

О ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Е.В. Иванов, А.А. Кондратьев, А.В. Дмитриев

Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных
бедствий имени генерал-лейтенанта Д.И.Михайлика

Статья посвящена описанию проблемной ситуации формирования своевременных, достоверных и точных прогнозов по природной пожарной опасности. На основе проведенного авторами анализа научной литературы и действующих нормативных правовых актов в рассматриваемой области сформулирована проблемная ситуация, заключающаяся в необходимости детальной проработки вопроса прогнозирования вероятности возникновения природных пожаров в условиях изменяющейся обстановки. В качестве решения данной проблемы предложено применение комплекса моделей и алгоритмов, реализующих технологии больших данных. В частности, используются алгоритм решающих деревьев и алгоритм кластеризации. Построенная модель будет обеспечивать требуемую точность и достоверность прогноза. На основе построенной модели сформулированы основные положения методики оценки вероятности возникновения природных пожаров в заданной географической области. Методика основывается на обработанных данных дистанционного зондирования Земли и метеорологических условиях. Показаны ожидаемые конкурентные преимущества методики в сравнении с существующими подходами, ключевыми из которых являются: динамическая настройка модели оценки вероятности возникновения природного пожара (по обновляемой базе статистических данных) и возможность локализации участка местности, для которого составляется прогноз по заданным параметрам точности и достоверности, путем увеличения или уменьшения географически локализованной области по однородным параметрам, определяющим пожарную опасность.

Ключевые слова: *природные пожары, прогнозирование, кластеризация, решающие деревья, технологии больших данных, природная пожарная опасность.*

ON THE PROBLEMATIC SITUATION OF FORECASTING WILDFIRES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

E.V. Ivanov, A.A. Kondratiev, A.V. Dmitriev

The Civil Defence Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia

The article is devoted to the description of the problem situation of forming timely, reliable, and accurate forecasts of natural fire hazard. Based on the analysis of scientific literature and current regulatory legal acts in the area under consideration, the authors formulated a problem situation consisting in the need for a detailed study of the issue of forecasting the probability of natural fires in a changing environment. As a solution, the application of a set of models and algorithms implementing big data technologies, in particular, the algorithm of decision trees and the clustering algorithm, is proposed. The constructed model will ensure the required accuracy and reliability of the forecast. Based on the constructed model, the main provisions of

the methodology for assessing the probability of natural fires in a given geographic area are formulated based on processed remote sensing data of the Earth and meteorological conditions. The expected competitive advantages of the method are shown in comparison with existing ones, the key ones being: dynamic adjustment of the model for assessing the probability of a natural fire – the model can be updated based on a constantly updated statistical database; the ability to localize a section of the terrain for which a forecast is made – the forecast can be detailed according to specified parameters of forecast accuracy and reliability by increasing or decreasing the geographically localized area based on homogeneous parameters that determine the fire hazard. These advantages allow for a more effective and accurate assessment of the risks of natural fires, which is an important step for their prevention and minimizing consequences.

Keywords: wildfires, forecasting, clustering, decision trees, big data technologies, wildfire hazard.

Введение

Вопросам прогнозирования природных пожаров в нашей стране и за рубежом посвящено большое количество исследований (Abdi et al., 2018; Scott et al., 2013; Семенов и др., 2022; Пономарев, Харук, Швецов, 2019; Иванов и др. 2022). Разработанные в настоящее время модели прогнозирования базируются на основе учета характеристик потенциальных горючих материалов, показателей метеорологических условий (факторы, характеризующие природную пожарную опасность по погодным условиям) и непосредственно источников инициации очагов природных пожаров (чаще всего рассматриваются антропогенная нагрузка и молниевая активность).

При этом все разрабатываемые прогнозные модели показывают одну характерную общую черту, связанную с тем, что для определенной местности они предсказывают пожарную ситуацию с достаточно высокой точностью и достоверностью, но не являются универсальными для других территорий. Кроме того, изменение климатических характеристик и географические особенности регионов (рис. 1), влияющие на частоту возникновения природных пожаров, вносят свои коррективы в прогностические модели, что снижает эффективность их применения.

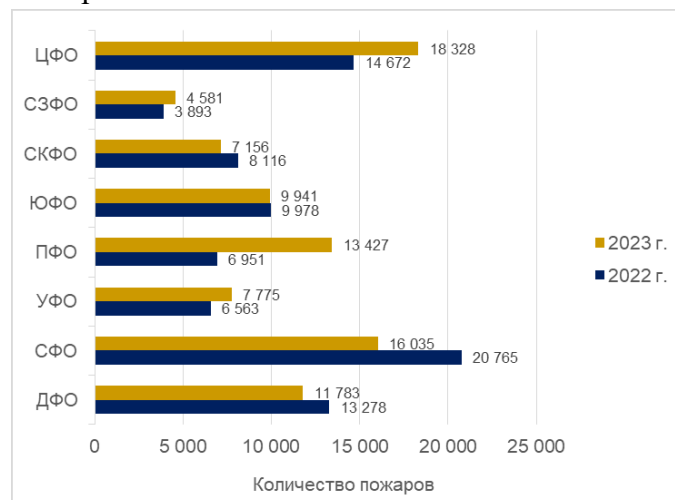


Рис. 1. Распределение числа природных пожаров по федеральным округам в 2022-2023 гг.

Об этом говорят и данные многолетних наблюдений (рис.2 а, б), взятые из материалов государственных докладов о состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

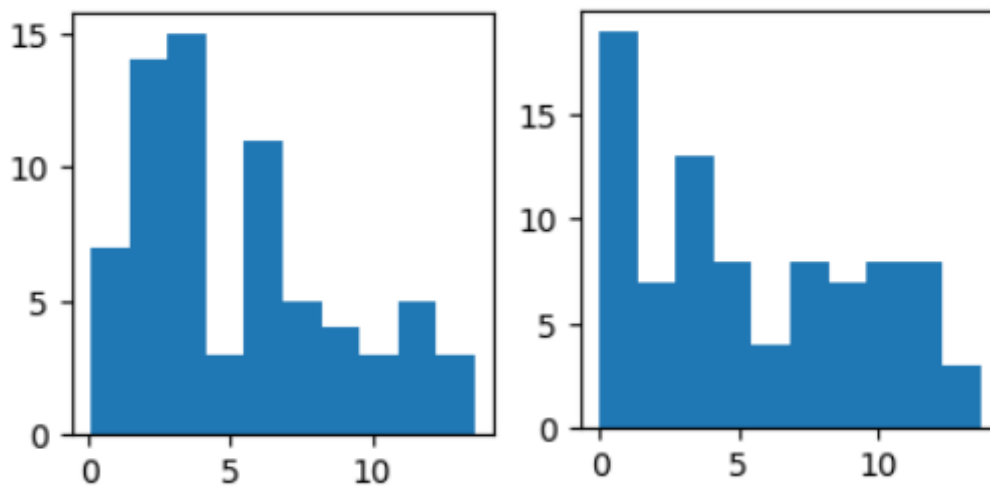


Рис. 2. Распределение повторяемости числа природных пожаров по количеству субъектов, в которых они наблюдались (а - в 2016 году, б - в 2023 году)

На представленных рисунках по оси абсцисс отложены значения десятичных логарифмов от числа зафиксированных природных пожаров по субъектам Российской Федерации. По оси ординат отложена численность субъектов, по которым осуществлялось наблюдение. Несмотря на то, что количество субъектов, для которых наблюдалось минимально возможное число природных пожаров, выросло, общая тенденция состоит в том, что растет и число субъектов Российской Федерации, для которых регистрируется «аномально высокое» число пожаров. То есть можно сделать вывод о том, что повторяемость природных пожаров для конкретного субъекта Российской Федерации не является постоянной величиной и, в целом, имеет тенденцию к росту.

Эти обстоятельства позволяют говорить о наличии проблемной ситуации, заключающейся в необходимости детальной проработки вопроса прогнозирования вероятности возникновения природных пожаров в условиях изменяющейся обстановки.

Область исследования

Необходимость рассмотрения вопросов прогнозирования обусловлена тем, что за счет своевременности и точности прогноза возникновения природных пожаров на конкретном участке местности можно оказывать влияние на величину потенциального ущерба. Без прогноза невозможно оперативно принимать решения по реализации мер защиты от поражающих факторов природных пожаров (Топкарян и др., 2022). Все это обуславливает необходимость разработки такого научно-методического аппарата, который позволит осуществлять прогноз вероятности возникновения природного пожара на ограниченной территории с заданной достоверностью и точностью не ниже заданной.

Объектом исследования являются прогнозные модели оценки вероятности возникновения природных пожаров.

Целью статьи является описание подхода к формированию универсальной модели прогнозирования природных пожаров.

В качестве моделей, положительно зарекомендовавших себя в практике прогнозирования, следует отметить модели, реализующие технологии обработки больших данных. Следует отметить, что данные модели реализуют принципы, позволяющие подходить к созданию

инвариантных моделей, которые будут учитывать изменяющиеся характеристики участков местности, обуславливающие опасность возникновения природных пожаров.

При этом модели, реализующие алгоритмы обработки больших данных, могут базироваться на разных алгоритмах:

- Нейронные сети (для построения зависимостей, аналогичных регрессионным);
- Кластеризация (для выявления участков местности, для которых влияние ограниченного числа параметров, характеризующих пожарную опасность, однородно);
- Решающие деревья (для оценки непосредственно вероятности возникновения природных пожаров через ряд условий).

В работе (Рыбаков, Иванов, Дмитриев, 2023) предложена новая постановка научной задачи, заключающаяся в построении модели оценки вероятности возникновения природных пожаров на ограниченном участке местности за счет реализации алгоритма решающих деревьев. Основным отличием от ранее известных методов является не просто построение прогнозной модели, но и определение участка местности, для которого построенная модель будет давать удовлетворительную точность и достоверность прогноза.

Материалы и методика исследования

В настоящее время значительный объем материалов по исследуемой тематике, а именно данных о зафиксированных природных пожарах, собран в Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (далее – ИСДМ Рослесхоз).

В рамках функционирования Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – РСЧС) информация о потенциальных источниках пожарной опасности, таких как зарегистрированные термоточки, передается МЧС России и обрабатывается соответствующими органами управления РСЧС. Осуществляется проверка достоверности полученного сообщения о зарегистрированной термической аномалии. Накопленный объем данных практически по всей территории Российской Федерации позволяет говорить о том, что с его помощью могут быть построены прогнозные модели, обеспечивающие решение задач защиты населения и территорий от природных пожаров.

Построение универсальных моделей, охватывающих всю территорию Российской Федерации, не представляется возможным. Поэтому предлагается на основе комплекса ранее проведенных исследований (Рыбаков и др., 2021; Иванов и др., 2022; Рыбаков, Иванов, Дмитриев, 2023) предложить методический подход к описанию алгоритма формирования прогнозных моделей (рис. 3).

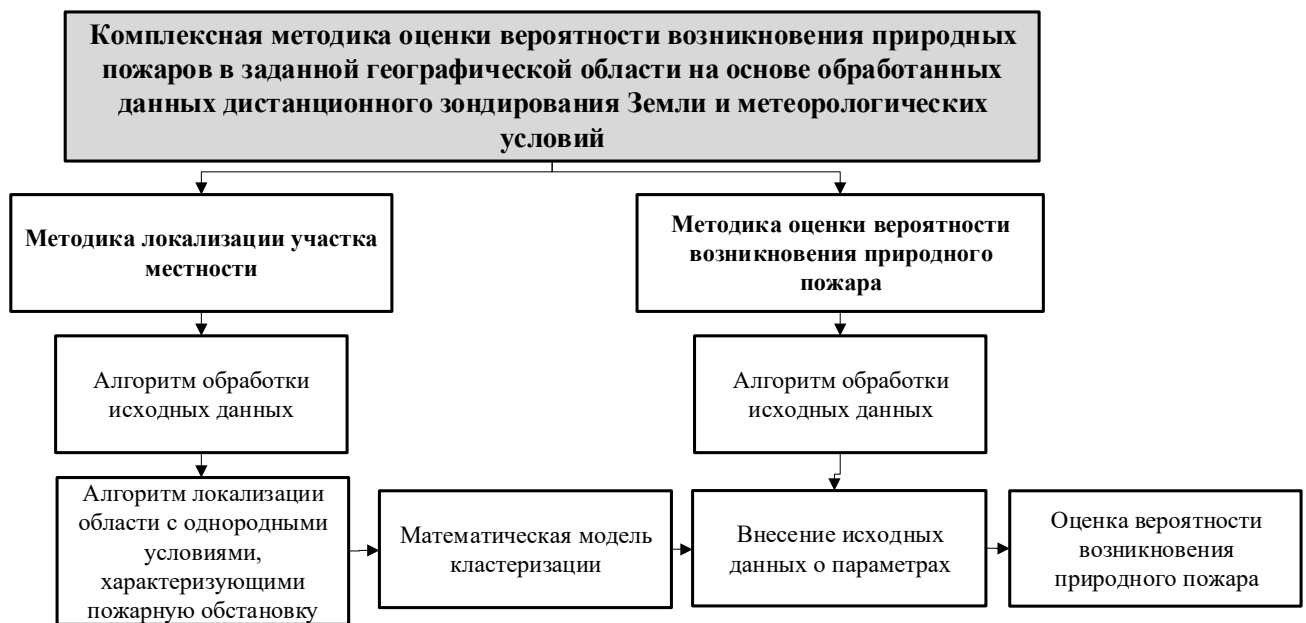


Рис. 3. Схема научно-методического аппарата методики оценки вероятности возникновения природных пожаров

Основными этапами алгоритма следует рассматривать следующие:

1. Сбор данных о параметрах, влияющих на вероятность возникновения природных пожаров из системы ИСДМ Рослесхоз, Росгидромета, МЧС России, проверка их корректности, формирование первичных наборов данных Dataset;
2. Предобработка данных в сформированных Dataset: предобработка, заполнение пропусков, проверка взаимного соответствия информации, взятой из разных баз данных;
3. Формирование нового пространства признаков: на основе имеющихся – «измеряемых» признаков формируются так называемые гиперпараметры – «искусственная смесь» существующих параметров в различном сочетании;
4. Проверка значимости влияния признаков (гиперпараметров) на независимую величину (количество возникших природных пожаров);
5. Выбор наиболее значимых признаков и построение модели решающих деревьев по оценке вероятности возникновения природных пожаров в зависимости от значений отобранных значимых факторов;
6. Локализация географической области с характерными параметрами, оказывающими однородное влияние на вероятность возникновения природного пожара (формирование кластера с оптимальными размерами);
7. Донастройка построенной модели оценки вероятности возникновения природных пожаров для локализованного кластера. Проверка требований по точности и достоверности прогноза.

Результаты

Предложенный подход, при реализации в информационно-управляющих системах поддержки принятия решений, позволит перейти на качественно новый уровень прогноза пожароопасной обстановки. При этом будет решена задача не просто оценки природной

опасности, но прогноза вероятности возникновения как минимум одного природного пожара на заданном участке местности. Модель будет обеспечивать требуемую точность и достоверность прогноза за счет реализации двух дополняющих алгоритмов, базирующихся на использовании технологий больших данных:

1. Алгоритм построения кластера – локализованной географической области с характерными параметрами, оказывающими однородное влияние на вероятность возникновения природного пожара;

2. Алгоритм оценки вероятности возникновения природных пожаров для конкретного участка местности, базирующийся на алгоритме решающих деревьев.

В настоящее время данный подход реализуется в части модулей Атласа опасностей и риска – составной части автоматизированной информационно-управляющей системы РСЧС.

Выводы

В качестве основных ожидаемых преимуществ методики в сравнении с существующими, следует отметить возможность:

1. Динамической настройки модели оценки вероятности возникновения природного пожара по обновляемой базе статистических данных. Это позволяет учитывать изменяющиеся условия и повышать точность прогнозов на основе актуальных данных;

2. Локализации участка местности для которого составляется прогноз по заданным параметрам точности и достоверности прогноза. Это достигается за счет увеличения или уменьшения географически локализованной области по однородным параметрам, определяющим пожарную опасность. Такой подход обеспечивает более точные и надежные прогнозы для конкретных участков местности.

Эти преимущества методики позволяют значительно улучшить процесс прогнозирования пожароопасной обстановки и повысить эффективность мер по предотвращению и ликвидации природных пожаров.

Библиографический список

1. Иванов Е.В., Дмитриев А.В., Шимитило В.Л., Федоровичев Д.С. О подходе к кластеризации термоточек по результатам многолетних климатических наблюдений // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19, № 4(74). С. 20-24.
2. Иванов Е.В., Рыбаков А.В., Дмитриев А.В., Фукс Э.К. О модели прогнозирования вероятности возникновения природного пожара на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 3. С. 77-87. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-3-77-87.
3. Пономарев Е.И., Харук В.И., Швецов Е.Г. Мониторинг природных пожаров в Сибири: динамика горимости в современном климате, пространственно-временные закономерности, характеристики и прогнозы: монография. Сибирский федеральный университет, 2019. 220 с. ISBN 978-5-7638-4111-4.
4. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Дмитриев А.В. Постановка научной задачи по обоснованию рационального размера кластера при формировании модели прогнозирования природной пожарной опасности по погодным условиям // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3(58). С. 62-69.

5. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Дмитриев А.В., Борисов А.Е. Оценка влияния нормализованного вегетационного индекса на пожарную обстановку в пожароопасный период // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 4. С. 432-438. DOI 10.22281/2413-9920-2021-07-04-432-437.
6. Семенов А.О., Смирнов В.А., Суровегин А.В., Маслов А.В. Анализ технологий мониторинга природных пожаров в России. Обзор // Научный форум: Инновационная наука: сб. ст. по мат. VI МНПК. 2017. № 5 (6). С. 34-38.
7. Топкарян А.Х., Белоусов Р.Л., Дрожжин Н.А., Араштаев А.И. Научно-методический аппарат рационального распределения сил и средств РСЧС для подтверждения природных пожаров по данным космического мониторинга // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4(27). С. 56-64. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.73.29.010.
8. Abdi O., Kamkar B., Shirvani Z., Jaime A. da Silva T., Buchroithner M. Spatial-statistical analysis of factors determining forest fires: a case study from Golestan. Northeast Iran, Geomatics. Natural Hazards and Risk. 2018. № 9(1). pp. 267-280.
9. Scott J.H., Thompson M.P., Calkin D.E. A wildfire risk assessment framework for land and resource management. USDA Forest Service –General Technical Report RMRS-GTR, 2013. 315.

References

1. Ivanov E.V., Dmitriev A.V., Shimitilo V.L., Fedorovichev D.S. O podkhode k klasterizatsii termotochek po rezul'tatam mnogoletnikh klimaticheskikh nablyudenii (On the approach to clustering hotspots based on the results of long-term climate observations). *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*, 2022. Vol. 19, No. 4(74). pp. 20-24.
2. Ivanov E.V., Rybakov A.V., Dmitriev A.V., Fuks E.K. O modeli prognozirovaniya veroyatnosti vozniknoveniya prirodnogo pozhara na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli (On the model for predicting the probability of occurrence of a natural fire based on Earth remote sensing data). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022. Vol. 19, No. 3. pp. 77-87. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-3-77-87.
3. Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Shvetsov E.G. Monitoring prirodnikh pozharov v Sibiri: dinamika gorimosti v sovremennom klimate, prostranstvenno-vremennye zakonomernosti, kharakteristiki i prognozy: monografiya. (Monitoring of wildfires in Siberia: dynamics of flammability in the modern climate, spatial-temporal patterns, characteristics and forecasts: monograph). Sibirskii federal'nyi universitet, 2019. 220 p.
4. Rybakov A.V., Ivanov E.V., Dmitriev A.V. Postanovka nauchnoi zadachi po obosnovaniyu ratsional'nogo razmera klastera pri formirovanii modeli prognozirovaniya prirodnoi pozharnoi opasnosti po pogodnym usloviyam (Statement of a scientific problem on substantiation of a rational cluster size when forming a model for forecasting natural fire hazard based on weather conditions). *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2023. No. 3(58). pp. 62-69.
5. Rybakov A.V., Ivanov E.V., Dmitriev A.V., Borisov A.E. Otsenka vliyaniya normalizirovannogo vegetatsionnogo indeksa na pozharnuyu obstanovku v pozharoopasnyi

- period (Evaluation of the influence of the normalized vegetation index on the fire situation during the fire-hazardous period). *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021. No. 4. pp. 432-438. DOI 10.22281/2413-9920-2021-07-04-432-437.
6. Semenov A.O., Smirnov V.A., Surovegin A.V., Maslov A.V. Analiz tekhnologii monitoringa prirodnikh pozharov v Rossii. Obzor (Analysis of Natural Fire Monitoring Technologies in Russia. Review). *Nauchnyi forum: Innovatsionnaya nauka: sb. st. po mat. VI MNPK*, 2017. No. 5 (6). pp. 34-38.
 7. Topkaryan A.Kh., Belousov R.L., Drozhzhin N.A., Arashtaev A.I. Nauchno-metodicheskii apparat ratsional'nogo raspredeleniya sil i sredstv RSChS dlya podtverzhdeniya prirodnikh pozharov po dannym kosmicheskogo monitoringa (Scientific and methodological apparatus for the rational distribution of forces and resources of the RSChS for confirming natural fires based on space monitoring data). *Sibirskii pozharo-spasatel'nyi vestnik*. 2022. No. 4(27). pp 56-64. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.73.29.010.
 8. Abdi O., Kamkar B., Shirvani Z., Jaime A. da Silva T., Buchroithner M. Spatial-statistical analysis of factors determining forest fires: a case study from Golestan. Northeast Iran, Geomatics. *Natural Hazards and Risk*, 2018. No. 9(1). pp. 267-280.
 9. Scott J.H., Thompson M.P., Calkin D.E. A wildfire risk assessment framework for land and resource management. *USDA Forest Service –General Technical Report RMRS-GTR*, 2013. 315.