

Анализ риска лесных пожаров на основе данных ДЗЗ и гибридных методов машиинного обучения

Ю.В. Пестова (yupest@icc.ru),
м.н.с. ИДСТУ СО РАН, г. Иркутск

О.А. Николайчук, д.т.н., ИДСТУ СО РАН, г. Иркутск

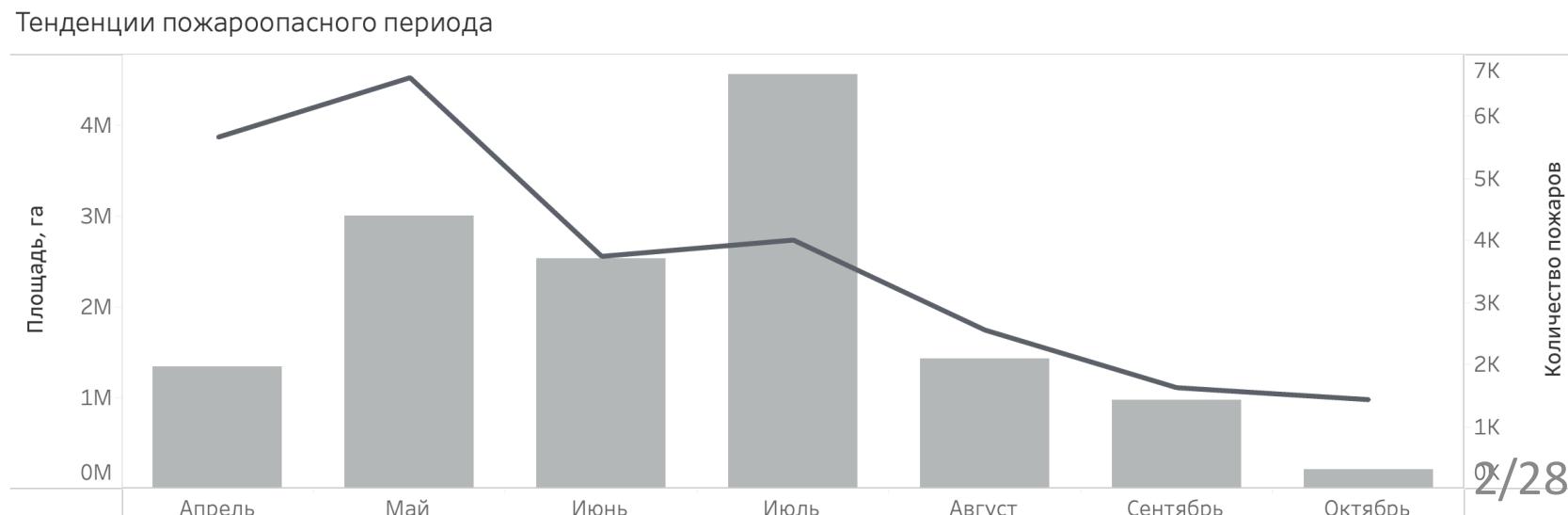
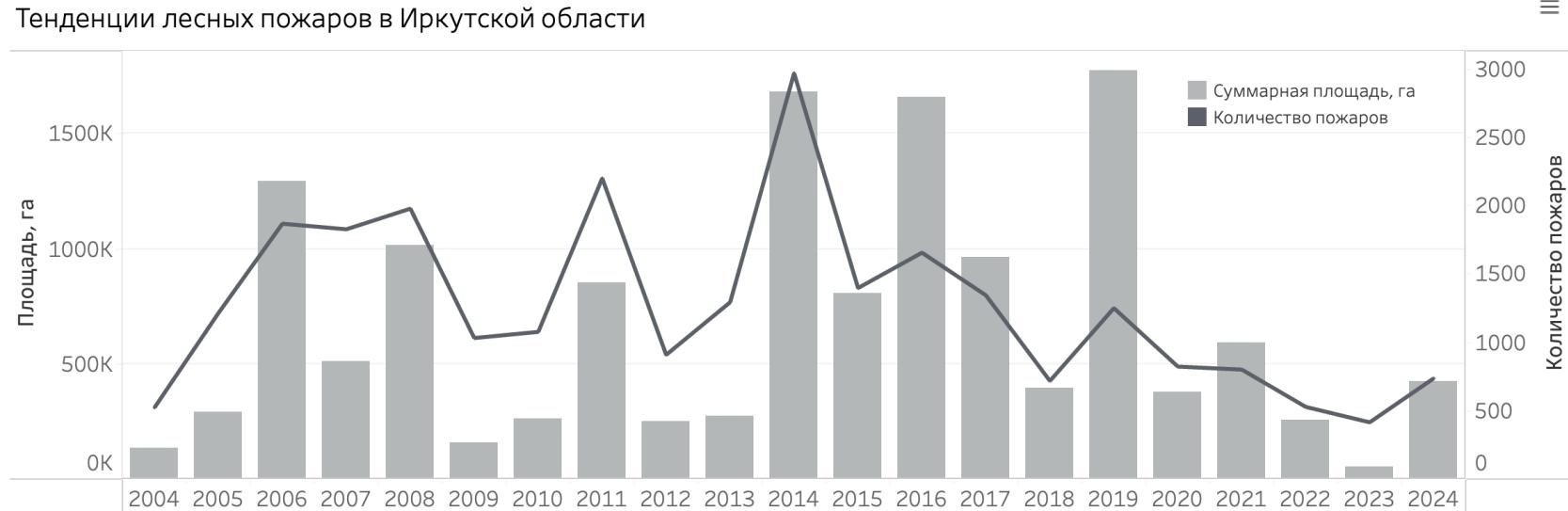
Тема диссертации:

**Автоматизированная информационная система прогнозирования риска лесных пожаров
территории на основе методов машинного обучения на примере Иркутской области**

Описание проблемы. Тенденции лесных пожаров на территории Иркутской области

В 2024 г. по данным Рослесхоза площадь, пройденная огнем, составляет 435,3 тыс. га.

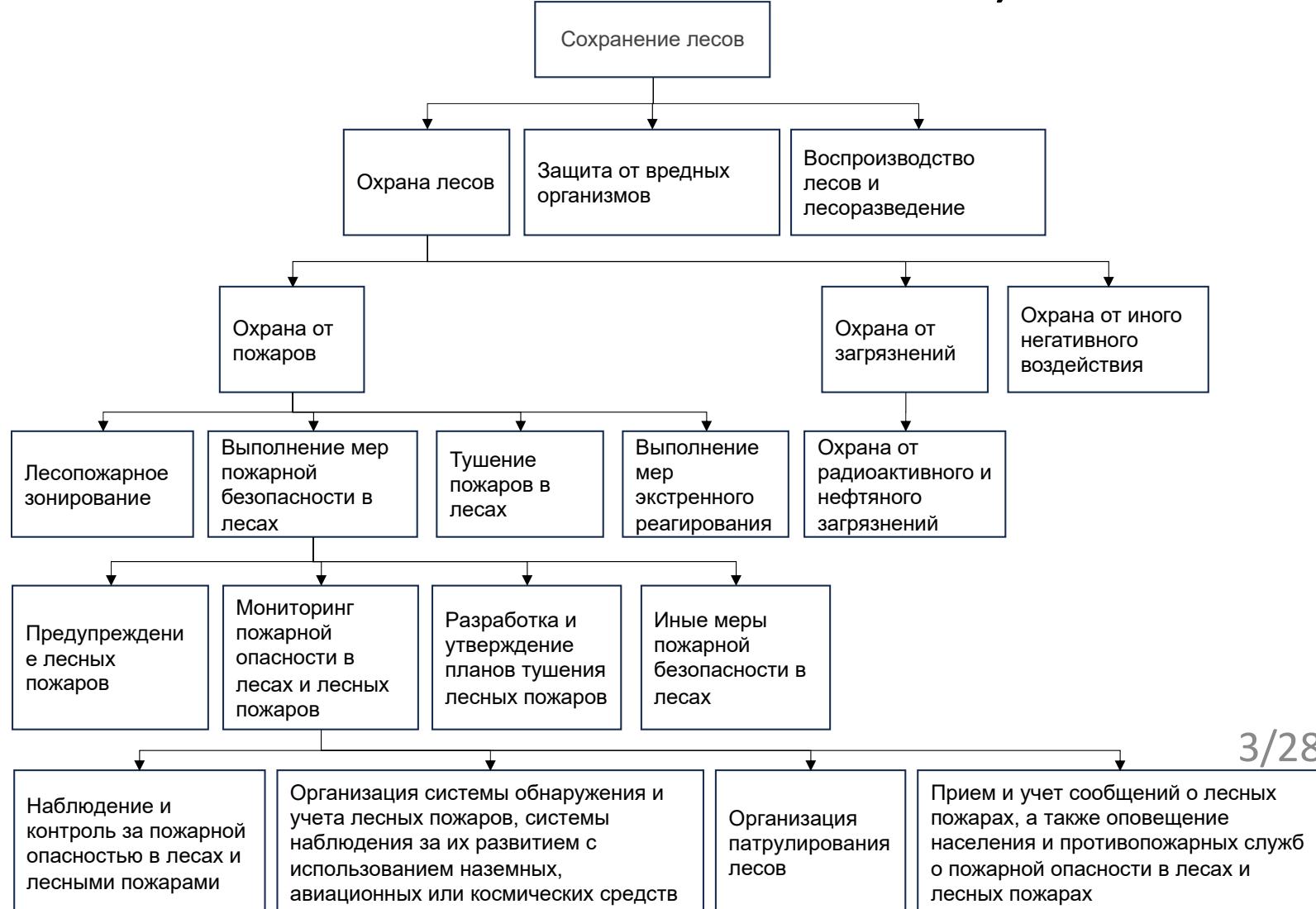
На охрану лесов от пожаров в области на 2025 г. запланированы финансовые средства в объеме 2,8 млрд руб.



Меры пожарной безопасности в лесах (Лесной кодекс от 04.12.2006 N 200-ФЗ)

1. Предупреждение лесных пожаров;
2. Мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров, в том числе с использованием специализированного ПО, позволяющего осуществлять указанную деятельность в автоматическом режиме с использованием ГИС;
3. Разработка и утверждение планов тушения лесных пожаров и др.

Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 26.12.2024). [Электронный ресурс]. URL:
<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=484624>



Определения

- **Прогнозирование лесных пожаров¹** – определение вероятности возникновения, разрастания лесных пожаров во времени и пространстве на основе анализа данных мониторинга лесных пожаров.
- **Оценка пожарной опасности в лесах²** выполняется на основе степени пожарной опасности в лесу по условиям погоды, которая определяется по принятому в лесном хозяйстве комплексному показателю В. Г. Нестерова:

$$КПО_Н = \sum_{i=1}^n T_d \cdot (T - T_d),$$

где Т – температура воздуха,
T_d – температура точки росы,
n – число дней без осадков

Класс пожарной опасности по условиям погоды	Значение комплексного показателя	Степень пожарной опасности
I	до 300	–
II	от 301 до 1000	Малая
III	от 1001 до 4000	Средняя
IV	от 4001 до 10000	Высокая
V	более 10000	Чрезвычайная

¹ Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 26.12.2024). [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=484624> (дата обращения: 01.02.2025)

² ГОСТ Р 22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Приложение А. (дата утверждения: 01.01.2000).

Актуальность исследования (I)

- Существующие программные системы мониторинга лесных пожаров предлагают ограниченный функционал в свободных версиях (оперативное отображение термоточек) и не предусматривают прогнозирование рисков.
- Исследователи отмечают невозможность адаптации существующих моделей машинного обучения к географическим особенностям рассматриваемой территории.
- Показатель Нестерова, используемый для оценки пожарной опасности, установленный лесохозяйственными регламентами не учитывает рельеф, тип растительности, антропогенную нагрузку и метеорологические характеристики почвы и ветра, что может приводить к неточностям в прогнозах.
- Необходимость сокращения существенных финансовых затрат авиационного мониторинга и обеспечения мониторинга удаленных районов.

Актуальность исследования (II)

Отсутствуют (1) **единые методологические подходы оценки рисков лесных пожаров территории**, (2) **эффективные методы оперативной оценки риска** на заданный период с заданными индивидуальными характеристиками территории с высокой точностью, (3) а также **модели машинного обучения для оценки риска** территории Иркутской области с учетом ее географических особенностей.

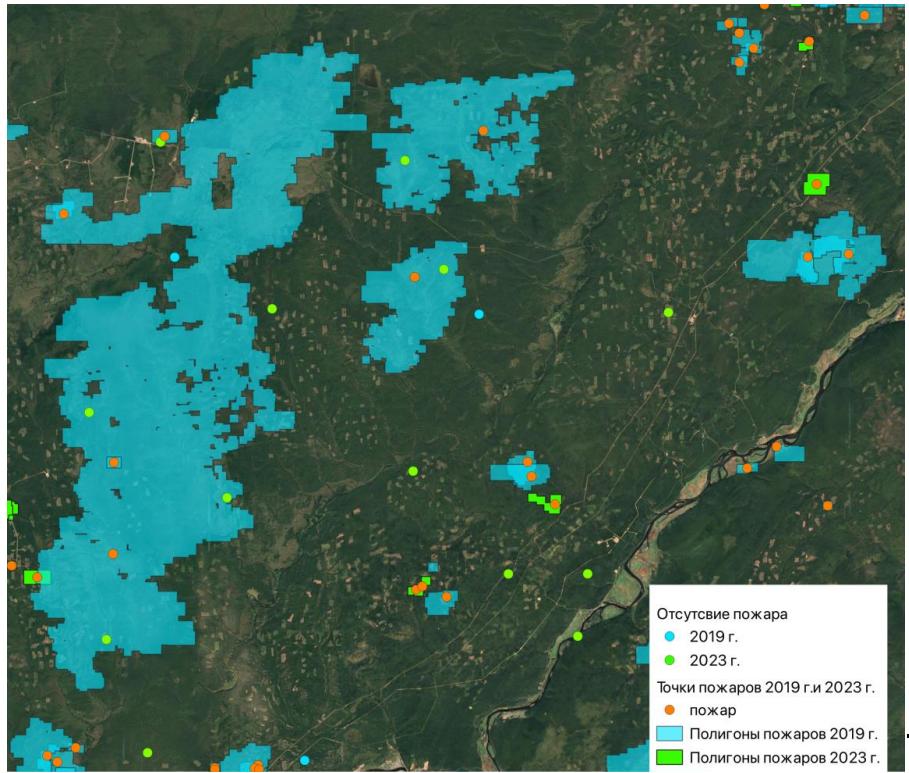
В этой связи разработка АИС прогнозирования рисков на основе машинного обучения, способной анализировать гетерогенные данные (спутниковые снимки, метеоданные, почвенные характеристики, историю пожаров), представляется критически важной для снижения риска и смягчения последствий лесных пожаров.

Концепция информационного процесса



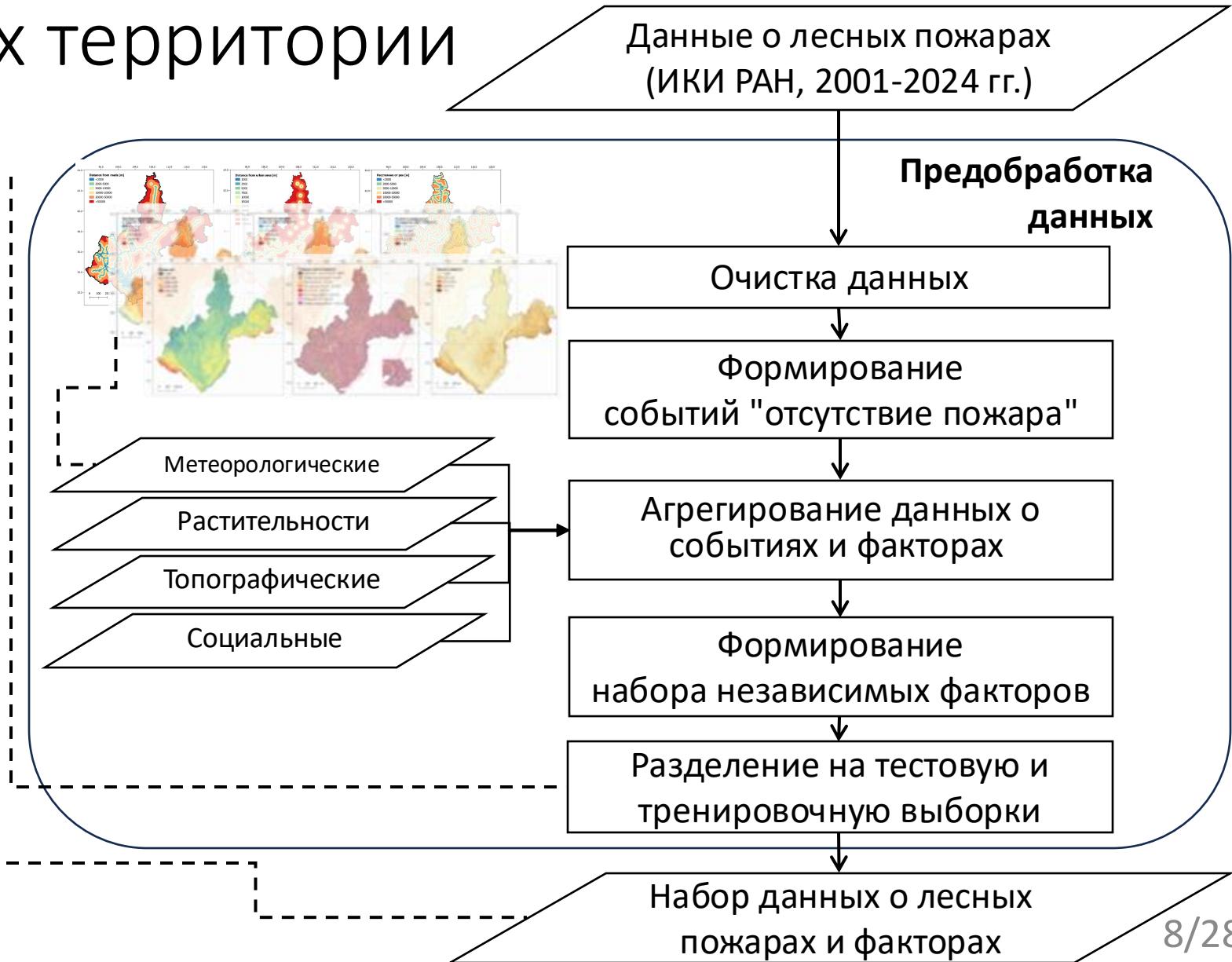
Основные этапы предобработки данных о лесных пожарах и факторах территории

Тестовая выборка – 8746 записей (16%)
за каждые 8 лет (2008, 2016 и 2024 года)
Обучающая выборка – 44394



Исторические пожары (точки «наличие пожара»)
и сгенерированные (точки «отсутствие пожаров»)

Данные о лесных пожарах
(ИКИ РАН, 2001-2024 гг.)



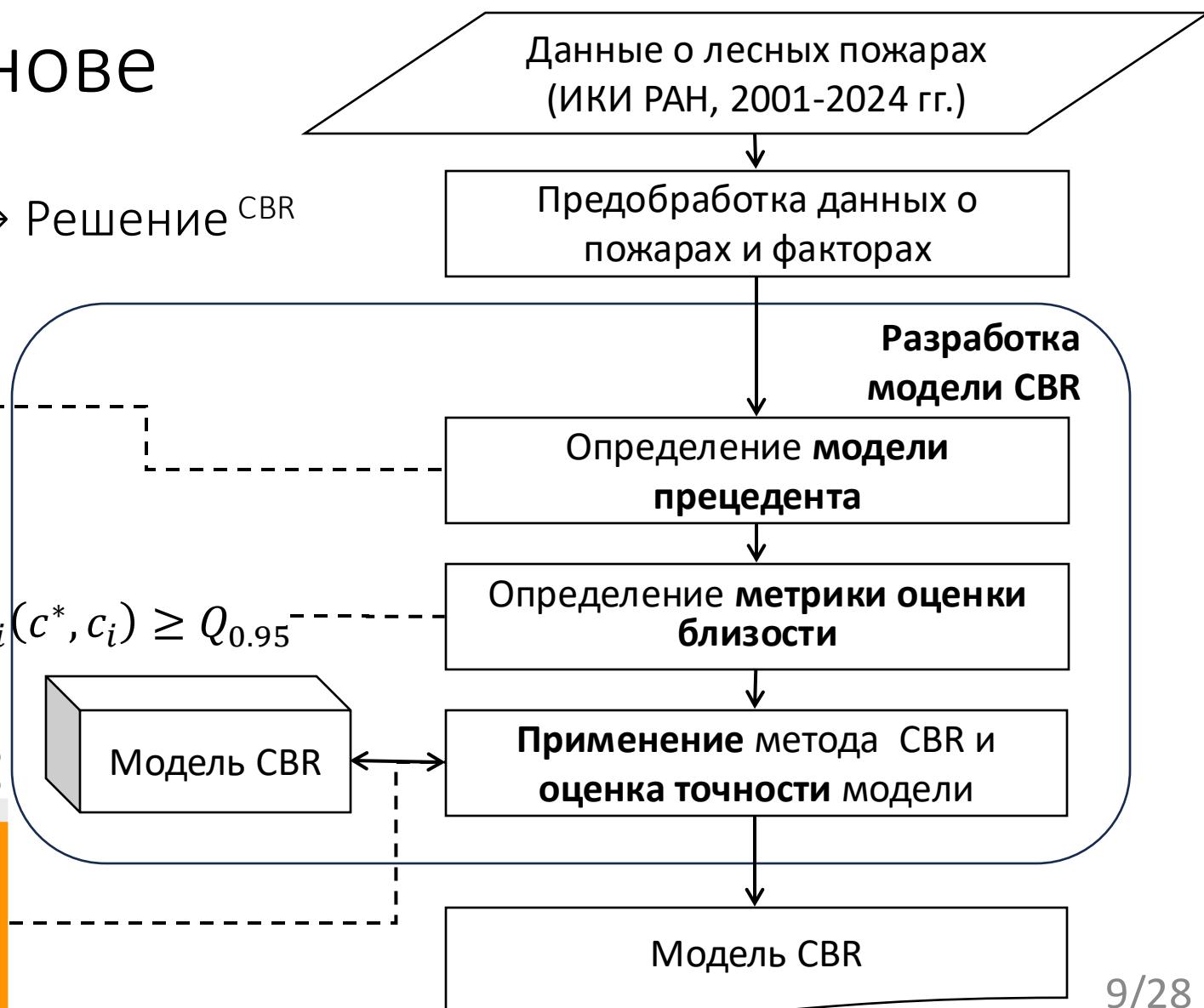
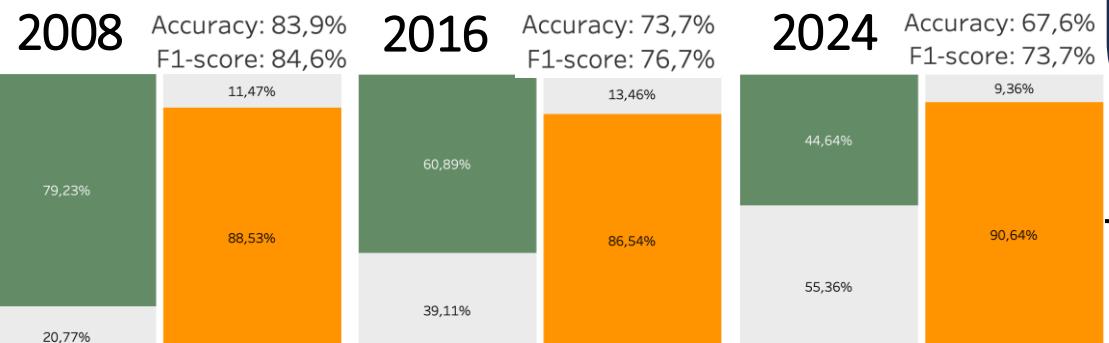
Основные этапы разработки модели прогнозирования риска лесных пожаров на основе CBR

$$M_{\text{Задача}_{\text{cbr}}} = \text{Проблема}^{\text{CBR}} \rightarrow \text{Решение}^{\text{CBR}}$$

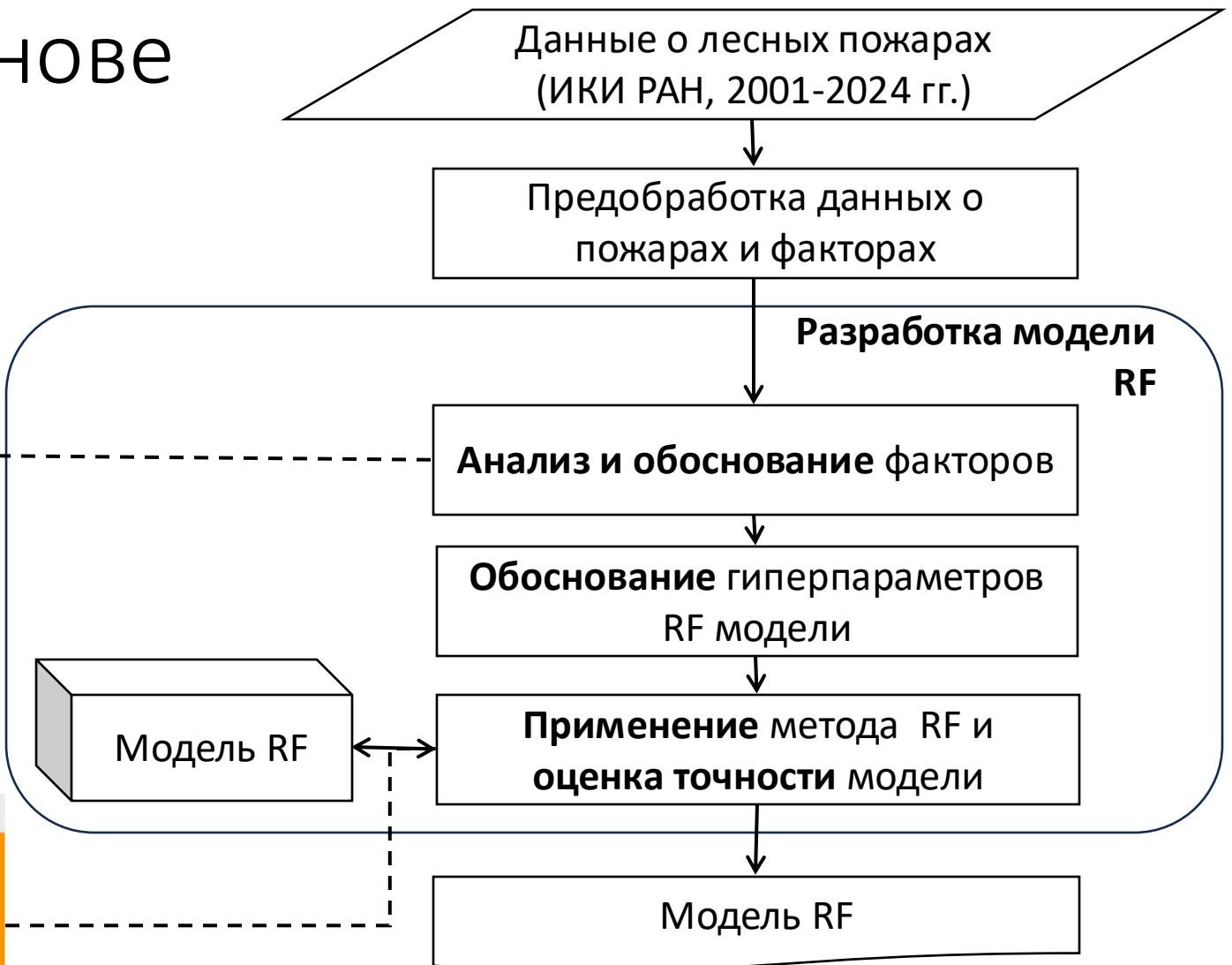
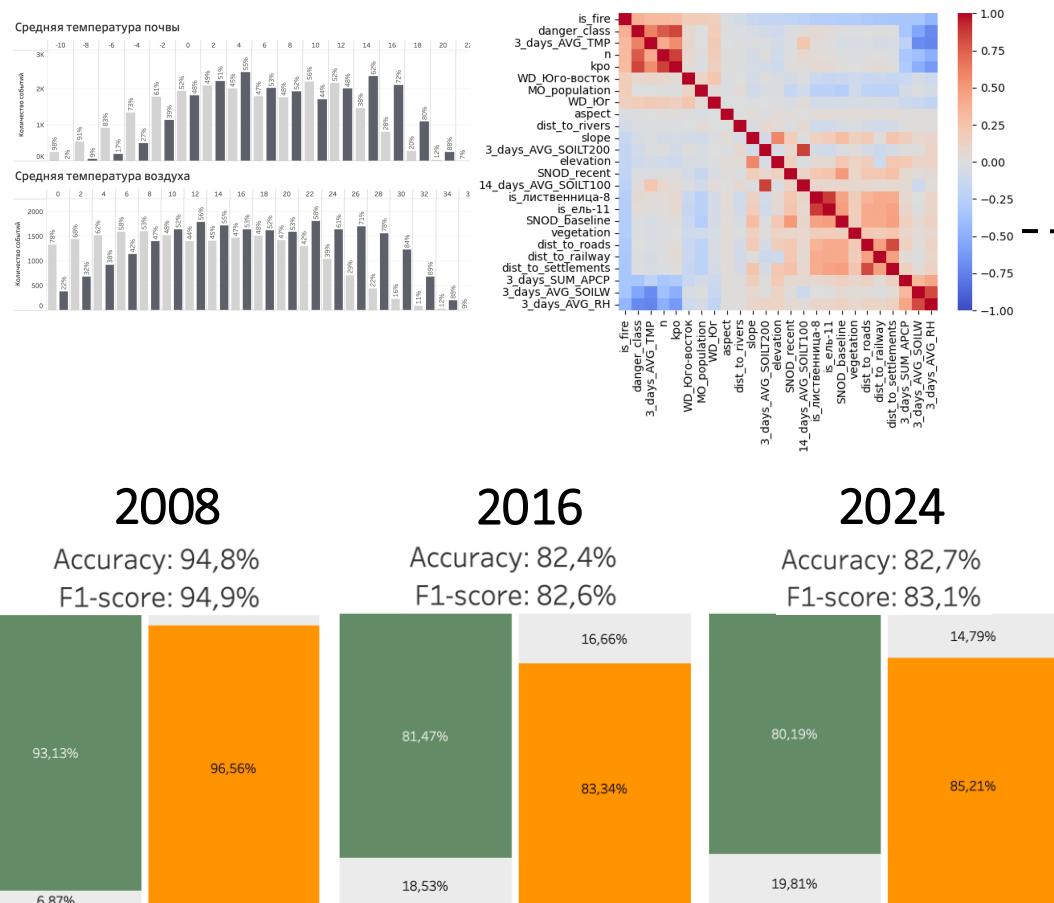
Размер базы прецедентов для тестовых периодов составляет:

- 5435 для 2008 г.,
- 18296 для 2016 г.,
- 25833 для 2024 г.

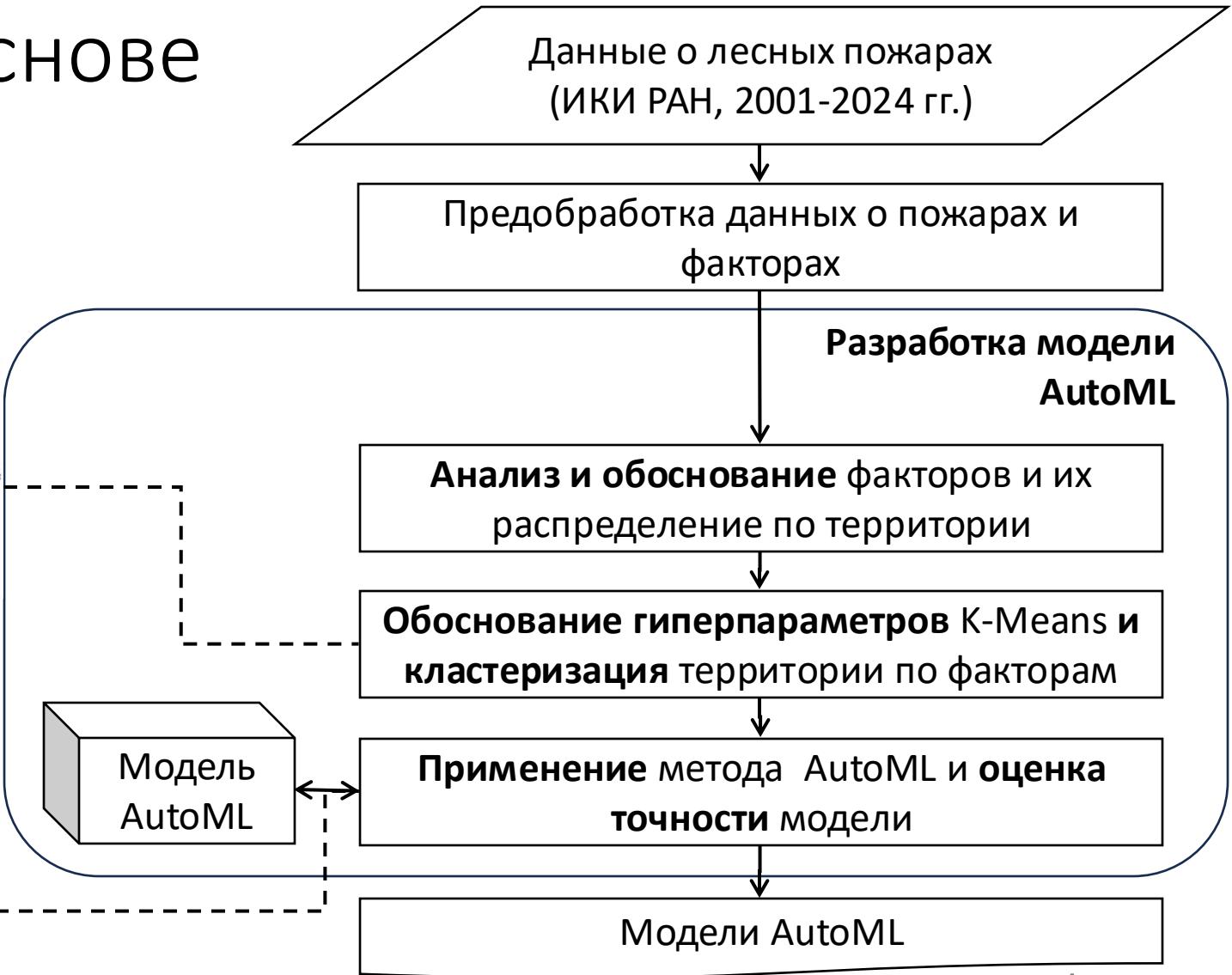
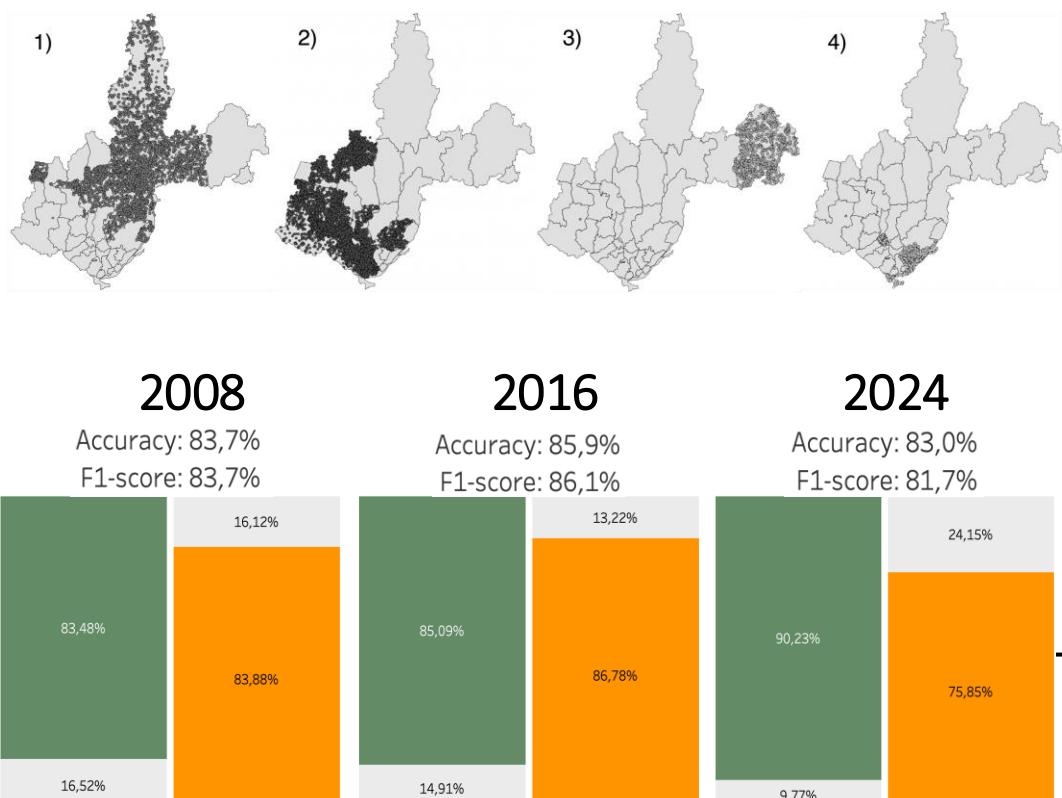
$$P(c^*) \in [0; 1] = \frac{1}{N_{Q_{0.95}}} \sum_{i \in N_{Q_{0.95}}} s_i(c^*, c_i), \text{ где } s_i(c^*, c_i) \geq Q_{0.95}$$



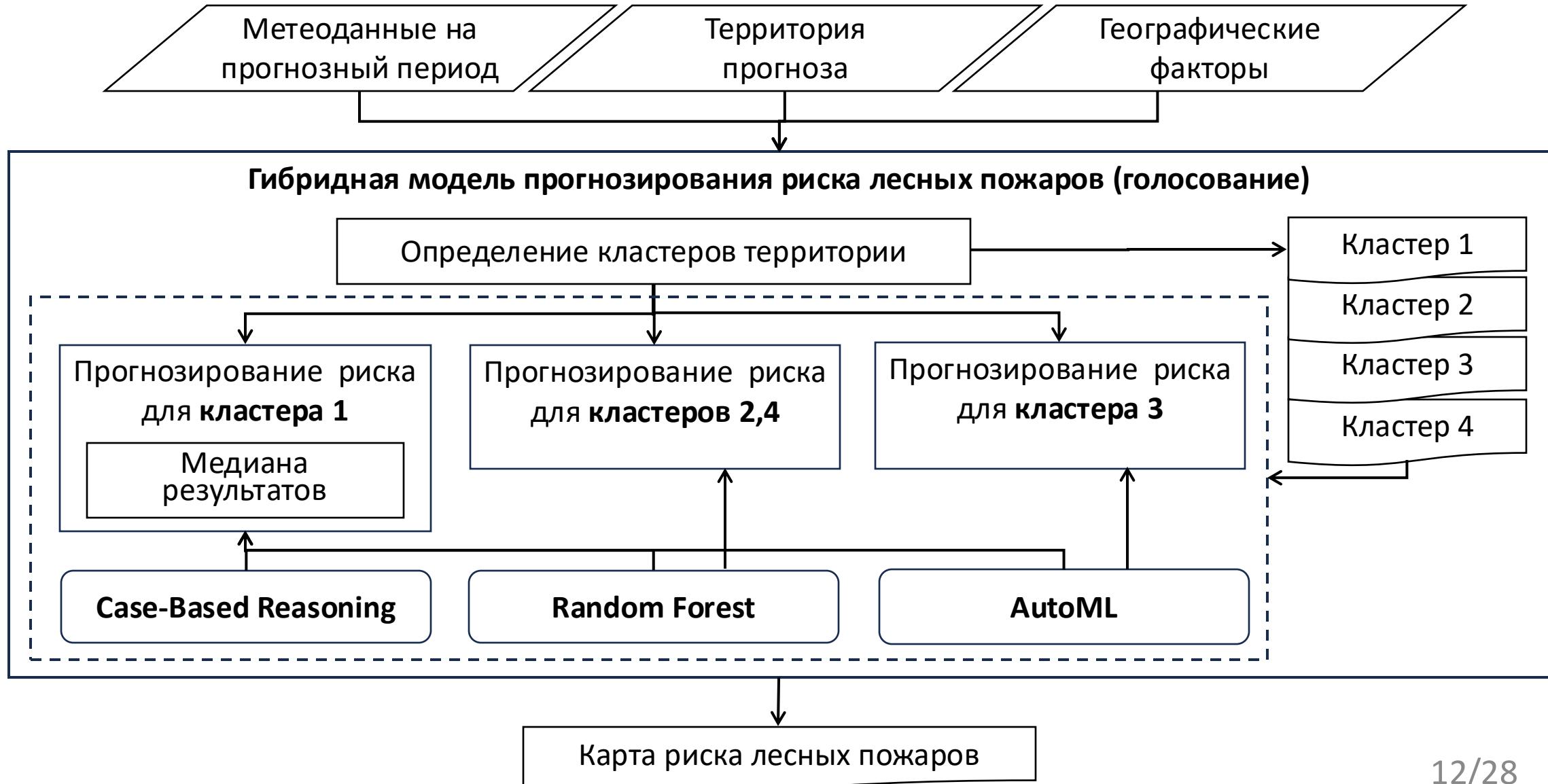
Основные этапы разработки модели прогнозирования риска лесных пожаров на основе Random Forest



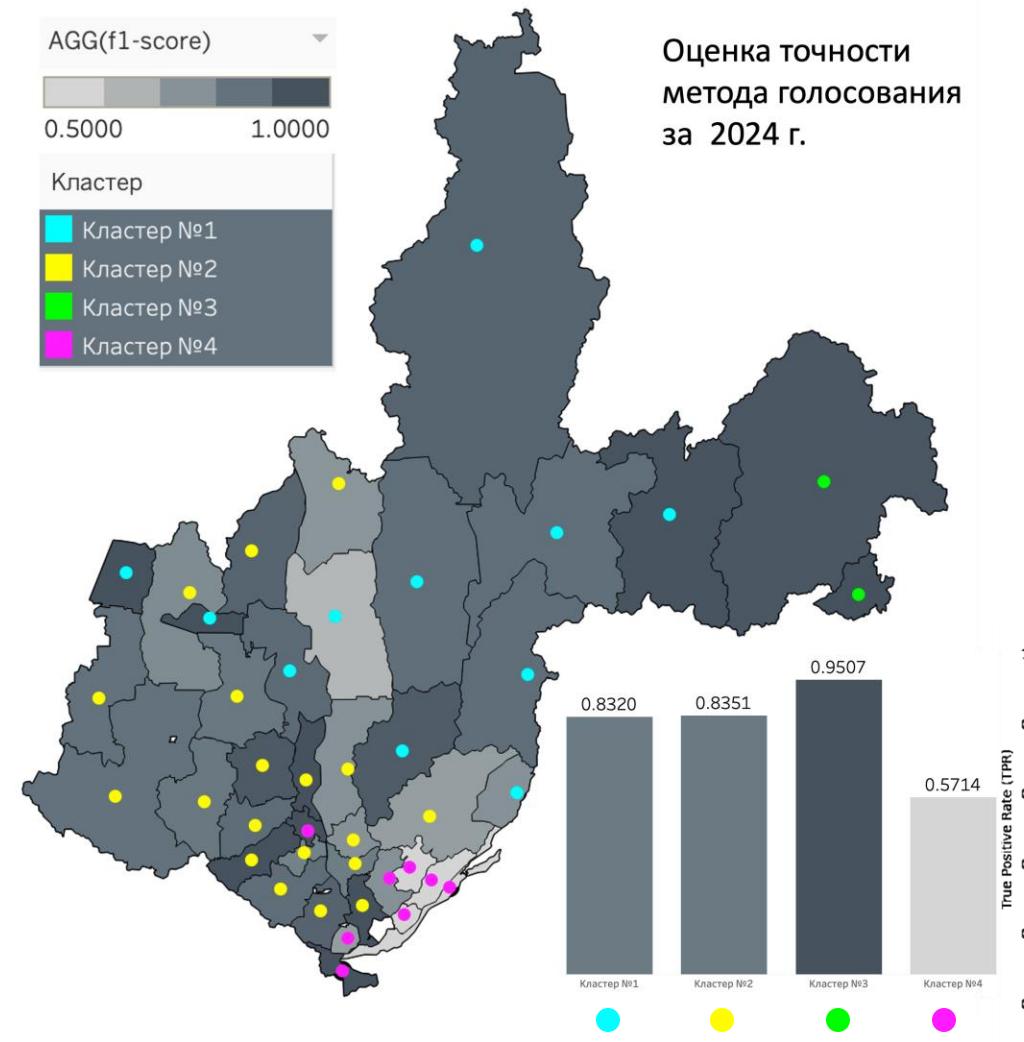
Основные этапы разработки модели прогнозирования риска лесных пожаров на основе AutoML



Гибридная модель

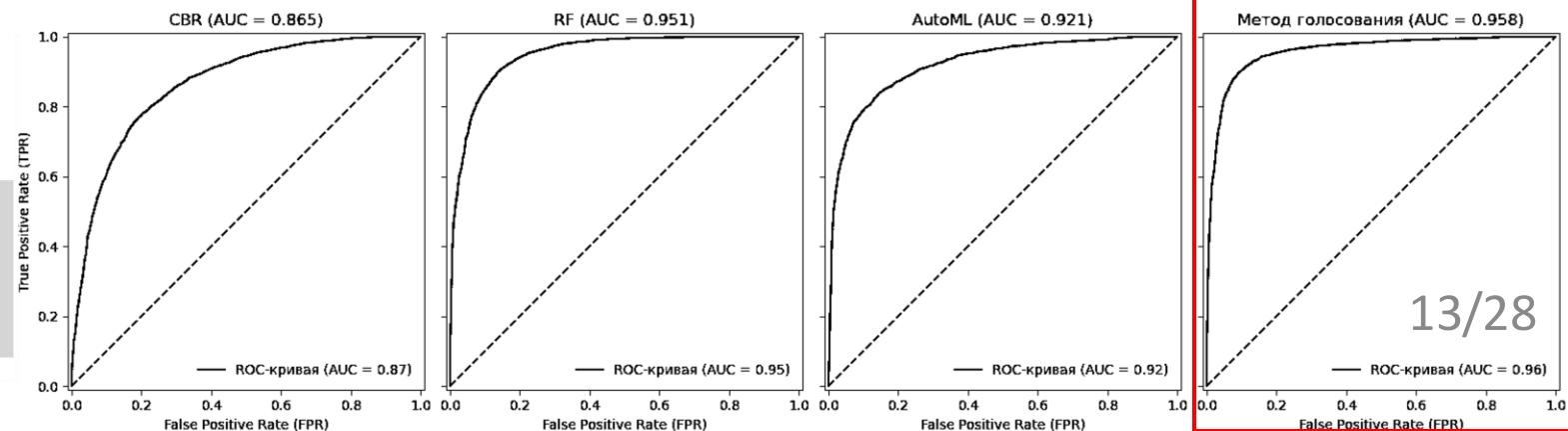


Сравнение моделей

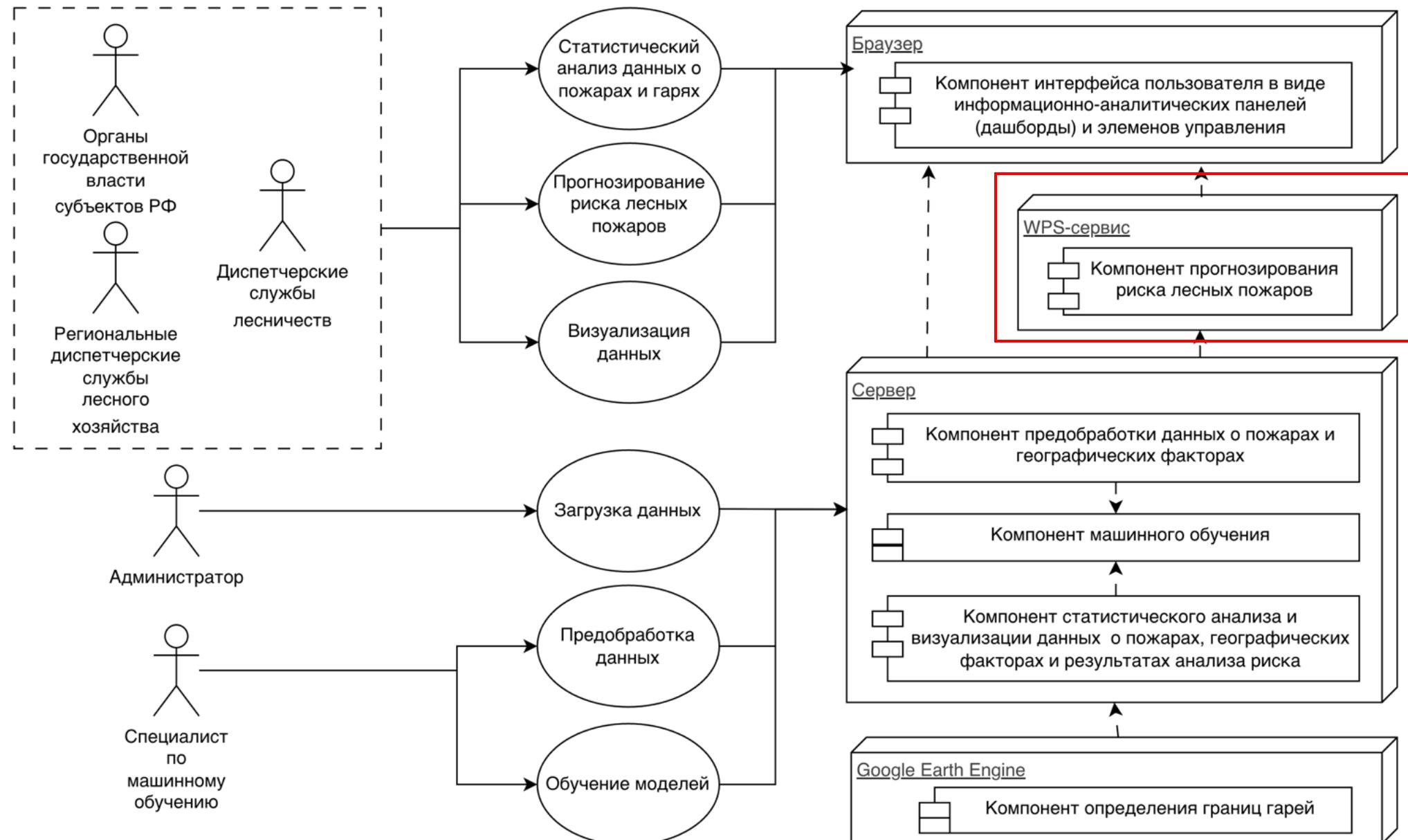


model year	Метод голосования	AutoML	CBR	RF	Лучший результат
2008	0.950	0.837	0.846	0.949	0.950
2016	0.849	0.861	0.767	0.826	0.861
2024	0.850	0.817	0.737	0.831	0.850
Итоговое среднее	0.894	0.843	0.795	0.883	0.894

model Кластер	Метод голосования	AutoML	CBR	RF	Лучший результат
Кластер №1	0.834	0.835	0.717	0.803	0.835
Кластер №2	0.919	0.840	0.846	0.919	0.919
Кластер №3	0.936	0.936	0.733	0.890	0.936
Кластер №4	0.910	0.795	0.782	0.910	0.910
Итоговое среднее	0.894	0.843	0.795	0.883	0.894



Архитектура АИС



Концептуальная модель информационного процесса (IDEFO) (III)

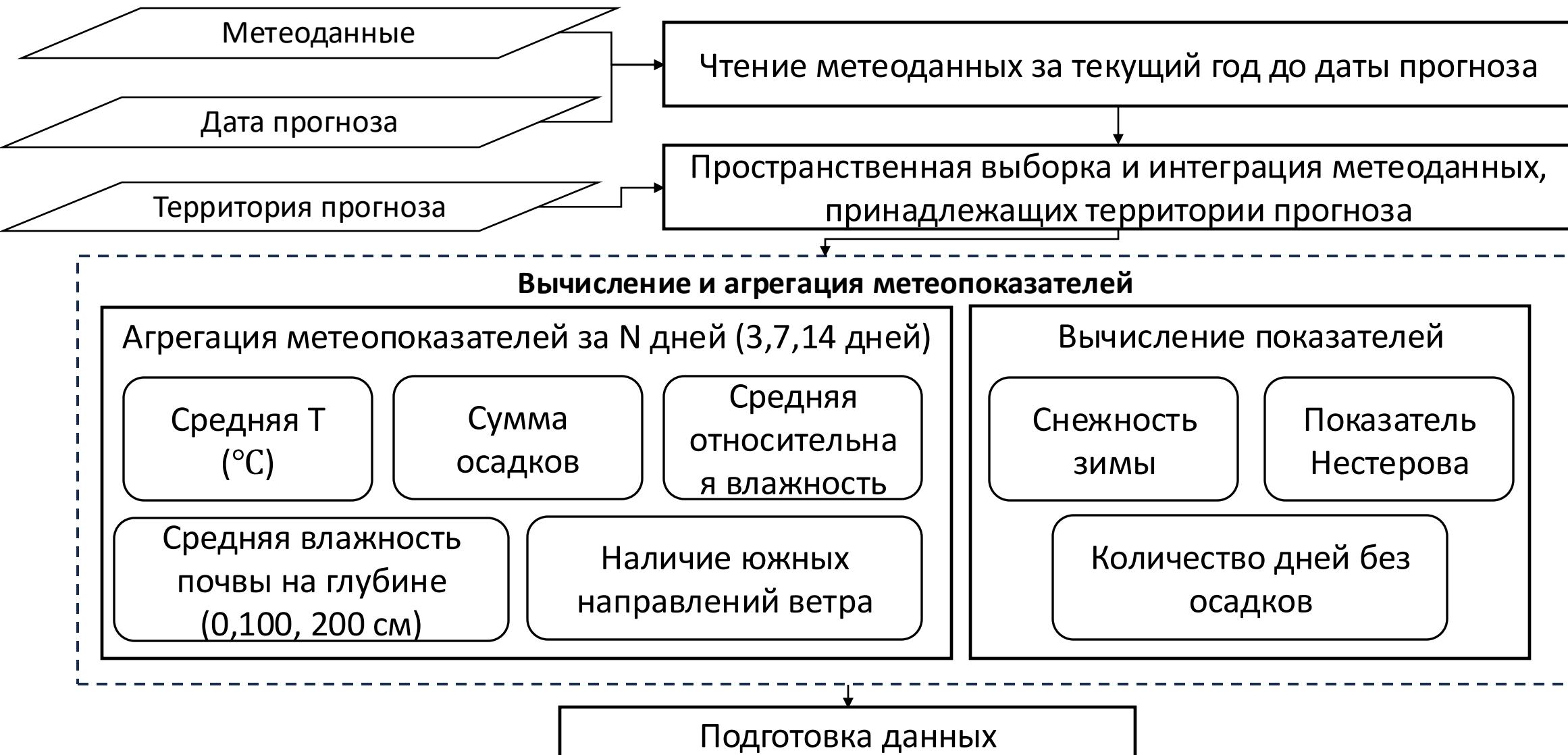


Прогнозные метеорологические данные

- Сбор и подготовка метеорологических данных для прогнозирования риска лесных пожаров на актуальный период осуществляется ежедневно автоматически с использованием продукта **GFS**, обеспечивающего прогнозирование метеорологических данных на 16 дней.
- **GFS (Global Forecast System)** – это глобальная модель прогноза погоды, разрабатываемая и поддерживаемая Национальными центрами экологического прогнозирования (NCEP), которые входят в состав Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) [1].
- Автоматизированную загрузку и обработку данных обеспечивает программный код Python с использованием модулей – `requests`, `cfgrib`, `multiprocessing`.

¹NCEP. Global Forecast System (GFS) [Электронный ресурс]. — Режим доступа:
<https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/> (дата обращения: 14.10.2025).

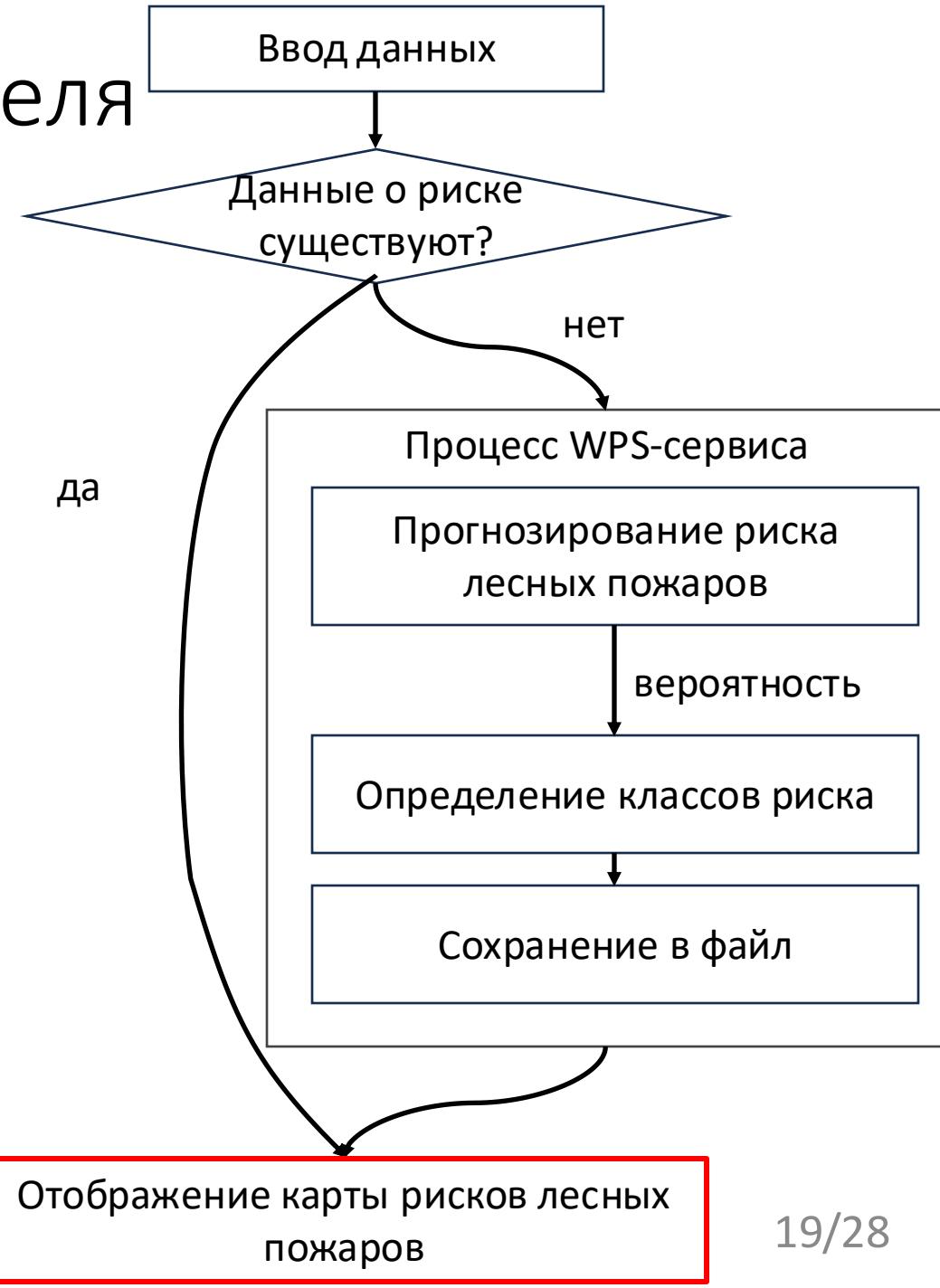
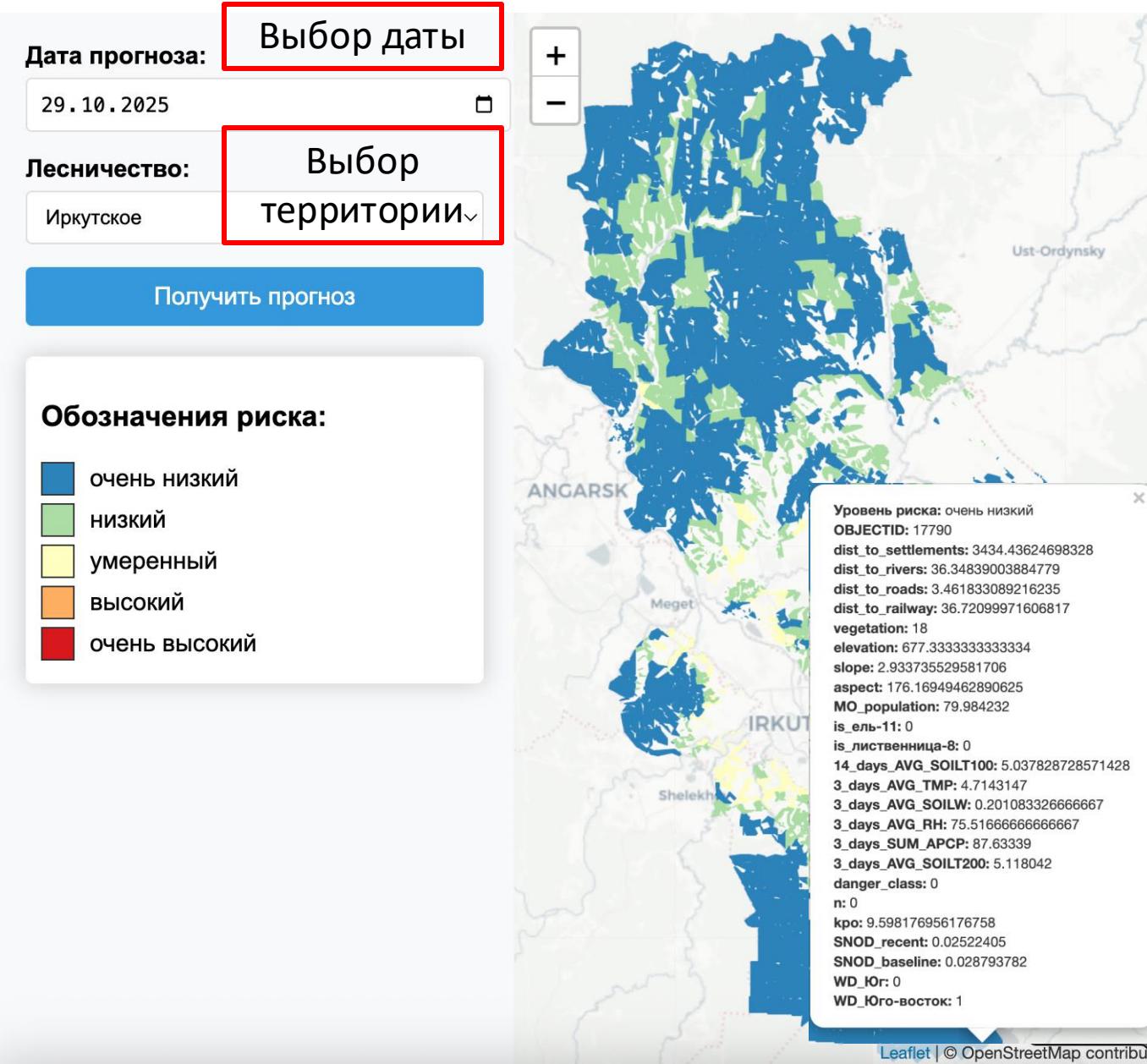
Агрегирование метеорологических данных



ФУНКЦИИ МОДУЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ



Элементы интерфейса пользователя



Элементы интерфейса пользователя

Дата прогноза: Выбор даты
29.10.2025

Лесничество: Выбор территории
Все территории

Получить прогноз

Обозначения риска:

- очень низкий
- низкий
- умеренный
- высокий
- очень высокий

Выбор даты

Выбор территории

Отображение карты рисков лесных пожаров

Средняя вероятность риска по лесничествам

Прогноз на всю территорию?

Отображение столбчатой диаграммы риска

Leaflet | © OpenStreetMap contributors

Лесничество	Вероятность	Уровень риска
Аларское	0.248	низкий
Северное		
Нукутское		
Илимское		
Кировское		
Иркутское		
Зиминское		
Усольское		
Куйтунское		
Заларинское		
Ангарское		
Братское		
Балаганское		
Шелеховское		
Баяндаевское		
Осинское		
Тулунское		
Голоустненское		
Ольхонское		
Чунское		
Черемховское		
Тайшетское		
Слюдянское		
Нижнеудинское		
Усть-Удинское		
Усть-Ордынское		
Киренское		
Байкальский национальный парк		
Усть-Кутское		
Нижнеилимское		
Казачинско-Ленское		
Качугское		
Падунское		
Жигаловское		
Бирюсинское		
Катангское		
Мамское		
Байкало-Ленский заповедник		
Бодайбинское		

20/28

Апробация

Карта рисков лесных пожаров на территории лесных кварталов Иркутской области на весенний период с 1 апреля по 31 мая 2024 г.

Период прогноза:

01.04.2024

31.05.2024

Все территории

[Получить прогноз](#)

Обозначения риска:

-  очень низкий
 -  низкий
 -  умеренный
 -  высокий
 -  очень высокий

Точность прогноза:

Точность модели:

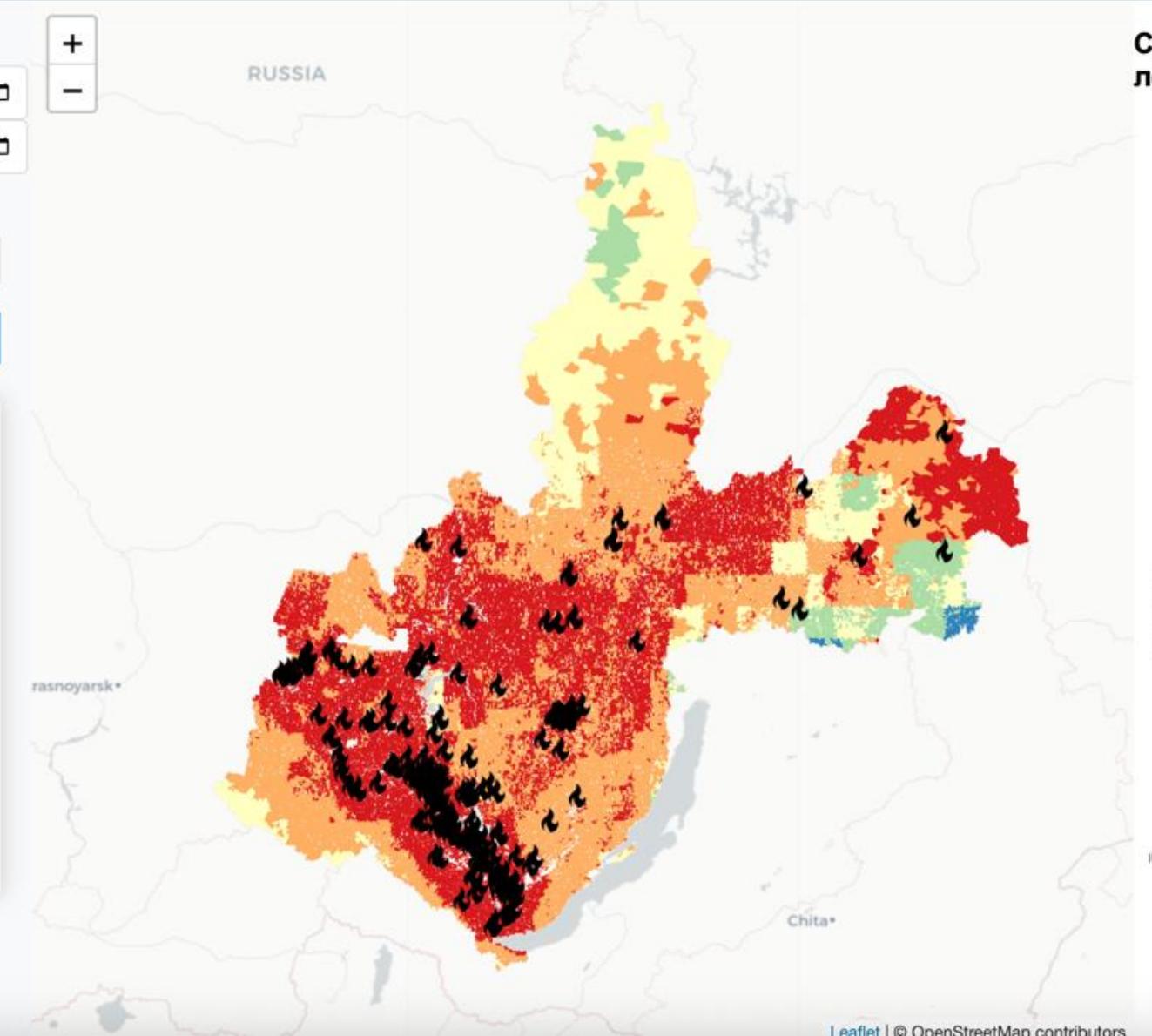
97.4%

Всего пожаров:

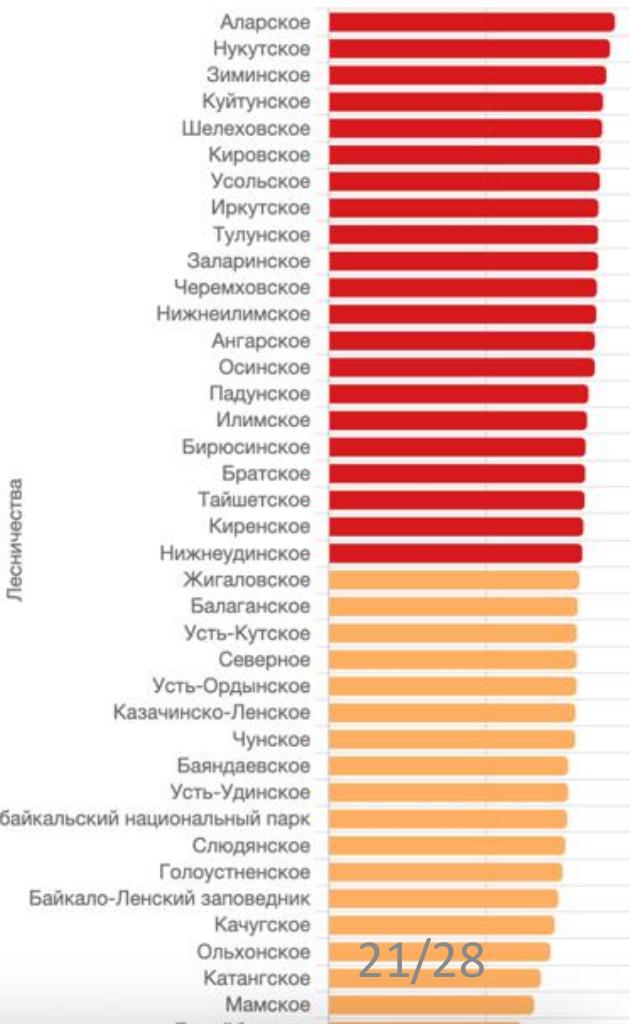
117

Верно предсказано:

114



Средняя вероятность риска по лесничествам



Апробация

Карта рисков лесных пожаров на территории лесных кварталов Иркутской области на период с 15 августа по 15 сентября 2024 г.

Период прогноза:

15.08.2024

+

-

15.09.2024

Лесничество:

Все территории

Получить прогноз

Обозначения риска:

- очень низкий
- низкий
- умеренный
- высокий
- очень высокий

Точность прогноза:

Точность модели:

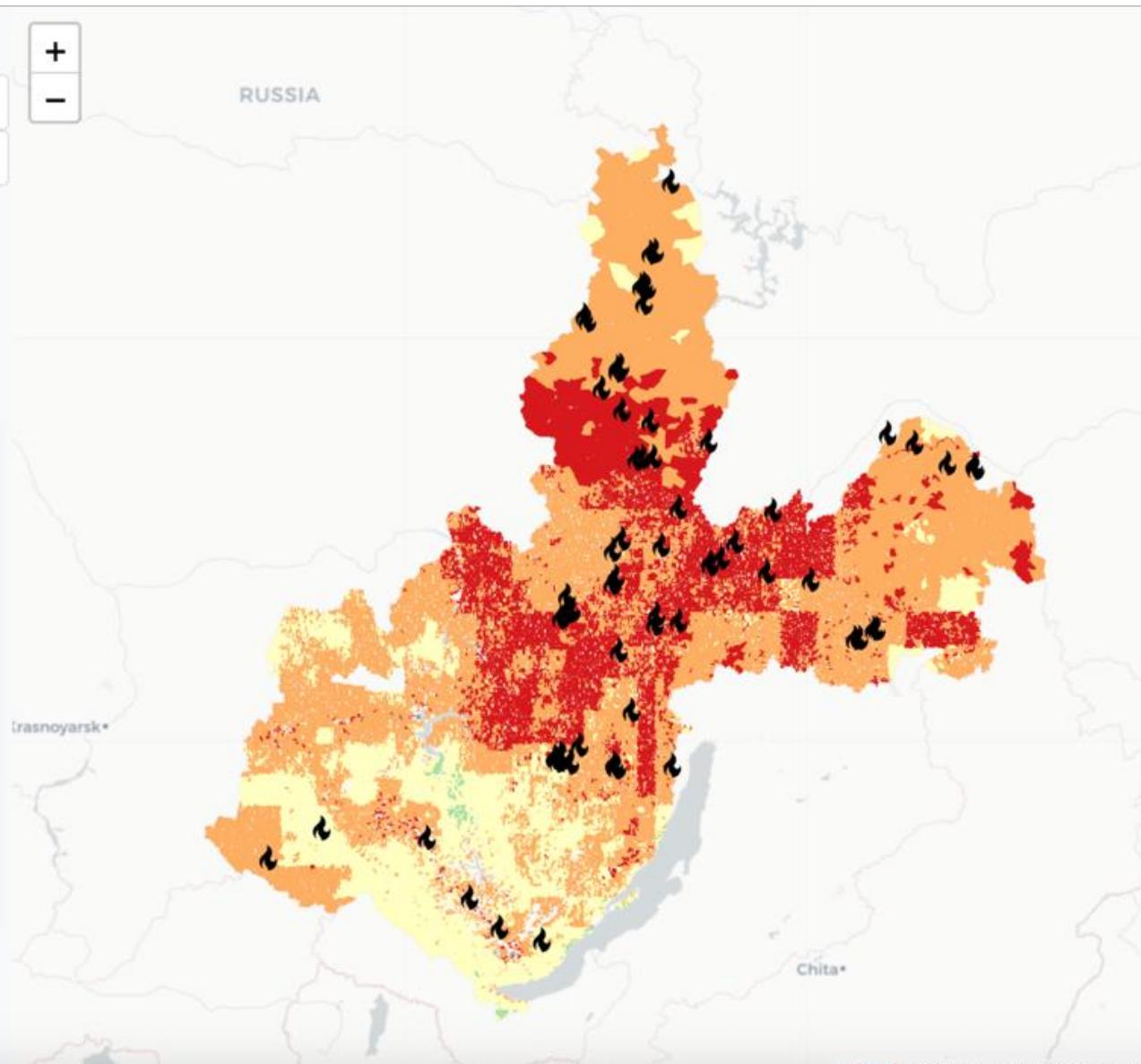
97.2%

Всего пожаров:

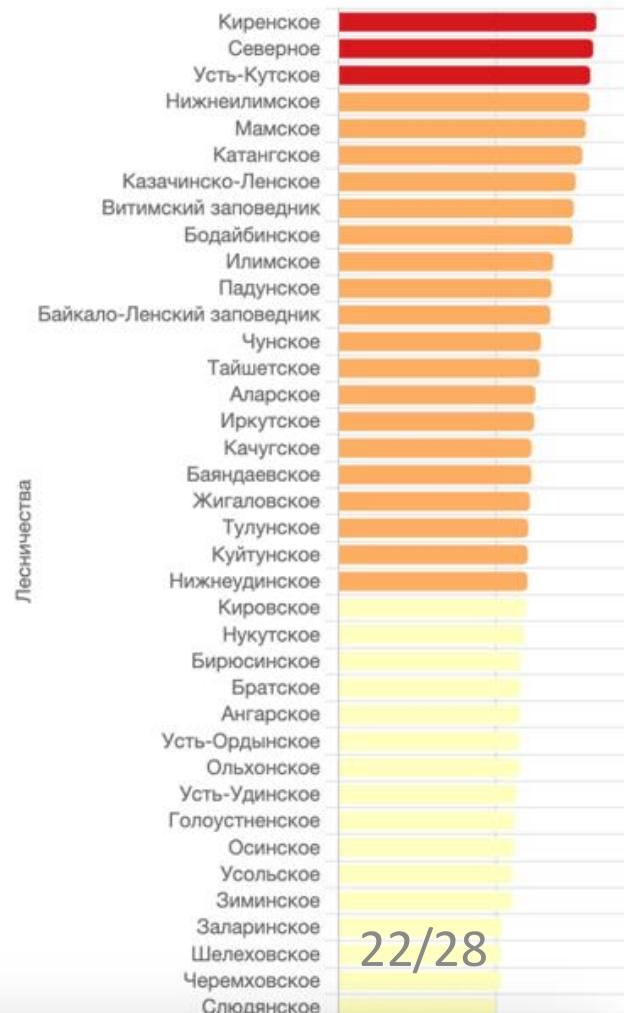
72

Верно предсказано:

70



Средняя вероятность риска по лесничествам



Апробация

Карта рисков лесных пожаров на территории лесных кварталов Иркутской области на 12 августа 2024 г.

Период прогноза:

12.08.2024

дд.мм.гггг

Лесничество:

Все территории

Получить прогноз

Обозначения риска:

- █ очень низкий
- █ низкий
- █ умеренный
- █ высокий
- █ очень высокий

Точность прогноза:

Точность модели:

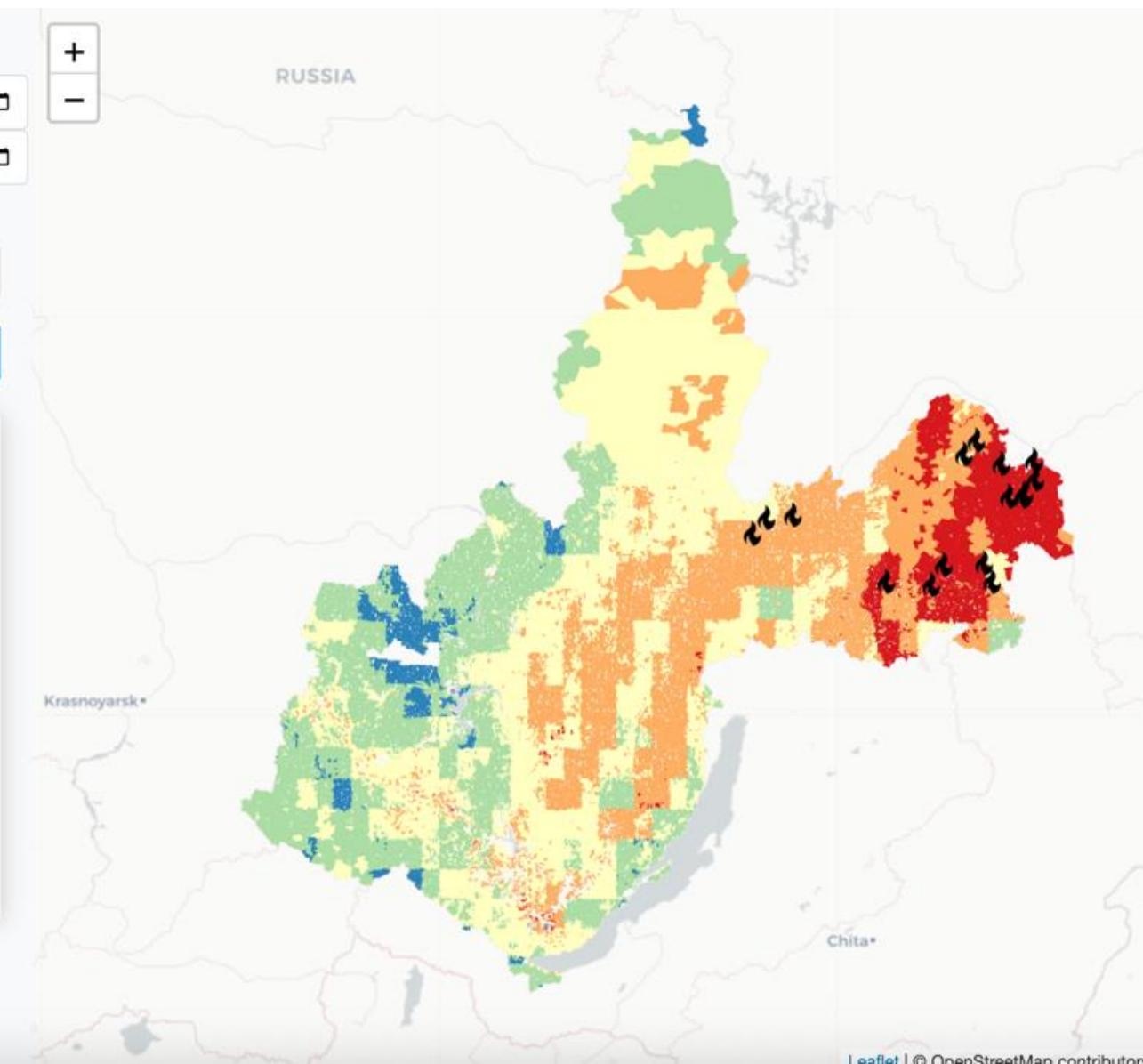
100.0%

Всего пожаров:

16

Верно предсказано:

16



Средняя вероятность риска по лесничествам



Сравнение точности гибридной модели с аналогами (I)

Описание модели	Набор свойств	Метрики производительности	Эксперимент*
Модель-аналог RF для территории Якутии¹ (11 факторов / свойств)	Солнечная радиация, количество осадков, средняя и максимальная температура воздуха, тип растительного покрова, высота, крутизна и ориентация склона, дистанции до дорог, населенных пунктов и рек	F1-score: 0.8185 Accuracy: 0.8275	Recall: 0.625
Модель-аналог RF для территории Иркутской области (13 базовых факторов/ свойств)	Тип растительного покрова, высота, крутизна и ориентация склона, дистанции до дорог, населенных пунктов и рек, показатель Нестерова, количество дней без осадков, максимальная температура, количество осадков, скорость ветра	F1-score: 0.8261 Accuracy: 0.8302	Recall: 0.75

^[1] Janiec, P. A Comparison of Two Machine Learning Classification Methods for Remote Sensing Predictive Modeling of the Forest Fire in the North-Eastern Siberia / P. Janiec, S. Gadal // Remote Sens. — 2020. — Vol. 12. — P. 4157.

* Точность прогноза в результате апробации на 12.08.2024 г.

Сравнение точности гибридной модели с аналогами (II)

Описание модели	Набор свойств	Метрики производительности	Эксперимент
Модель-аналог RF для территории Иркутской области (24 значимых географических фактора/свойства)	Тип растительного покрова, наличие породы ели и лиственницы, высота, крутизна и ориентация склона, дистанции до автомобильных и железных дорог, населенных пунктов и рек, плотность населения, показатель Нестерова, класс пожарной опасности, количество дней без осадков, средняя температура, количество осадков, влажность почвы на поверхности, температура почвы на глубине 100 и 200 м, наличие южных направлений ветра, относительная снежность зимы и средняя снежность за 5 лет.	F1-score: 0.8565 Accuracy: 0.8605	Recall: 0.8125
Модель-аналог RF для территории Иркутской области с локальной балансировкой данных (24 значимых географических фактора/свойства)	Тип растительного покрова, наличие породы ели и лиственницы, высота, крутизна и ориентация склона, дистанции до автомобильных и железных дорог, населенных пунктов и рек, плотность населения, показатель Нестерова, класс пожарной опасности, количество дней без осадков, средняя температура, количество осадков, влажность почвы на поверхности, температура почвы на глубине 100 и 200 м, наличие южных направлений ветра, относительная снежность зимы и средняя снежность за 5 лет.	F1-score: 0.883 Accuracy: 0.881	Recall: 0.875
Модель HybridML для территории Иркутской области с локальной балансировкой данных (24 значимых географических фактора/свойства)	Тип растительного покрова, наличие породы ели и лиственницы, высота, крутизна и ориентация склона, дистанции до автомобильных и железных дорог, населенных пунктов и рек, плотность населения, показатель Нестерова, класс пожарной опасности, количество дней без осадков, средняя температура, количество осадков, влажность почвы на поверхности, температура почвы на глубине 100 и 200 м, наличие южных направлений ветра, относительная снежность зимы и средняя снежность за 5 лет.	F1-score: 0.894 Accuracy: 0.892	Recall: 1

Результаты

Разработана **гибридная модель прогнозирования риска лесных пожаров**, основанная на данных ДЗЗ и агрегации методов машинного обучения (Random Forest, Case-based reasoning, AutoML) с учетом сформированной прецедентной модели на основе наиболее значимых географических факторов территории Иркутской области, результатами верификации данных о площадях пожаров, обеспечивающая высокую оценку точности (F1-score 0.89) прогнозирования.

- **Автоматизированы процессы** сбора прогнозных метеорологических показателей, **прогнозирования риска лесных пожаров**.
- **Разработан прототип пользовательского интерфейса** для получения оперативной информации о классах рисках лесных пожаров на заданную дату и территорию.
- В рамках апробации автоматизированной информационной системы выполнены прогнозирование риска лесных пожаров территории Иркутской области на заданную дату и оценка его точности $P^{ML-D-Class-Fire-HybridML}$, которая составила по метрике полноты (Recall) для весеннего периода – 0.974, для месячного периода с 15 августа по 15 сентября – 0.972, для 12 августа – 1.

Основные публикации

1. Пестова Ю.В. Использование прецедентного подхода для прогнозирования риска лесных пожаров / Дородных Н.О., Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Юрин А.Ю. // Вычислительные технологии. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 43-54. (**ВАК, УБС-4, Scopus Q4, РИНЦ**).
2. Pestova J. Forest Fire Risk Forecasting with the Aid of Case-Based Reasoning / Dorodnykh N., Nikolaychuk O., Pestova J., Yurin A. // Applied Sciences. – 2022. – №12(17):8761. (**УБС-2, Scopus Q1, WOS, РИНЦ**).
3. Pestova Yu.V. Creation of prototypes of case-based knowledge bases using transformations of decision tables to predict the risk of forest fires / Dorodnykh N.O., Nikolaichuk O.A., Pestova Yu.V., Yurin A.Yu. // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2023. – Vol. 33, № 3. – P. 274–281. (**УБС-2, WOS Q3, РИНЦ**).
4. Pestova Yu.V. Wildfire Susceptibility Mapping in Baikal Natural Territory Using Random Forest / Nikolaychuk O.A., Pestova Yu.V., Yurin A.Yu. // Forests. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 170. (**УБС-1, WOS Q1, РИНЦ**).



Спасибо за внимание!

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Гибридная модель прогнозирования риска лесных пожаров,
основанная на данных ДЗЗ и агрегации методов машинного обучения
(Random Forest, Case-based reasoning, AutoML) с учетом сформированной
прецедентной модели на основе наиболее значимых географических факторов
территории Иркутской области, результатами верификации данных о площадях
пожаров, обеспечивающая высокую оценку точности (F1-score 0.89)
прогнозирования.

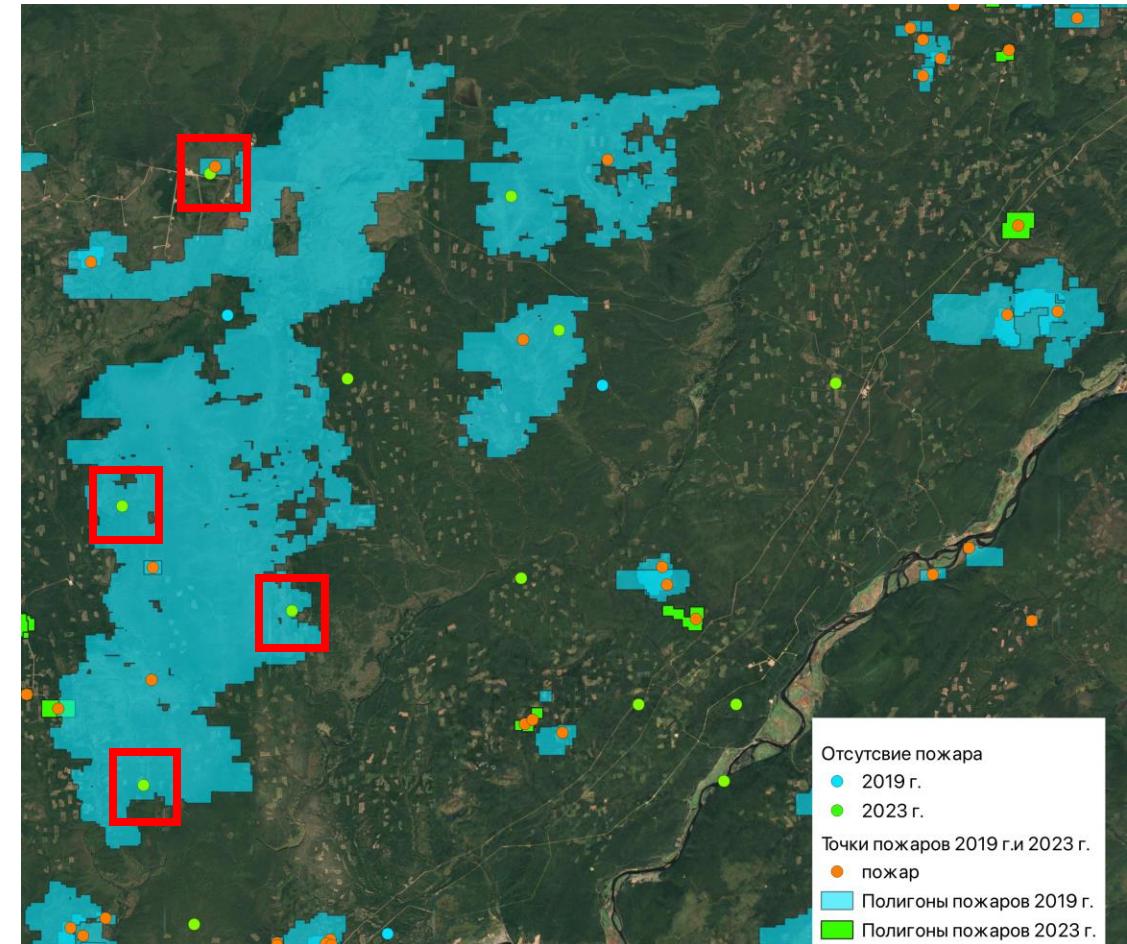
Генерация данных, для формирования класса «отсутствие пожара»

Для формирования класса «отсутствие пожара» сгенерированы случайные точки, случайность определена во времени и пространстве.

Сгенерированные координаты событий расположены на территории Иркутской области вне уточненных площадей возгорания пожаров, населенных пунктов и техногенных объектов.

Количество сгенерированных точек соответствует ежегодному количеству пожаров. Каждый класс содержит **26570** образцов.

Даты событий «отсутствие пожара» определены с учетом обратного распределения частоты возникновения пожаров по месяцам.



Исторические пожары (точки «наличие пожара») и сгенерированные (точки «отсутствие пожаров»)

Обучающая и тестовая выборки

**Тестовая выборка – 8746 записей
(16%) за каждые 8 лет
(2008, 2016 и 2024 года).**

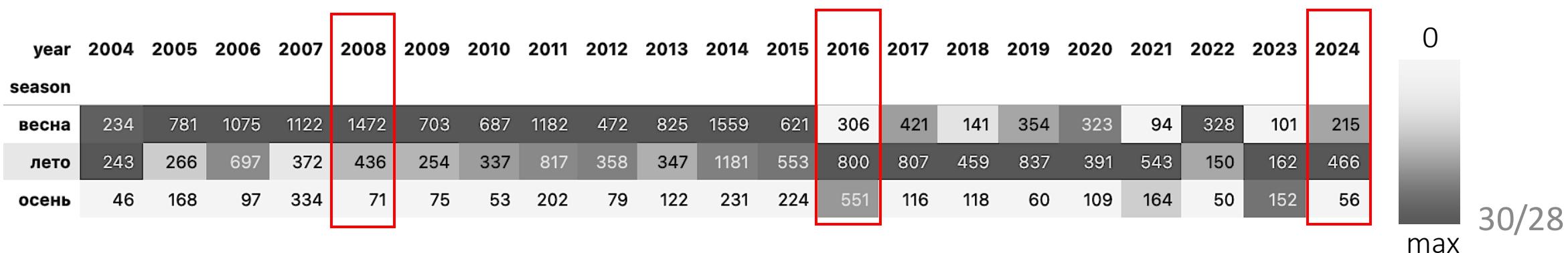
Обучающая выборка – 44394.

Классы сбалансированы и имеют
соотношение идентичное
исходному набору – 1:1.

Пожароопасные периоды:

- 2008 год - весенние пожары,
- 2016 – летне-осенние,
- 2024 – летние.

Количество пожаров:



Факторы, влияющие на лесные пожары

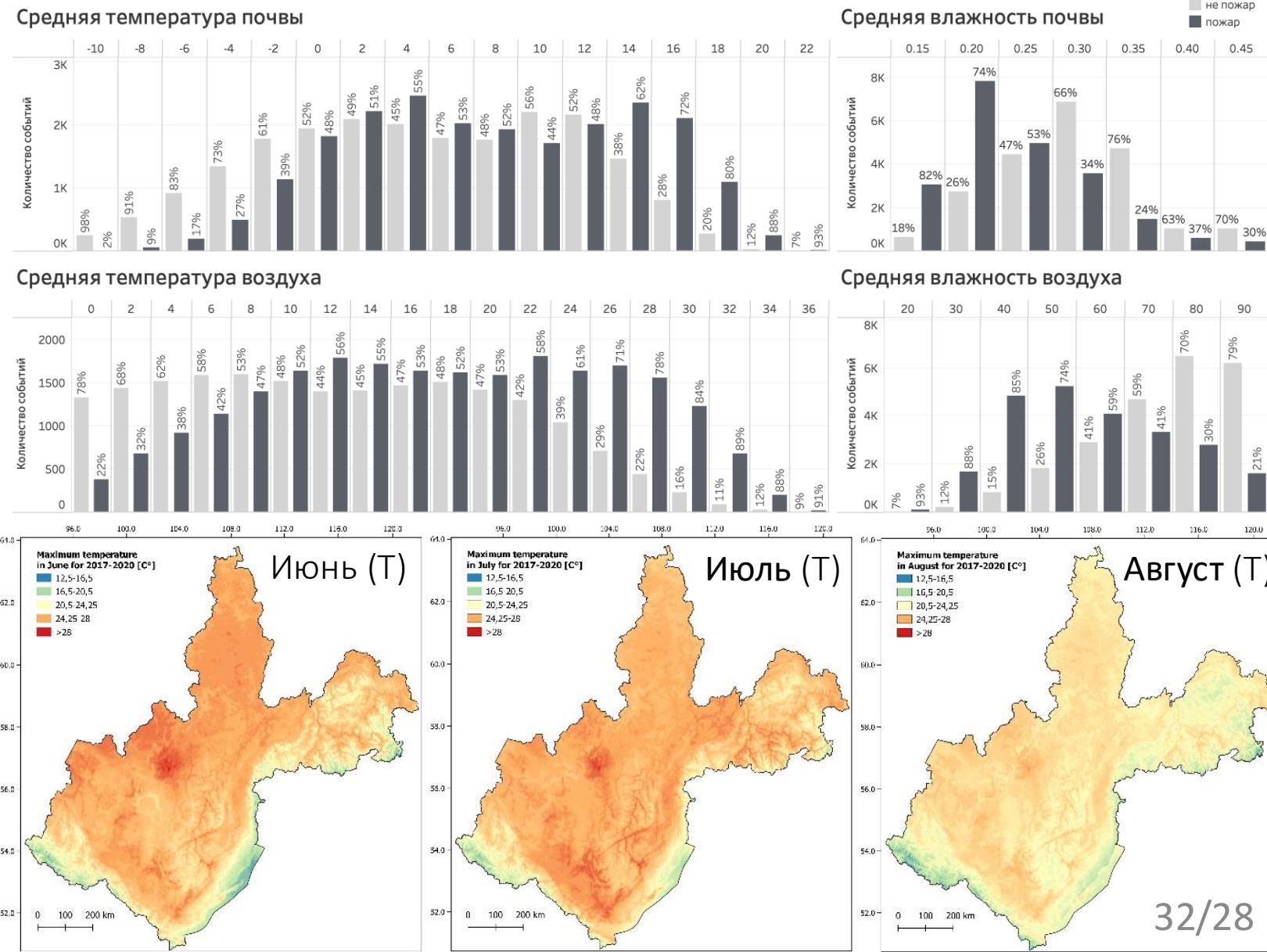
В исследованиях среди факторов влияющих на возникновение пожаров отмечают следующие группы:

- метеорологические^{1,2},
- топографические,
- характеристики растительности и
- социальные факторы (факторы, влияющие на поведение человека).

1. Saha, S. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis / S. Saha, S. Moorthi, H. Pan, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, R. Kistler, J. Woollen, D. Behringer et al. // Bulletin of the American Meteorological Society. — 2010. — Vol. 91, № 8. — P. 1015–1058.
2. Saha, S. The NCEP climate forecast system version 2 / S. Saha, S. Moorthi, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, D. Behringer, Y.-T. Hou, H. Chuang, M. Iredell et al. // Journal of climate. — 2014. — Vol. 27, № 6. — P.2185–2208.

Метеорологические факторы (I)

ФАКТОРЫ	ЕД.	СПОСОБ ИЗМ. ПОЛУЧЕНИЯ:
Температура воздуха (T)	С°	Агрегирование данных RDA на регулярной сетке для временных интервалов (3, 7 и 14 дней) до начальной даты событий в исходном наборе
Средняя температура почвы в слоях: 0–10 см.; 10–40 см.; 40–100 см.; 100–200 см. (TMPGR10, TMPGR40, TMPGR100, TMPGR200)	С°	представителей классов: «пожар» и «отсутствие пожара»
Средняя относительная влажность (RH)	%	
Средняя влажность почвы в слоях: 0–10 см; 10–40 см; 40–100 см; 100–200 см. (SOILW10, SOILW40, SOILW100, SOILW200)	%	



Метеорологические факторы (II)

ФАКТОРЫ

Суммарное количество осадков (APCP)

ЕД. ИЗМ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ:

мм.

Агрегирование
данных RDA на
регулярной сетке
для временных
интервалов
(3, 7 и 14 дней) до
начальной даты

Показатель Нестерова (danger_class)

классы
1-5

для временных
интервалов
(3, 7 и 14 дней) до
начальной даты
событий в
исходном наборе
представителей
классов: «пожар» и
«отсутствие
пожара»

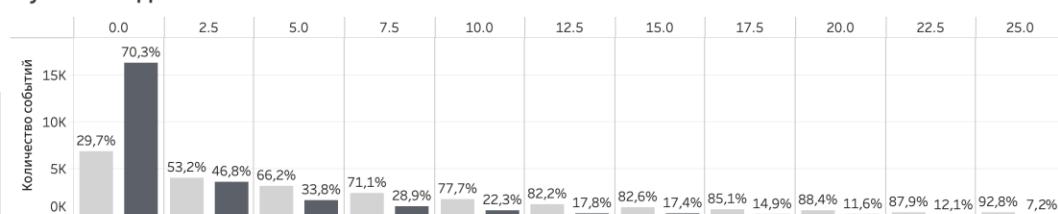
Снежность зимы (snowiness)

1-3
(малая,
норма,
много)

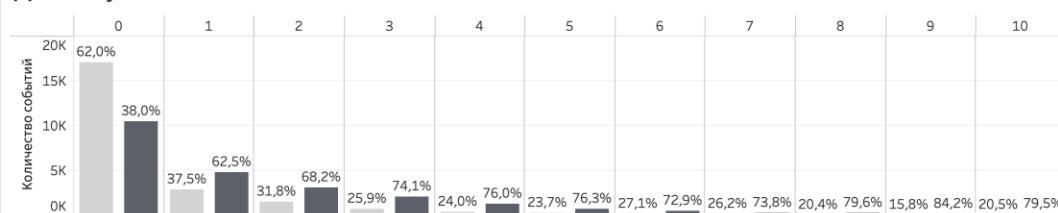
Количество дней засухи: строгая, умеренная, периодическая (n)

целое
число

Сумма осадков



Дни засухи



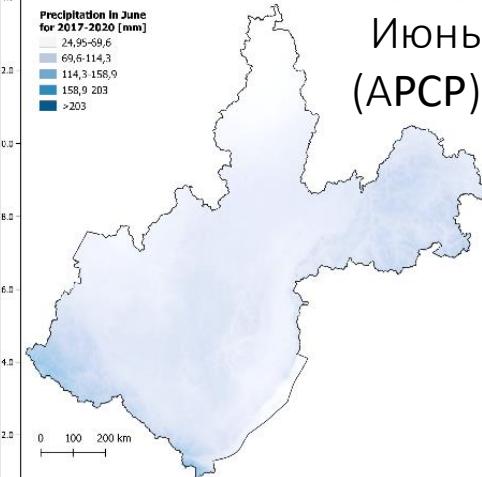
Снежность зимы



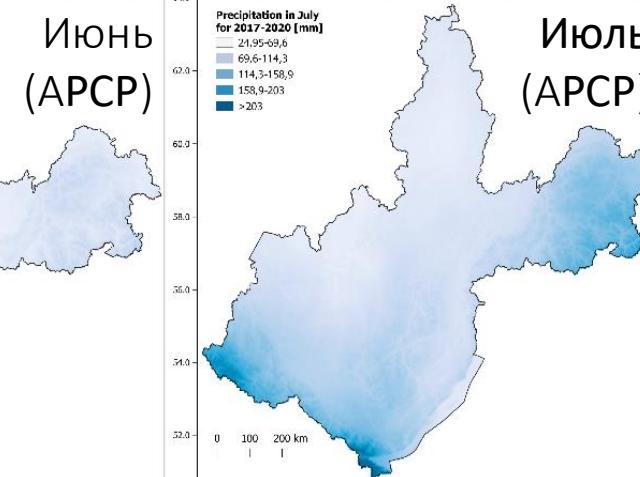
Показатель Нестерова



Июнь (APCP)



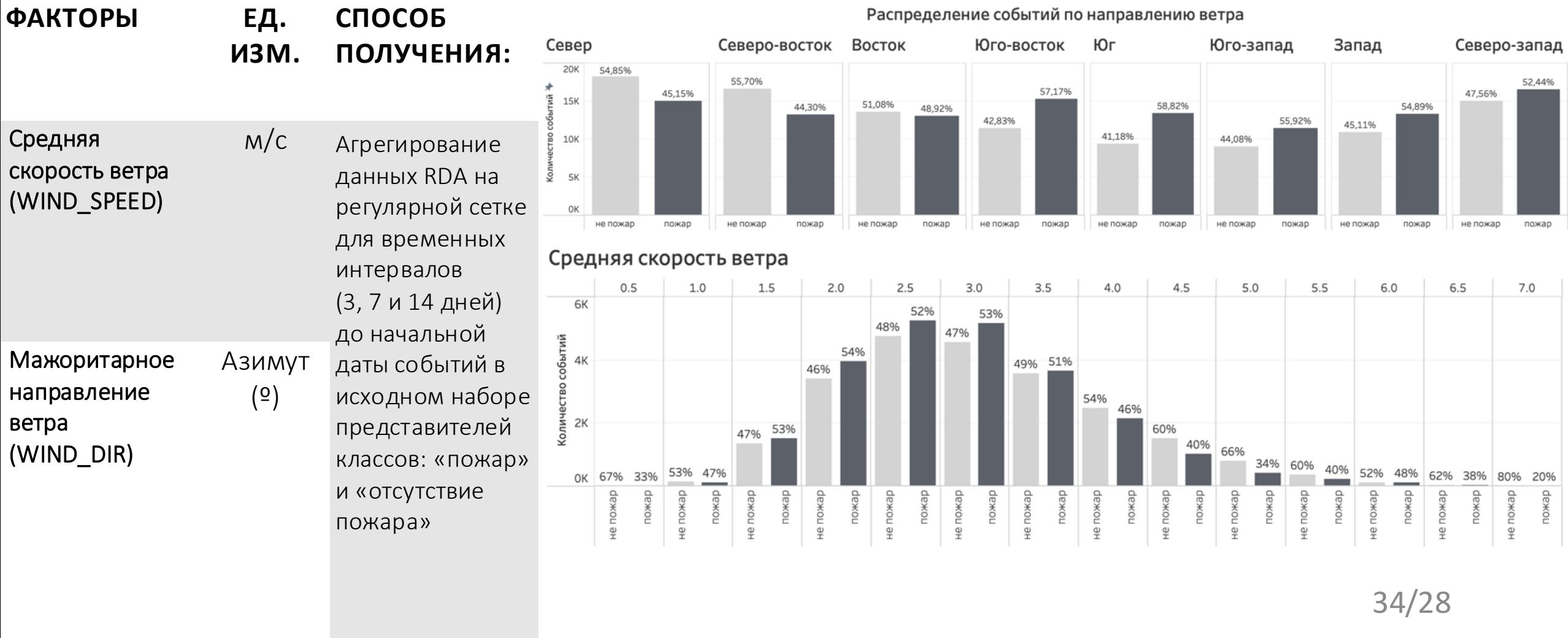
Июль (APCP)



Август (APCP)



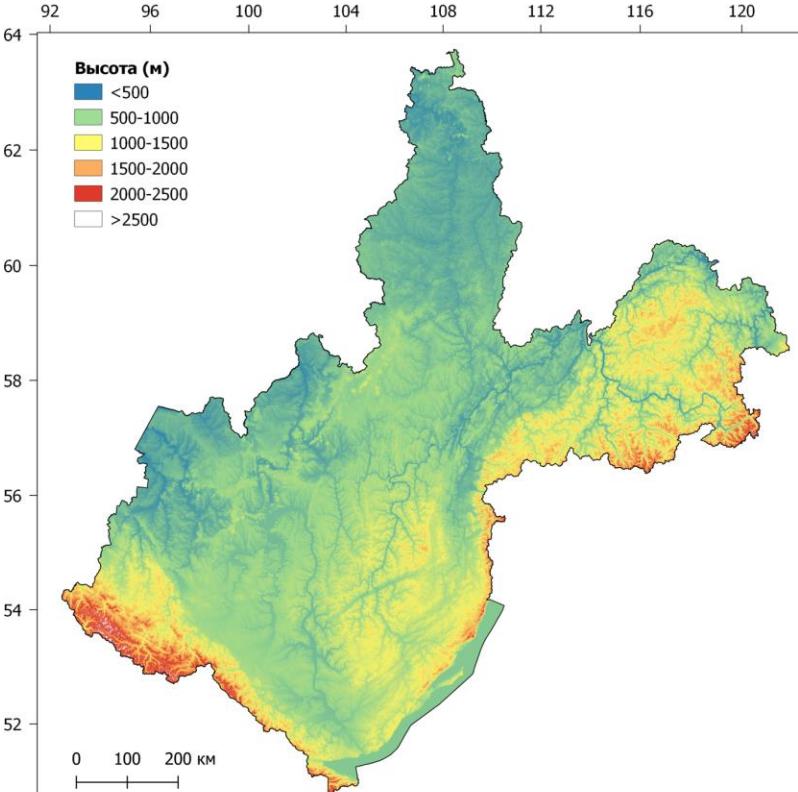
Метеорологические факторы (III)



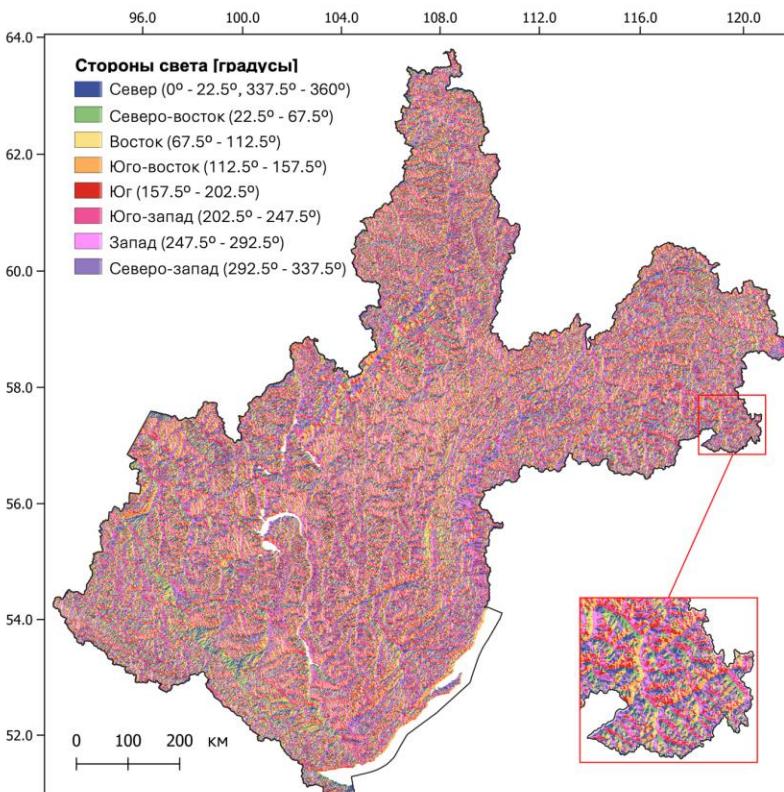
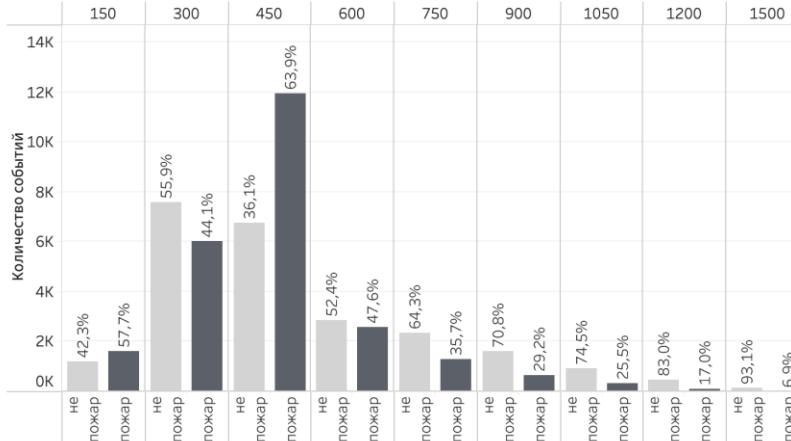
Топографические факторы (I)

ФАКТОРЫ	ОПИСАНИЕ, ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ, ЗНАЧЕНИЯ	СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ																
Высота над уровнем моря	метры	SRTM (https://worldclim.org/)																
Аспект (ориентация наклона)	градусы (0-360)	<table><tbody><tr><td>Север</td><td>337.5-22.5</td></tr><tr><td>Северо-восток</td><td>22.5-67.5</td></tr><tr><td>Восток</td><td>67.5-112.5</td></tr><tr><td>Юго-восток</td><td>112.5-157.5</td></tr><tr><td>Юг</td><td>157.5-202.5</td></tr><tr><td>Юго-запад</td><td>202.5-247.5</td></tr><tr><td>Запад</td><td>247.5-292.5</td></tr><tr><td>Северо-запад</td><td>292.5-337.5</td></tr></tbody></table>	Север	337.5-22.5	Северо-восток	22.5-67.5	Восток	67.5-112.5	Юго-восток	112.5-157.5	Юг	157.5-202.5	Юго-запад	202.5-247.5	Запад	247.5-292.5	Северо-запад	292.5-337.5
Север	337.5-22.5																	
Северо-восток	22.5-67.5																	
Восток	67.5-112.5																	
Юго-восток	112.5-157.5																	
Юг	157.5-202.5																	
Юго-запад	202.5-247.5																	
Запад	247.5-292.5																	
Северо-запад	292.5-337.5																	
Уклон (крутизна)	градусы	Анализ цифровой модели рельефа в QGIS																

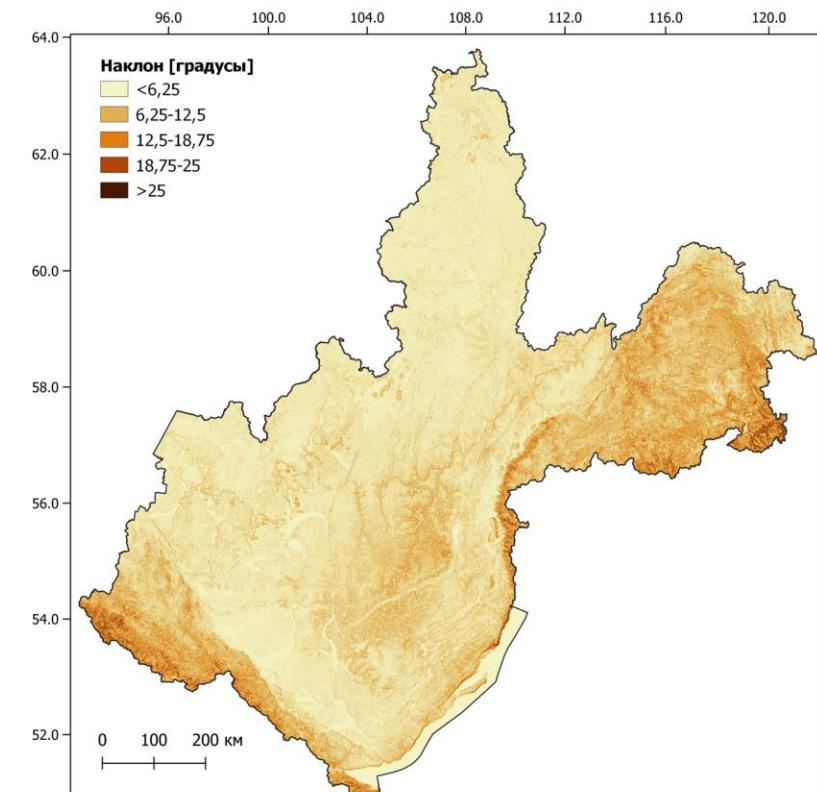
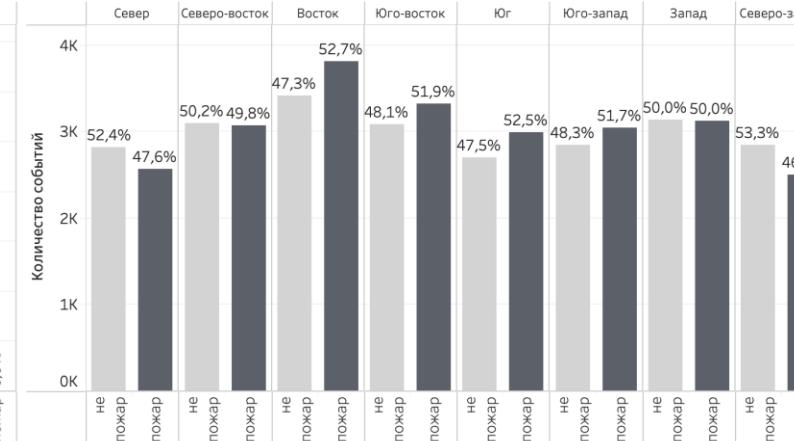
Топографические факторы (II)



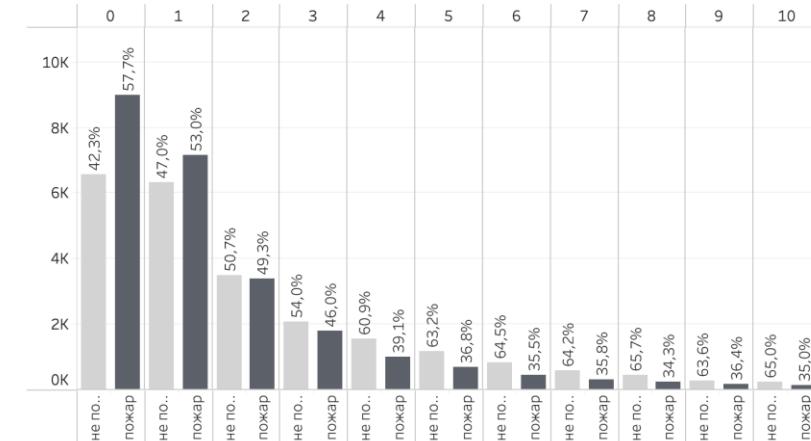
Высота



Ориентация наклона



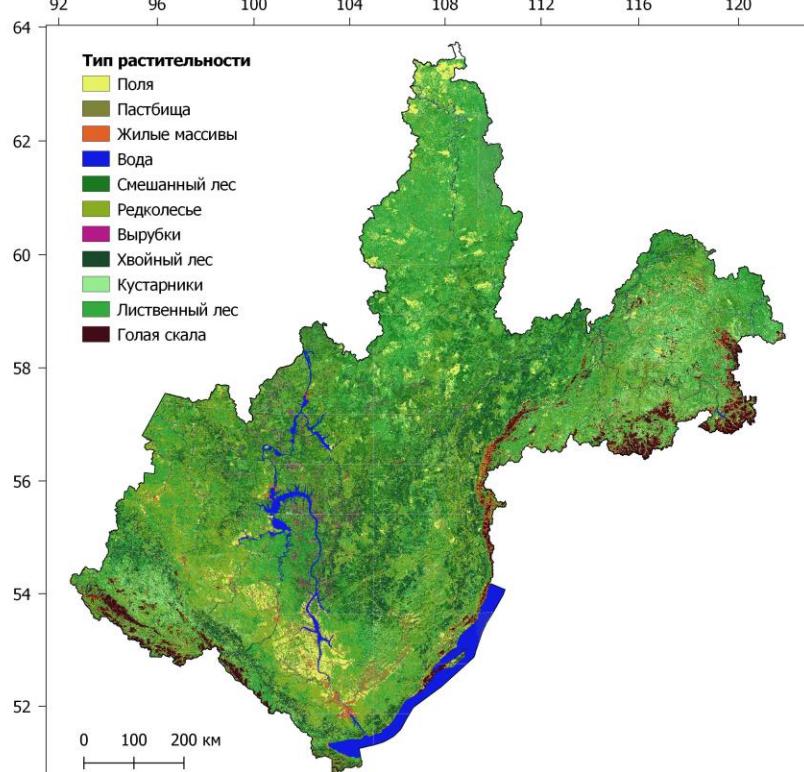
Наклон



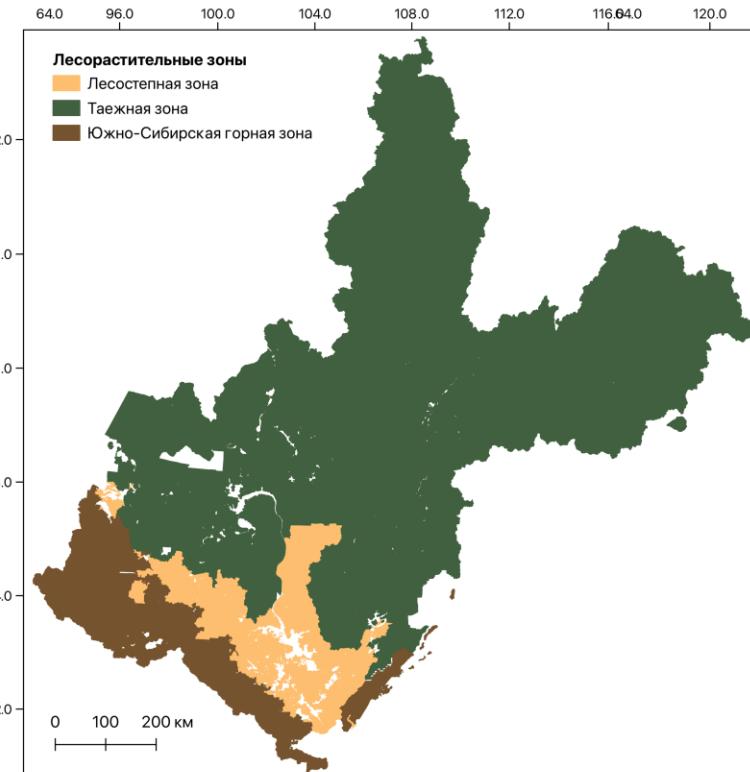
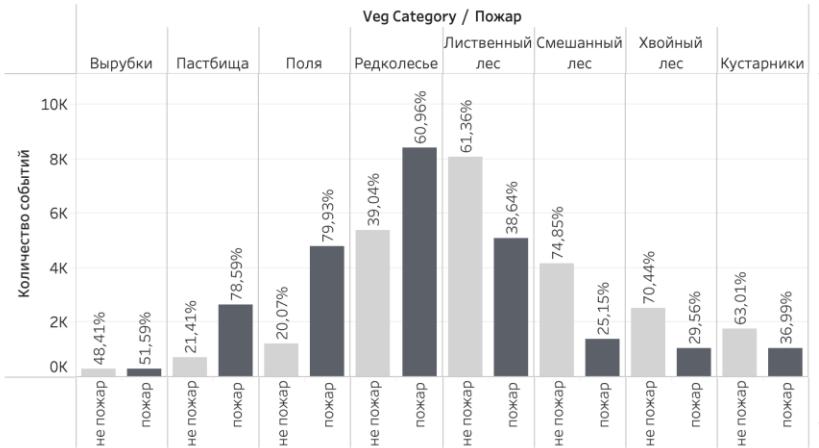
Факторы, описывающие тип поверхности (I)

ФАКТОРЫ	ОПИСАНИЕ, ВОЗМОЖНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ	СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ
Зона лесосеменного районирования (forest_seed_zoning_zones)	сосна, ель, лиственница, кедр	определяется по данным лесных регламентов
Лесорастительная зона (lesn_zone)	Лесостепная, Таежная, Южно-Сибирская горная	определяется по данным лесных регламентов
Класс опасности в лесном квартале (hazard)	5 классов пожарной опасности (1-5)	определяется по данным лесных регламентов
Класс поверхности (vegetation)	11 классов поверхности: вода, облака, жилая зона, смешанный лес, хвойный лес, лиственний лес, редколесье, голая скала, вырубки, пастбище, поля	Классификация типов поверхности земли выполнена на основе сверточной нейронной сети архитектуры ResNet-50. Использовались размеченные космоснимки Иркутской области летнего периода за 2018-2020 гг. [Бычков И.В. и др.]

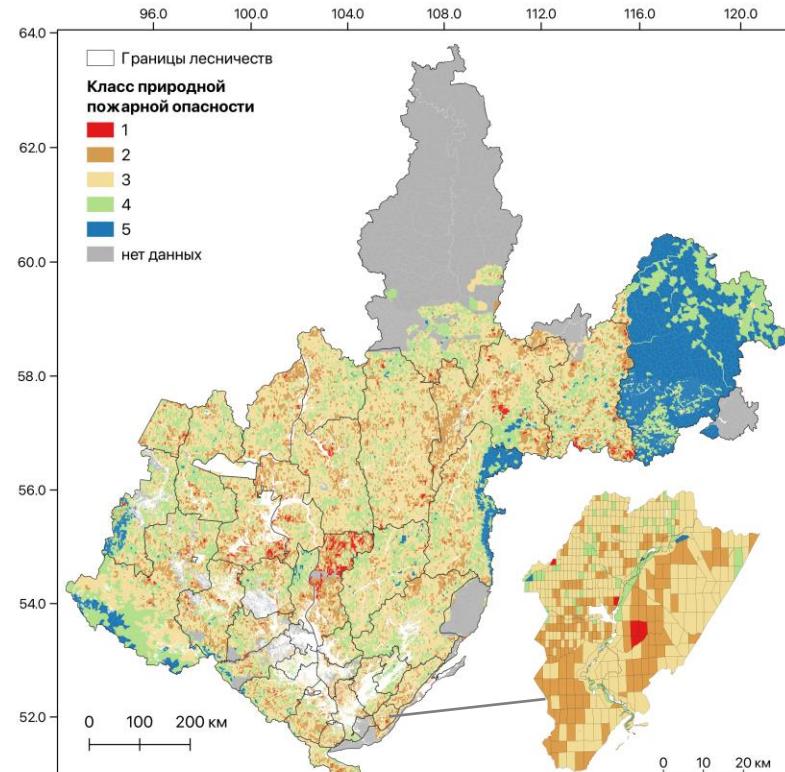
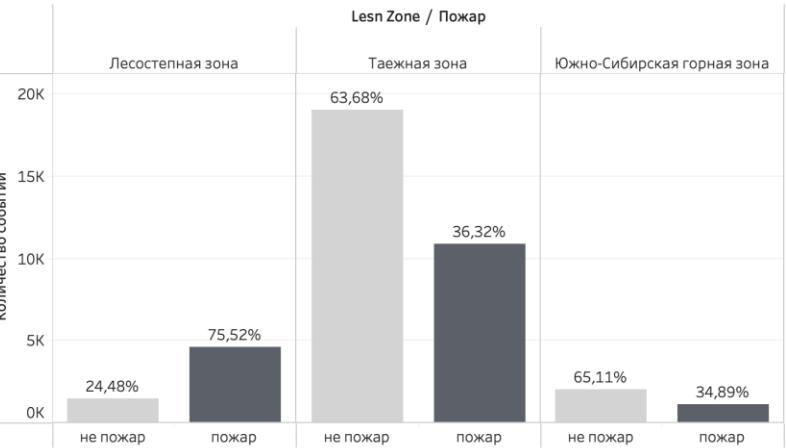
Факторы, описывающие тип поверхности (III)



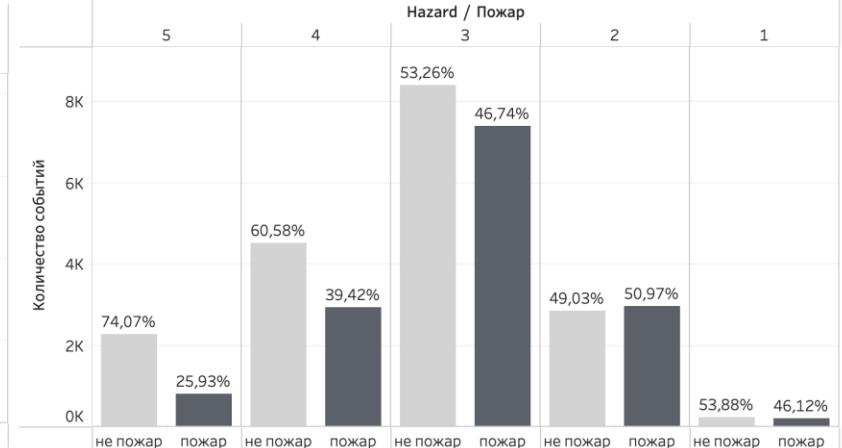
Тип растительного покрова



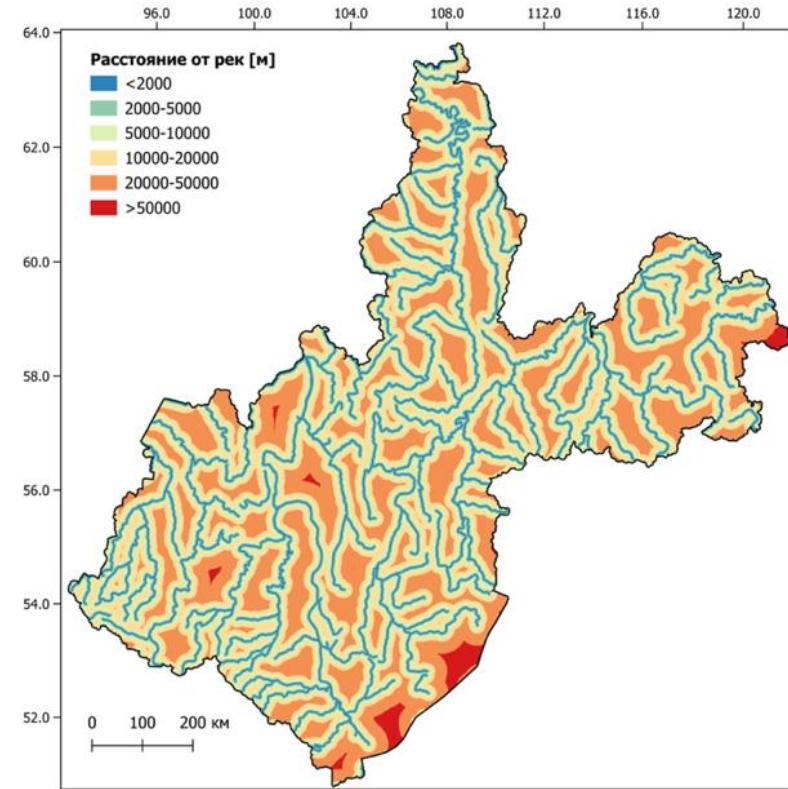
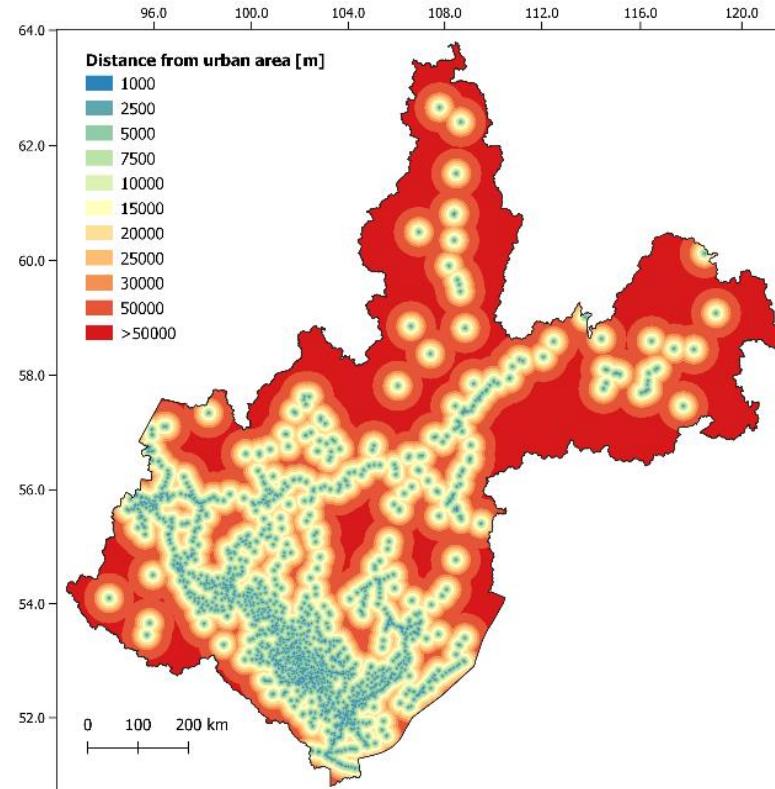
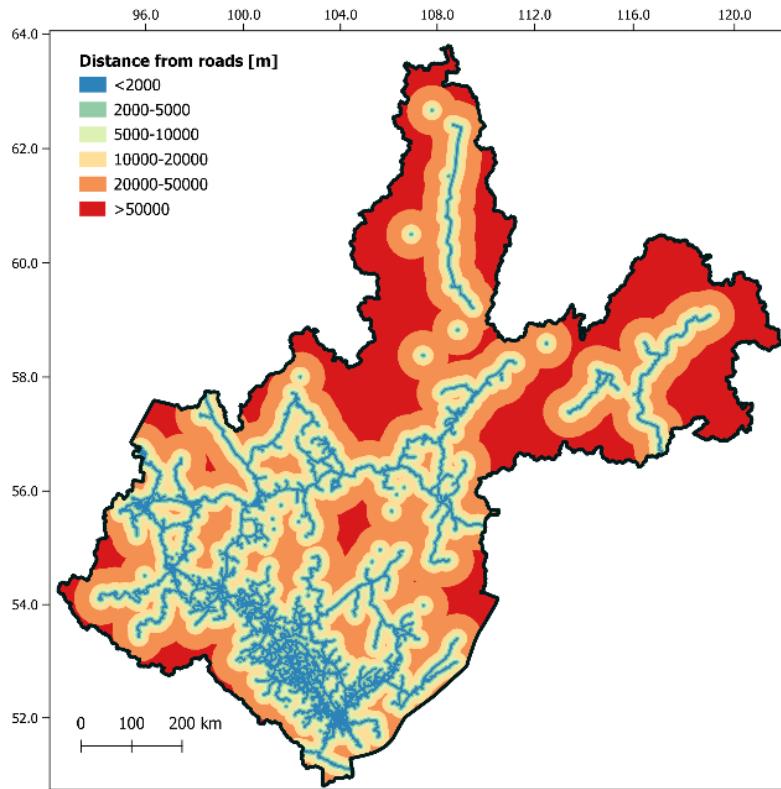
Тип лесной зоны



Класс опасности лесных кварталов



Социальные факторы (I)



ПАРАМЕТРЫ/СВОЙСТВА ПРЕЦЕДЕНТ

Расстояние до ближайших объектов:
населенного пункта, автомобильной и ж/д дорог, рек

Плотность населения

ОПИСАНИЕ, ЕДИНИЦЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, ЗНАЧЕНИЯ

километры

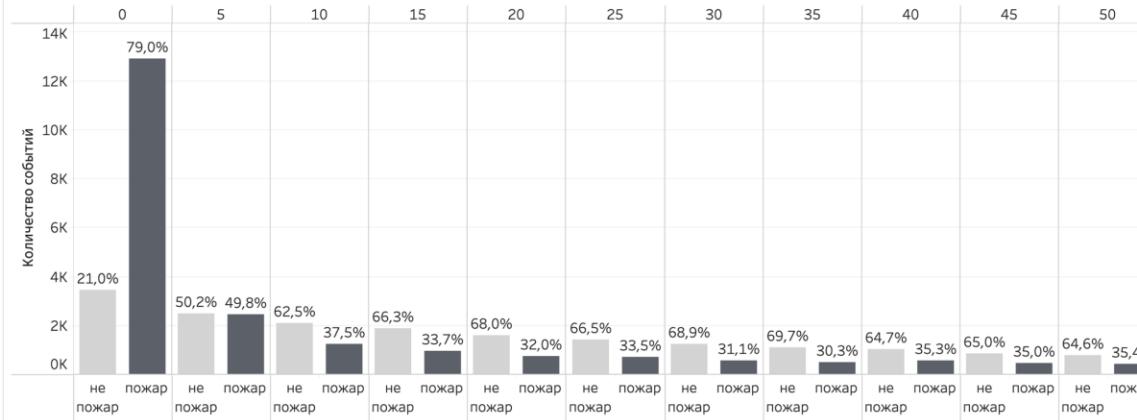
чел./кв.км.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ

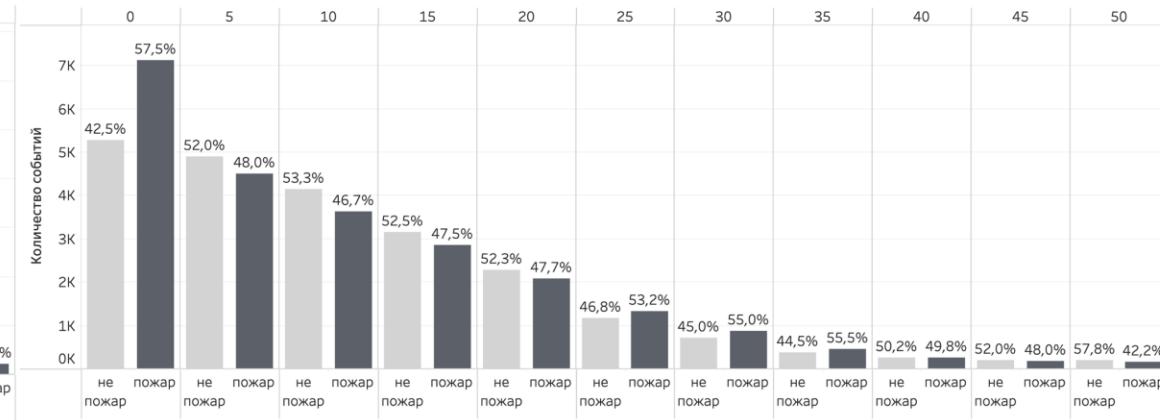
определяется на основе
ГИС-данных
[Статистика Ирк. обл.; институт
Географии им. В.Б. Сочавы] 39/28

Социальные факторы (II)

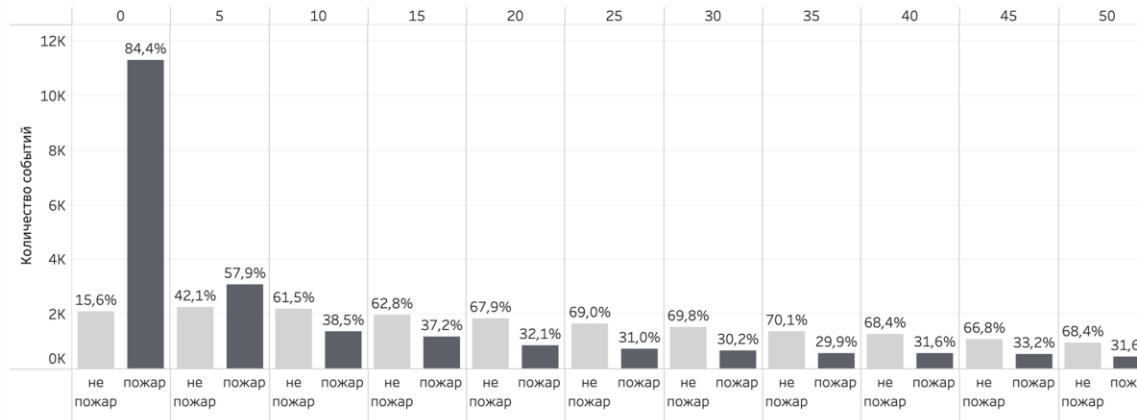
Дистанции до дорог



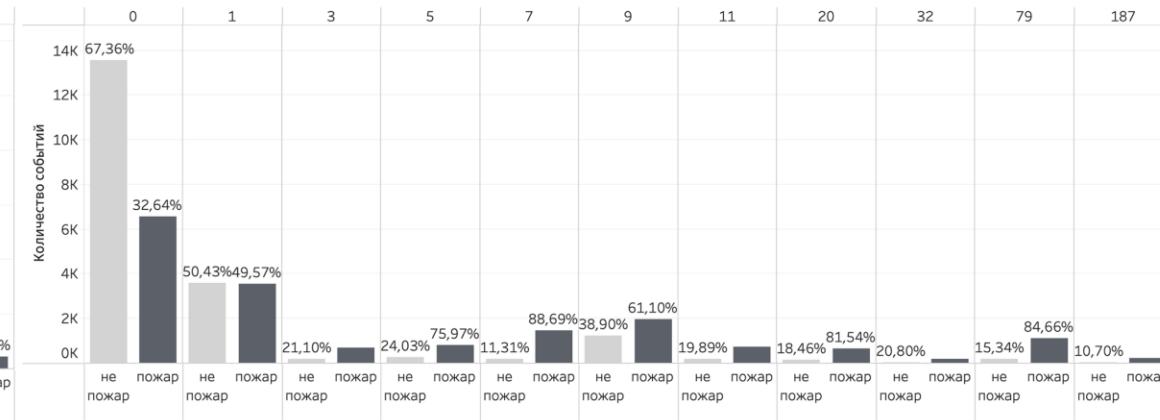
Дистанции до рек



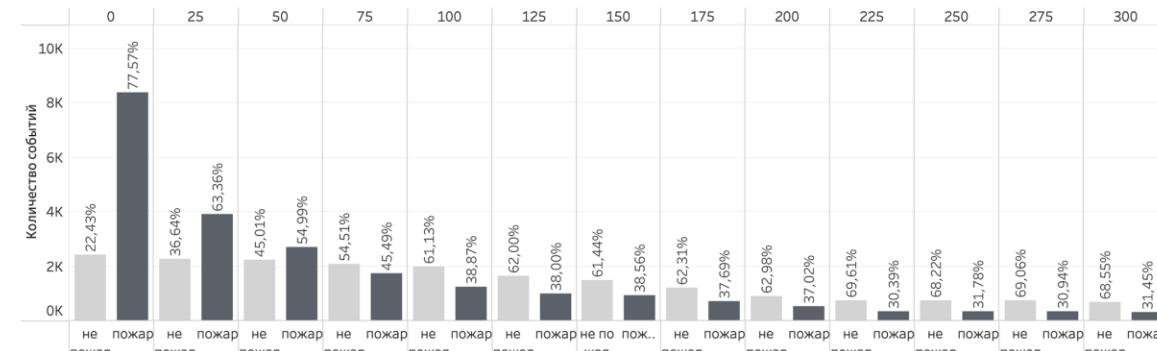
Дистанции до населенных пунктов



Плотность населения



Дистанции до железной дороги



Концептуальная модель информационного процесса (IDEFO) (I)



Концептуальная модель информационного процесса (IDEFO) (II)

