text{IoU} = \frac{A_{pred} \cap A_{fact}}{A_{pred} \cup A_{fact}} = 0.58,$$

b)

Оценка точности модели (III)

В ряде случаев эталонные данные оказываются менее детализированными или содержат смещения, что может объяснять невысокое значение метрики IoU.



Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine

18/20

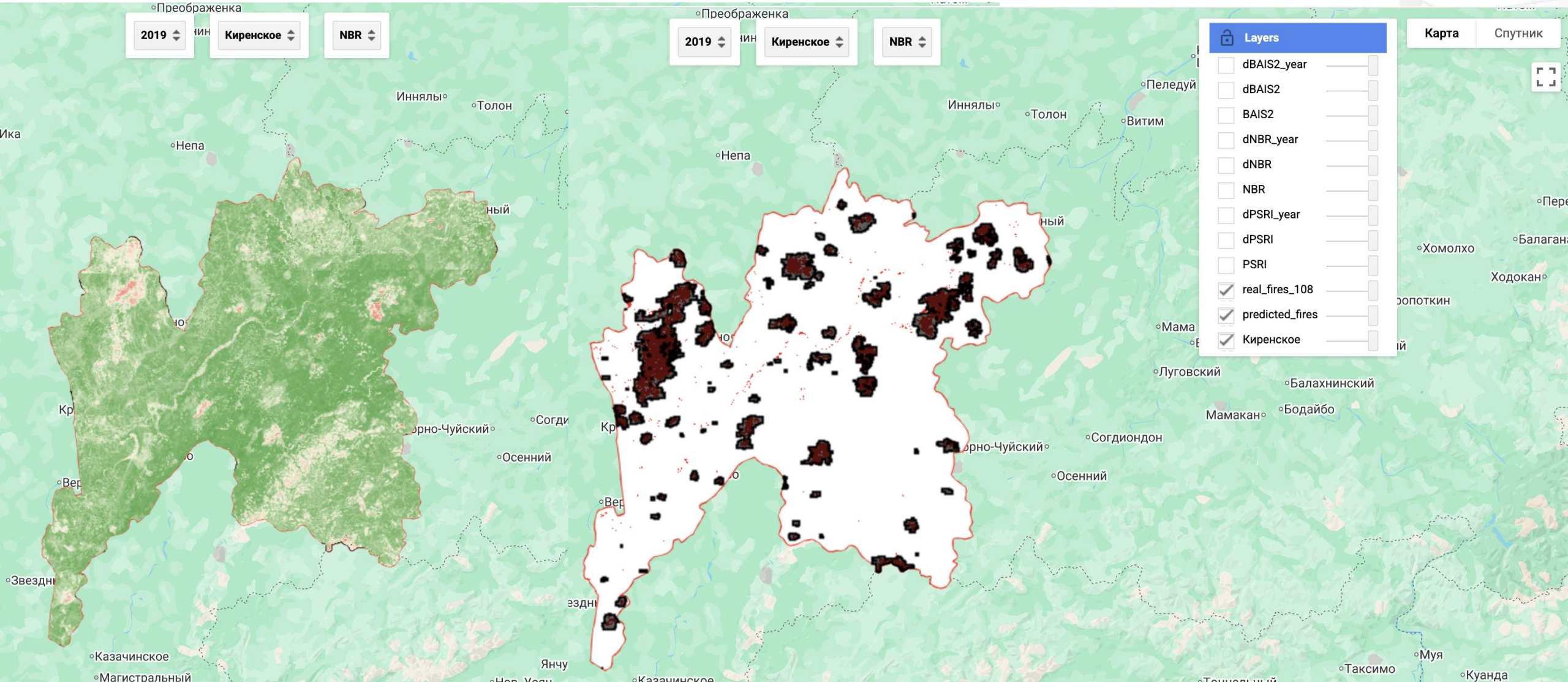
Сравнение модели оценки гарей с существующими решениями

Индекс	Метод	Precision	Recall	Accuracy	F1-score
dNBR	Пороговая классификация по значению 0.1	0.923	0.941	0.943	0.932
dNBR+	Пороговая классификация по значению 0.1	0.714	0.784	0.779	0.748
dNBR_year, BAI, dBAI, dBAIS2, dNBR2_year, dNBRPLUS_year, dVARI_year, dARVI_year, PSRI	Random Forest	0.974	0.95	0.975	0.962
BAI, dNBR	MSCSR [Zhang J., 2024]	0.92	0.99	0.98	0.956
dNBR+	Максимального подобия (MLC) [Alcaras E., 2022]	0.950	1	0.974	0.974

1. Alcaras, E.; Costantino, D.; Guastaferro, F.; Parente, C.; Pepe, M. Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New Index for Sentinel-2 Imagery. Remote Sens. 2022, 14, 1727. <https://doi.org/10.3390/rs14071727>

2. Zhang, J.; Zhang, G.; Xu, H.; Chu, R.; Yang, Y.; Wang, S. Forest Fire Burn Scar Mapping Based on Modified Image Super-Resolution Reconstruction via Sparse Representation. Forests 2024, 15, 1959. <https://doi.org/10.3390/f15111959>

Веб-приложение идентификации гарей на основе данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine



Задача:

Разработка и апробация методов идентификации гарей и динамики изменения растительного покрова гарей на основе данных ДЗЗ.

Модель оценки площадей возгораний лесных пожаров на основе данных ДЗЗ продукта Sentinel-2A и метода машинного обучения Random Forest с использованием оригинального набора вегетационных индексов и методики подготовки выборки, что обеспечивает более точную (Accuracy 0.975) пространственную идентификацию границ гарей.

Разработано веб-приложение идентификации и отображения гарей лесных пожаров и вегетационных индексов выбранной территории.