

РАЗДЕЛ II. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI 10.25629/SMW.2025.01.06

УДК: 614.8

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Акимов В.А., Бедило М.В., Пуликов М.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России

Аннотация

В статье рассмотрены прогнозно-аналитические решения по лесным пожарам для урбанизированных территорий, в математическую основу которых положены байесовские классификаторы. Результатом работы является формализованное описание модели для прогнозирования лесных пожаров и вероятностная оценка основных параметров для верхового и низового лесного пожара.

Ключевые слова

метод Байеса, лесные пожары, вероятностная оценка параметров, скорость верхового лесного пожара, площадь и скорость низового лесного пожара, модели прогнозирования

Введение

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года № 899 одной из критических технологий Российской Федерации является технология предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. При этом наиболее наукоемкой частью развития данной технологии является решение научной проблемы мониторинга и прогнозирования аварий, катастроф и стихийных бедствий.

В данной статье для прогнозирования параметров лесного пожара предлагается использовать байесовскую статистику – теорию в области статистики, основанную на байесовской интерпретации вероятности, когда вероятность отражает степень доверия событию, которая может измениться, когда будет собрана новая информация, в отличие от фиксированного значения, основанного на частотном подходе [1–4].

Краткий обзор литературы

Проблема прогнозирования параметров лесных пожаров и оценки их последствий не получила своего удовлетворительного решения, несмотря на ее важность для различных отраслей народного хозяйства России. Трудности решения этой проблемы обусловлены: сложным характером и изменчивостью поведения пожаров, а тем более многодневных лесных пожаров, которые развиваются на большой площади в изменяющихся природных и погодных условиях; недостаточностью или неточностью информации о характеристиках леса, топографии местности, локальных метеоданных; не всегда достоверной отчетной информацией, поступающей с мест.

Обзор научных публикаций показывает, что в мировой практике разработано более сотни моделей распространения низовых лесных пожаров, и около десяти моделей распространения верховых лесных пожаров. Однако только несколько моделей доведены до уровня практического использования в программных комплексах.

На современном этапе в нашей стране, наиболее перспективной моделью, для задач, связанных с оценкой целесообразности тушения лесных пожаров в зоне контроля является модель, реализованная в ИСДМ-Рослесхоз [5]. Это объясняется её комплексностью и многолетней верификацией, отладкой на реальных пожарах в лесном фонде Российской Федерации.

Данная модель основана на канадской системе прогнозирования поведения пожара CFFBPS (Canadian Forest Fire Behavior Prediction System). Она основана на экспериментальных данных, полученных на нескольких сотнях природных пожаров [6]. По данным наблюдений за пожарами была составлена система уравнений, определяющих зависимость скорости развития фронта горения от типов природных горючих материалов, метеорологических условий и характеристик рельефа, которые и были положены в основу системы CFFBPS.

Для решения задач прогнозирования развития действующих в данный момент пожаров необходимо обеспечить оперативное получение данных о текущей области активного горения, о метеоусловиях, типах и состоянии горючих материалов. Технология регулярного получения этих данных реализована в системе ИСДМ-Рослесхоз [7]. Интеграция модели в систему ИСДМ позволяет решать задачи оперативной оценки потенциального вреда от пожаров.

В [8] в качестве математической основы моделирования чрезвычайных ситуаций природного характера, источниками которых являются лесные пожары, предложены методы статистической обработки данных, основанные на теореме Байеса.

Применение единого научного подхода к прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного характера, в математическую формализацию которого положены байесовские классификаторы, основанные на принципе максимума апостериорной информации, позволит получить надежную вероятностную оценку следующих параметров: для прогнозной аналитической модели (ПАМ) «Лесной пожар (ЛП)» – скорость верхового ЛП, площадь и скорость низового ЛП.

Методы

На этапе обучения ПАМ-ЛП параметры (ответы) гипотез, приведенных в [9], определяются путем сравнения:

для скорости верхового ЛП – параметра «Скорость распространения фронта верхового ЛП» с параметром «Расчетная скорость распространения фронта верхового ЛП»;

для площади низового ЛП – параметра «Площадь низового ЛП на дату и время наблюдения» с параметром «Расчетная площадь, пройденная низовым ЛП»;

для скорости низового ЛП – параметра «Скорость распространения фронта низового ЛП» с параметром «Расчетная скорость распространения фронта низового ЛП».

В модели среднесрочного прогнозирования вероятностной оценке с использованием байесовского классификатора подлежат гипотезы, приведенные в [10].

После обучения ПАМ-ЛП начинается процесс прогнозирования событий, соответствующих гипотезам краткосрочной и среднесрочной моделей, на новых значениях наблюдаемых параметров.

Порядок сбора новых значений, наблюдаемых входных данных и их обработки в обязательном порядке должен соответствовать аналогичным процессам при обучении ПАМ-ЛП, за исключением того, что параметры (ответы) гипотез (оценка апостериорных вероятностей гипотез) определяются байесовским классификатором.

Прогнозируемая площадь ЛП определяется на основе результатов статистической обработки модели краткосрочного прогнозирования ПАМ-ЛП в зависимости от гипотезы, имеющей максимальную вероятность (см. таблицу 1 [9]):

в случае, если максимальную вероятность имеет гипотеза 1, то прогнозируемая площадь ЛП будет соответствовать расчетному значению данного показателя;

в случае, если максимальную вероятность имеет одна из гипотез 2-20, то прогнозируемая площадь ЛП ($S_{\text{ЛП}}$, га) определяется по формуле:

$$S_{\text{ЛП}} = S_{\text{ЛП}}^{\text{расч}}(100 - D)/100, \quad (1)$$

где:

$S_{\text{ЛП}}^{\text{расч}}$ – расчетное значение площади ЛП, га;

D – отклонение, %, соответствующее гипотезе 2-20, имеющей максимальную вероятность;

в случае, если максимальную вероятность имеет одна из гипотез 21-39, то прогнозируемая площадь ЛП ($S_{\text{ЛП}}$, га) определяется по формуле:

$$S_{\text{ЛП}} = S_{\text{ЛП}}^{\text{расч}}(100 + D)/100. \quad (2)$$

Прогнозируемая скорость распространения фронта ЛП определяется следующим образом [11].

Длина кромки лесного пожара ($D_{\text{кромки}}$, м), через время, соответствующее шагу прогноза, определяется по формуле:

$$D_{\text{кромки}} = 0,5 \cdot \sqrt{S \cdot 10000}, \quad (3)$$

где S – площадь ЛП, га.

Значение площади ЛП (S , га) принимается для следующих вариантов [12]:

1. В случае, если осуществлялось моделирование развития действующего ЛП, то при расчете длины кромки не учитывается начальная площадь данного пожара:

$$S = S_{\text{ЛП}} - S_{\text{н}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{н}}$ – площадь ЛП по состоянию на начало прогнозирования, га.

2. При расчете длины кромки учитывается только 10% площади ЛП:

$$S = 0,1S_{\text{ЛП}}. \quad (5)$$

Уровень угрозы перехода ЛП на населенный пункт определяется на основе результатов статистической обработки модели краткосрочного прогнозирования ПАМ-ЛП в зависимости от минимального расстояния от границы данного населенного пункта или объекта защиты до фронта ЛП.

С учетом полученного расстояния устанавливаются следующие уровни угрозы перехода ЛП на населенный пункт через время, соответствующее шагу прогноза [13]:

свыше 10 км – низкий;

от 10 км включительно до 6 км – средний;

от 6 км включительно до 1 км – высокий;

до 1 км включительно – чрезвычайно высокий.

По данным, характеризующим основные параметры ЛП и метеорологическую обстановку в стандартный срок наблюдения в течение суток, формируются обобщенные данные о наблюдаемых скоростях фронта верховых ЛП при различных скоростях ветра за период не менее 5 лет [14].

По результатам сбора обобщенных данных осуществляется расчет средней скорости фронта верхового ЛП для различных градаций скорости ветра по формуле:

$$v_{\text{фрсп}}^j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} v_{\text{фр}i}}{N_j}, \quad (6)$$

где:

j – диапазон значений скорости ветра, соответствующих j -ой градации;

N_j – количество верховых ЛП, зарегистрированных при скоростях ветра, находящихся в диапазоне значений, соответствующему j -ой градации, ед.;

$v_{\text{фр}i}$ – скорость фронта i -ого верхового ЛП, м/мин.

Основные показатели распространения низовых лесных пожаров в ПАМ-ЛП рассчитываются по модели Ротермела [15].

Модель Ротермела основывается на положении о том, что скорость распространения пламени пропорциональна отношению теплоты горения материала к теплоте нагрева новых порций горючего материала до температуры воспламенения.

Определение скорости фронта распространения низового ЛП в ПАМ-ЛП осуществляется следующим образом.

По данным, полученным по результатам сбора характеристики лесного участка, определяется состав лесогорючего материала (ЛГМ) для данного участка, после чего для каждого слоя ЛГМ определяется площадь поверхности, приходящаяся на 1 м² территории по формуле:

$$A_i = \frac{\sigma_i \omega_{0i}}{\rho_i}, \quad (7)$$

где:

ω_0 – средний запас слоя ЛГМ, кг/м²;

σ – удельная поверхность слоя ЛГМ, м⁻¹;

ρ – плотность слоя ЛГМ, кг/м³.

Значения параметров формулы **Ошибка! Источник ссылки не найден.** определяются по таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 1 – Средние характеристики напочвенного покрова

Состав	Обозначение	Лишайник	Мох Шре- бера	Хвоя	Листья	Сухие злаки	Кустарник	Отходы лесо- заготовок
Средний запас слоя ЛГМ, кг/м ²	ω_0	1,7	1,0	0,3	0,15		0,225	0,9
Удельная поверх- ность слоя ЛГМ, м ⁻¹	σ	2000	2500	6000	11560	18170	6560	4920
Теплота сгорания, ккал/кг	h	4300	4700	4500	4880	4200	4400	
Плотность слоя ЛГМ, кг/м ³	ρ	300		512	460	420	512	
Высота слоя, м	δ	0,12	0,1		0,075	0,5	0,6	0,7
Критическое влаго- содержание, кг/кг	M_x	0,3	0,5	0,3	0,4		0,2	

Суммарная площадь поверхности (A_T) всех слоев ЛГМ рассчитывается по формуле:

$$A_T = \sum_{i=1}^n A_i. \quad (8)$$

Усреднение показателей «влагосодержание» слоев ЛГМ (M_{cp}) осуществляется по соотношению:

$$M_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_T} M. \quad (9)$$

Влагосодержание (M) принимается одинаковым для каждого слоя ЛГМ и определяется по формуле:

$$M = \frac{m}{100-m}, \quad (10)$$

где m – относительная влажность ЛГМ, %.

Усреднение показателей «средний запас слоя ЛГМ» слоев ЛГМ (ω_{0cp}) осуществляется по соотношению:

$$\omega_{0cp} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_T} \omega_{0i}. \quad (11)$$

Усреднение показателей «предельное влагосодержание» слоев ЛГМ (M_{Xcp}) осуществляется по формуле:

$$M_{Xcp} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_T} M_{Xi}. \quad (12)$$

Усреднение показателей «плотность» слоев ЛГМ (ρ_{cp}) осуществляется по соотношению:

$$\rho_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_T} \rho_i. \quad (13)$$

Усреднение показателей «удельная поверхность» слоев ЛГМ (σ_{cp}) происходит по соотношению:

$$\sigma_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_T} \sigma_i. \quad (14)$$

Усреднение показателей «теплота сгорания» слоев ЛГМ (h_{cp}) определяется по соотношению:

$$h_{cp} = 4,184 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_T} h_i. \quad (15)$$

Средняя высота ЛГМ (δ_{cp}) определяется по формуле:

$$\delta_{cp} = \sum_{i=1}^n \delta_i. \quad (16)$$

Далее осуществляется расчет скорости ветра на уровне 6 метров над кронами древостоя (W_{Z6}) по формуле:

$$W_{Z6} = W_{Z10} \left[\frac{Z_d+6}{10} \right]^{0,28}, \quad (17)$$

где:

W_{Z10} – скорость ветра по данным ближайшей метеостанции;

Z_d – средняя высота древостоя.

При этом, пересчет скорости ветра (W), полученной на ближайшей метеостанции, осуществляется по формуле:

$$W = \frac{0,31 W_{Z6}}{\sqrt{f Z_d} \ln \left[\frac{20+1,18 Z_d}{0,43 Z_d} \right]}, \quad (18)$$

где f – объемная плотность полога леса, определяется по таблице 2.

Таблица 2 – Объемная плотность полога леса

Степень сомкнутости полога	Теневыносливые		Светолюбивые	
	Молодые	Спелые и перестой- ные	Молодые	Спелые и перестой- ные
Густые	0,32	0,24	0,16	0,08
Редкие	0,09	0,07	0,07	0,05

Значение показателя γ вычисляется по формуле:

$$\gamma = 3,767 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\omega_{0cp}}{\delta_{cp}\sigma_{cp}^{-0,8189}}. \quad (19)$$

Потенциальная скорость реакции горения определяется по формуле:

$$r = 0,168\sigma_{cp}^{1,5}(495 + 9,979 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_{cp}^{1,5})^{-1} \cdot \gamma^{(4,239\sigma_{cp}^{0,1}-7,27)^{-1}} \cdot \exp[(4,239\sigma_{cp}^{0,1} - 7,27)^{-1} \cdot (1 - \gamma)]. \quad (20)$$

Доля теплового потока (ξ), идущая на поддержание процесса горения, рассчитывается по формуле:

$$\xi = (192 + 0,079\sigma_{cp})^{-1} \cdot \exp[(0,792 + 0,376\sigma_{cp}^{0,5})(\gamma \cdot 8,858\sigma_{cp}^{-0,8189} + 0,1)]. \quad (21)$$

Эффективная плотность ЛГМ (ε) определяется по формуле:

$$\varepsilon = \exp\left(-\frac{452,756}{\sigma_{cp}}\right). \quad (22)$$

Коэффициент замедления скорости сгорания по влагосодержанию (η_m) определяется по формуле:

$$\eta_m = 1 - \frac{2,59M_{cp}}{M_{Xcp}} + 5,11\left(\frac{M_{cp}}{M_{Xcp}}\right)^2 - 3,52\left(\frac{M_{cp}}{M_{Xcp}}\right)^3. \quad (23)$$

Теплота воспламенения (Q) определяется по формуле:

$$Q = 250 + 1116M_{cp}. \quad (24)$$

Тогда скорость распространения фронта пожара при отсутствии ветра и склона ($v_{фр}^0$) можно рассчитать по формуле:

$$v_{фр}^0 = \frac{0,048h_{cp}\eta_S\omega_{0cp}\eta_m r \xi}{(\rho_{cp} + \rho_{cp}S_T)Q\gamma\varepsilon\sigma_{cp}^{-0,8189}}, \quad (25)$$

где:

η_S – коэффициент, учитывающий минеральный состав ЛГМ (принимается равным 0,42);

S_T – содержание минеральных веществ (принимается равным 0,02).

Коэффициент заполнения слоя ЛГМ определяется по формуле:

$$\beta = 8,858\gamma\sigma_{cp}^{-0,8189}. \quad (26)$$

Коэффициент влияния уклона местности (φ_S) на скорость распространения фронта пожара вычисляется по формуле:

$$\varphi_S = 5,275\beta^{-0,3}tg^2\varphi, \quad (27)$$

где φ – уклон ячейки матрицы с описанием лесного участка.
Коэффициенты K_1 и K_2 определяются по формулам:

$$K_1 = \gamma^{-0,715 \exp(-1,094 \cdot 10^{-4} \sigma_{\text{ср}})}, \quad (28)$$

$$K_2 = 7,47 \exp(-0,06919 \sigma_{\text{ср}}^{0,55}) (196,848 W)^{0,0133 \sigma_{\text{ср}}^{0,54}}. \quad (29)$$

Тогда, коэффициент влияния ветра (φ_{ω}) на скорость распространения фронта пожара можно рассчитать по формуле:

$$\varphi_{\omega} = K_1 K_2. \quad (30)$$

В этом случае скорость распространения фронта пожара ($v_{\text{фр}}$, м/мин) можно определить по формуле:

$$v_{\text{фр}} = v_{\text{фр}}^0 (1 + \varphi_s + \varphi_{\omega}). \quad (31)$$

Исходя из допущений, что низовой ЛП в однородной среде распространяется эллипсом (см. рисунок), то площадь ЛП можно определить следующим образом [16].

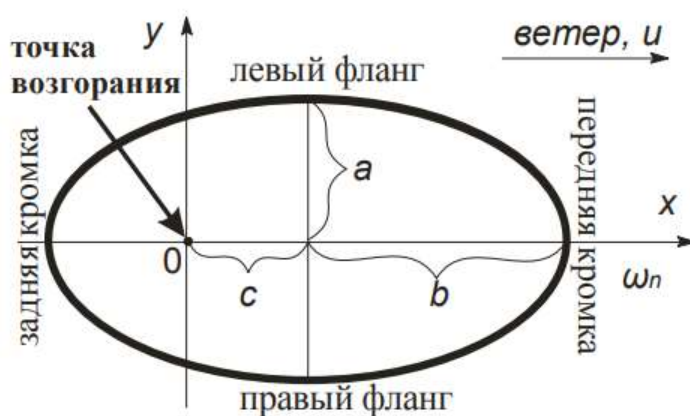


Рисунок – Эллиптическая форма контура низового ЛП

Сначала определяется отношение длины ЛП к его ширине (LB) по формуле:

$$LB = 0,936 \exp(0,2566 W) + 0,461 \exp(-0,1548 W) - 0,397. \quad (32)$$

Далее определяется соотношение передней кромки ЛП к его задней кромке (HB) по формуле:

$$HB = \frac{LB + \sqrt{LB^2 - 1}}{LB - \sqrt{LB^2 - 1}}. \quad (33)$$

Величины a , b и c (см. рисунок) рассчитываются по формулам:

$$b = \frac{v_{\text{фр}}(1+HB)}{2HB}, \quad (34)$$

$$a = \frac{b}{LB}, \quad (35)$$

$$c = b - \frac{v_{\text{фр}}}{HB}. \quad (36)$$

Окончательное значение величин a , b и c определяется путем умножения каждой из приведенной величин на период прогнозирования в мин.

Тогда площадь ЛП ($S_{\text{ЛП}}$) вычисляется по формуле:

$$S_{\text{ЛП}} = \pi ab. \quad (37)$$

Выводы и заключение

Таким образом, в статье рассмотрены прогнозно-аналитические решения по лесным пожарам для урбанизированных территорий, в математическую основу которых положены байесовские классификаторы.

Результатом работы явилось формализованное описание модели для прогнозирования лесных пожаров и вероятностная оценка основных параметров для верхового и низового лесного пожара.

Прогнозные и аналитические модели с использованием методов Байеса могут использоваться для широкого спектра часто проявляющихся угроз и связанных с ними кризисных ситуаций и происшествий.

Для редко проявляющихся угроз (кризисных ситуаций и происшествий) ввиду невозможности формирования необходимой статистической информации в достаточном объеме следует применять модели, разработанные на базе иных методов, например, методов теории катастроф [17, 18] и нелинейной математики [19, 20].

Библиография

1. Bolstad W. M., Curran J. M. (2017). Introduction to Bayesian statistics. 3rd edition. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
2. Andrew Gelman. Bayesian Data Analysis, 2019. – 540 с.
3. E. T. Jaynes. Probability Theory: The Logic of Science, 2020. – 720 с.
4. Akimov, V. Statistical models for forecasting natural emergencies / V. Akimov, M. Bedilo, O. Derendiaeva // Reliability: Theory & Applications. – 2023. – Vol. 18, No. 4(76). – P. 1067-1072. – DOI 10.24412/1932-2321-2023-476-1067-1072. – EDN GKGBFA.
5. Котельников Р.В., Семенов В.Л., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз): Учебное пособие. – Москва: ФБУ «Авиалесоохрана», 2015. – 386 с.
6. The Rising Cost of Wildfire Operations: Effects on the Forest Service's Non-Fire Work. – USDA, 2015. – 17 с.
7. Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015, Т. 12, N 5, С. 222-250.
8. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка "Безопасный город" / В. А. Акимов, А. В. Мишурный, О. В. Якимюк [и др.]. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2022. – 315 с. – ISBN 978-5-93970-278-2. – EDN MGXNYI.
9. Модели и методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера на урбанизированных территориях / В. А. Акимов, Е. В. Арефьева, И. Ю. Олтян [и др.]. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2024. – 132 с. – ISBN 978-5-93970-299-7. – EDN FJTDXS.

10. Акимов, В. А. Математическое моделирование прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера / В. А. Акимов // Теория и практика экономики гражданской защиты на страже безопасности жизнедеятельности современного общества: Материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 26 декабря 2023 года. – Москва: Объединенная редакция, 2024. – С. 168-172. – EDN ZWBTUU.

11. Акимов, В. А. Модели и методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера на урбанизированных территориях / В. А. Акимов, Е. О. Иванова, И. Ю. Олтян // Международное сотрудничество в области защиты населения и территорий: Сборник материалов XXVI Международной научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (в рамках проведения XV Международного салона средств обеспечения безопасности "Комплексная безопасность-2024"), Кубинка, 29 мая – 01 2024 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2024. – С. 100-106. – EDN QGWVYV.

12. Требования к организации и тушению лесных пожаров с использованием прогнозной аналитической модели / В. А. Акимов, М. В. Бедило, Е. О. Иванова [и др.] // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика: Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2023. – С. 3-7. – EDN NEPYHW.

13. Акимов, В. А. Статистические данные о чрезвычайных ситуациях природного характера, источниками которых являются лесные пожары / В. А. Акимов, М. В. Бедило // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 5-ти частях, Москва, 01 марта 2024 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 20-26. – EDN GUGHYW.

14. Акимов, В. А. Модель прогнозирования лесных пожаров, вызванных ядерными ударами / В. А. Акимов, М. В. Бедило, Е. О. Иванова // Россия в XXI веке: проблемы ядерной безопасности и ядерного сдерживания в эколого-политологических оценках Н.Н. Моисеева и современность: Сборник материалов XXXI Моисеевских чтений – научно-практической конференции, Москва, 27 апреля 2023 года. – Москва: Академия МНЭПУ, 2023. – С. 107-112. – EDN XEOAIC.

15. Среднесрочный добровольный национальный обзор реализации Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015-2030 годы: Научно-аналитическое издание / Е. В. Арефьева, В. В. Крапухин, И. Ю. Олтян [и др.]. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России" (федеральный центр науки и высоких технологий), 2023. – 164 с. – ISBN 978-5-93970-302-4. – EDN KILEQC.

16. Акимов, В. А. Байесовские модели прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера / В. А. Акимов, М. В. Бедило, Е. О. Иванова // Всероссийская конференция по математике и механике: Сборник материалов конференции. Посвящается 145-летию Томского государственного университета и 75-летию механико-математического факультета, Томск, 02–05 октября 2023 года. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью "СТТ", 2023. – С. 264-266. – EDN QAMKCO.

17. Акимов, В. А. Классические и постнеклассические методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера / В. А. Акимов, М. В. Бедило // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны в Год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти ч., Москва, 01 марта 2023 года. Том Часть I. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации

по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. – С. 20-27. – EDN YAVGTG.

18. Акимов, В. А. Научное прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера / В. А. Акимов, Е. О. Иванова // Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 26–27 апреля 2022 года / Российская академия наук, Международный независимый эколого-политологический университет, Государственный университет управления. Том Выпуск 1. – Москва: Государственный университет управления, 2022. – С. 114-119. – EDN FFDVHY.

19. Авдоткин, В. П. Междисциплинарные исследования по техносферной безопасности: российский и зарубежный опыт / В. П. Авдоткин, В. А. Акимов, В. Г. Плющиков. – Москва : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2021. – 248 с. – ISBN 978-5-209-08898-1. – EDN ZTGVVS.

20. Акимов, В. А. Нелинейная наука для исследования аварий, катастроф и стихийных бедствий / В. А. Акимов, С. Л. Диденко, И. Ю. Олтян. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2020. – 134 с. – ISBN 978-5-93970-250-8. – EDN GYVVPY.

PROBABILITY ASSESSMENT OF FOREST FIRE PARAMETERS

Akimov V.A., Bedilo M.V., Pulikov M.A.

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of
Emergency Situations of Russia

Abstract

The article discusses predictive and analytical solutions for forest fires for urban areas, the mathematical basis of which is based on Bayesian classifiers. The result of the work is a formalized description of the model for forecasting forest fires and probabilistic assessment of the main parameters for crown and ground forest fires.

Keywords

Bayes method, forest fires, probabilistic estimation of parameters, speed of crown forest fire, area and speed of ground forest fire, forecasting models