

Двадцать третья международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ
КОСМОСА"

Москва, 10 - 14 ноября 2025 г.

Оценка послепожарной гибели
древостоев с использованием
данных дистанционного
зондирования и машинного
обучения

Е.Г. Швецов

ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, 660036, Россия

Задачи исследования

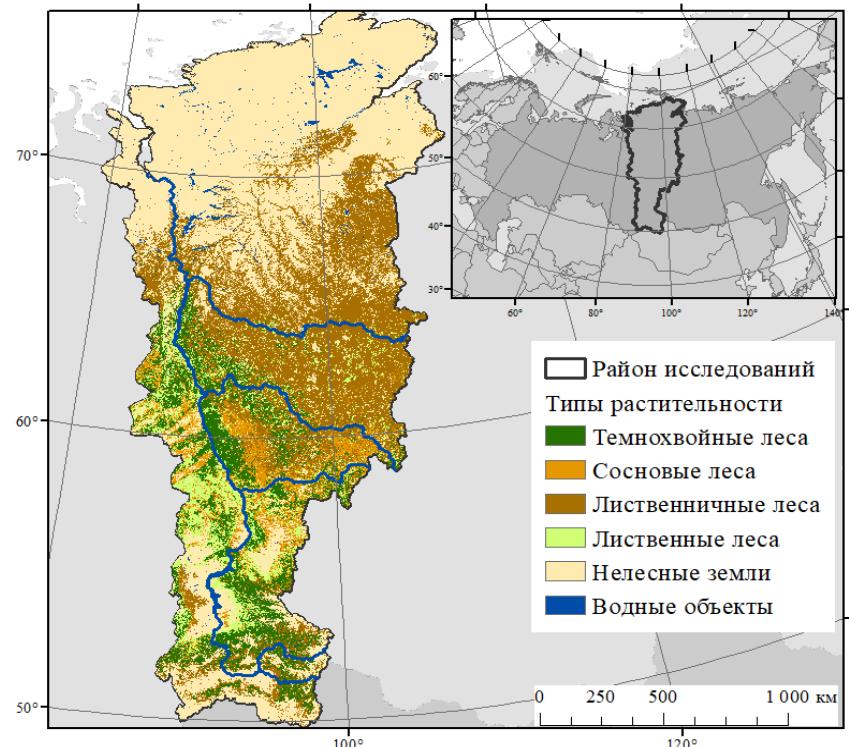
Основная цель работы – оценка точности прогнозирования послепожарного отпада древостоев с помощью методов машинного обучения и данных, полученных до и непосредственно после пожара.

- 1) выявление признаков, оказывающих наиболее существенное влияние на точность прогнозирования;
- 2) разработка модели для прогнозирования участков послепожарной гибели древостоев.

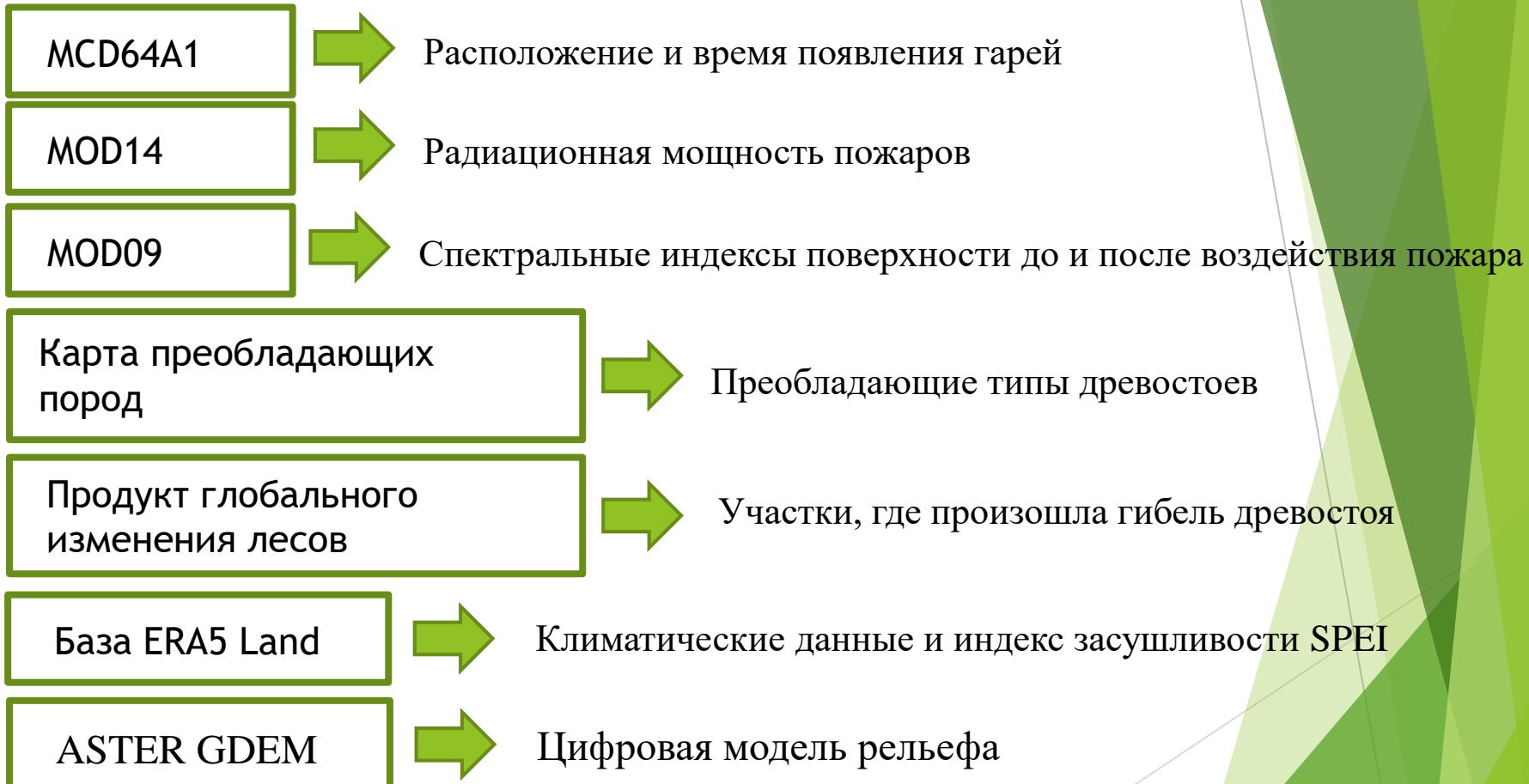
Район исследования

Район исследования включал территорию Красноярского края, республик Хакасия и Тыва, общей площадью около $2,5 \times 10^6$ км².

Преобладающими лесообразующими породами являются светлохвойные породы, включая лиственничные (*Larix sibirica*) (55% лесной площади района исследования) и сосновые (*Pinus sylvestris*) (11%) древостои, а также темнохвойные древостои (*Pinus sibirica*, *Abies sibirica*) (20%). На лиственные породы (*Betula spp.*, *Populus tremula*) приходится около 14% лесной площади.



Исходные данные



Данные MODIS

Продукт площадей гарей MODIS (MCD64A1)

Период: 2003 – 2022 годы

Пространственное разрешение – 500 м

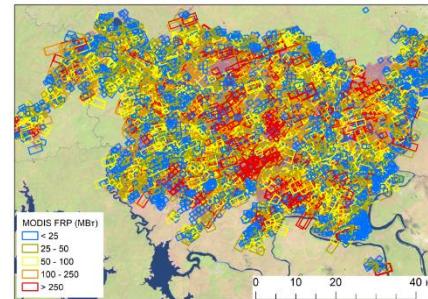


Продукт тепловых аномалий MODIS (MOD14)

Период: 2003 – 2022 годы

Пространственное разрешение – 1000 м

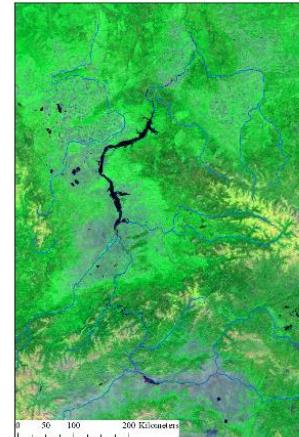
Анализировались только пожары на лесных землях



Продукт отражательной способности MODIS (MOD09)

Период: 2003 – 2022 годы

Пространственное разрешение – 500 м

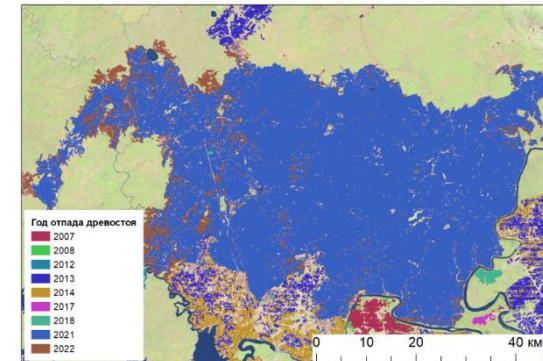


Преобладающие типы древостоев и послепожарный отпад

Преобладающие породы древостоев на территории района исследования определялись с помощью карты, разработанной в ИКИ РАН и доступной через сервис VEGA (<http://pro-vega.ru/maps/>)

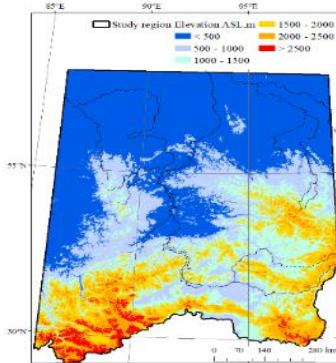
Глобальный продукт изменения лесов, сформированный по данным Landsat версии 1.12 был использован для выделения участков, где имела место послепожарная гибель древостоев. Пространственное разрешение около 30 м. Доля погибшего древостоя – отношение количества пикселей продукта изменения лесов, где произошла гибель древостоя, к общему количеству пикселей этого продукта в пределах одного пикселя выходного растра. Использовался временной порог в 3 года.

<https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change>



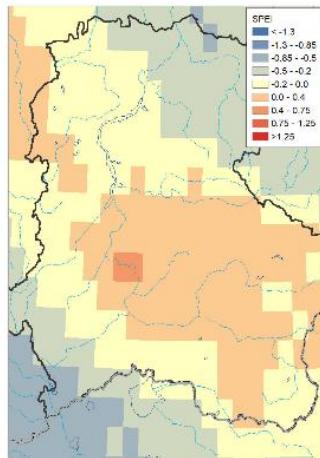
Использованные данные

Цифровая модель рельефа ASTER GDEM



Данные о рельефе, такие как высота, экспозиция и крутизна склона, были получены с использованием глобальной цифровой модели рельефа ASTER версии 3. Этот набор данных был загружен из сервиса NASA Earthdata (<https://earthdata.nasa.gov/>) и предоставляет данные о рельефе с пространственным разрешением около 30 м.

Индекс засушливости SPEI



Данные по индексу засушливости SPEI были загружены с помощью SPEI Global Drought Monitor (<http://sac.csic.es/spei/map/maps.html>). SPEI представляет собой разницу между количеством осадков (P) и потенциальным суммарным испарением (PET) и рассчитывается как **SPEI = P – PET**.

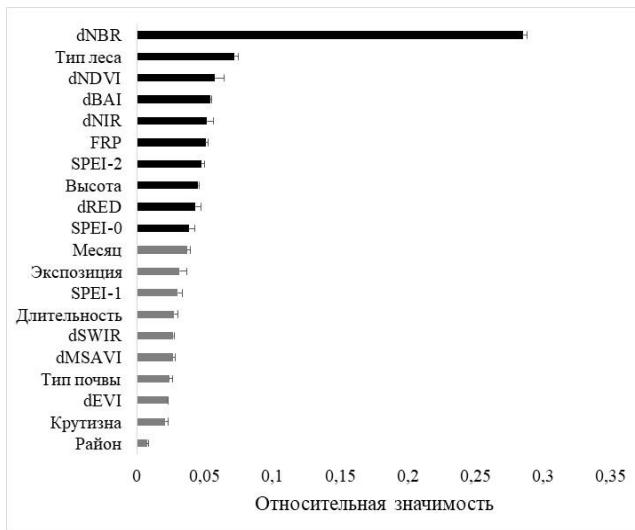
Список переменных, использованных в анализе

Название	Описание
Тип леса	Категориальный признак согласно Барталев и др., 2016.
Тип почвы	Категориальный признак согласно Stolbovoi et al., 2002.
Район	Категориальный признак согласно Приказ... 2014.
Высота	Высота над уровнем моря (м), согласно ASTER GDEM.
Экспозиция	Категориальный признак (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ) согласно ASTER GDEM.
Крутизна	Крутизна склона (°), согласно ASTER GDEM.
Месяц	Календарный месяц, на который приходилась большая часть времени действия пожара.
Длительность	Длительность пожара (дни).
FRP	Суммарное значение радиационной мощности за время действия пожара (МВт). Расчет по данным продукта тепловых аномалий MODIS.
SPEI-0	Значение индекса засушливости SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) в месяц пожара по данным SPEI Global Drought Monitor.
SPEI-1	Значение индекса засушливости SPEI в предшествующий пожару месяц.
SPEI-2	Среднее значение индекса засушливости SPEI за 2 месяца, предшествующих пожару.

Название	Описание
dBAI	Разность значений индекса BAI до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dNDVI	Разность значений индекса NDVI до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dEVI	Разность значений индекса EVI до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dNBR	Разность значений индекса NBR до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dMSAVI	Разность значений индекса MSAVI до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dRed	Разность значений в красном канале до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dNIR	Разность значений в ближнем инфракрасном (ИК) канале до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
dSWIR	Разность значений коротковолновом ИК канале до и после пожара. Расчет по данным продукта отражательной способности MODIS.
Отпад древостоя	Послепожарный отпад древостоя по данным продукта глобального изменения лесного покрова (Global Forest Change).

Значимость признаков при определении отпада древостоя

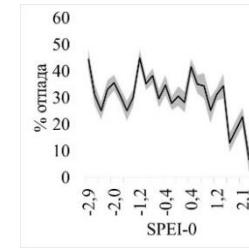
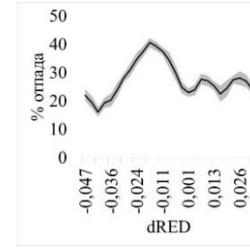
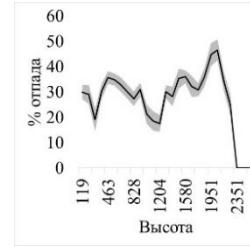
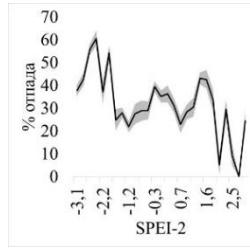
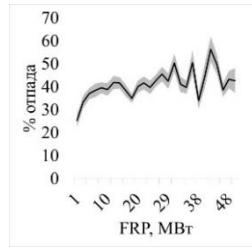
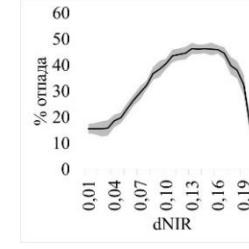
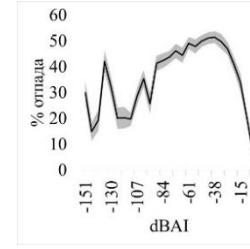
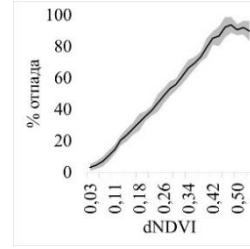
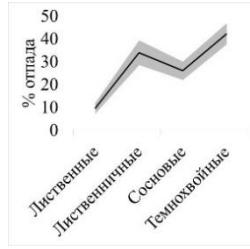
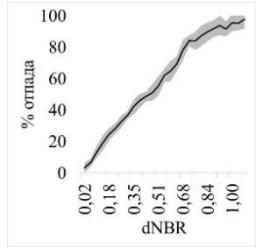
Относительная значимость признаков. Черным выделены наиболее значимые признаки, использованные в финальной версии модели.



Метрики точности итоговой классификации

Класс	Модель		Точность производителя
	Не породосменныe	Породосменныe	
Не породосменные	26095	3596	0,88
Породосменные	3144	10657	0,78
Точность пользователя	0,89	0,75	
Общая точность	0,84		
Precision	0,75		
Recall	0,78		
F ₁ -score	0,76		

Признаки и отпад древостоя



Величина доли отпада древостоев для 10 признаков с наибольшей относительной значимостью. Графики расположены в порядке убывания значимости признаков. Чёрная линия соответствует среднему значения, серая область – стандартному отклонению.

Заключение

Выполнена оценка значимости факторов, влияющих на величину послепожарного отпада древостоя и оценена точность прогнозирования отпада с применением модели случайного леса. Точность модели составила 0,84, а величина F₁-score – 0,76.

Наибольшую относительную значимость при прогнозировании доли послепожарного отпада демонстрировал разностный индекс dNBR. Помимо него к числу значимых признаков были отнесены спектральные индексы dNDVI и dBAI, а также изменения отражательных свойств поверхности в ближнем ИК и красном диапазонах спектра.

Также значимыми признаками являлись породный состав древостоя (темнохвойные и лиственничные леса характеризовались более высоким уровнем гибели), а также погодные условия, определяющие влажность растительных горючих материалов, как во время действия пожара, так и в предшествующий пожару период.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FWES-2024-0027 (ФИЦ КНЦ СО РАН).