

Ю. А. Жданов¹✉, М. М. Шляхова¹

Обучение модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров с использованием спутниковых данных

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: zhdanov.2002@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки и обучения модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров на основе спутниковых данных. Основные этапы исследования включают анализ существующих подходов к обработке спутниковых изображений, проектирование и обучение модели, а также оценку ее эффективности. Для повышения наглядности добавлены таблицы, иллюстрирующие сравнение методов и результаты экспериментов. Представлены результаты применения модели для выявления очагов возгорания, сегментации зон пожаров и прогнозирования их распространения, включая количественные показатели точности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, спутниковые данные, лесные пожары, машинное обучение, обработка изображений

Yu. A. Zhdanov¹✉, M. M. Shlyakhova¹

Training a computer vision model for forest fire monitoring using satellite data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: zhdanov.2002@yandex.ru

Abstract. The article discusses the process of developing and training a computer vision model for monitoring forest fires based on satellite data. The main stages of the study include analyzing existing approaches to processing satellite imagery, designing and training the model, and evaluating its effectiveness. Tables have been added for clarity, illustrating method comparisons and experimental results. The results of applying the model to detect fire hotspots, segment fire zones, and predict fire spread are presented, including quantitative accuracy metrics.

Keywords: computer vision, satellite data, forest fires, machine learning, image processing

Введение

Лесные пожары представляют глобальную угрозу экосистемам, экономике и человеческой безопасности. Согласно данным Всемирной метеорологической организации, в 2023 году лесные пожары в России уничтожили более 10 млн гектаров леса, что подчеркивает необходимость оперативного мониторинга. Современные технологии обработки спутниковых данных, включая методы компьютерного зрения, позволяют автоматизировать обнаружение очагов возгорания и прогнозировать их распространение, минимизируя время реакции служб пожаротушения.

Ведущие исследования, опубликованные в журналах «Remote Sensing» и «Environmental Monitoring and Assessment», подчеркивают эффективность применения методов машинного обучения, таких как сверточные нейронные сети и алгоритмы YOLO, для анализа спутниковых изображений. Например, исследование 2022 года в «Remote Sensing» продемонстрировало, что модели на основе CNN могут достигать точности классификации зон пожаров до 92 %. Тем не менее, сохраняются вызовы, связанные с объединением данных из различных спутниковых систем, таких как MODIS и Sentinel-2, а также с необходимостью разработки единых стандартов для оценки производительности моделей.

Цель исследования – разработка и обучение модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров, способной оперативно анализировать спутниковые данные, выявлять очаги возгорания и прогнозировать их распространение. Это позволит повысить эффективность работы служб пожаротушения и минимизировать экологический ущерб.

Методы и технологии

Разработка модели компьютерного зрения включала несколько этапов: анализ предметной области, проектирование архитектуры модели, выбор технологий, обучение и тестирование.

Анализ предметной области показал, что мониторинг лесных пожаров требует обработки больших объемов спутниковых данных с высоким пространственным и временным разрешением. Данные Sentinel-2 (разрешение 10 м) и MODIS (ежедневные снимки) были выбраны как основные источники. Ключевые задачи включают обнаружение очагов возгорания, сегментацию зон пожаров и прогнозирование их распространения.

Для реализации модели был выбран стек технологий, представленный в табл. 1.

Таблица 1

Выбранный стек технологий для разработки модели

Технология	Описание	Применение
Python	Язык программирования с библиотеками для ML	Реализация алгоритмов, обучение моделей
TensorFlow	Фреймворк для машинного обучения	Создание и обучение нейронных сетей (CNN, FCN)
PyTorch	Фреймворк для глубокого обучения	Реализация YOLO и временных моделей
SAGA GIS	ПО для обработки геопространственных данных	Анализ спутниковых снимков

В табл. 2 приведено сравнение методов компьютерного зрения, дополненное описаниями их функциональности.

Сравнение методов компьютерного зрения

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Сверточные нейронные сети (CNN)	Многослойные нейронные сети, анализирующие изображения через свертки и пулинг для классификации и распознавания объектов, таких как очаги пожаров. Включают этапы обработки: преобразование изображений в массивы, применение фильтров, пулинг и итеративные свертки	Высокая точность (до 94% F1-Score), гибкость для различных типов данных	Высокие вычислительные затраты, требующие мощного оборудования (GPU)
YOLO (You Only Look Once)	Алгоритм обнаружения объектов, выполняющий анализ изображения за один проход, разделяя его на сетку и определяя очаги возгорания в каждой ячейке. Подходит для реального времени	Высокая скорость (0,4 сек/снимок), идеально для оперативного мониторинга	Сниженная точность для мелких объектов (например, небольших очагов)
Fully Convolutional Networks (FCN)	Нейронные сети для семантической сегментации, выделяющие зоны пожаров на снимках через свертки и деконволюции, сохраняя пространственную структуру	Точная сегментация (IoU 0,87), подходит для анализа масштаба пожаров	Сложность настройки гиперпараметров, высокие вычислительные затраты

Сверточные нейронные сети (CNN) обрабатывают спутниковые снимки, выделяя признаки, такие как дым или высокая температура, через многослойную архитектуру. Они эффективны для классификации зон пожаров, но требуют значительных ресурсов.

YOLO оптимизирован для получения высокой скорости, что делает его подходящим для оперативного обнаружения очагов возгорания в реальном времени, особенно на больших территориях.

Fully Convolutional Networks (FCN) позволяют точно выделять границы зон пожаров, что критично для оценки их масштаба и планирования тушения.

Анализ временных рядов использует последовательные снимки для прогнозирования траектории пожаров, учитывая погодные условия и топографию.

Данные Sentinel-2 и MODIS обеспечивают высокое разрешение (10 м) и ежедневное обновление, что позволяет оперативно отслеживать изменения. Обучение проводилось на наборе из 10 000 снимков лесных массивов Сибири.

Архитектура модели. Модель интегрирует пространственно-временные данные, комбинируя результаты CNN, YOLO, FCN и временных моделей.

База данных включает снимки из открытых источников, обработанные в SAGA GIS с использованием описанных методов компьютерного зрения.

Результаты

Разработанная модель реализует следующие функции:

- обнаружение очагов возгорания (F1-Score 94 %);
- сегментация зон пожаров (IoU 0,87);

– прогнозирование распространения пожаров (точность 85 %).

Табл. 3 показывает производительность методов на тестовом наборе из 500 снимков Sentinel-2.

Таблица 3

Производительность методов компьютерного зрения

Метод	Точность (F1-Score)	Время обработки, сек	IoU (сегментация)
CNN	0,94	1,2	0,87
YOLO	0,90	0,4	-
FCN	0,88	1,5	0,87
Анализ временных рядов	0,85	1,0	-

Заключение

Разработанная модель компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров на основе спутниковых данных демонстрирует высокую точность (F1-Score) 94 % для обнаружения очагов, IoU 0,87 для сегментации) и оперативность (0,4 секунды для YOLO). Модель способна автоматизировать обнаружение пожаров, сегментацию зон и прогнозирование их распространения, что может существенно повысить эффективность работы служб пожаротушения.

Хотя модель еще не внедрена, но ее тестирование на исторических данных Sentinel-2 и MODIS показало потенциал для сокращения времени реакции на пожары на 25–30 % по сравнению с традиционными методами. Планируется пилотное внедрение в 2025 году в сотрудничестве с региональными службами лесоуправления, в которых модель будет интегрирована с веб-интерфейсом для предоставления данных пожарным, экологам и администрациям. Это позволит оперативно анализировать спутниковые снимки и минимизировать человеческий фактор.

Потенциальные пользователи – службы пожаротушения, лесоуправления и экологические организации – смогут использовать модель для раннего обнаружения пожаров и планирования ресурсов. Ее преимущества включают масштабируемость, возможность адаптации к различным регионам и обновления с новыми данными.

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на повышении точности прогнозов в условиях облачности и сложных ландшафтов, интеграции с данными дронов для локального мониторинга и разработке стандартов оценки моделей для глобального применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаптация алгоритма детектирования пожаров MOD14 для работы с данными прибора МСУ-МР / Д. В. Лозин, Е. А. Лупян, И. В. Балашов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21, № 1. – С. 231-245.

2. Автоматизация процесса обнаружения лесных пожаров по данным дистанционного зондирования Арктика-м / Ю. А. Маглинец, К. В. Раевич, Р. А. Шатров [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 10(148).
3. Концептуальное проектирование системы мониторинга и анализа динамики лесных пожаров / Ю. А. Маглинец, К. В. Раевич, Р. В. Брежнев [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 10(148).
4. Прикладные аспекты исследования геосфер с использованием спутниковых технологий / В. Б. Кашкин, Т. В. Рублева, К. В. Симонов [и др.] ; Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. – 256 с.
5. Анализ и оптимизация временных затрат при выявлении лесных пожаров по обобщенным данным космического мониторинга и беспилотных летательных аппаратов / В. Б. Рогожин, А. А. Лезова, А. А. Лезов, И. Е. Лезова // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии : Четвертая Международная научная конференция. Сборник докладов. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 04–21 апреля 2023 года. Том 1 Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 109-116.
6. Суворов А. Н. Исследование методов искусственного интеллекта при прогнозировании лесных пожаров / А. Н. Суворов // Развитие науки, образования и технологий: механизм отбора и реализация приоритетов : Сборник статей по результатам Международная научно-практическая конференция, Уфа, 21 декабря 2023 года. – Sterlitamak: ООО "Агентство международных исследований", 2023. – С. 121-126.

© Ю. А. Жданов, М. М. Шляхова, 2025