

Оригинальная статья

DOI:<https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/7>

УДК 630*43:504.05:911.2



Оценка антропогенных факторов, влияющих на возникновение пожароопасной ситуации в лесах на территории Центральной лесостепи

Василий А. Славский¹✉, slavskiyva@yandex.ru, ID 0000-0002-6579-0344

Алексей Н. Водолажский¹, vod.a@list.ru; ID 0000-0003-0847-3462

Алексей В. Мироненко¹, alexeymironenko66@gmail.com; ID 0009-0006-4668-8527

Екатерина И. Майер¹✉, mayer99ks@yandex.ru; ID 0000-0002-5984-4430

Максим В. Ларионов², m.larionow2014@yandex.ru; ID <https://orcid.org/0000-0003-0834-2462>

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российской Федерации

²ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Российской Федерации

Антропогенные факторы лесопожарного риска являются определяющими при возникновении пожароопасной ситуации в лесах, поскольку более 90% лесных пожаров возникает по вине человека. Однако эта группа факторов учитывается не в полном объеме при определении класса природной пожарной опасности. Основной причиной поверхностного учета вышеуказанных факторов в лесных насаждениях является сложность их определения и контроля. В связи с этим, целью работы является разработка элементов технологических решений, направленных на оценку и учет антропогенных факторов риска возникновения пожароопасной ситуации в лесах для совершенствования системы дистанционного лесопожарного мониторинга. Объектами исследования являются лесные насаждения, произрастающие на территории Центральной лесостепи, характеризующиеся преобладанием сосны обыкновенной. При оценке лесопожарных рисков антропогенного характера проанализировано местоположение и размеры населенных пунктов, наличие точек интересов населения, а также параметры дорожной сети, которые оказывают влияние на возникновение пожаров. В результате проведенной работы предложен методический подход определения антропогенных факторов лесопожарного риска на дистанционной основе с целью корректировки класса природной пожарной опасности в лесах. Установлены зоны воздействия дорожно-тропиночной сети, рекреационных объектов и населенных пунктов на лесные насаждения, произрастающие на территории Центральной лесостепи. Установлено, что существующая система лесопожарного мониторинга, несмотря на использование современных средств, требует совершенствования с учетом выявленных взаимосвязей. Рекомендуется дальнейшее изучение влияния различных видов рекреационной нагрузки на состояние лесных насаждений и разработка адресных мер по снижению пожарных рисков, связанных с посещением лесов населением.

Ключевые слова: лесопожарный мониторинг, лесные экосистемы, антропогенное воздействие, охрана лесов, дистанционные методы

Финансирование: работа выполнена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ ФЗУР-2024-0002) «Разработка технологических решений,

направленных на повышение эффективности лесопожарного мониторинга и детализацию оценки последствий лесных пожаров в условиях Центральной лесостепи».

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Оценка антропогенных факторов и рекреационных показателей насаждений, влияющих на возникновение пожароопасной ситуации в Центральной лесостепи / В. А. Славский, А. Н. Водолажский, А. В. Мироненко, Е. И. Майер, М. В. Ларионов // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 3 (59). – С. 101–120. – Библиогр.: с. 115–119 (22 назв.) – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/7>

Поступила 14.03.2025. Пересмотрена 31.08.2025. Принята 15.09.2025. Опубликована онлайн 25.09.2025.

Article

Assessment of anthropogenic factors influencing the occurrence of fire hazard in forests in the territory of the Central forest-steppe

Vasiliy A. Slavskiy¹✉, slavskiyva@yandex.ru, ID 0000-0002-6579-0344

Aleksey N. Vodolazhskiy¹, vod.a@list.ru; ID 0000-0003-0847-3462

Aleksey V. Mironenko¹, alexeymironenko66@gmail.com; ID 0009-0006-4668-8527

Ekaterina I. Mayer¹✉, mayer99ks@yandex.ru; ID 0000-0002-5984-4430

Maxim V. Larionov², m.larionow2014@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0834-2462>

¹*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (ROSBIOTEC'H University), Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russian Federation*

Abstract

Anthropogenic factors of forest fire risk are decisive in the occurrence of a fire hazardous situation in forests, since more than 90% of forest fires occur due to human fault. However, this group of factors is not fully taken into account when determining the class of natural fire hazard. The main reason for the superficial consideration of the above factors in forest stands is the complexity of their definition and control. In this regard, the aim of the work is to develop elements of technological solutions aimed at assessing and taking into account anthropogenic risk factors for the occurrence of a fire hazardous situation in forests to improve the system of remote forest fire monitoring. The objects of the study were forest stands growing in the territory of the Central forest-steppe, characterized by the predominance of Scots pine. When assessing anthropogenic forest fire risks, the location and size of settlements, the presence of points of interest of the population as well as road network parameters that affect the occurrence of fires were analyzed. As a result of the work, a methodical approach to determining anthropogenic factors of forest fire risk on a remote basis was proposed in order to adjust the class of natural fire hazard in forests. The zones of influence of the road and path network, recreational facilities and settlements on forest plantations growing in the Central forest-steppe were determined. It was determined that about half of all fires in the studied objects occur at a distance of up to 50 m from roads that allow free movement of the population. It was found that the existing forest fire monitoring system, despite the use of modern means, requires improvement taking into account the identified relationships. It is recommended to further study the impact of various types of recreational load on the condition of forest stands and to develop targeted measures to reduce fire risks associated with population visits to forests.

Keywords: forest fire monitoring, forest ecosystems, anthropogenic impact, forest protection, remote sensing methods

Funding: The work was carried out within the framework of the implementation of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme FZUR-2024-0002) "Development of technological solutions aimed at increasing the efficiency of forest fire monitoring and detailing the assessment of the consequences of forest fires in the Central Forest-Steppe".

Acknowledgments: The authors thank the referees for their contribution to the peer review of the article.

Conflict of Interest: The authors have declared no conflict of interest.

For citation: Slavskiy V. A., Vodolazhsskiy A. N., Mironenko A. V., Maier E. I., Larionov M. V. Assessment of anthropogenic factors and recreational indicators of plantings influencing the occurrence of a fire hazard situation in the Central forest-steppe. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 3 (59), pp. 101-120 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/7>

Received 14.03.2025. *Revised* 31.08.2025. *Accepted* 15.09.2025. *Published online* 25.09.2025.

Введение

Антропогенные факторы являются определяющими при оценке риска возникновения пожароопасной ситуации в лесах, что находит подтверждение в работах ведущих специалистов в области лесной пирологии [1, 2, 3 и др.]. Более 90% лесных пожаров происходит по вине человека [4]. Однако эта группа факторов риска при определении класса природной пожарной опасности в лесах в действующих нормативных и правовых документах учитывается недостаточно [5, 6]. Так например, в действующей классификации природной пожарной опасности лесов³, оценка антропогенных факторов, влияющих на пожарную опасность, ограничивается следующим: «Пожарная опасность устанавливается на класс выше: для лесных участков, примыкающих к автомобильным дорогам общего пользования и к железным дорогам». Не в полном объеме учитываются расположение объектов лесопожарных рисков и особенности ландшафта, оказывающие существенное влияние на возникновение пожаров [5, 7]. Основной причиной поверхностного учета выше-

указанных факторов при определении класса природной пожарной опасности в лесных насаждениях является сложность их контроля.

Фактор антропогенного влияния на возникновение пожароопасной ситуации в лесах связан с присутствием человека, являющегося основной причиной возгорания [8]. Это присутствие может быть обусловлено производственной необходимостью, но чаще всего оно связано с пребыванием в лесу в рекреационных целях. Различные виды рекреации на территории лесного фонда, обусловленные степенью доступности и привлекательности этих участков, оказывают различное по своей силе воздействие на лесные насаждения.

Изучением данного вопроса занимались ведущие отечественные и зарубежные ученые [6, 9-14 и мн. др.]. В данных работах предлагается ряд технологических решений, позволяющих учитывать влияние антропогенных и экологических факторов на риск возгорания, что критически важно для точной оценки пожарной опасности.

Для снижения количества лесных пожаров используются как системы регулярной оценки объемов мертвого фитомассы [15, 16], так и системы

³ Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классифи-

кации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902289183>

оценки рисков возникновения и развития пожара (моделирование, наземный мониторинг, спутниковые данные, беспилотные авиационные системы (БАС) и др.) [17-20]. Однако существующая в настоящее время система лесопожарного мониторинга и система превентивного управления пожарной опасностью охраны лесов от пожаров в целом, не являются достаточно эффективными.

Всё это требует планомерного внедрения научных разработок, технологических и практико-ориентированных решений, а также использования современных методов, не уступающих мировому уровню в области автоматизации и цифровизации лесной отрасли. Согласно «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»⁴, на период ближайших лет приоритетами научно-технологического развития России должны стать направления, позволяющие обеспечить получение научных и научно-технических результатов на основе интенсивного перехода к передовым цифровым и информационно-коммуникационным технологиям, в т.ч. дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ).

С учетом современных требований в области цифровизации лесной отрасли, в ближайшее время при проведении лесоучетных работ должны быть сформированы цифровые векторные карты и лесоустроительные планшеты расположения территории лесничеств, что позволит выполнить оценку лесопожарных рисков на всей площади лесничества на по-выделенной основе⁵.

Для оценки лесопожарных рисков первостепенным моментом является учет антропогенных факторов, т.е. фактической реализации рекреационного потенциала в процессе реального посещения отдыхающими этой территории . При этом, оценка рекреационного качества объекта проводится не по-всеместно, а для конкретных лесных участков, пред назначенных для рекреационного использования и переданных в аренду для осуществления этих целей,

⁴ Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 года № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305071057/titles/64U0IK>

в ходе составления для них проектов освоения лесов, где оценивается весь рекреационный объект в целом. Большие по площади лесные участки, переданные для осуществления рекреационной деятельности, включающие значительное количество различающихся лесотаксационных выделов, ввиду их оценки в целом не дают необходимой дробности оценки лесопожарных рисков. Таким образом, для охвата территории лесничества потребуются дополнительные объемы работ по проведению рекреационной оценки для всех лесных участков, что трудно реализуемо.

С учетом всего сказанного, можно сделать вывод о нецелесообразности применения общепринятой методики оценки рекреационного качества объекта в целом для определения лесопожарных рисков, что требует внедрения новых методических подходов и использования дополнительных оценочных критериев. Предлагаемый методический подход определения уровня лесопожарного риска на дистанционной основе, позволяет выявить количественные характеристики антропогенных факторов и скорректировать значение класса природной пожарной опасности в лесах.

Целью работы является разработка элементов технологических решений, направленных на оценку и учет антропогенных факторов риска возникновения пожароопасной ситуации в лесах для совершенствования системы дистанционного лесопожарного мониторинга.

Материалы и методы

К лесопожарным рискам антропогенного характера относятся транспортная доступность территории, близость лесного участка к населенным пунктам (включая плотность населения), наличие точек интересов (турбазы, рекреационные объекты, поляны, привлекательные места отдыха и т.д.). Для анализа и учета комплекса антропогенных факторов необходима разработка технико-методологических

⁵ «Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» – URL: <https://docs.cntd.ru/document/557309575>

решений, для их интеграции в общую систему лесопожарного мониторинга.

Объекты исследования.

Объектами исследования с лесоводственной точки зрения являлись лесные насаждения, произрастающие на территории Центральной лесостепи (на примере Бобровского, Сомовского, Новоусманского, Давыдовского, Пригородного и Теллермановского лесничеств Воронежской области), характеризующиеся преобладанием сосны обыкновенной. При оценке лесопожарных рисков антропогенного характера проанализировано местоположение и размеры населенных пунктов, рекреационных объектов, а также параметры дорожной сети, которые оказывают влияние на возникновение пожаров.

Материалы исследования. В основе методического подхода содержатся данные ресурса OpenStreetMap, находящиеся в свободном доступе в сети Интернет, что позволяет использовать SRTM снимки, загруженные из открытого источника (<https://www.openstreetmap.org/#map=5/61.26/76.20>).

Интеграция этих сведений в общую систему мониторинга позволяет получить детальную достоверную информацию о частоте использования существующих автомобильных дорог, интенсивность доступа к точкам рекреационных интересов и т.д., что повлечет за собой существенную корректировку класса природной пожарной опасности в лесах. Для расчета расстояний до мест возникновения пожаров от объектов лесопожарного риска использованы географические координаты из материалов отчетных форм Рослесхоза, приведенные в реестре лесных пожаров (форма 1-ЛО) за 2018-2023 гг. по наиболее горимым лесничествам Воронежской области: Бобровское, Сомовское, Новоусманское, Давыдовское, Пригородное и Теллермановское, а также иные сведения о состоянии и структуре лесного фонда, предоставленные Министерством лесного хозяйства Воронежской области.

Методы исследования

Работа по оцифровке границ участковых лесничеств, квартальной сети и выделов выполнялась в программе QGIS – версия 3.28.13. В качестве основы использовались геопривязанные векторные слои территорий изучаемых лесничеств. Заполнение атрибутивной таблицы векторных слоёв осуществлялось автоматически с использованием апробированной ранее авторской методики [21] и специально разработанного программного обеспечения, позволяющего экспорттировать данные из текстового формата таксационных описаний в формат DBF [22]. Алгоритм позволяет конвертировать данные из текстового формата таксационных описаний на повышенной основе путем посимвольного перебора данных и формирования таблицы таксационных показателей с последующей их конвертацией в формат Excel.

Геопривязка данных произведена в системе координат WGS84, что позволило выполнить согласование разнородных источников по пространственному положению.

Доступность территории определяется на основе расчёта густоты дорожной сети, с использованием данных ресурса OpenStreetMap⁶. Векторные слои созданы на основании фиксации треков GPS-навигаторов и отражают актуальные сведения о реальных перемещениях транспорта по территории лесного фонда (рисунок 1).

Определение расстояния от мест возникновения пожаров до объектов лесопожарного риска проводилось на основе известных географических координат для каждого пожара картометрическим методом с помощью программы QGIS.

Верификация дорог и GPS-треков из ресурса OpenStreetMap проводилась путем натурного обследования территории наиболее посещаемых отдыхающими кварталов Правобережного участкового лесничества Пригородного лесничества и нанесения положения всех имеющихся дорог и троп на карту. При сравнении полученных полевых данных по про-

⁶ OpenStreetMap. – URL: <https://www.openstreetmap.org>.

тяженностю дорожно-тропиночной сети с материалами ресурса OpenStreetMap отклонение по всем дорогам и тропам составляло около 6 %, а по GPS-трекам — около 12%. С учетом того, что при полевых исследованиях фиксировались все, даже мало заметные тропы, данные ресурса OpenStreetMap можно считать пригодными для практического производственного применения.

При условии работы навигатора со стандартной погрешностью (в диапазоне не более 10 м) при

определении координат на местности автомобильными системами, точность оценки транспортной доступности находится в пределах статистической погрешности.

На рисунке 1 показаны автомобильные дороги, выделенные по значениям треков, по которым осуществляется интенсивное движение. Также различаются проезжие и не проезжие просеки (например, кв. 49 и 56 соответственно).

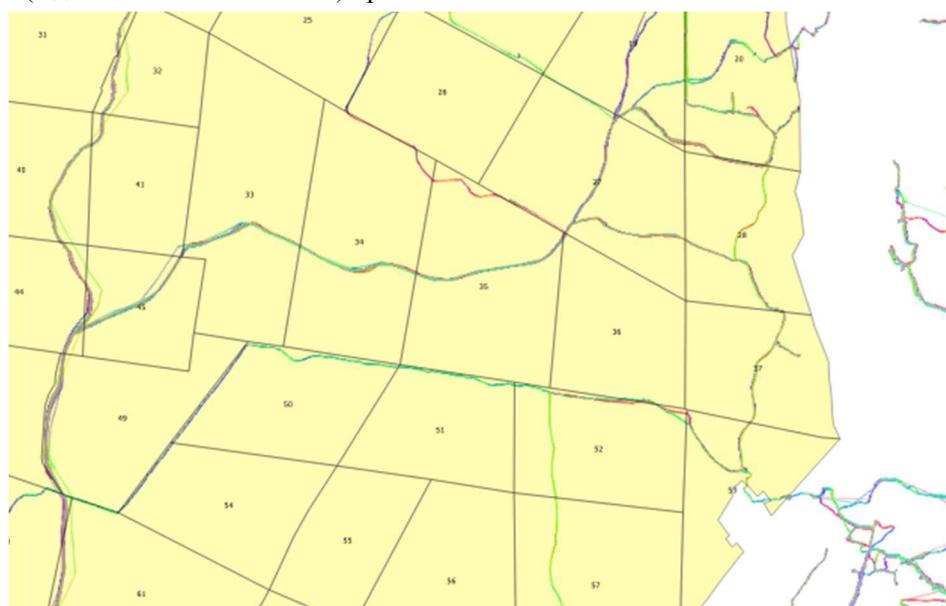


Рисунок 1 – Фрагмент карты территории Пригородного лесничества, полученной с ресурса OpenStreetMap с GPS-треками

Figure 1 – Fragment of the map of the Prigorodnoye forestry area, obtained from the OpenStreetMap resource with GPS tracks

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

С помощью программы STATISTICA 13⁷ и СтатСофт 2,5 проведен статистический последовательный анализ на основе рекомендаций Б.А. Доспехова⁸. Использованы методы описательной статистики, корреляционно-регрессионного анализа, позволяющего оценить тесноту связи различных показателей, влияющих на процесс и найти зависимость между изучаемыми показателями, а также дисперсионного анализа, позволяющего определить силу

влияния действующего фактора на результативный признак.

Результаты и обсуждение

Для оценки влияния антропогенных факторов лесопожарного риска на возникновение пожароопасной ситуации разработан методический подход, базирующийся на использовании дистанционных методов и средств. Предложенный в работе методический подход, позволяющий осуществить контроль

⁷ STATISTICA версия 13.0-StatSoft. (2021).

⁸ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник // М.: «Колос», 2011. – 547 с.

пожароопасной ситуации в лесных насаждениях и выполнить учет антропогенных факторов лесопожарного риска, направлен на получение детализированных сведений о природной пожарной опасности в лесах на повыделочной основе.

На первоначальном этапе производится расчёт длины дорог в пределах каждого квартала. Автоматизированным способом производится измерение общей длины и общее количество линий, пересекающих каждый полигон для исходных полигональных (кварталы) и линейных (дороги) слоев. Результатирующий слой копирует объекты исходного полигонального слоя с двумя дополнительными атрибутами, содержащими длину и количество пересекающих квартал линий. Показатель густоты дорожной сети на 1 га для каждого квартала рассчитывался по формуле (1):

$$d_s = \frac{L}{S} \quad (1)$$

где d_s - густота дорожной сети, м на 1 га;

L – протяжённость лесных дорог в квартале, м;

S – площадь квартала, га.

В результате пространственного анализа векторных слоёв в QGIS, получаем поквартальные сведения о протяжённости лесных дорог, геометрической (не окружлённой) площади квартала, показателя плотности дорожной сети в м/га. В таблице 1 представлен пример полученных показателей для каждого квартала.

Таблица 1

Плотность дорожной сети Левобережного участкового лесничества Пригородного лесничества
(фрагмент)

Table 1

The density of the road network of the Left-bank district forestry of the Suburban forestry (fragment)

| № квартала № quarters | Протяженность дорог, м Length of roads, m | Площадь квартала, га Area of the block, ha | Плотность дорог (d_s), м/га Road density (d_s), m/ha |
|-------------------------|---|--|--|
| 1 | 498 | 74.5 | 6.7 |
| 2 | 41 | 39.8 | 1.0 |
| 3 | 372 | 50.9 | 7.3 |
| 4 | 455 | 54.4 | 8.4 |
| 5 | 1077 | 45.0 | 23.9 |
| 6 | 1098 | 27.6 | 39.8 |
| 7 | 38 | 54.4 | 0.7 |
| 8 | 0 | 53.3 | 0.0 |
| и т.д. etc. | | | |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Для установления оценочных градаций транспортной доступности, позволяющих ранжиро-

вать силу влияния действующего фактора на природную пожарную опасность лесных участков, составлена соответствующая шкала (таблица 2).

Таблица 2

Шкала оценки транспортной доступности лесов

Table 2

Scale of assessment of transport accessibility of forests

| Диапазоны значений d_s , м/га Ranges d_s of values, m/ha | Наименование градаций транспортной доступности Naming of grades of transport accessibility |
|--|--|
| 0 – 20 | Труднодоступные участки леса Inaccessible areas of the forest |
| 21 - 40 | Низкая транспортная доступность Very low transport accessibility |
| 41- 60 | Средняя транспортная доступность Low transport accessibility |
| 61- 80 | Высокая транспортная доступность Average transport accessibility |
| 81 и выше/80 and higher | Повышенная транспортная доступность High transport accessibility |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

При установлении значения транспортной доступности определяется перечень выделов, входящих в данный квартал, класс природной пожарной опасности которых корректируется в зависимости от принадлежности к соответствующей градации

(таблица 2). На основании полученных данных, приведенных в таблицах 1 и 2, возможно построение карты-схемы зонирования территории по транспортной доступности для дальнейшего использования при планировании противопожарных мероприятий (рисунок 2).

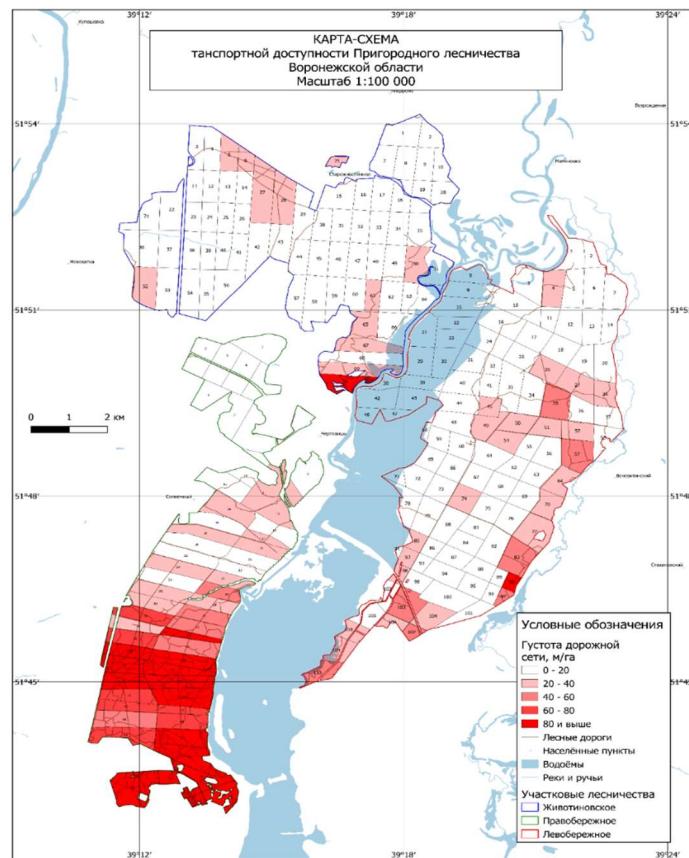


Рисунок 2 – Карта-схема зонирования территории Пригородного лесничества Воронежской области по степени транспортной доступности

Figure 2 – Map-scheme of zoning of the territory of the Prigorodnoye forestry of the Voronezh region according to the degree of transport accessibility

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

На карте-схеме (рисунок 2) приведено функциональное зонирование территории пригородного лесничества по густоте дорожной сети. Выявлено, что лесные участки с высокой и повышенной транспортной доступностью составляют около 20% от общей площади лесничества и представляют повышенный уровень антропогенной нагрузки. Труднодоступные территории с плохо развитой дорожной сетью составляют более 50% площади лесничества.

Зоны с разной степенью транспортной доступности будут нуждаться в проведении различных объемов противопожарных мероприятий.

При оценке близости территориального расположения лесного участка к населенным пунктам с помощью инструментов пространственного анализа программы QGIS выполняется зонирование территории лесничества и определение площадей лесного фонда, входящих в ту или иную зону (рисунок 3а). В результате получается список выделов, которые входят в зоны определённого радиуса действия, входящих в зону влияния населённых пунктов (рисунок 3-в), а полученный файл в формате Excel загружается в автоматизированную систему для дальнейшего расчёта уточнённого класса природной пожарной опасности.

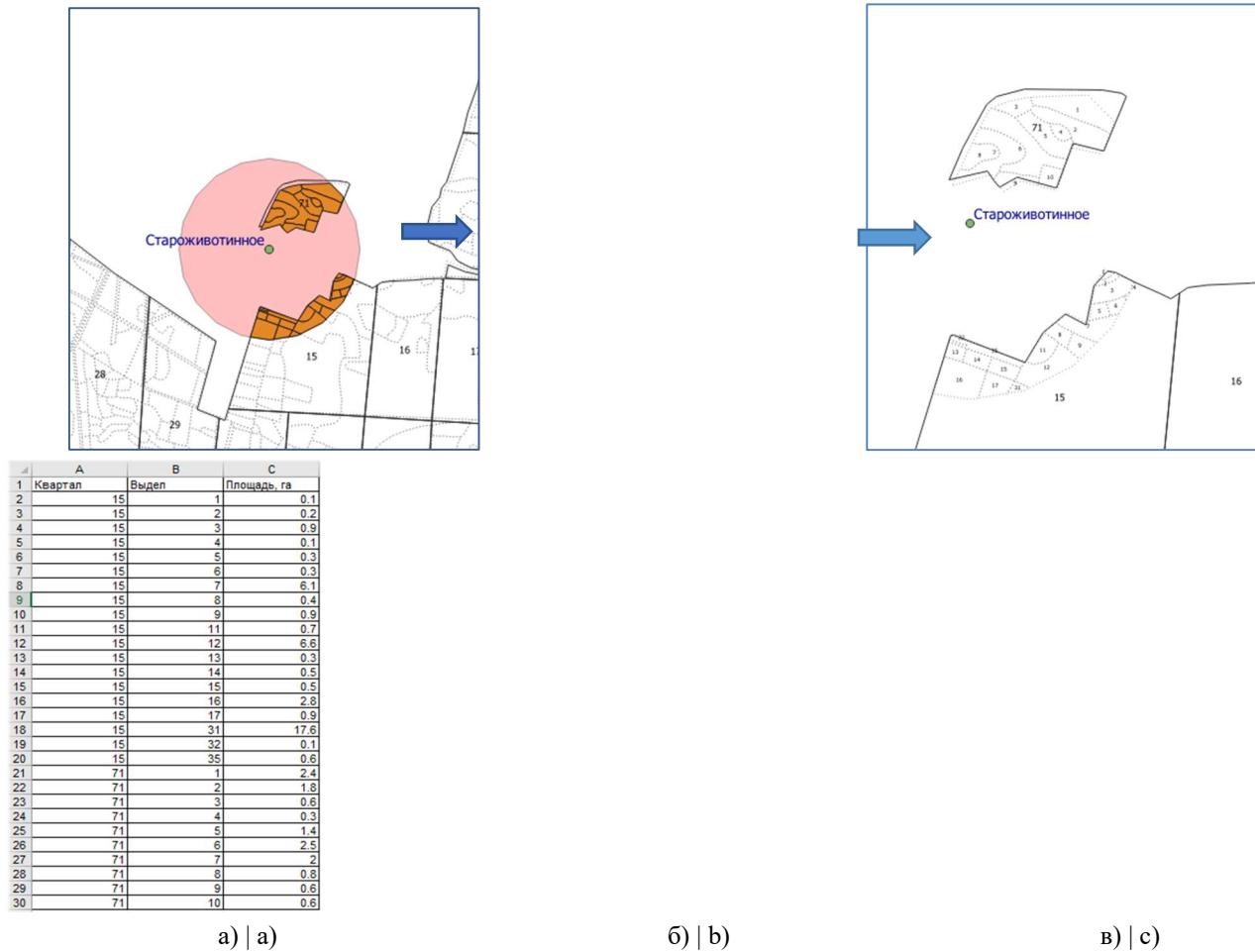


Рисунок 3 – Результат определения выделов (частей выделов) и их площадей, с повышенным риском антропогенного воздействия: а) определение размера территории, подверженной антропогенному воздействию; б) схема расположения выделов, входящих в зону, подверженную антропогенному воздействию; в) формирование списка выделов, входящих в зону радиуса действия

Figure 3 – The result of determining allotments (parts of allotments) and their areas with an increased risk of anthropogenic impact: a) determination of the size of the territory subject to anthropogenic impact; b) a diagram of the location of the allotments included in the zone subject to anthropogenic impact; c) formation of a list of allotments included in the radius of action

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Результат построения буферных зон вокруг населённых пунктов на примере Пригородного лесничества Воронежской области приведен на рисунке 4.

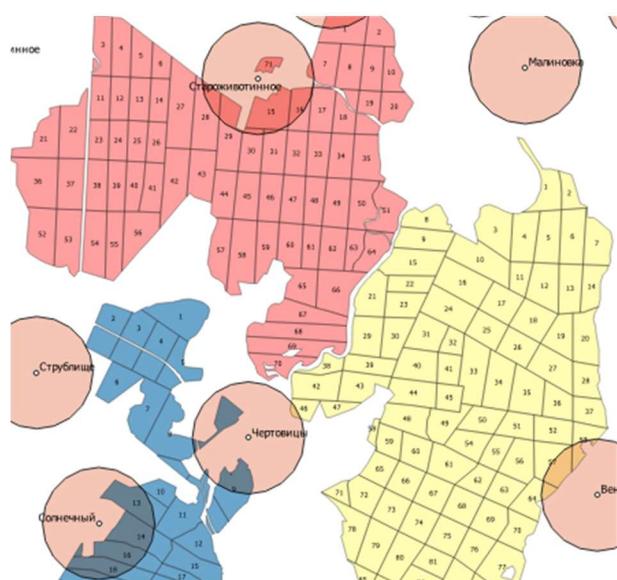


Рисунок 4 – Построение буферных зон вокруг населённых пунктов для Пригородного лесничества Воронежской области (фрагмент карты)

Figure 4 – Construction of buffer zones around populated areas for Suburban forestry in the Voronezh Region (map fragment)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Информация о лесопожарных рисках включает в себя буферизацию объектов (турбазы, места отдыха, лесные и ландшафтные поляны) и получение списка выделов, входящих в зону воздействия рекреационных объектов в соответствии с настраиваемым радиусом буфера. Данная работа производится в QGIS аналогично процессу построения буферных зон для населённых пунктов и требует наличия векторных слоёв выделов и векторного слоя с данными о местоположении рекреационных объектов.

Таким образом, предлагаемый методический подход позволит скорректировать классы природной пожарной опасности, с учетом антропогенной нагрузки на лесной участок. Основным преимуществом, по сравнению с аналогичными исследованиями, проводимыми для таежной зоны, Сибири, Дальнего Востока и других территорий с преобладанием эксплуатационных лесов, является повышенная детализация результатов, что крайне важно для малолесных регионов. Автоматизированный учет антропогенных лесопожарных рисков может выполняться в больших объемах на повыдельной основе, что позволяет принимать своевременные управленческие решения в области охраны лесов.

Безусловно, крупные дороги являются основными магистралями передвижения человека с которых он может попасть на прилегающую территорию лесов в случае отсутствия ограждения вдоль этих дорог. Но, кроме крупных дорог, на пожароопасную ситуацию в лесах оказывают влияние любые проезжие дороги на территории лесов, а также велосипедные и пешеходные дороги и тропы вблизи населенных пунктов. Люди могут сходить с дорог и троп на прилегающую территорию насаждений, но основной способ их перемещения в лесу – это имеющаяся дорожно-тропиночная сеть.

Для установления зависимости между фактом возникновения лесных пожаров и наличием дорожно-тропиночной сети нами было установлено кратчайшее расстояние от точки обнаружения пожара до ближайшей дороги, кратчайшее расстояние до селитебной территории ближайшего населенного пункта и до ближайшего водного объекта (реки, озера, пруда).

Из 150 рассматриваемых участков, на которых возникли пожары, на 137 (91,3%) преобладающей породой является сосна. На 4 – береза (2,7%). По одному участку приходится на дуб, клен, осину и прочие породы (менее 1 % каждой). На 5 участках

преобладающая порода отсутствует – это не покрытые лесной растительностью земли, составляющие 3,3 % от общего количества возгораний. Так как более 90% всех пожаров происходит в насаждениях сосны, то результаты, полученные нами в ходе исследований, целесообразно распространить именно на подобные лесные участки, как фактически подверженные горению. В лиственных насаждениях (за

исключением березняков) наличие рассматриваемых факторов повышения пожарной опасности не приводит к возникновению пожаров.

При рассмотрении причин возникновения пожаров можно отметить, что в 92% случаев такой причиной в рассматриваемых лесничествах было местное население (рисунок 5). Грозы были причиной в 4-х случаях из 150 (около 3 %). В двух – линейные объекты, в четырех – огонь в леса перекинулся со смежных территорий.



Рисунок 5 – Причины возникновения пожаров в лесах на территории Воронежской области (2018-2023 гг.)

Figure 5 – Causes of forest fires in the territory Voronezh Region (2018-2023)

Источник: данные статистической отчетности Рослесхоза (форма 1-ЛО)

Source: statistical reporting data from the Federal Forestry Agency (Form 1-LO)

Из анализа данных, приведенных на рисунке 5 следует, что источником огня в лесу практически всегда (около 92% случаев) является человек, попадающий туда по дорогам.

Наличие в лесу человека, несет повышение лесопожарных рисков, но наиболее опасными являются формы рекреации, связанные с разжиганием в лесу костров. При этом возникает вопрос определения этого показателя для всей территории лесничества, поскольку в ходе таксации (в том числе и ландшафтной) он не устанавливается. Его определение возможно по наличию костищ в местах отдыха населения, которые устанавливаются по наличию

туниковых ответвлений GPS-треков, а также при анализе материалов лидарной съемки.

Именно для пожаров, причиной возникновения которых стало местное население, проводилось исследование связи частоты возгораний с удаленностью от дорог, а вблизи с населенными пунктами и от пешеходных троп, то есть от любых транзитных путей перемещения человека по лесу (рисунок 6).



Рисунок 6 – Фрагмент пространственного расположения мест возникновения лесных пожаров по отношению к дорожной сети на территории Пригородного лесничества

Figure 6 – Fragment of the spatial location of forest fire sites in relation to the road network in the territory of the Prigorodny forestry district

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

На рисунке 6 наглядно видно, что большинство пожаров возникают в непосредственной близости от автомобильных дорог (реже – вблизи лесных тропинок). Расстояния от места возгорания до ближайшей дороги определены с точностью 1 м.

На следующем этапе работы изучены взаимосвязи между расстояниями от выдела до объектов антропогенного риска (дорог, точек интереса и населенных пунктов) и количеством возгораний. Динамика количества пожаров в зависимости от расстояния до дороги приведена на рисунке 7.

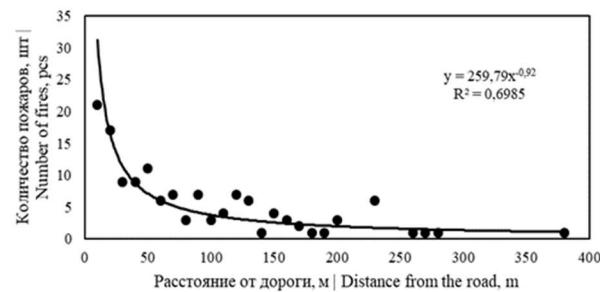


Рисунок 7 – Зависимость количества пожаров от расстояния до дороги

Figure 7 – The dependence of the number of fires on the distance to the road

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Индекс детерминации полученной нелинейной модели составляет $0,70$ ($R^2 = 0,6985$), а теоретическое корреляционное отношение – $0,84$. Он практически одинаков с эмпирическим корреляционным отношением $\eta = 0,85$, что соответствует высокой связи по шкале Чеддока. Полученный результат подтверждает выдвинутую гипотезу о высокой степени воздействия путей перемещения человека по лесной территории на частоту возникновения лесных пожаров.

Вероятность возгораний в лесных насаждениях на различной удаленности от дорог можно проследить по накоплению частоты пожаров (рисунок 8).

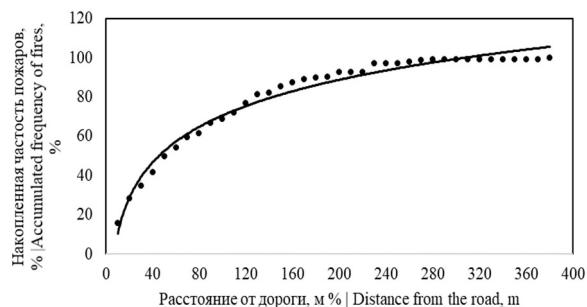


Рисунок 8 – Частота (%) возникновения пожаров на различном расстоянии от дороги

Figure 8 – Frequency (%) of fires at different distances from the road

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Анализируя полученные результаты, отраженные на рисунке 8, можно сделать вывод, что более половины всех пожаров на исследуемых объектах случаются на расстоянии до 50 м от дорог, позволяющих свободно перемещаться населению. При удаленности до 120 м наблюдается 77 % возникших возгораний, а расстояние до дороги 230 м не превышается в 97 % зарегистрированных случаев. Учитывая допустимую ошибку в 5%, можно сказать, что для рассматриваемых объектов, с учётом существующей квартальной сети защитных лесов, на расстоянии от дорог более 230 м пожары практически не возникают.

Следует отметить, что выявленная зависимость может быть использована для территорий с расположением защитных лесов в Центральной лесостепи.

Рассматривая людей, как основную причину возникновения пожаров в лесах, в совокупности с развитостью ДТС, служащей путями их передвижения, источником повышения природной пожарной опасности являются и населенные пункты, как места проживания и, соответственно, сосредоточения населения. Большое значение имеет численность населения – чем крупнее населенный пункт, тем больше вероятность негативного воздействия его населения на риск возникновения пожара в прилегающих лесах.

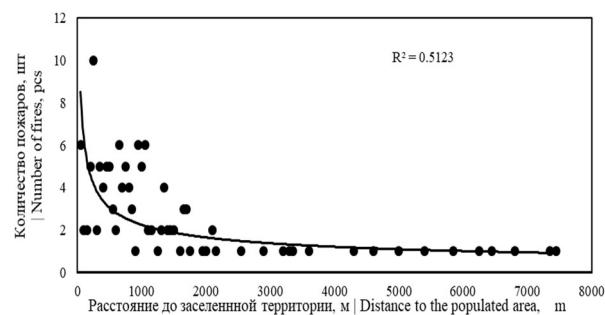


Рисунок 9 – Зависимость количества пожаров от расстояния до селитебной территории населенных пунктов

Figure 9 – The dependence of the number of fires on the distance to the residential area of settlements

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

По графику (рисунок 9) видно, что показатель точности выравнивания (R^2) в данном случае ниже соответствующего значения, установленного для зависимости частоты возникновения пожаров от расстояния до дорог, и составляет 0,51. Корреляция количества пожаров от расстояния до селитебной территории населенных пунктов имеется, но она также ниже, чем в предыдущем случае. Величина эмпирического корреляционного отношения, характеризующего тесноту нелинейной связи, $\eta = 0,71$, как и величина индекса корреляции $R = 0,716$, что соответствует высокой связи. При максимальной частоте в 10 случаев, которая отмечается на расстоянии 201 -

250 м, частота 1 шт. наблюдается в широком диапазоне классов расстояний (от 900 м до 7450 м).

В результате регрессионного анализа получено уравнение зависимости расстояния от мест обнаружения пожаров до селитебных зон ближайших населенных пунктов и соответствующего количества пожаров по формуле (2):

$$y = 48,629x^{-0.445} \quad (2)$$

где y – количество пожаров, шт.;

x – расстояние от заселенной территории населенного пункта до места возникновения пожара, м.

Рассматривая график накопления частоты лесных пожаров (рисунок 10), можно отметить отсутствие большого количества пожаров в непосредственной близости (на расстоянии удаленности от дорог в 230 м) от населенных пунктов.

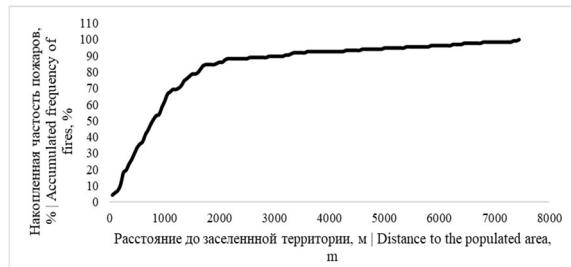


Рисунок 10 – Динамика накопленных частот возникновения пожаров на различном расстоянии от селитебной территории населенных пунктов

Figure 10 – Dynamics of accumulated frequencies of fire occurrence at different distances from residential areas of populated areas

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

При изучении воздействия близости населенных пунктов на количество пожаров на удалении от селитебных зон до 250 м обнаружено 18,2 % всех возгораний. Стабильное увеличение накопленной частоты продолжается до величины 84,7 % на расстоянии 1750 м. Далее темпы ее изменения заметно снижаются вплоть до максимального зафиксированного расстояния в 7450 м. Необходимая точность исследований в 95% установлена на расстоянии 5000 м. На этом удалении от населенных пунктов зафиксировано 94,9% всех пожаров.

На основе проведенного анализа можно сказать, что воздействие населенных пунктов в большей степени проявляется не в непосредственной близости от селитебных территорий, а на большем удалении. При этом 85% возгораний зафиксировано на расстоянии до 1750 м, а остальные случаи встречаются до удаленности 7450 м. Очевидно, что в места пожаров на этих дистанциях человек попадает не напрямую через лесные насаждения, а по существующим дорогам и тропам, как пешком, так и с помощью транспорта.

Водные объекты (реки, озера, пруды), являясь, с одной стороны, точкой притяжения для отдыхающих, а с другой – естественным барьером для распространения пожаров, могут иметь не однозначное воздействие на риск возникновения лесных пожаров. Изучение связи между частотой возникновения пожаров и расстоянием до водных объектов поможет установить роль этого фактора в наборе существующих лесопожарных рисков.

В ходе выполненного регрессионного анализа установлено, что максимальную точность выравнивания рассматриваемых показателей дает экспоненциальное уравнение (рисунок 11). Индекс детерминации $R^2 = 0,15$, а индекс корреляции $R = 0,39$, что соответствует умеренной связи. Если не использовать конкретную функцию, а рассчитать эмпирическое корреляционное отношение (η), то его величина составит 0,51.

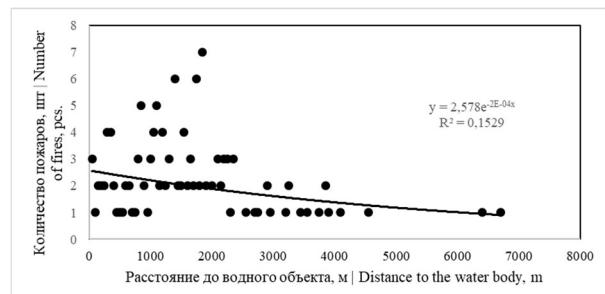


Рисунок 11 – Результаты выравнивания данных зависимости количества пожаров от расстояния до ближайшего водного объекта

Figure 11 – Results of data alignment of the dependence of the number of fires on the distance to the nearest water body according

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Характер накопления частоты возникновения пожаров по мере удаления от водных объектов тоже

114

значительно отличается от рассмотренных выше связей с удаленностью от дорог и населенных пунктов. На удалении от водоемов до 250 м зарегистрировано только 7,3 % случаев пожаров, при их количестве на таком же расстоянии от дорог и селитебных территорий населенных пунктов соответственно 97 % и 18,2 %. А на расстоянии до 100 м от воды зафиксировано всего 2,9 % возгораний, что ниже допустимой величины статистической ошибки. С учетом этого можно сказать, что в непосредственной близости от водоемов пожары возникают крайне редко.

Таким образом в ходе регрессионного анализа не выявлено достаточной тесноты связи между частотой возникновения лесных пожаров и удаленностью мест их возникновения от ближайших водных объектов, а на удалении до 100 м от уреза воды, с учетом допустимой ошибки выводов в 5 %, пожары вообще не случаются. Следовательно, водоемы нельзя рассматривать в качестве прямого источника повышенного риска возникновения лесных пожаров в результате их привлекательности для отдыхающего населения. Кроме того, водоемы являются естественными барьерами для распространения пожаров.

Заключение

- Характерной проблемой материалов лесоустройства, обновляемых преимущественно методом актуализации, является неактуальность данных о дорожно-тропиночной сети. Возникающие стихийные дороги рекреационного назначения, не фиксируемые на картах, формируют дополнительные риски увеличения антропогенной нагрузки и повышения класса пожарной опасности лесов.
- Разработан методический подход для дистанционной повышальной оценки антропогенных факторов лесопожарного риска с целью корректировки класса природной пожарной опасности. На основе открытых пространственных данных и ГИС-технологий создан алгоритм детального картирования, интегрирующий различные антропогенные показатели. Подход позволяет количественно оценить риск возникновения пожаров и уточнить класс пожарной опасности лесов.

- для лесных участков с учетом антропогенной нагрузки, минимизируя финансовые затраты.
3. В результате исследования на территории Центральной лесостепи были идентифицированы буферные зоны влияния объектов антропогенной инфраструктуры (дорожно-тропиночной сети, рекреационных объектов и населенных пунктов) на лесные насаждения.
 4. Проведенный анализ пространственного распределения очагов возгораний выявил их выраженную приуроченность к элементам инфраструктуры. Установлено, что 50% всех пожаров возникают в 50-метровой зоне от дорог общего пользования. Данная зависимость носит кумулятивный характер: в пределах 120 м от дорог локализовано 77% возгораний, а 97% всех пожаров происходят не далее 230 м от транспортных путей.
 5. Анализ влияния населенных пунктов показал, что 18,2% пожаров возникают в непосредственной близости (до 250 м) от селитебных территорий. Накопленная частота возникновения пожаров демонстрирует устойчивый рост с увеличением расстояния, достигая 84,7% в радиусе 1750 м от границ населенных пунктов.
 6. Установлена статистически значимая сильная положительная корреляция между плотностью очагов возгораний и близость к объектам транспортной инфраструктуры ($r = 0,86$). Также выявлена умеренная зависимость частоты возникновения лесных пожаров от расстояния до селитебных зон и рекреационных объектов, что подтверждается коэффициентом детерминации $R^2 = 0,51$.
 7. Повышение детализации оценки антропогенных рисков является ключевым фактором для оперативного выделения зон с дифференцированным классом пожарной опасности и последующего принятия обоснованных управлеченческих решений. Практическое применение предлагаемого подхода позволит:
 - оптимизировать маршруты патрулирования с учетом конфигурации дорожно-тропиночной сети и локализации рекреационных объектов.
 - идентифицировать критические участки для установки предупреждающих аншлагов, обустройства противопожарных барьеров (канав) и организации средств ограничения доступа (шлагбаумов).

Список литературы

1. Labenski P., Ewald M., Schmidlein S., Ewald Fassnacht F. Classifying surface fuel types based on forest stand photographs and satellite time series using deep learning // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 29 April – 2022. – Р.102799.- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102799>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=57484910>.
2. Плотникова А.С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И.С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т.4. – №2. – С. 1–13. - DOI: 10.31509/2658-607x-202142-2 -URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46456855>.
3. Жаринов С.Н., Голубева Е.И., Зимин М.В. Концептуальные основы организации охраны лесов от пожаров // Вопросы лесной науки. – 2020. – № 3. – С. 1-8. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44304728> - DOI: 10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-8.
4. Иванов С.А. Системный анализ факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров в Северо-Западном федеральном округе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – № 4. – С. 26–34. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49602614>. - DOI: 10.24143/2073-5529-2022-4-26-34.
5. Славский В.А., Матвеев С.М., Мироненко А.В., Литовченко Д.А. Совершенствование методологии дистанционного мониторинга пожарной опасности в лесах // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2024. – № 3. – С. 113–131. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80257732>. - DOI: 10.21178/2079-6080.2024.3.113.

6. Котельников Р.В., Чугаев А.И. Сравнительная оценка качества индексов пожарной опасности в лесах // Сибирский лесной журнал. – 2023. – № 6. – С. 32-38. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59061148>. - DOI: 10.15372/SJFS20230604.
7. Белов А.Н. Лесные пожары как угроза пожарной безопасности: современное состояние и предупреждение // Вестник экономики, управления и права. – 2023. – Т. 16. – № 1. – С. 62-70. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54031823>.
8. ТАСС. Лесные пожары в России. Статистика и антирекорды. – URL: <https://tass.ru/info/6712527> (дата обращения 02.09.2024).
9. Balch J. K. et al. From the Cover: Human-started wildfires expand the fire niche across the United States // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2017. – Т. 114. – №. 11. – С. 29-46. – DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114>.
10. Turco M. et al. Anthropogenic climate change impacts exacerbate summer forest fires in California // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2023. – Т. 120. – №. 25. – С. e2213815120. – DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2213815120>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61915205>.
11. Reis M., Mauricio P.L., Yanai A., Pacheco Ramos C.J. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics // Journal of Environmental Management – 2021. – Vol. 288(1). P.112310. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=72975111>.
12. Dutta R., Das A., Aryal J. Big data integration shows Australian bush-fire frequency is increasing significantly // R. Soc. Open Sci – 2020. – Vol. 3. P. 150241 – DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.150241>. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27073890>.
13. Штерензон В. А., Худякова С. А., Степанов О. И., Гренадеров А. Н. Факторы пожарной опасности регионов Российской Федерации // Техносферная безопасность. – 2020. – № 4(29). – С. 89-101. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44511453>.
14. Slavskiy V., Litovchenko D. Matveev S. Sheshnitsan S. Larionov M.V Assessment of Biological and Environmental Factors Influence on Fire Hazard in Pine Forests: A Case Study in Central Forest-Steppe of the East European Plain // Land – 2023. – Vol. 12. P. 103. - DOI: 10.3390/land12010103.- URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50389254>.
15. Slavskiy V., Matveev S., Sheshnitsan S., Litovchenko D., Larionov M.V., Shokurov A., Litovchenko P., Durmanov N. Assessment of Phytomass and Carbon Stock in the Ecosystems of the Central ForestSteppe of the East European Plain: Integrated Approach of Terrestrial Environmental Monitoring and Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles // Life. – 2024. – Vol.14. P. 632. - DOI: 10.3390/life14050632. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67646001>
16. Славский В.А., Мироненко А.В., Матвеев С.М., Литовченко Д.А. Таксационно-декодировочные показатели насаждений как основа разработки моделей машинного обучения для дистанционного мониторинга лесов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2022. – № 4. – С. 99-114. - DOI: 10.21178/2079-6080.2022.4.99. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50176282>
17. Shin J., Temesgen H., Strunk J.L., Hilker T. Comparing Modeling Methods for Predicting Forest Attributes Using LiDAR Metrics and Ground Measurements // Can. J. Remote Sens – 2016. – Vol. 42. P. 739–765. – DOI: <https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1252908>.
18. Елисеев А.В., Васильева А.В. Природные пожары: данные наблюдений и моделирования // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2020. – Т.3. – С. 27-35. - DOI: 10.21513/2410-8758-2020-3-73-119. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44336347>.
19. Гизатуллин А.Т. Геоинформационное моделирование пожарной опасности природных территорий России / дисс. на сои. кан. геог. н. – Москва, 2023. – 182 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59955827>.

20. Abedi Gheshlaghi H., Feizizadeh B., Blaschke T. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. J // Environ. Plan. Manag – 2020. – Vol. 63. P. 481–499. – DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726>.

21. Мироненко А.В., Матвеев С.М., Славский В.А., Водолажский А.Н., Литовченко Д.А. Алгоритм актуализации лесоустроительной информации и его апробация в Воронежской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства № 4. – 2022. – С. 85-98. DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.85. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50176281>.

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681551 Российская Федерация. Программа для систематизации наборов экспериментальных данных лесоводственно-таксационных признаков лесных насаждений: № 2022681518 : заявл. 15.11.2022 : опубл. 15.11.2022 / А. В. Мироненко, С. М. Матвеев, В. А. Славский; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова". – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49780865>.

References

1. Labenski P., Ewald M., Schmidlein S., Ewald Fassnacht F. *Classifying surface fuel types based on forest stand photographs and satellite time series using deep learning* // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 29 April – 2022. R.102799. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102799>. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=57484910>.
2. Plotnikova A.S. *Shkala prirodnoy pozharnoy opasnosti lesnykh ekosistem* [Scale of natural fire danger of forest ecosystems I.S. Melekhova] I.S. Melekhova. Obzor sovremennoy rossiyskikh metodicheskikh podkhodov Voprosy lesnoy nauki = Review of modern Russian methodological approaches. Questions of forest science. 2021;(4): 1–13. (In Russ.). DOI: 10.31509/2658-607x-202142-2. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46456855>.
3. Zharinov S.N., Golubeva E.I., Zimin M.V. *Konseptual'nye osnovy organizatsii okhrany lesov ot pozharov* [Conceptual foundations of forest fire protection organization]. Voprosy lesnoy nauki. Questions of forest science. 2020; (3): 1-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44304728>. DOI: 10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-8.
4. Ivanov S.A. *Sistemnyy analiz faktorov, vliyayushchikh na vozniknovenie lesnykh pozharov v Severo-Zapadnom federal'nom okruge* [A systematic analysis of the factors influencing the occurrence of forest fires in the North-Western Federal District]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering and Computer Science. 2022; 4: 26–34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49602614>. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-4-26-34.
5. Slavskiy V.A., Matveev S.M., Mironenko A.V., Litovchenko D.A. *Sovershenstvovanie metodologii distantsionnogo monitoringa pozharnoy opasnosti v lesakh* [Improving the methodology of remote monitoring of fire danger in forests]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva = Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. (In Russ.). 2024;3: 113–131. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80257732>. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.3.113.
6. Kotel'nikov R.V., Chugaev A.I. *Sravnitel'naya otsenka kachestva indeksov pozharnoy opasnosti v lesakh*. [Comparative assessment of the quality of fire hazard indices in forests] Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Forest Magazine. 2023;6: 32-38. (In Russ.). – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59061148>. DOI: 10.15372/SJFS20230604.
7. Belov A.N. *Lesnye pozhary kak ugroza pozharnoy bezopasnosti: sovremennoe sostoyanie i preduprezhdenie*. [Forest fires as a threat to fire safety: current status and prevention]. Vestnik ekonomiki, upravleniya i prava = Bulletin of Economics, Management and Law. 2023;(16): 62-70. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54031823>.
8. TASS. *Lesnye pozhary v Rossii. Statistika i antirekordy*. [Forest fires in Russia. Statistics and anti-records]. (In Russ.). URL: <https://tass.ru/info/6712527> (data obrashcheniya 12.03.2025).

9. Balch J. K. et al. From the Cover: *Human-started wildfires expand the fire niche across the United States*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2017;(114): 11: 29-46. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114>
10. Turco M. et al. *Anthropogenic climate change impacts exacerbate summer forest fires in California*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2023;(120): 25. e2213815120. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2213815120>. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61915205>.
11. Reis M., Mauricio P.L., Yanai A., Pacheco Ramos C.J. *Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics*. Journal of Environmental Management. 2021; 288(1): 112310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=72975111>.
12. Dutta R., Das A., Aryal J. *Big data integration shows Australian bush-fire frequency is increasing significantly*. R. Soc. Open Sci. 2020;3: 150241. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.150241>. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27073890>.
13. Shterenzon V. A., Khudyakova S. A., Stepanov O. I., Grenaderov A. N. *Faktory pozharnoy opasnosti regionov Rossiyiskoy Federatsii*. [Fire hazard factors in the regions of the Russian Federation]. Tekhnosfernaya bezopasnost = Technosphere safety. 2020;4(29): 89-101. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44511453>.
14. Slavskiy V., Litovchenko D. Matveev S. Sheshnitsan S. Larionov M.V *Assessment of Biological and Environmental Factors Influence on Fire Hazard in Pine Forests: A Case Study in Central Forest-Steppe of the East European Plain*. Land. 2023;12: 103. DOI: 10.3390/land12010103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50389254>.
15. Slavskiy V., Matveev S., Sheshnitsan S., Litovchenko D., Larionov M.V., Shokurov A., Litovchenko P., Durmanov N. *Assessment of Phytomass and Carbon Stock in the Ecosystems of the Central ForestSteppe of the East European Plain: Integrated Approach of Terrestrial Environmental Monitoring and Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles*. Life. 2024;14: 632. DOI: 10.3390/life14050632. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67646001>.
16. Slavskiy V.A., Mironenko A.V., Matveev S.M., Litovchenko D.A. *Taksatsionno-deshifrovochnye pokazateli nasazhdenniy kak osnova razrabotki modeley mashinnogo obucheniya dlya distantsionnogo monitoringa lesov*. [Taxation and decoding indicators of plantings as a basis for the development of machine learning models for remote monitoring of forests]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva = Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. 2022;4: 99-114. (In Russ.). DOI: 10.21178/2079-6080.2022.4.99. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50176282>.
17. Shin J., Temesgen H., Strunk J.L., Hilker T. *Comparing Modeling Methods for Predicting Forest Attributes Using LiDAR Metrics and Ground Measurements*. Can. J. Remote Sens. 2016; 42: 739–765. DOI: <https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1252908>.
18. Eliseev A.V., Vasil'eva A.V. *Prirodnye pozhary: dannye nablyudeniy i modelirovaniya*. [Natural fires: observational and modeling data]. Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and applied climatology. 2020;(3): 27-35. (In Russ.). DOI: 10.21513/2410-8758-2020-3-73-119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44336347>.
19. Gizatullin A.T. *Geoinformatsionnoe modelirovanie pozharnoy opasnosti prirodnnykh territoriy Rossii*. [Geoinformation modeling of fire danger in natural areas of Russia]. diss. na soi. kan. geog. n = diss. on soi. kan. geog. n. – Moskva. 2023: 182. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59955827>.
20. Abedi Gheshlaghi H., Feizizadeh B., Blaschke T. *GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic*. J. Environ. Plan. Manag. 2020;63: 481–499. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726>.
21. Mironenko A.V., Matveev S.M., Slavskiy V.A., Vodolazhskiy A.N., Litovchenko D.A. *Algoritm aktualizatsii lesoustroitel'noy informatsii i ego aprobatziya v Voronezhskoy oblasti*. [The algorithm for updating forest management information and its testing in the Voronezh region]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva № 4 = Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry №4. 2022: 85-98. (In Russ.). DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.85. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50176281>.

22. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2022681551 Rossiyskaya Federatsiya. *Programma dlya sistematizatsii naborov eksperimental'nykh dannykh lesovedstvenno-taksatsionnykh priznakov lesnykh nasazhdennyi: № 2022681518.* [A program for systematization of experimental data sets of forestry and taxation characteristics of forest plantations]. zayavl. 15.11.2022 : opubl. 15.11.2022. A. V. Mironenko, S. M. Matveev, V. A. Slavskiy; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet imeni G.F. Morozova" = applicant Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49780865>.

Сведения об авторах

✉ *Славский Василий Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>; e-mail: slavskiyva@yandex.ru;

Водолажский Алексей Николаевич – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0847-3462>, e-mail: vod.a@list.ru;

Мироненко Алексей Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087; e-mail: alexeymironenko66@gmail.com;

✉ *Майер Екатерина Ивановна* – аспирант 2 года обучения, преподаватель кафедра лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации, ул. Тимирязева, 8, Воронеж, 394087, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5984-4430>, e-mail: mayer99ks@yandex.ru.

Ларионов Максим Викторович – доктор биологических наук, профессор кафедры биоэкологии и биологической безопасности, Институт ветеринарной медицины, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (Университет «РОСБИОТЕХ»), Волоколамское шоссе, д.1, Москва, Российская Федерация, 125080; e-mail: m.larionow2014@yandex.ru

Information about the authors

✉ *Vasiliy A. Slavskiy* – DSc (Agricultural Sciences), Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazev str., Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>, e-mail: slavskiyva@yandex.ru;

Alexei N. Vodolazhskiy – Cand. Sci. (Agric.), Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0847-3462>, e-mail: vod.a@list.ru;

Aleksey V. Mironenko – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: alexeymironenko66@gmail.com;

✉ *Ekaterina I. Mayer* – 2-year postgraduate student, lecturer at the Department of Forestry, Metrology, Standardization and Certification, 8 Timiryazeva St., Voronezh, 394087, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5984-4430>, e-mail: mayer99ks@yandex.

Естественные науки и лес

Maxim V. Larionov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Bioecology and Biological Safety, Institute of Veterinary Medicine, Veterinary and Sanitary Expertise and Agricultural Safety, Russian Biotechnological University (ROSBIOTEC'H University), Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, Russian Federation, 125080; e-mail: m.larionow2014@yandex.ru

 – Для контактов /Corresponding author