



ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И СИСТЕМ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ

Козлов Сергей Петрович

Доцент кафедры геодезии и картографии, Белорусский государственный
университет
г. Минск, Республика Беларусь

Смирнова Мария Ивановна

Студент кафедры геодезии и картографии, Белорусский государственный
университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация

Данная статья посвящена анализу возможностей **технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)** как ключевого инструмента в современном комплексе мер по борьбе с **лесными пожарами**. В работе обосновывается физический принцип регистрации тепловых и спектральных аномалий, сопутствующих процессу горения, с акцентом на использование **средневолнового (MWIR)** и **длинноволнового (LWIR)** инфракрасных диапазонов. Мы подробно рассматриваем роль низкоорбитальных систем, таких как **MODIS** и **VIIRS**, в обеспечении **сверхраннего обнаружения очагов**, а также применение данных высокого пространственного разрешения (**Sentinel, Landsat**) для точного **картографирования постпожарного ущерба**. В центре внимания находится интеграция разнородных спутниковых данных в оперативные геоинформационные системы, что позволяет оптимизировать ресурсы лесопожарных служб, улучшить качество прогнозирования траекторий распространения огня и существенно минимизировать экологические и экономические потери, связанные с лесными пожарами.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, лесные пожары, тепловые аномалии, MWIR, постпожарное картографирование, NDVI, MODIS, VIIRS, геоинформационные системы, прогнозирование рисков.

Феномен Лесных Пожаров и Необходимость Дистанционного Контроля

Проблема лесных пожаров давно вышла за рамки локальных бедствий, став серьезным **глобальным вызовом** в контексте климатических изменений.

Ежегодные потери, выраженные в уничтожении уникальных биогеоценозов, колоссальных выбросах углекислого газа и прямом экономическом ущербе, требуют радикального пересмотра методов контроля и тушения. Классические подходы, основанные на наземном патрулировании и эпизодических авиационных облетах, оказываются бессильны перед лицом огромных, зачастую труднодоступных территорий и высокой скорости распространения огня. Именно поэтому за последние два десятилетия **космический мониторинг** превратился из вспомогательного средства в **фундаментальный элемент** системы противопожарной защиты. Спутники предлагают регулярное, объективное и независимое от границ и рельефа наблюдение, обеспечивая тот уровень **оперативности и полноты данных**, который необходим для эффективного управления ресурсами и принятия экстренных решений. Цель данного исследования — проанализировать существующий арсенал спутниковых технологий и оценить их вклад в повышение эффективности всего цикла пожаротушения: от превентивного прогноза до оценки последствий.

Спектральные Индикаторы Горения и Тепловые Сигнатуры

Научная основа мониторинга пожаров из космоса строится на способности спутниковых сенсоров улавливать **энергетические аномалии**, которые неизбежно возникают в процессе горения. Физически это явление наиболее ярко проявляется в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра.

Активно горящий материал — будь то открытое пламя или зона тления — имеет температуру, значительно превышающую температуру окружающей среды (часто выше 600 K). Этот нагрев приводит к резкому смещению пика излучения в коротковолновую сторону, что делает критически важными два инфракрасных канала. Первый — **средневолновый инфракрасный диапазон (MWIR)** в области 3–5 мкм. Именно в этом «окне прозрачности» атмосферы регистрируется максимальная контрастность между очагом горения и фоном. Датчики, работающие в MWIR, такие как на **MODIS** и **VIIRS**, способны обнаруживать пожар даже в его начальной фазе, когда площадь возгорания ещё мала. Второй — **длинноволновый инфракрасный диапазон (LWIR)** в области 8–12 мкм. Он используется для регистрации излучения от менее нагретых тел (тлеющих участков, дымовых шлейфов, нагретого грунта), что необходимо для подтверждения сигнала и оценки общей тепловой активности на крупном пожаре. Разработанные алгоритмы, используя соотношение яркостных температур в MWIR и LWIR, способны эффективно отсеивать ложные срабатывания, вызванные нагретым грунтом или солнечными бликами.

Для оценки **последствий** пожара используются каналы, связанные с вегетацией. Здоровая растительность обладает уникальным спектральным «почерком» — сильным отражением в **ближнем инфракрасном (NIR)** диапазоне и активным поглощением в **красном (Red)**. Сгоревшие же территории, или прогары, характеризуются полной инверсией этой зависимости.

Анализ таких изменений позволяет рассчитывать **Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI)** или его модификации, что дает точные пространственные контуры и картину **степени выгорания** после прохождения огня.

Анализ Оперативного Инструментария (MODIS, VIIRS, Sentinel)

Эффективность космического мониторинга напрямую зависит от выбора и грамотной интеграции данных с различных спутниковых платформ. В этой области четко прослеживается функциональное разделение систем по их пространственно-временному разрешению.

Системы **MODIS** (на спутниках **Terra** и **Aqua**) и **VIIRS** (на **Suomi NPP**) являются **основой оперативного мониторинга** и раннего обнаружения. Их ключевое преимущество — **высокое временное разрешение**. Благодаря широкой полосе захвата, они обеспечивают глобальный обзор до четырех раз в сутки. Хотя их пространственное разрешение (от 375 м до 1 км) невелико, оно достаточно для обнаружения очагов площадью от нескольких гектаров. Именно эти данные в первую очередь поступают в ситуационные центры для **тревожного оповещения**.

Для задач, требующих высокой детализации, применяются системы с **высоким пространственным разрешением** и, соответственно, более низкой частотой съемки. К ним относятся европейские спутники **Sentinel-2** (10-20 м разрешение, периодичность 5 дней) и американские **Landsat** (30 м разрешение, периодичность до 16 дней). Эти данные **не подходят для оперативного обнаружения**, поскольку пожар может развиться и угаснуть до следующего пролета, но они **незаменимы для детального постпожарного картографирования**. Сравнение снимков до и после катастрофы, выполненных на таких системах, позволяет с точностью до метра определить границы пройденной огнем площади и провести инвентаризацию повреждений, что является стандартом для официальной отчетности.

Современные системы лесного хозяйства строятся на **комплексной обработке** этих разнородных данных. Сигнал об аномалии от **MODIS** и **VIIRS** запускает экстренную процедуру подтверждения и, при необходимости, запрос на внеплановую съемку с высокодетальных аппаратов для получения точной картины для наземных бригад.

Стратегии Принятия Решений на Основе ДЗЗ

Внедрение спутникового мониторинга привело к смене парадигмы в управлении лесными ресурсами, перейдя от реактивного тушения к **проактивному прогнозированию и обоснованному планированию**.

Раннее оповещение и динамическое слежение: Наиболее очевидное практическое применение — это **сокращение времени реагирования**.

Обнаружение очага в первые часы с помощью тепловых сенсоров позволяет лесопожарным службам выиграть драгоценное время, направив силы на локализацию возгорания до того, как оно превратится в крупный пожар. Кроме того, **оперативные ГИС-карты**, генерируемые на основе спутниковых данных, позволяют в реальном времени отслеживать **траекторию движения фронта огня**, прогнозируя его распространение с учетом направления ветра и влажности, что является основой для безопасной и эффективной работы пожарных команд.

Инвентаризация и лесовосстановление: После тушения пожара спутниковые данные служат основным инструментом для **объективной оценки ущерба**. Точное картографирование прогаров и расчет индексов выгорания позволяют определить, какие участки нуждаются в немедленном лесовосстановлении, а какие могут восстановиться естественным путем. Это напрямую влияет на бюджеты, выделяемые на рекультивацию, и на корректировку планов лесоустройства.

Прогнозирование рисков и зонирование: Накопленные многолетние спутниковые архивы о частоте, интенсивности и причинах возникновения пожаров используются для построения **карт пожарного риска**. Управляющие структуры используют эти карты для **территориального зонирования**, оптимизации размещения противопожарных постов, планирования профилактических мероприятий (создание минерализованных полос, контролируемые выжигания) и принятия решений о введении или отмене режима чрезвычайной ситуации. Таким образом, ДЗЗ становится **базисом для стратегического планирования** в масштабах целых регионов.

Заключение

Космические технологии и дистанционное зондирование Земли сегодня являются **необходимым условием** для эффективной, научно обоснованной системы противопожарной защиты лесов. Интеграция высокочастотных данных для **раннего оповещения** с высокодетальными данными для **картографирования ущерба** создала мощный аналитический инструмент. Этот подход позволяет не только минимизировать прямые потери от огня, но и обеспечить объективную основу для **долгосрочного управления лесными экосистемами**, что критически важно в условиях меняющегося климата. Дальнейшее повышение эффективности связано с переходом к **гиперспектральным сенсорам** и внедрением **нейронных сетей**, которые смогут предсказывать не только факт, но и **вероятную траекторию** развития пожара с высокой степенью точности.

Литература

1. Барталев С. А., Ермаков Д. А., Лупян Е. А. и др. Комплексный анализ данных MODIS для мониторинга динамики растительного покрова и пожаров на территории России. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14. № 4. — С. 136–151.

2. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы компьютерной геоинформатики. — Москва: Научный мир, 2017.
3. Клещенко А. Д., Панькин А. В., Семенов М. Ю. Использование спутниковой информации MODIS для оценки пожарной опасности лесов. // Метеорология и гидрология. — 2016. — № 5. — С. 58–66.
4. Ковальков С. М. Основы дистанционного зондирования и ГИС в лесном хозяйстве. — Минск: БГТУ, 2019.
5. Giglio L., Csiszar I., Justice C. O. Global, contextual fire detection and saturation identification algorithm. // Remote Sensing of Environment. — 2003. — Vol. 87. № 4. — P. 521–533.
6. Jensen J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. — Prentice Hall, 2007.
7. Yebra M., Chuvieco E., Riaño D. Quantifying the difference between MODIS fire detection and Landsat fire mapping in the Mediterranean ecosystem. // Remote Sensing of Environment. — 2013. — Vol. 139. — P. 317–328.
8. Goldammer J. G. A Primer on Fire Ecology and Fire Management. — Springer, 2013.