

Использование данных космических наблюдений для сравнительной оценки плотности пожарного риска в лесах различного целевого назначения

Р. В. Котельников

Филиал ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии», Красноярск, 660062, Россия
E-mail: kotelnikovrv@firescience.ru

Увеличение рисков, связанных с чрезвычайными лесопожарными ситуациями, вынуждает искать варианты повышения эффективности охраны лесов от пожаров в целом и противопожарного обустройства лесов в частности. Учитывая специфику лесов разного целевого назначения, включая ограничения на рубки в защитных лесах, одной из актуальных задач является дифференцируемый анализ пожарных рисков в таких лесах. В отличие от эксплуатационных и резервных лесов, защитные леса, и тем более особо защитные лесные участки, обычно расположены фрагментарно. Использование традиционных сведений о местах возникновения лесных пожаров, полученных на основе данных региональных диспетчерских служб по результатам авиационных и наземных наблюдений, затруднено из-за низкой точности координат места возникновения пожара (особенно в прошлые годы). Формирование больших объёмов хорошо структурированных данных дистанционного зондирования Земли из космоса, независимых от человеческого фактора, позволило получить уникальные данные о сравнительной оценке доли пожаров, возникающих в лесах различного целевого назначения. Следует отметить, что ранее географически привязанные данные о целевом назначении лесов Российской Федерации в целом не были доступны научной общественности и подобное исследование в масштабах России проводится впервые. Так как затраты на выполнение большинства мероприятий, связанных с противопожарным обустройством территорий, зависят от площади, то такой показатель, как плотность пожарного риска (доля пожаров, возникших на заданной территории, делённая на площадь этой территории), может использоваться на этапе планирования работ рационального распределения выделенных ресурсов между территориями различного целевого назначения. Общая тенденция последних лет показывает, что этот показатель в защитных лесах существенно выше остальных территорий (в среднем в 4 раза больше, чем в эксплуатационных, и в 10 раз, чем в резервных лесах), хотя и снижается в среднем на -4% в год. Соответствующий рост показателя в резервных лесах незначителен, несмотря на то что растёт быстрее ($+20\%$ в год), чем в эксплуатационных лесах ($+9\%$ в год). Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы для разработки научно обоснованной системы мер противопожарного обустройства лесных территорий и предупреждения лесных пожаров в лесах различного целевого назначения.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, целевое назначение лесов, лесные пожары

Одобрена к печати: 20.11.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-1-194-204

Введение

Увеличение числа чрезвычайных ситуаций в лесах, возникших вследствие лесных пожаров, а также рост затрат на тушение, наблюдаемые в последние годы, связанные в том числе с климатическими изменениями, вынуждает искать варианты повышения эффективности принимаемых мер (Nayasaka, 2022; IPCC..., 2020). Значимым элементом системы охраны лесов от пожаров становится противопожарное обустройство лесов, которое осуществляется в целях недопущения возникновения очагов загорания и их распространения, а также возможности оперативной доставки сил и средств пожаротушения к местам лесных пожаров.

Все леса страны подразделяются на три основные категории: защитные, эксплуатационные и резервные. Резервные леса (около 25% площади) представляют собой малоосвоенные территории, где в течение 20 лет не планируется заготовка древесины. Эксплуатационные леса, занимающие наибольшую площадь (около 50% лесного фонда), предназначены для устойчивого лесопользования и заготовки древесины. Защитные леса, составляющие около

25 % лесного фонда, имеют особое природоохранное значение. Отдельного внимания в лесном фонде заслуживают особо защитные участки, которые выделяются как в защитных, так и в эксплуатационных и резервных лесах.

В лесах различного целевого назначения, а также в лесах разной категории защитности насаждений, горимость лесов существенно отличается. Это связано с тем, что леса имеют разную транспортную доступность, разный уровень освоённости территорий, что в конечном итоге сказывается как на запасах растительных горючих материалов, так и на причинах, которые могут привести к лесным пожарам (Волокитина, Софронова, 2014; Фуряев, 1996).

При планировании противопожарных мероприятий требуется учитывать ряд законодательных ограничений, связанных с защитными лесами. В частности, в соответствии с Правилами пожарной безопасности в лесах, утверждёнными постановлением Правительства Российской Федерации от 07.10.2020 № 1614, меры предупреждения лесных пожаров, связанные со сплошными рубками, запрещаются в защитных лесах, расположенных на территориях государственных природных заповедников; в лесах на территориях национальных парков, природных парков и государственных природных заказников, а также в лесах, находящихся в водоохранных зонах, и в лесах, выполняющих функции защиты природных и иных объектов.

Таким образом, при разработке Плана противопожарного обустройства лесов, предусмотренного постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2023 № 2332, важно учитывать специфику горимости лесов различного целевого назначения.

В отличие от эксплуатационных и резервных лесов, защитные леса, и тем более особо защитные лесные участки, обычно расположены фрагментарно. Использование традиционных сведений о местах возникновения лесных пожаров, полученных на основе данных региональных диспетчерских служб по результатам авиационных и наземных наблюдений, затруднено по следующим причинам:

- в прошлые годы не вся территория страны попадала под обязательный учёт лесных пожаров;
- традиционные методы измерения координат при обнаружении пожаров основывались на использовании обычных бумажных карт и иногда предусматривали значительное округление;
- возможны искажения, связанные с «человеческим фактором», в архивных данных (например, дробление крупных пожаров или сокрытие части незначительных пожаров) (Котельников, Мартынюк, 2018, 2023).

Формирование больших объёмов хорошо структурированных и однородных данных дистанционного зондирования Земли из космоса, независимых от человеческого фактора, открывает принципиально новые возможности анализа лесопожарной информации (Лупян и др., 2017, 2024; Пономарев и др., 2017).

Несмотря на то, что данные, полученные космическими методами, тоже имеют ряд недостатков (например, связанных с чувствительностью и разрешающей способностью сенсоров), методическая погрешность для разных территорий в схожих условиях примерно одинаковая и слабо влияет на сравнительные тесты.

Цель данного исследования заключалась в сравнительной оценке пожарных рисков в лесах различного целевого назначения, полученной по данным космических наблюдений.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- формирование геопространственного слоя деления лесов по целевому назначению;
- расчёт среднемноголетнего значения доли лесных пожаров, возникших в лесах разного целевого назначения;
- вычисление частоты возникновения лесных пожаров в лесах различного целевого назначения;
- расчёт тенденции изменения доли лесных пожаров, возникших в лесах разного целевого назначения;
- оценка плотности пожарного риска в лесах различного целевого назначения;

- разработка интерактивной панели для визуализации результатов расчётов;
- интерпретация полученных результатов.

Методика

Ключевая особенность выбранной методики заключается в использовании данных дистанционного зондирования Земли из космоса, что позволяет исключить человеческий фактор и работать с однородными данными. Применялись данные о лесных пожарах из Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (далее — ИСДМ-Рослесхоз) (Котельников и др., 2019), в частности информационный продукт, основанный на анализе результатов детектирования активного горения (Барталев и др., 2012; Лупян и др., 2021; Пономарёв, Иванов, 2012; Bartalev et al., 2016; Loboda, Csiszar, 2005; Loupian et al., 2006; Tansey et al., 2008).

Для количественного учёта пожаров в настоящее время в основном используются данные, полученные от приборов MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (*англ.* Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) (спутник NPP), хотя для детектирования горения применяется также информация и других спутниковых систем, имеющих каналы наблюдения в районе 3,7–3,9 мкм или близких к ним длин волн. Для работы с такими данными разработаны полностью автоматизированные технологии обработки, обеспечивающие не только детектирование горения на отдельных сеансах наблюдения, но и временное отслеживание развития пожаров и анализ их особенностей (в том числе контроль типов территорий, на которых они развиваются). В нашей стране такие решения созданы, в частности, в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) (Барталев и др., 2012; Егоров и др., 2006; Лупян и др., 2017; Bartalev et al., 2016).

Сведения о пространственном распределении участков лесов с различным целевым назначением взяты из публичной карты лесов (<https://pub.fgislk.gov.ru/map/>). Следует отметить, что ранее географически привязанные данные о целевом назначении лесов Российской Федерации в целом не были доступны научной общественности и подобное исследование в масштабах России проводится впервые. Сведения о площади лесов с различным целевым назначением, в разрезе субъектов Российской Федерации, взяты на основе государственного лесного реестра по состоянию на 01.01.2024 (приказ Минприроды России от 24.12.2021 № 1007).

Распределение пожаров по целевому назначению выполнялось по точке регистрации в ИСДМ-Рослесхоз. Особо защитные участки лесов внутри эксплуатационных и резервных лесов объединялись с защитными лесами (далее — защитные леса). Рассматривались следующие показатели: доля пожаров (распределение числа термоточек между лесами разного целевого назначения) и относительная площадь пожаров (отношение площади, пройденной огнём, к общей площади лесов соответствующего целевого назначения).

Анализ проводился отдельно по регионам и по лесным районам (приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367) сравнением с остальными территориями посредством оценки линейного тренда (за последние 11 лет), а также визуальной оценки пространственного распределения по карте-схеме.

Следует отметить, что анализ горимости в лесах различного целевого назначения нужен для рационального распределения ресурсов (которые всегда ограничены) на мероприятия, связанные с противопожарным обустройством лесов. Так как затраты на проведение подобных мероприятий всегда зависят от объёмов работ (площади участка), одним из прогрессивных подходов к таким задачам может стать распределение ресурсов пропорционально вкладу в пожарный риск (выраженному в доле пожаров), но скорректированному с учётом площади соответствующих участков. Это позволяет грамотно выбрать приоритеты работ и минимизировать затраты.

В различной литературе указанный показатель называется немного по-разному. Чаще употребляются термины «плотность пожарного риска» (*англ.* Fire Risk Density) (Scott et al.,

2013) и «интенсивность пожарной нагрузки» (англ. Fire Hazard Intensity). Когда риск пожаров взвешивается по площади для сравнения территорий, употребляется термин «взвешенный индекс пожарного риска» (англ. Weighted Fire Risk Index). Он подходит, если акцент делается на определение приоритетов при распределении ресурсов. Термин «плотность пожарной активности» (англ. Fire Activity Density) употребляется, когда нужно акцентировать внимание на частоту или долю пожарных событий на единицу площади. Термин «нормализованный риск на единицу площади» (англ. Normalized Risk per Unit Area) используется в более общих моделях управления рисками, где риск нормализуется по площади для сравнения территорий.

В рассматриваемом контексте больше подходит показатель «плотность пожарного риска» Ds_i :

$$Ds_i = \frac{D_i}{S_i} \times 100 \%,$$

где D_i — доля пожаров, возникших на территории лесов соответствующей категории целевого назначения; S_i — площадь лесов соответствующей категории целевого назначения, млн га; i — категория лесов соответствующего целевого назначения (0 — эксплуатационные; 1 — защитные, включая особо защитные участки; 2 — резервные).

Для сравнительной оценки данного показателя в различных регионах целесообразно пересчитать его в виде удельной плотности пожарного риска в лесах заданного целевого назначения dDs_i :

$$dDs_i = Ds_i / \sum_{i=0}^2 Ds_i,$$

где Ds_i — плотность пожарного риска на территории лесов соответствующей категории целевого назначения i .

Такой подход позволяет визуализировать его на карте-схеме.

Временной интервал в 11 лет (с 2014 по 2024 г.) выбран с учётом солнечного цикла, который влияет на пожарную опасность лесов (Котельников, 2024).

Полученные результаты

Доля пожаров, возникших в лесах соответствующего целевого назначения, показывает вклад таких лесов в лесопожарные риски. Рассматривая Сибирь, Дальний Восток с точки зрения доли пожаров, возникающих в эксплуатационных лесах, на первых местах: Магаданская область — 93 %; Томская область — 82 %; Сахалинская область — 74 %; Иркутская область — 72 %; Еврейская автономная область — 68 %. В защитных лесах: Алтайский край — 97 %; Омская область — 92 %; Новосибирская область — 88 %; Чукотский автономный округ — 87 %; Республика Хакасия — 82 %; Республика Алтай — 82 %.

Частота возникновения лесных пожаров в лесах разного целевого назначения существенно отличается. Наиболее значимые показатели в эксплуатационных лесах (случаев на 1 млн га): Омская область — 1334; Новосибирская область — 674; Кемеровская область — Кузбасс — 323; Алтайский край — 266; Забайкальский край — 234. В защитных лесах следует выделить: Магаданская область — 95; Томская область — 94; Амурская область — 88; Еврейская автономная область — 83; Кемеровская область — Кузбасс — 82.

Анализируя динамику этого показателя за период с 2014 по 2024 г. (рис. 1, см. с. 198), можно отметить, что наиболее существенные изменения наблюдаются в регионах (случаев на 1 млн га в год): Алтайский край — +1,8; Еврейская автономная область и Омская область — +1; Республика Саха (Якутия) — +0,7; Магаданская область — +0,4; Сахалинская и Новосибирская области — +0,3. Существенно снижается частота лесных пожаров в эксплуатационных лесах: Республика Тыва — на 2,2; Иркутская область — на 1,6; Кемеровская область — Кузбасс — на 1,2; Республика Хакасия — на 0,8; Приморский край — на 0,7; Амурская область — на 0,6; Томская область — на 0,3.

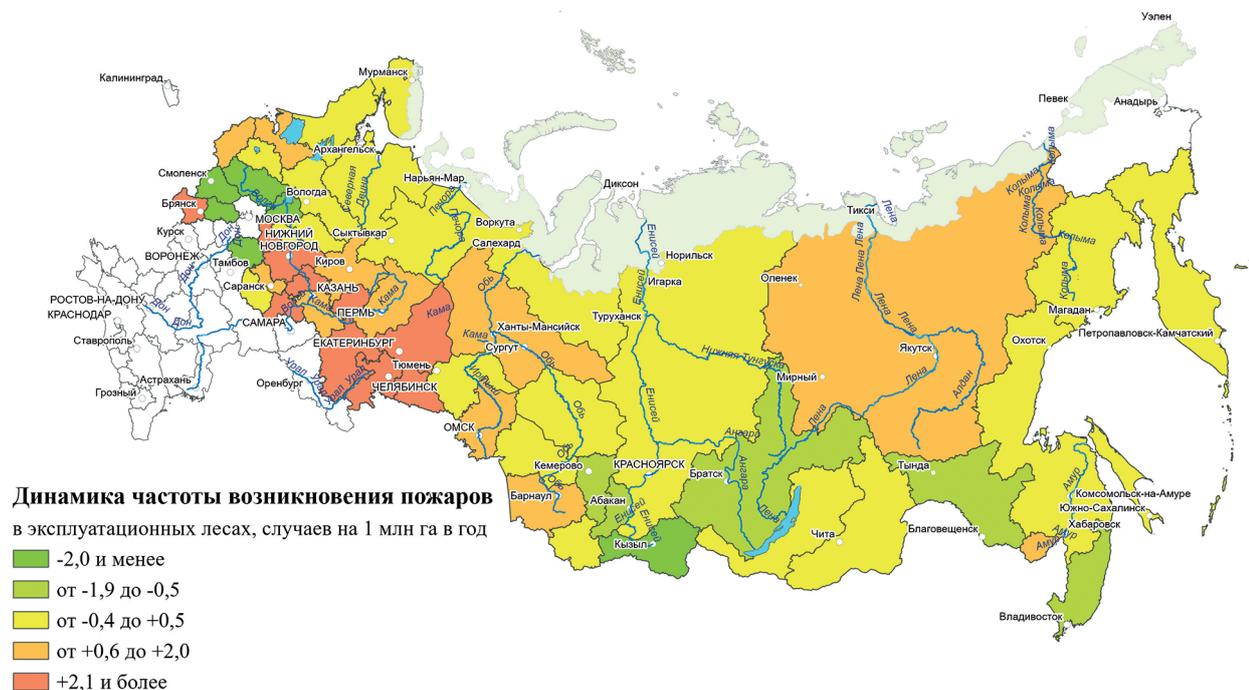


Рис. 1. Динамика частоты возникновения лесных пожаров в эксплуатационных лесах по данным дистанционного мониторинга (2014–2024)

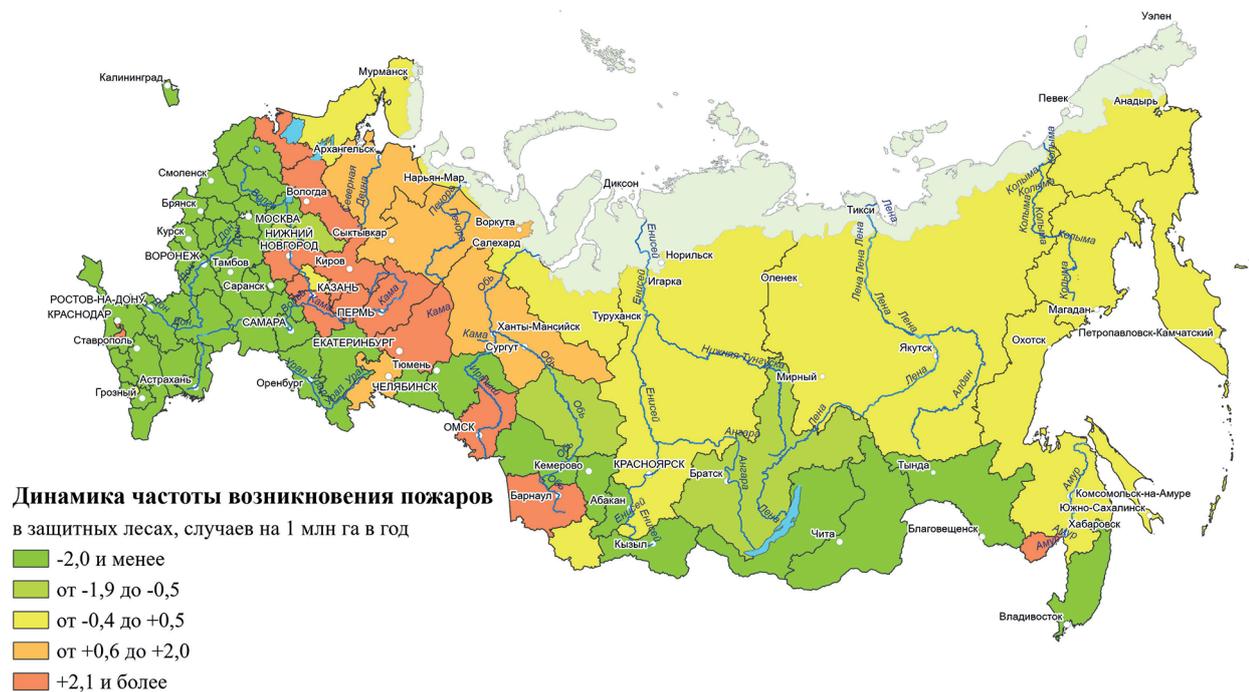


Рис. 2. Динамика частоты возникновения лесных пожаров в защитных лесах (включая особо защитные участки) в разрезе субъектов Российской Федерации по данным дистанционного мониторинга (2014–2024)

В защитных лесах наиболее существенные изменения (случаев на 1 млн га в год): Омская область — +26,1; Алтайский край — +15,1; Еврейская автономная область — +5,7; Магаданская область и Республика Саха (Якутия) — +0,5; Красноярский край — +0,4; Республика Алтай — +0,3; Хабаровский край и Чукотский автономный округ — +0,1. Значительные снижения частоты лесных пожаров в защитных лесах наблюдаются в Забайкальском крае

(–11,8); Амурской области (–8,5); Приморском крае (–8,1); Кемеровской области – Кузбассе (–6,1); Республике Хакасия (–3,8); Республике Тыва (–3,4); Новосибирской области (–2,9); Республике Бурятия (–2,3) (рис. 2, см. с. 198).

Если рассматривать лесные районы, то с точки зрения доли пожаров, возникающих в эксплуатационных лесах, на первых местах: Среднеангарский таёжный район — 90 %; Западно-Сибирский северо-таёжный равнинный район — 88 %; Нижнеангарский таёжный район — 85 %; Западно-Сибирский средне-таёжный равнинный район — 85 %; Северо-таёжный район европейской части Российской Федерации — 79 %; Западно-Сибирский южно-таёжный равнинный район — 78 %.

В защитных лесах: Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги — 100 %; Крымский горный район — 100 %; Район полупустынь и пустынь европейской части Российской Федерации — 100 %; Алтае-Новосибирский район лесостепей и ленточных боров — 100 %; Северо-Кавказский горный район — 100 %; Район степей европейской части Российской Федерации — 100 %.

Частота возникновения лесных пожаров в лесах разного целевого назначения существенно отличается. Наиболее значимые показатели в эксплуатационных лесах (случаев на 1 млн га): Забайкальский горный лесной район — 51; Среднесибирский подтаёжно-лесостепной район — 46; Байкальский горный лесной район — 33; Алтае-Саянский горно-лесостепной район — 30; Район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации — 29; Западно-Сибирский подтаёжно-лесостепной район — 27; Нижнеангарский таёжный район — 27.

В защитных лесах следует выделить (случаев на 1 млн га): Среднесибирский подтаёжно-лесостепной район — 237; Западно-Сибирский подтаёжно-лесостепной район — 139; Забайкальский горно-мерзлотный район — 90; Южно-Уральский лесостепной район — 89; Приамурско-Приморский хвойно-широколиственный район — 79; Среднеангарский таёжный район — 63; Алтае-Новосибирский район лесостепей и ленточных боров — 59; Забайкальский горный лесной район — 59.

Анализируя динамику этого показателя за период с 2014 по 2024 г., можно отметить, что наиболее существенные изменения наблюдаются в лесных районах (случаев на 1 млн га в год): Западно-Сибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги — +2,9; Средне-Уральский таёжный район — +2,7; Южно-Уральский лесостепной район — +1,3; Забайкальский горно-мерзлотный район — +1,3; Восточно-Сибирский таёжный мерзлотный район — +0,9; Балтийско-Белозёрский таёжный район и Южно-таёжный район европейской части Российской Федерации — +0,8; Восточно-Сибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги — +0,6; Западно-Сибирский северо-таёжный равнинный район и Район притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральской части Российской Федерации — +0,5.

Наиболее значимые снижения частоты лесных пожаров в эксплуатационных лесах наблюдаются (случаев на 1 млн га в год) в Среднесибирском подтаёжно-лесостепном районе (–4,6); Лесостепном районе европейской части Российской Федерации (–3,1); Забайкальском горном лесном районе (–2,9); Дальневосточном лесостепном районе (–2,7); Забайкальском лесостепном районе (–0,9); Районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (–0,7); Алтае-Саянском горно-таёжном районе (–0,5).

В защитных лесах наиболее существенные изменения (случаев на 1 млн га в год): Алтае-Новосибирский район лесостепей и ленточных боров — +4,0; Забайкальский горно-мерзлотный район — +2,6; Средне-Уральский таёжный район — +2,6; Верхнеленский таёжный район — +1,6; Балтийско-Белозёрский таёжный район — +1,3; Двинско-Вычегодский таёжный район — +1,1; Южно-таёжный район европейской части Российской Федерации — +0,9; Западно-Уральский таёжный район — +0,9; Восточно-Сибирский таёжный мерзлотный район — +0,8; Северо-Уральский таёжный район — +0,7.

Самые значимые снижения частоты лесных пожаров в защитных лесах наблюдаются (случаев на 1 млн га в год) в Лесостепном районе европейской части Российской Федерации

(−10,8); Районе степей европейской части Российской Федерации (−8,9); Северо-Кавказском горном районе (−6,2); Дальневосточном лесостепном районе (−5,6); Приамурско-Приморском хвойно-широколиственном районе (−5,2); Районе полупустынь и пустынь европейской части Российской Федерации (−5,1); Забайкальском лесостепном районе (−4,6); Среднеангарском таёжном районе (−4,6); Районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (−4,2); Крымском горном районе (−3,7).

Динамика, полученная в ходе расчётов плотности пожарного риска в целом по стране, показана на *рис. 3*.

Как видно из графика, за период с 2014 по 2024 г. плотность пожарного риска (доля пожаров, возникших на заданной территории, делённая на площадь этой территории) в защитных лесах существенно выше остальных территорий (в среднем в 4 раза больше, чем в эксплуатационных, и в 10 раз, чем в резервных лесах), хотя и снижается в среднем на −4 % в год. Соответствующий рост показателя в резервных лесах незначителен, несмотря на то что растёт быстрее (+20 % в год), чем в эксплуатационных лесах (+9 % в год).

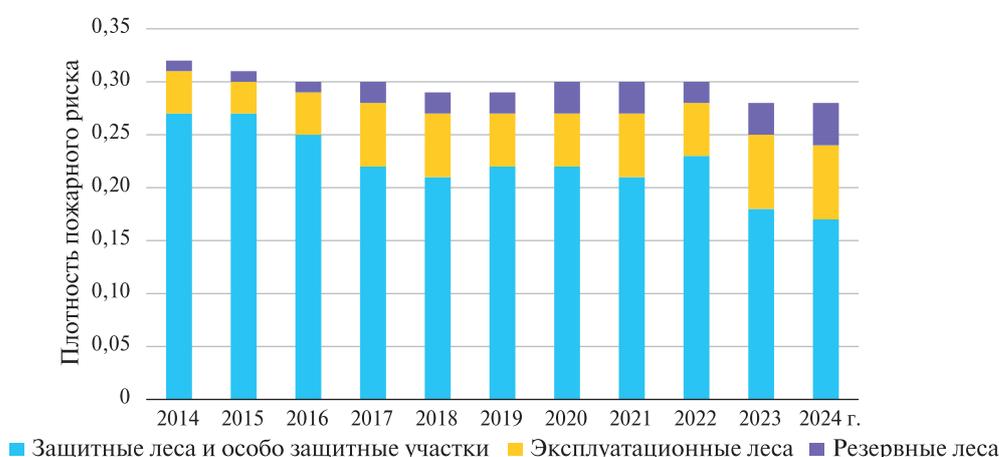


Рис. 3. Динамика плотности пожарного риска в лесах Российской Федерации



Рис. 4. Сравнительная оценка удельной плотности пожарного риска в защитных лесах (включая особо защитные участки)

Анализ пространственного распределения удельной плотности пожарного риска ожидаемо показывает, что в защитных лесах такой риск преобладает в основном на густонаселённых территориях (примерно 43 % площади страны). Повышенная удельная плотность пожарного риска в эксплуатационных лесах преобладает в следующих лесных районах (доля (в %) от общего риска по региону): Западно-Сибирский северо-таёжный равнинный район — 83 %; Западно-Сибирский средне-таёжный равнинный район — 80 %; Нижнеангарский таёжный район — 78 %; Среднеангарский таёжный район — 76 %; Среднесибирский плоскогорный таёжный район — 75 %; Верхнеленский таёжный район — 71 %; Карельский северо-таёжный район — 69 %; Западно-Сибирский южно-таёжный равнинный район — 60 %; Забайкальский лесостепной район — 59 %; Дальневосточный таёжный район — 57 %. Риски в резервных лесах в сравнении с остальными территориями преобладают только в Камчатском таёжном лесном районе (72 % от общего риска по региону). В остальных регионах плотность пожарных рисков выше в защитных лесах (рис. 4, см. с. 200).

Обсуждение

Следует отметить, что из-за технических ограничений спутниковых приборов, связанных с пространственным разрешением, достоверность результатов анализа в европейской части России (где имеется значительная доля пожаров на малых площадях) ниже. Этот недостаток практически полностью нивелируется тем, что в исследовании акцент делался не на абсолютных значениях пожаров, а на тенденциях и доле пожаров.

Незначительное снижение суммарного значения плотности пожарного риска (см. рис. 3) вероятнее всего связано с перераспределением пожаров на более удалённые и труднодоступные территории (участки большей площади). Небольшое улучшение ситуации с лесными пожарами в защитных лесах (которые расположены обычно недалеко от населённых пунктов) частично связано с усилением уровня охраны за счёт серьёзной финансовой поддержки в последние несколько лет.

Заключение

Методы детектирования лесных пожаров с использованием космических средств наблюдения лишены недостатков, связанных с человеческим фактором, а также обладают накопленными значительными рядами хорошо структурированных и однородных данных, что позволяет получить уникальную информацию, необходимую для лесопожарной аналитики.

Так как затраты на выполнение большинства мероприятий, связанных с противопожарным обустройством территорий, зависят от площади, то такой показатель, как удельная плотность пожарного риска, может использоваться на этапе планирования работ для рационального распределения выделенных ресурсов между территориями различного целевого назначения.

Общая тенденция последних лет показывает рост доли пожарного риска в резервных и эксплуатационных лесах.

Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы для разработки научно обоснованной системы мер противопожарного обустройства лесных территорий и предупреждения лесных пожаров в лесах различного целевого назначения.

Литература

1. *Барталев С. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А., Стыценок Ф. В., Флитман Е. В.* Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.

2. Волокитина А. В., Софронова Т. М. Картографирование растительных горючих материалов // Сибирский лесной журн. 2014. № 6. С. 8–28.
3. Егоров В. А., Барталев С. А., Луян Е. А., Уваров И. А. Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений // Изв. вузов: геодезия и аэрофото-съемка. 2006. С. 98–109.
4. Котельников Р. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для оценки повторяемости пиков горимости в лесах Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 5. С. 9–19. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-9-19.
5. Котельников Р. В., Мартынюк А. А. Использование закона Бенфорда для оценки достоверности сведений о лесных пожарах // Лесотехн. журн. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 28–34. DOI: 10.12737/article_5ab0dfbb946859.24647128.
6. Котельников Р. В., Мартынюк А. А. Математическая оценка достоверности информации о лесных пожарах // Изв. высших учебных заведений. Лесной журн. 2023. № 3. С. 21–34. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-21-34.
7. Котельников Р. В., Луян Е. А., Барталев С. А., Ершов Д. В. Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. 2019. № 5. С. 399–409. DOI: 10.1134/S0024114819050048.
8. Луян Е. А., Барталев С. А., Балашов И. В. и др. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175.
9. Луян Е. А., Стыценко Ф. В., Сенько К. С. и др. Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 178–192. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-178-192.
10. Луян Е. А., Лозин Д. В., Барталев С. А. и др. Оценка повреждений российских лесов пожарами в XXI веке на основе анализа интенсивности горения по данным прибора MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 233–249. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-233-249.
11. Пономарёв Е. И., Иванов В. А. Спутниковый мониторинг динамики экстремальных пожаров // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30. № 3–4. С. 307–311.
12. Пономарев Е. И., Харук В. И., Якимов Н. Д. Результаты и перспективы спутникового мониторинга природных пожаров Сибири // Сибирский лесной журн. 2017. № 5. С. 25–36. DOI: 10.15372/SJFS20170503.
13. Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 252 с.
14. Bartalev S., Egorov V., Efremov V. et al. Assessment of burned forest areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ imagery // Global Forest Monitoring from Earth Observation. 2016. P. 245–271. DOI: 10.1201/b13040-14.
15. Hayasaka H. Fire weather conditions in boreal and polar regions in 2002–2021 // Atmosphere. 2022. V. 13. No. 7. Article 1117. DOI: 10.3390/atmos13071117.
16. IPCC, 2019: Summary for Policymakers // Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems / eds. Shukla P. R., Skea J., Calvo Buendia E., Masson-Delmotte V., Pörtner H.-O., Roberts D. C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R., Ferrat M., Haughey E., Luz S., Neogi S., Pathak M., Petzold J., Portugal Pereira J., Vyas P., Huntley E., Kissic K., Belkacemi M., Malley J. Switzerland, 2020. 41 p.
17. Loboda T., Csiszar I. Estimating burned area from AVHRR and MODIS: Validation results and sources of error // Contemporary Earth Remote Sensing from Space. 2005. V. 2. P. 415–421.
18. Loupian E. A., Mazurov A. A., Flitman E. V. et al. Satellite monitoring of forest fires in Russia at federal and regional levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. V. 11. No. 1. P. 113–145. DOI: 10.1007/s11027-006-1013-7.
19. Scott J., Thompson M., Calkin D. A wildfire risk assessment framework for land and resource management // USDA Forest Service — General Technical Report RMRS-GTR. 2013. P. i-iii+1.
20. Tansey K., Grégoire J.-M., Defourny P. et al. A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution // Geophysical Research Letters. 2008. V. 35. Article L01401. 6 p. DOI: 10.1029/2007GL031567.

Using space observation data to compare fire risk density in forests of different purposes

R. V. Kotelnikov

*Center of the Forest Pyrology, Branch of the All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Krasnoyarsk 660062, Russia
E-mail: kotelnikovrv@firescience.ru*

The increasing risks associated with forest fire emergency situations in forests necessitate exploring ways to enhance both overall forest fire protection and, in particular, fire-protection arrangements. Considering the specific features of forests of different purposes, including restrictions on logging in protection forests, one of the relevant tasks is a differentiated analysis of fire risks within such forests. Unlike production and forest reserves, protection forests — and especially specially protected forest areas — are usually spatially fragmented. The use of traditional information on forest fire locations, obtained from regional dispatch services based on aerial and ground observations, is hindered by the low accuracy of fire ignition coordinates (particularly in earlier years). The accumulation of large volumes of well-structured data from Earth remote sensing via space observations, independent of the human factor, has made it possible to obtain unique information for the comparative assessment of the share of forest fires occurring in forests of different purposes. It should be noted that geographically referenced data on the purpose of forests in the Russian Federation had previously not been available to the scientific community, and such a study at the national scale is being conducted for the first time. Because the costs of most fire-protection measures depend on area, an indicator such as fire-risk density (the share of forest fires occurring within a given area divided by the area of that territory) can be used at the planning stage to rationally allocate available resources among forests of different purposes. Recent trends show that this indicator in protection forests is significantly higher than in other categories (on average four times higher than in production forests and ten times higher than in forest reserves), although it has been decreasing at an average rate of -4% per year. The corresponding increase in forest reserves is minor, though it is growing faster ($+20\%$ per year) compared to production forests ($+9\%$ per year). The results obtained in this study may be used to develop a scientifically grounded system of fire-protection arrangements and forest-fire prevention measures in forests of various purposes.

Keywords: purpose of forests, forest fires, remote monitoring

Accepted: 20.11.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-1-194-204

References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Efremov V. Yu., Loupian E. A., Stytsenko F. V., Flitman E. V., Integrated burnt area assessment based on combine use of multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, V. 9, No. 2, pp. 9–26 (in Russian).
2. Volokitina A. V., Sofronova T. M., Vegetation fuel mapping, *Siberian Forest J.*, 2014, No. 6, pp. 8–28 (in Russian).
3. Egorov V. A., Bartalev S. A., Lupyan E. A., Uvarov I. A., Monitoring of vegetation damage by fires based on satellite observations, *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*, 2006, pp. 98–109 (in Russian).
4. Kotelnikov R. V., The use of Earth remote sensing data to assess the recurrence of burnability peaks in forests of the Russian Federation, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 5, pp. 9–19 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-9-19.
5. Kotelnikov R. V., Martynyuk A. A., Application of the Benford law in assessment of wildfire data accuracy, *Forestry Engineering J.*, 2018, V. 8, No. 1 (29), pp. 28–34 (in Russian), DOI: 10.12737/article_5ab0d fbb946859.24647128.
6. Kotelnikov R. V., Martynyuk A. A., Mathematical estimation of information reliability regarding forest fires, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi Zhurnal*, 2023, No. 3, pp. 21–34 (in Russian), DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-21-34.

7. Kotel'nikov R. V., Lupyan E. A., Bartalev S. A., Ershov D. V., Space monitoring of forest fires: History of the creation and development of ISDM-Rosleskhoz, *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, V. 13, No. 7, pp. 795–802, DOI: 10.1134/S1995425520070045.
8. Loupian E. A., Bartalev S. A., Balashov I. V. et al., Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fire detection), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, V. 14, No. 6, pp. 158–175 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175.
9. Loupian E. A., Stytsenko F. V., Senko K. S. et al., Burnt area assessment using MODIS Collection 6 active fire data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 4, pp. 178–192 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-178-192.
10. Loupian E. A., Lozin D. V., Bartalev S. A. et al., Assessment of damage to Russian forests by fires in the XXI century based on analysis of fire intensity using MODIS instrument, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 6, pp. 233–249 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-233-249.
11. Ponomarev E. I., Ivanov V. A., Satellite monitoring of the dynamics of extreme fires, *Conifers of the Boreal Zone*, 2012, V. 30, No. 3–4, pp. 307–311 (in Russian).
12. Ponomarev E. I., Kharuk V. I., Yakimov N. D., Current results and perspectives of wildfire satellite monitoring in Siberia, *Siberian J. Forest Science*, 2017, No. 5, pp. 25–36 (in Russian), DOI: 10.15372/SJFS20170503.
13. Furyaev V. V., *Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya* (The Role of Fires in the Process of Forest Formation), Novosibirsk: Nauka, 1996, 252 p. (in Russian).
14. Bartalev S., Egorov V., Efremov V. et al., Assessment of burned forest areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ imagery, In: *Global Forest Monitoring from Earth Observation*, 2016, pp. 245–271, DOI: 10.1201/b13040-14.
15. Hayasaka H., Fire weather conditions in boreal and Polar Regions in 2002–2021, *Atmosphere*, 2022, V. 13, No. 7, Article 1117, DOI: 10.3390/atmos13071117.
16. IPCC, 2019: Summary for Policymakers, In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, Shukla P. R., Skea J., Calvo Buendia E., Masson-Delmotte V., Pörtner H.-O., Roberts D. C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R., Ferrat M., Haughey E., Luz S., Neogi S., Pathak M., Petzold J., Portugal Pereira J., Vyas P., Huntley E., Kissic K., Belkacemi M., Malley J. (eds.), Switzerland, 2020, 41 p.
17. Loboda T., Csiszar I., Estimating burned area from AVHRR and MODIS: validation results and sources of error, *Contemporary Earth Remote Sensing from Space*, 2005, V. 2, pp. 415–421.
18. Loupian E. A., Mazurov A. A., Flitman E. V. et al., Satellite monitoring of forest fires in Russia at federal and regional levels, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, V. 11, No. 1, pp. 113–145, DOI: 10.1007/s11027-006-1013-7.
19. Scott J., Thompson M., Calkin D., A wildfire risk assessment framework for land and resource management, *USDA Forest Service — General Technical Report RMRS-GTR*, 2013, pp. i-iii+1.
20. Tansey K., Grégoire J.-M., Defourny P. et al., A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution, *Geophysical Research Letters*, 2008, V. 35, Article L01401, 6 p., DOI: 10.1029/2007GL031567.