ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Статья поступила в редакцию: 27.09.2026
Статья принята к публикации: 14.10.2026
Статья опубликована: 28.10.2026

УДК 614.841.2

DOI: 10.32743/UniTech.2026.151.10.23565

Исследование эффективности современных технологий тушения лесных пожаров и совершенствование способов их применения

Литяга Артём Валерьевич
д.ф.т.н. (PhD), доц., доц.
кафедры Центра повышения квалификации сотрудников Министерства занятости и сокращения бедности
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Юлдашев Жавлонбек Раджапович
ст. преп
Академии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: tyoma8812@mail.ru

Research on the effectiveness of modern forest fire suppression technologies and the Improvement of their application methods

Lityaga Artyom Valeryevich
PhD, Associate Professor
Department of the Center for Professional Development of Personnel
Ministry of Employment and Poverty Reduction
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Yuldashev Zhavlonbek Radzhapovich
senior Lecturer
Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Библиографическое описание: Литяга А.В., Юлдашев Ж.Р. Исследование эффективности современных технологий тушения лесных пожаров и совершенствование способов их применения // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 10(151). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23565

Аннотация

Целью настоящего исследования является оценка эффективности современных организационно-технических и тактических технологий тушения лесных пожаров, а также разработка научно обоснованных подходов к совершенствованию способов их применения в условиях горно-лесной местности. В качестве объекта исследования рассмотрены горно-лесные территории на примере Бостанлыкского лесного хозяйства, характеризующиеся сложным рельефом, изменчивыми метеорологическими условиями, неоднородностью растительного покрова и ограниченными возможностями подъезда пожарно-спасательной техники. При оценке условий возникновения и распространения пожара учитывались угол уклона местности, скорость и направление ветра, температура воздуха, относительная влажность, плотность растительного покрова, количество сухой горючей биомассы, удаленность водоисточников и автомобильных дорог, интенсивность антропогенной нагрузки, а также возможности безопасной эвакуации.

Для комплексной оценки пожарной обстановки предложено использование интегрального показателя риска, формируемого на основе совокупности природных, метеорологических, инфраструктурных и тактических факторов. В рамках исследования применены методы балльной оценки, нормирования отдельных параметров, геоинформационного анализа и зонирования территории по уровням пожарной опасности. В зависимости от совокупного значения показателей территория подразделяется на зеленую, желтую и красную зоны, для каждой из которых устанавливаются соответствующие способы мониторинга, размещения сил и средств, организации эвакуации и ведения пожаротушения.

Установлено, что применение комплексного риск-ориентированного подхода позволяет учитывать не только вероятность интенсивного распространения лесного пожара, но и фактическую доступность очага для пожарно-спасательных подразделений, наличие водоисточников, возможность использования беспилотных летательных аппаратов, авиационной техники и безопасных рубежей локализации пожара. Предлагаемый подход может быть использован при разработке цифровых карт пожарной опасности, предварительном размещении сил и средств, выборе рациональной тактики тушения и повышении безопасности личного состава при ликвидации лесных пожаров в горной местности.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of modern organizational, technical, and tactical technologies used for forest fire suppression and to develop scientifically based approaches for improving their application in mountainous forest areas. Mountain forest territories, with the Bostanlyk forestry area considered as a case study, were examined as environments characterized by complex terrain, variable meteorological conditions, heterogeneous vegetation cover, and limited accessibility for fire and rescue vehicles. The assessment of forest fire occurrence and spread took into account terrain slope, wind speed and direction, air temperature, relative humidity, vegetation density, the amount of dry combustible biomass, distance to water sources and roads, anthropogenic activity, and evacuation conditions.

An integrated risk indicator based on a combination of natural, meteorological, infrastructural, and tactical factors is proposed for the comprehensive assessment of fire conditions. The study applies scoring, normalization of individual parameters, geographic information analysis, and territorial zoning according to fire risk levels. Depending on the cumulative value of the indicators, the territory is classified into green, yellow, and red zones, for which appropriate monitoring procedures, deployment of forces and equipment, evacuation measures, and firefighting tactics are determined.

Ключевые слова: лесной пожар, тушение лесных пожаров, горно-лесная местность, пожарная опасность, риск-индикатор, скорость ветра, уклон местности, горючие материалы, GIS, беспилотный летательный аппарат, пожарно-спасательные подразделения, зонирование территории.

Keywords: forest fire, forest firefighting, mountainous forest area, fire hazard, risk indicator, wind speed, terrain slope, combustible materials, GIS, unmanned aerial vehicle, fire and rescue units, territorial zoning.

Введение

Лесные экосистемы играют важную роль в регулировании климата, сохранении водных ресурсов, защите почв от эрозии и поддержании биологического разнообразия. По данным Глобальной оценки лесных ресурсов ФАО, площадь лесов мира составляет около 4,06 млрд га, однако ежегодное воздействие природных и антропогенных факторов продолжает создавать угрозу их устойчивости [3, с. 6–7]. Одним из наиболее опасных факторов являются лесные пожары, способные за короткое время охватывать значительные площади, нарушать функционирование экосистем и создавать угрозу населению и объектам инфраструктуры.

Тушение пожаров в горно-лесной местности осложняется пересеченным рельефом, ограниченной транспортной доступностью, быстрым изменением направления ветра, дефицитом водоисточников и трудностями эвакуации [3, с. 9–12]. В таких условиях скорость и направление распространения зоны горения определяются не одним параметром, а сочетанием свойств горючего материала, метеорологической обстановки и уклона местности. В классической модели Ротермела ветер, уклон и характеристики топлива рассматриваются как ключевые параметры прогнозирования распространения природного пожара [11, с. 6, 21–24, 35–39]. Развитие этой методологии представлено в системе стандартных моделей горючих материалов Скотта и Бургана [12, с. 1–6].

Традиционная организация пожаротушения преимущественно основывается на оценке фактической обстановки после обнаружения пожара и прибытия подразделений. Для горно-лесных территорий этого недостаточно: наиболее опасные участки, возможные пути распространения огня, подъездные дороги, водоисточники и маршруты эвакуации целесообразно определять заблаговременно [3, с. 12–22]. Международные рекомендации по управлению природными пожарами также рассматривают оценку опасности, раннее предупреждение, предварительную подготовку, обнаружение, первоначальную атаку и мониторинг как элементы единой системы [9, с. 8–16].

Цель исследования - обосновать возможность совершенствования способов тушения лесных пожаров в горно-лесной местности на основе комплексной оценки индикаторов риска и дифференцированного выбора тактики. Для достижения цели решались задачи систематизации факторов риска, формирования расчетной модели, балльного зонирования территории, оценки характерных участков и разработки рекомендаций по выбору оперативно-тактических действий.

Научно-практическая значимость работы заключается в объединении многофакторной оценки, GIS-зонирования и тактического планирования. Предлагаемый подход не подменяет решение руководителя тушения пожара, а предоставляет ему сопоставимую количественную и пространственную информацию для заблаговременного распределения сил и средств.

Материалы и методы исследования

Объект исследования и исходные данные

Объектом исследования являлись организационно-тактические процессы тушения лесных пожаров в условиях горно-лесной местности. В качестве расчетного объекта рассматривалась территория Бостанлыкского лесного хозяйства с учетом особенностей рельефа, растительного покрова, метеорологических условий, транспортной доступности, расположения водоисточников и возможности проведения эвакуационных мероприятий.

Метеорологические параметры, включая температуру воздуха, относительную влажность, скорость и направление ветра, подлежат оценке на основе данных официальных метеорологических наблюдений Узгидромета за установленный период исследования с указанием используемых метеостанций и временного разрешения измерений. Геоинформационное зонирование территории осуществляется путем формирования тематических слоев рельефа, растительного покрова, дорожной сети, водоисточников и метеорологических факторов с последующим присвоением балльных оценок, пространственным совмещением слоев и классификацией участков по трем уровням пожарной опасности в соответствии с установленными критериями.

Формирование исходной информационной базы осуществлялось поэтапно. На первом этапе систематизировались данные о появлении и метеорологических факторах, характеристиках растительного покрова, наличии сухой горючей биомассы, транспортной доступности, расположении водоисточников и антропогенной атмосферы. На втором исходном этапе параметры приводили к переходному пути посредством качественной или количественной оценки в соответствии с установленными критериями. На третьем этапе каждому фактору присваивалось значение по трёхбалльной шкале: 1 балл — доказанная опасность, 2 балла — средняя опасность, 3 балла — высокая опасность.

Для анализа пространственных параметров, территориальную привязку, рассматривались как разработка тематических слоев геоинформационной системы. К таким слоям относятся рельеф и уклон территории, растительный покров, автомобильные дороги, водоисточники и зоны антропогенной нагрузки. После выставления балльных оценок производится их территориальное измерение, суммирование и классификация участков по уровням опасности. На заключительном этапе результирующая карта наносит объекты,

имеющие непосредственное значение для оперативного реагирования: возможности направления распространения пожара, пути подъезда, водоисточники, точки размещения сил и средств и пути эвакуации.

Обработка метеорологических и оперативных мероприятий проводилась с учётом их работы по ликвидации последствий и тушению лесного пожара. При этом показатели влажности воздуха и влажности горючего материала рассматриваются раздельно. Данное разграничение необходимо для исключения некорректной замены одного показателя другими при расчётах.

В представленной работе статистические данные о ранее зарегистрированных пожарах использовались для общих характеристик пожарной безопасности и предварительных эмпирических проверок предлагаемого уровня. Для полноценной статистической валидации необходимо создать единую базу данных, в которой для каждого пожара будут синхронизированы внешние, метеорологические, природные и оперативные параметры.

В качестве исходной информационной базы использованы материалы методических рекомендаций по оценке индикаторов риска при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами в горно-лесной местности [3, с. 10–22]. В соответствии с рассматриваемой методикой пожарная опасность определяется не одним параметром, а совокупным воздействием природных, метеорологических, антропогенных и оперативно-тактических факторов.

К основным оцениваемым параметрам отнесены температура воздуха, относительная влажность, скорость и направление ветра, угол уклона местности, плотность растительного покрова, количество сухой горючей биомассы, удаленность водоисточников и автомобильных дорог, интенсивность пребывания людей, сведения о ранее зарегистрированных пожарах, а также условия доступа пожарно-спасательных подразделений и проведения эвакуации [3, с. 14–17].

При разработке расчетной модели учитывалось, что поведение лесного пожара в значительной степени зависит от сочетания свойств горючего материала, ветровой нагрузки и рельефа. В классических моделях распространения природных пожаров влияние ветра и уклона также рассматривается в качестве принципиальных параметров прогнозирования скорости распространения кромки пожара [11, с. 21–34].

Математическая модель и критерии оценки

Для комплексной количественной оценки использовался интегральный индикатор риска:

$$X_i = w_1R + w_2S + w_3V + w_4Y + w_5M + w_6K + w_7E, \quad (1)$$

где X_i - общий индикатор риска; R - риск, обусловленный рельефом и уклоном; S - ветровая составляющая; V - опасность горючих материалов; Y - влияние экспозиции склона; M - метеорологическая составляющая; K - сложность доступа сил и средств; E - эвакуационный риск; $w_1 \ldots w_7$ - весовые коэффициенты соответствующих факторов [3, с. 14].

Следует разграничивать структурную интегральную модель и операционную десятифакторную систему. Формула (1) определяет факторы в укрупнённых факторах, отражающие основные группы рисков, тогда как таблица 1 стала для краткого описания балльной оценки наблюдаемых факторов. Поэтому показатель IΣ, рассчитанный для территориального зонирования, не является прямой подстановкой всех десятичных факторов в формуле (1), а представляет собой самостоятельный операционный показатель, основанный на трехбалльной системе.

Такое определение принято для обеспечения практической применимости методики: интегральная модель описывает характер взаимосвязей факторов, а десятифакторный показатель обеспечивает воспроизводящую классификацию территории по доступным исходным данным.

Для весовых коэффициентов выполняется условие:

$$\Sigma_{i=1}^{7} w_i = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 = 1. \quad (2)$$

Формула (1) Расчет как структурная модель интегральной оценки, определяющая взаимосвязь внешних факторов риска. Для получения счетных результатов весовых коэффициентов на следующем этапе исследования предусматривается проведение экспертного ранжирования факторов с последующим нормированием оценок таким образом, чтобы выполнялось условие $\Sigma w_i = 1$. Далее следует выполнить указанную процедуру основного расчёта критерия зонирования показателей по независимой десятифакторной трехбалльной системе, приведенной в таблице 1.

Такое разделение позволяет не смешивать структурную интегральную модель с расчётной балльной системой. Полученные в результате экспертного ранжирования коэффициенты должны использоваться при построении количественной валидации моделей на массиве реальных пожаров.

Влияние рельефа определяется путем нормирования фактического угла уклона:

$$R = (\alpha / \alpha_{max}) \cdot 100, \quad (3)$$

где α - фактический угол уклона территории, град.; α_{max} - максимальное значение уклона, принятое для расчетной модели, град.

При α = 25° и α_{max} = 45°:

$$R = (25 / 45) \cdot 100 = 55{,}6\ \%. \quad (4)$$

Следовательно, при данных условиях относительное влияние рельефа составляет 55,6 % от принятого максимального расчетного значения.

Нормированное влияние скорости ветра определялось по формуле:

$$S = (U / U_{max}) \cdot 100, \quad (5)$$

где U - фактическая скорость ветра, м/с; U_{max} - значение скорости ветра, принятое в качестве предельного расчетного уровня. В методических материалах для данного показателя в качестве примера принято U_{max} = 15 м/с [3, с. 15–16].

Показатель пожарной опасности, связанный с влажностью горючих материалов, определялся следующим образом:

$$N = 100 - W, \quad (6)$$

где N - индикатор опасности по влажности; W - влажность горючего материала, % [3, с. 17]. Чем меньше значение W, тем выше величина N, что отражает повышение готовности сухой растительной массы к воспламенению и развитию горения.

Для оценки совокупного метеорологического воздействия использовалась зависимость:

$$M = [T + (100 - H) + P] / 3, \quad (7)$$

где T - оценочный показатель температуры; H - относительная влажность воздуха, %; P - показатель дефицита атмосферных осадков [3, с. 17].

Показатель доступности очага пожара для пожарно-спасательной техники определялся по расстоянию до автомобильной дороги:

$$K = (L / L_{max}) \cdot 100, \quad (8)$$

где L - расстояние от подъездного пути до очага пожара; L_{max} - максимальное расчетное расстояние.

С учетом сложности рельефа данный показатель корректируется:

$$K_t = K \cdot k_r, \quad (9)$$

где k_r - коэффициент условий доступа: 1,0 - дорога имеется, движение возможно; 1,2 - подъездные пути имеются частично; 1,5 - дорога отсутствует, территория горная.

Например, при удалении очага от дороги на 4 км и принятом максимальном расстоянии 10 км:

$$K = (4 / 10) \cdot 100 = 40. \quad (10)$$

Если при этом дорога отсутствует и участок относится к труднодоступной горной местности:

$$K_t = 40 \cdot 1{,}5 = 60. \quad (11)$$

Таким образом, учет рельефа повышает расчетную сложность доступа с 40 до 60 условных единиц.

Эвакуационная составляющая определялась зависимостью:

$$E = (A + B + C) / 3, \quad (12)$$

где A - показатель присутствия людей; B - ограниченность или протяженность эвакуационного пути; C - недостаточность безопасных мест сбора [3, с. 16].

Риск, связанный с растительным горючим материалом, рассчитывался по формуле:

$$V = (D + Q + Z) / 3, \quad (13)$$

где D - плотность растительного покрова; Q - количество сухой горючей биомассы; Z - степень горючести растительных материалов. Каждый показатель может оцениваться по шкале от 0 до 100 баллов [3, с. 16–17].

Таблица 1. Критерии балльной оценки пожарной опасности горно-лесной территории

№	Оцениваемый фактор	Низкая опасность - 1 балл	Средняя опасность - 2 балла	Высокая опасность - 3 балла
1	Температура воздуха	до 20 °C	21–30 °C	31 °C и выше
2	Относительная влажность	более 60 %	40–60 %	менее 40 %
3	Скорость ветра	0–3 м/с	4–7 м/с	8 м/с и выше
4	Угол уклона	0–10°	11–25°	26° и выше
5	Плотность растительности	низкая	средняя	высокая
6	Количество сухой биомассы	малое	среднее	большое
7	Расстояние до водоисточника	до 500 м	500–1500 м	более 1500 м
8	Расстояние до дороги	до 300 м	300–1000 м	более 1000 м
9	Антропогенная активность	низкая	средняя	высокая
10	Предыдущие пожары	не зарегистрированы	зарегистрированы редко	регистрируются часто

Примечание - составлено по [3, с. 20].

Общий балльный показатель определяется суммированием частных оценок:

$$I\Sigma = \Sigma_{i=1}^{10} b_i, \quad (14)$$

где b_i - балльная оценка отдельного фактора; диапазон возможных значений составляет:

$$10 \le I\Sigma \le 30. \quad (15)$$

Для дополнительного сопоставления различных участков значение может быть нормировано по шкале 0–100 %:

$$I_n = [(I\Sigma - 10) / (30 - 10)] \cdot 100 = [(I\Sigma - 10) / 20] \cdot 100. \quad (16)$$

Таблица 2. Классификация территории по величине общего индикатора риска

Общий балл	Уровень опасности	Зона	Основная характеристика
10–16	низкий	зеленая	профилактический контроль является основным режимом
17–23	средний	желтая	требуется усиление наблюдения и оперативной готовности
24–30	высокий	красная	высока вероятность возникновения и интенсивного развития пожара; необходимы заблаговременные оперативные мероприятия

Примечание - классификация принята по [3, с. 20].

Результаты и обсуждение

Расчетная оценка показывает, что одним из факторов, способных наиболее быстро изменить тактическую обстановку, является скорость ветра. Согласно исходным материалам, в жаркий период на рассматриваемой территории скорость ветра может составлять 10–15 м/с, а относительная влажность воздуха - 50–70 % [3, с. 10].

При U_{max} = 15 м/с по формуле (5) получаем:

$$S_{10} = (10 / 15) \cdot 100 = 66{,}7\ \%; \quad (17)$$

$$S_{12} = (12 / 15) \cdot 100 = 80{,}0\ \%; \quad (18)$$

$$S_{15} = (15 / 15) \cdot 100 = 100\ \%. \quad (19)$$

Таблица 3. Расчетное изменение ветрового индикатора

Скорость ветра, м/с	Расчетный показатель S, %	Балльная оценка по табл. 1	Уровень по фактору ветра
3	20,0	1	низкий
5	33,3	2	средний
7	46,7	2	средний
10	66,7	3	высокий
12	80,0	3	высокий
15	100,0	3	высокий

Полученные расчетные значения свидетельствуют, что при характерной для жаркого периода скорости ветра 10–15 м/с ветровой фактор находится в диапазоне 66,7–100 % от принятого максимального значения. При этом, согласно балльной системе, все значения скорости ветра выше 8 м/с относятся к категории высокой опасности [3, с. 20].

Следовательно, даже при относительно благоприятных значениях отдельных метеорологических параметров высокая скорость ветра способна существенно осложнять ведение пожаротушения. Влияние ветра и уклона на скорость распространения зоны природного пожара соответствует базовым положениям математических моделей поведения лесного огня [11, с. 21–34].

При этом относительную влажность воздуха и влажность непосредственно горючего растительного материала необходимо методически разграничивать. Показатель H в формуле (7) характеризует влажность воздуха, тогда как W в формуле (6) относится к влажности горючего материала. Поэтому значение относительной влажности воздуха 50–70 %, приведенное в исходном материале, не должно автоматически подставляться вместо W без проведения соответствующих измерений.

Для оценки пространственной неоднородности территории дополнительно выполнена расчетная обработка представленного в исходном материале разделения участков по четырем непосредственно сопоставимым параметрам: уклон, плотность растительности, удаленность водоисточника и удаленность дороги [3, с. 18].

Введем частный тактический индекс:

$$I_4 = (b_r + b_v + b_x + b_h) / 4, \quad (20)$$

где b_r - балл уклона; b_v - балл плотности растительности; b_x - балл удаленности водоисточника; b_h - балл удаленности автомобильной дороги.

Сначала определяют исходный средний индекс как I_4,ср = ($b_r + b_v + b_x + b_h$) / 4. Затем его нормированное значение обозначаетть I_4,н:

$$I_4,н = [(I_4,ср - 1) / (3 - 1)] \cdot 100, \quad (21)$$

Такое обозначение ограничения на использование одного и того же символа для исходного среднего значения и его нормированной формы.

Таблица 4. Расчетный частный индекс для характерных участков территории

Участок территории	Уклон	Раститель-ность	Водоис-точник	Дорога	I_4	I_4н, %
Предгорные участки	1	2	1	1	1,25	12,5
Участки интенсивного туристического посещения	2	2	2	1	1,75	37,5
Густые арчовые насаждения	3	3	3	3	3,00	100,0
Сухие травяно-кустарниковые участки	2	2	3	2	2,25	62,5
Леса на крутых склонах	3	3	3	3	3,00	100,0
Низкие участки вблизи водоисточников	1	1	1	1	1,00	0

Примечание - расчет выполнен авторами на основе качественной классификации участков, приведенной в [3, с. 18]. Значение I_4 является частным расчетным индексом и не заменяет полный десятифакторный показатель IΣ.

Расчеты показывают существенное различие потенциальной сложности пожаротушения между отдельными типами территории. Для предгорных участков расчетный частный индекс составляет 12,5 %, тогда как для густых арчовых насаждений и лесов на крутых склонах достигает 100 %. Сухие травяно-кустарниковые участки занимают промежуточное положение - 62,5 %.

Это объясняется тем, что в густых насаждениях на крутом склоне одновременно сочетаются несколько неблагоприятных факторов: высокая плотность горючей растительности, удаленность водоисточника, ограниченная транспортная доступность и влияние уклона на распространение огня. В таких условиях применение исключительно прямой атаки на зону пожара может быть ограничено требованиями безопасности личного состава.

Для практического выбора тактики результаты оценки целесообразно связывать с установленным уровнем риска. Формализованное правило выбора базового варианта действий может быть представлено следующим образом:

$$T(IΣ) = T_1 \text{ при } 10–16;\ T_2 \text{ при } 17–23;\ T_3 \text{ при } 24–30, \quad (22)$$

где T_1 - тактика для зеленой зоны; T_2 - тактика для желтой зоны; T_3 - тактика для красной зоны.

Таблица 5. Рекомендуемые способы действий в зависимости от расчетной зоны. Примечание - систематизировано на основе [3, с. 13, 18–22]

Показатель	Зеленая зона	Желтая зона	Красная зона
Режим наблюдения	плановый мониторинг	усиленный мониторинг	постоянный оперативный контроль
Размещение сил	штатное	резервные силы вблизи опасного участка	предварительное сосредоточение сил и средств
Основная тактика	непосредственное воздействие на очаг, локализация малых участков	ограничение фронта и флангов, устройство защитных полос	комбинированная и дистанционная тактика с безопасных рубежей
Водообеспечение	штатные источники	предварительная проверка и подготовка источников	создание резервов и организация подвоза воды
Минерализованные полосы	профилактически	создаются на угрожаемых направлениях	формируются заблаговременно на расчетных рубежах
БПЛА/GIS	периодический мониторинг	регулярная разведка обстановки	постоянная разведка и уточнение направления распространения
Авиация	как правило, не требуется	по обстановке	целесообразна при труднодоступности наземных сил
Эвакуация	маршруты определены	готовность к выводу людей	реализация заранее подготовленного плана эвакуации

Исходная методика предусматривает последовательный переход от сбора исходной информации к ее геоинформационной обработке. Сначала формируются данные о температуре, ветре, влажности, уклоне, растительности, дорогах и водоисточниках; затем каждый параметр вводится в GIS как отдельный тематический слой; факторы оцениваются по балльной шкале; значения объединяются в общий показатель; территория разделяется на зеленую, желтую и красную зоны; после чего на карту наносятся точки пожаротушения, водоисточники и эвакуационные маршруты [3, с. 17].

Таблица 6. Алгоритм формирования карты оперативного пожарного риска

Этап	Выполняемая операция	Практический результат
1	Сбор природных, метеорологических и антропогенных данных	формирование исходной информационной базы
2	Внесение факторов в GIS	создание тематических информационных слоев
3	Балльная оценка факторов	получение сопоставимых значений риска
4	Суммирование оценок	определение IΣ
5	Зонирование	выделение зеленой, желтой и красной зон
6	Нанесение сил, дорог, водоисточников и путей эвакуации	получение оперативной карты для принятия решений

Применение GIS в данном случае имеет принципиальное значение, поскольку пространственное положение опасного участка определяет не только вероятность распространения огня, но и фактическую возможность ввода пожарно-спасательных подразделений. В международных подходах к управлению природными пожарами также

выделяются оценка пожарной опасности, раннее предупреждение, предварительная подготовка, обнаружение, диспетчеризация, первоначальная атака, управление крупным пожаром и мониторинг как взаимосвязанные элементы единой системы управления [1].

Особое значение это имеет для участков, куда невозможно обеспечить безопасное приближение пожарных автомобилей. В исходных материалах для таких условий предусмотрено использование авиационных средств и беспилотного мониторинга [3, с. 13, 18–22]. В этом случае беспилотные летательные аппараты могут использоваться прежде всего для уточнения границ пожара, определения направления движения кромки пожара, выявления опасных участков и контроля ситуации без непосредственного нахождения разведывательной группы в зоне повышенного риска.

Сопоставление расчётного индикатора риска с фактическими данными о лесных пожарах

Для эмпирической проверки практической применимости предложенного дополнительно дополнительно проанализированы фактические данные о лесных пожарах, зарегистрированных на территории Республики Узбекистан. Согласно представленным статистическим материалам, за рассматриваемый период зарегистрированы случаи лесных пожаров и пожаров, повлекшие за собой значительные разрушения растительности на территориях. Анализ распределения пожаров по месяцам показывает выраженную сезонную интенсивность: наибольшее количество зарегистрированных случаев произошло в годовом периоде, причем наибольшее значение в представленной выборке отмечено в августе.

Отдельный интерес к проверкам, ориентированным на риск, проявляется в крупных пожарах, для ликвидации которых требовалось привлечение значительных сил и средств. Так, при крупном пожаре в Зоминском районе авиационной Джизакской области огнем было охвачено около 80 га сухой травянистой и древесной растительности, а к ликвидации пожара привлекались пожарно-спасательные подразделения, личный состав других ведомственных и служебных средств. В другом случае, произошедшем в 2023 году на территории службы лесоохотничьего хозяйства «Далварзин» Ташкентской области, произошел пожар площадью 455 га, из которых 150 га прибыли на лесные насаждения. Указанные особенности характеризуются сочетанием площади пожара, сложностью его местоположения и необходимостью включения дополнительных сил и средств.

Сопоставление приведённых реальных причин с предложенной системой показывает, что наиболее масштабные пожары соответствуют условиям, когда экономические факторы риска получают высокие балльные значения: отсюда следует, что площадь горючей растительности, удаленность от доступных способов подъезда, необходимость организации водоснабжения, сложность рельефа и потребность в применении дополнительных средств разведки и тушения. Таким образом, фактические данные подтверждают содержательную связь между экономическими сочетаниями факторов, независимой моделью и повышением сложности оперативного реагирования.

При этом прямое статистическое рассмотрение числа значений $I\Sigma$ с вероятностью возникновения пожара в данной работе не происходит, поскольку возникает статистический материал, не содержащий для каждого зарегистрированного пожара совокупных исходных результатов по всем десяти факторам моделей в единой временной и пространственной

привязке. Таким образом, завершенное рассмотрение результатов в качестве предварительной эмпирической апробации модели, подтверждающей ее практическую направленность, но не заменяющей полноценную статистическую валидацию.

Для составления количественной валидации модели создают единую основу фактических пожаров с указанием координаты, времени возникновения, метеорологических условий, характеристик горючей нагрузки, уклона территории, расстояния до дорог и водоисточников, антропогенной нагрузки и последствий тушения. На основании такой базы для каждого случая может быть рассчитан IΣ и проведена статистическая оценка связи между его значениями и фактическими последствиями пожара.

Сравнительная оценка результатов

Предлагаемый риск-ориентированный подход отличается от традиционного варианта организации действий тем, что пожарная обстановка оценивается не только после прибытия подразделений к месту происшествия, но и заблаговременно - на основе совокупности пространственных и метеорологических показателей.

Таблица 7. Сравнение традиционного и риск-ориентированного подходов к организации тушения лесных пожаров

Критерий	Традиционный подход	Предлагаемый риск-ориентированный подход
Основа решения	фактическая обстановка после обнаружения пожара	предварительная и текущая многофакторная оценка
Рельеф	учитывается непосредственно при ведении работ	оценивается заранее и включается в расчет
Ветер	учитывается по текущей обстановке	включается в количественный индикатор
Растительная горючая нагрузка	преимущественно визуальная оценка	отдельный расчетный фактор
Доступ техники	оценивается при следовании и разведке	включается в предварительную карту риска
Водоисточники	поиск по фактической необходимости	наносятся на GIS-карту заранее
Расстановка сил	после уточнения обстановки	может планироваться по зонам риска
БПЛА	дополнительное средство	элемент постоянной разведки наиболее опасных зон
Эвакуация	организуется по текущей угрозе	маршруты определяются на этапе планирования
Тактика	определяется руководителем тушения по обстановке	решение дополнительно поддерживается расчетным индексом

Преимущество предлагаемой модели заключается не в замене профессионального решения руководителя тушения пожара математическим расчетом, а в предоставлении ему дополнительной количественной и пространственной информации.

Наиболее выраженное значение такой подход имеет при сочетании нескольких неблагоприятных факторов. Например, участок с большим углом уклона, плотной сухой растительностью, ветром более 8 м/с, значительным удалением от дороги и водоисточника будет одновременно получать повышенные оценки по нескольким критериям. В результате переход такого участка в красную зону происходит не на основании субъективной оценки одного признака, а по совокупности показателей.

Одновременно необходимо учитывать ограничения разработанного подхода. Исходный материал содержит методику оценки и систему критериев, однако не содержит достаточной серии независимых натурных наблюдений, позволяющей статистически определить оптимальные значения весовых коэффициентов w_i, доверительные интервалы и прогностическую точность модели. Поэтому значения индикатора на данном этапе следует рассматривать прежде всего как инструмент оперативной классификации и поддержки принятия решений, а не как статистически верифицированную вероятность возникновения пожара.

Для дальнейшей валидации модели целесообразно сопоставлять рассчитанный уровень IΣ с фактическими данными о произошедших пожарах, площадью распространения огня, временем локализации, количеством привлекаемых сил и средств и продолжительностью ликвидации. При накоплении достаточной выборки значения весовых коэффициентов в формуле (1) могут уточняться статистическими методами.

Границы применимости и ограничения разработанного протокола

Разработанный подход предназначен для предварительной оценки уровня пожарной опасности и поддержки принятия оперативно-тактических решений в горно-лесных условиях. Основной областью его применения является зонирование территории преимущественного действия в целях восстановления природных, метеорологических, инфраструктурных и оперативно-тактических факторов.

Полученные значения IΣ не следует интерпретировать как статистическую угрозу возникновения лесного пожара. Индикатор характеризует относительный уровень уровня фактора, обеспечивающий влияющие на отношения и распространение пожара, а также на класс доступа пожарно-спасательных условий. Поэтому использование показателя должно осуществляться совместно с текущей оперативной информацией и теоретическим подходом к тушению пожара.

Применение модели требует регулярного обновления исходных данных, прежде всего, выявления метеорологической теории, состояния растительного покрова, доступности дорог и водоисточников, а также антропогенной атмосферы. При улучшении исходных условий результаты зонирования должны пересчитываться.

Ограничением настоящего исследования является отсутствие достаточного массива независимых наблюдений, анализа полного набора факторов для каждого зарегистрированного пожара. По этой причине на данной стадии модель используется как расчётно-аналитический инструмент предварительной классификации территории. Определение статистически обоснованных весовых коэффициентов, оценка прогностической точности и построение доверительных интервалов требуют расширения эмпирической базы и проведения отдельных этапов валидации.

Выводы

Проведено исследование возможности совершенствования способов тушения лесных пожаров на основе комплексной оценки природных, метеорологических, инфраструктурных и оперативно-тактических факторов. В качестве расчетной основы использована система

индикаторов пожарного риска горно-лесной территории, включающая рельеф, ветер, свойства растительного горючего материала, метеорологические условия, транспортную доступность и эвакуационную составляющую [3, с. 14–17].

Для практической оценки применена десятифакторная трехбалльная система. При суммарном результате 10–16 баллов территория относится к зеленой зоне, 17–23 балла - к желтой, 24–30 баллов - к красной зоне [3, с. 20]. Такое разделение позволяет непосредственно связать величину расчетного риска с режимом мониторинга, порядком размещения сил и средств и выбором тактического способа пожаротушения.

Расчет влияния ветра показал, что при характерной для жаркого периода скорости 10–15 м/с нормированный ветровой показатель составляет 66,7–100 % от принятого расчетного максимума. В соответствии с трехбалльной классификацией весь данный диапазон относится к высокому уровню опасности по фактору ветра.

На основе классификации отдельных территориальных участков рассчитан дополнительный частный индекс I_4. Для предгорных участков его нормированное значение составило 12,5 %, для участков интенсивного туристического посещения - 37,5 %, сухих травяно-кустарниковых территорий - 62,5 %, а для густых арчовых насаждений и лесов на крутых склонах - 100 %. Полученные значения демонстрируют существенное различие тактических условий пожаротушения в зависимости от сочетания рельефа, растительности, водообеспечения и транспортной доступности.

Предложенная система позволяет перейти от оценки отдельных факторов к комплексному выбору тактики. Для зеленой зоны основным является профилактический контроль и непосредственное тушение малых очагов; для желтой - усиленная разведка, ограничение распространения пожара и готовность резервных подразделений; для красной - предварительное сосредоточение сил, использование безопасных рубежей, GIS и беспилотных летательных аппаратов, подготовка эвакуационных мероприятий и, при необходимости, применение авиационных средств.

Таким образом, совершенствование технологий тушения лесных пожаров целесообразно осуществлять путем интеграции многофакторной оценки риска, GIS-зонирования, беспилотной разведки и дифференцированного выбора тактики тушения. Практическая реализация данного подхода создает условия для более обоснованного распределения сил и средств и повышения безопасности пожарно-спасательных подразделений.

Вместе с тем, проведенное исследование имеет методологические ограничения, связанные с отсутствием сложного массива результатов, представлен полный набор исходных параметров для каждого фактического пожара. Полученные результаты следует рассматривать как предварительную эмпирическую апробацию риск-ориентированной ситуации. Дальнейшие исследования должны быть направлены на сбор пространственных и временных оценок данных о лесных пожарах, проведение экспертной оценки весовых коэффициентов, количественной статистической валидации IΣ и оценки прогностической точности моделей. Это позволит повысить обоснованность дифференцированного выбора тактики тушения и увеличить область практического применения разработанного режима.

Список литературы

1. Закон Республики Узбекистан от 16 апреля 2018 г. № ЗРУ-475 «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Узбекистан „О лесе“».
2. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 22 ноября 1999 г. № 506 «Об утверждении отдельных нормативных документов по охране лесов республики».
3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 19 июля 2017 г. № 530 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления лесным хозяйством».
4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 17 января 2020 г. № 31 «О мерах по совершенствованию ведения государственного учёта и мониторинга лесов».
5. Каландаров, М.М. Лесоводство: учебное пособие для профессиональных колледжей лесоводческого направления / М.М. Каландаров. С. 19–23, 128–134, 141–145. – Ташкент: Yangi nashr, 2008.
6. Литяга, А.В. Оценка индикатора риска при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на территории горных лесов (на примере Бостанлыкского лесного хозяйства): методические рекомендации / А.В. Литяга, Ж.Р. Юлдашев. С. 4–5. – Ташкент: Академия Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан, 2026.
7. Эртуғрул, М. Химические вещества, применяемые при тушении лесных пожаров / М. Эртуғрул // Журнал лесного факультета Бартына. – 2007. – Т. 9, № 12. – С. 11–19.
8. A. Kavgacı, M.A. Başaran. Kavgacı, A. Лесные пожары. – 2023. – 39 с.
9. A. Kavgacı, M.A. Başaran. Kavgacı, A. Лесные пожары // Издание Ассоциации лесоводов Турции. – 2023.
10. Методы борьбы с лесными пожарами: учебный материал в формате PDF / Караденизский технический университет. – Трабзон: [б. г.].
11. Rothermel, R.C. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels / R.C. Rothermel; USDA Forest Service Research Paper INT-115. – Ogden, Utah: Intermountain Forest and Range Experiment Station. – 1972. – 40 P.
12. Scott, J.H. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel’s Surface Fire Spread Model / J.H. Scott, R.E. Burgan; General Technical Report RMRS-GTR-153. – Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. – 2005. – 72 P.

References

1. Law of the Republic of Uzbekistan No. ZRU-475 of April 16, 2018, “On Amendments and Additions to the Law of the Republic of Uzbekistan ‘On Forests’.” – 19 P.
2. Qalandarov M.M. Forestry: A Textbook for Vocational Colleges Specializing in Forestry. P. 19–23, 128–134, 141–145. – Tashkent: Yangi Nashr, 2008.

3. Lityaga A.V., Yuldashev J.R. Assessment of the Risk Indicator in Responding to Emergencies Caused by Fires in Mountain Forest Areas (A Case Study of the Bostanlyk Forestry Enterprise): Methodological Recommendations. 4. – Tashkent: Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan, 2026. – 5 P.
4. Forest Fire Suppression Methods: Educational Material in PDF Format. – Trabzon: Karadeniz Technical University, [n.d.].
5. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 530 of July 19, 2017, “On Measures for the Further Improvement of the Forest Management System”. – 20–22 P.
6. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 31 of January 17, 2020, “On Measures to Improve the Maintenance of the State Forest Inventory and Forest Monitoring”. – 37–39 P.
7. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 506 of November 22, 1999, “On the Approval of Certain Regulatory Documents Concerning the Protection of the Republic’s Forests”. – 13–14 P.
8. Ertuğrul M. Chemicals Used in Forest Fire Suppression // Bartın Faculty of Forestry Journal. – 2007. – Vol. 9, No. 12. – P. 11–19.
9. Kavgacı A., Başaran M.A. Forest Fires // Publication of the Foresters’ Association of Türkiye. – 2023.
10. Kavgacı A., Başaran M.A. Forest Fires. – Ankara. – 2023. – 39 P.
11. Rothermel R.C. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. – USDA Forest Service Research Paper INT-115. – Ogden, Utah: Intermountain Forest and Range Experiment Station. – 1972. – 40 P.
12. Scott J.H., Burgan R.E. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel’s Surface Fire Spread Model. – General Technical Report RMRS-GTR-153. – Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. – 2005. – 72 P.