

УДК 614.8.008

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Н.В. Остудин, кандидат технических наук.

Центральный аппарат МЧС России.

С.Ю. Бутузов, доктор технических наук, доцент.

Академия ГПС МЧС России

Предложен подход к формированию комплексного анализа рисков возникновения природных пожаров на основе данных дистанционного зондирования Земли путём анализа атрибутов термических аномалий. Полученный показатель риска характеризует вероятность перехода опасных факторов термических аномалий на населенный пункт.

Ключевые слова: анализ рисков, системный анализ, дистанционное зондирование Земли, система космического мониторинга

METHODOLOGICAL BASIS FOR ANALYZING THE RISKS OF WILDFIRES BASED ON SPACE MONITORING DATA

N.V. Ostudin. Central office of EMERCOM of Russia.

S.Yu. Butuzov. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

The article proposes an approach to the formation of a comprehensive analysis of the risks of wildfires based on remote sensing data. By analyzing the attributes of thermal anomalies. The resulting risk indicator characterizes the probability of transition of dangerous factors of thermal anomalies to the locality.

Keywords: risk analysis, system analysis, remote sensing of the Earth, space monitoring system

Система космического мониторинга (СКМ) чрезвычайных ситуаций (ЧС) МЧС России – одна из мониторинговых систем, особенно эффективно применяемая в оперативной деятельности МЧС России. СКМ ЧС предназначена для обеспечения органов управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС федерального и территориального уровней оперативной информацией о состоянии территорий, находящихся в зонах повышенного риска возникновения ЧС, фактах возникновения ЧС, параметрах обстановки в районах ЧС и динамики ее дальнейшего развития.

В настоящее время в составе СКМ ЧС функционируют шесть комплексов приёма и обработки космической информации, расположенных в городах: Москва, Красноярск, Владивосток, Вологда, Дудинка и Мурманск. Расположение станций является оптимальным по покрытию территории Российской Федерации, за исключением части Арктической зоны.

В СКМ МЧС России используются данные дистанционного зондирования Земли с 10 отечественных космических аппаратов и с восьми зарубежных (из них семь оптических и один радиолокационный).

На основе получаемой информации проводится мониторинг ЧС, моделирование развития последствий [1], и результаты проведённой работы оперативно доводятся до территориальных органов МЧС России, что в большинстве случаев позволяет своевременно принимать необходимые меры.

Возможности космического мониторинга позволяют широко использовать полученную информацию для:

- мониторинга паводковой обстановки и природных пожаров;
- уточнения обстановки в районах ЧС;
- оценки масштабов аварийных разливов нефтепродуктов;
- оценки состояния потенциально опасных объектов и территорий, находящихся в зонах повышенного риска возникновения ЧС;
- поиска «аварийных» объектов в труднодоступной местности.

С помощью космической информации осуществляется ежедневное уточнение масштабов и динамики развития ЧС, что позволяет своевременно принимать меры, направленные на недопущение человеческих жертв и материального ущерба.

Одной из главных задач СКМ МЧС России является прием, получение и обработка данных о термических аномалиях на территории Российской Федерации.

Применение современных информационных технологий позволило МЧС России разработать мобильное приложение «Термические точки». Особенность разработанного приложения заключается в совершенствовании принципов прохождения информации о термических точках и доведения данных до соответствующих должностных лиц. Данные о термических точках отображаются в мобильном приложении и портале в режиме онлайн, что существенно повышает оперативность любой работы с термическими точками пользователям, являющимся потребителями данного ресурса (рис. 1).

Для принятия эффективного решения по анализу рисков перехода опасных факторов термических точек в виде природных пожаров на населенный пункт необходим детальный анализ показателей, влияющих на ухудшение обстановки. Природные пожары, приводящие к возгоранию населенных пунктов, влекут значительный материальный ущерб, угрозу жизни и здоровью людей.

Для выявления факторов, влияющих на возникновение природных пожаров, приводящих к угрозе возгорания населенных пунктов, был проведен анализ статистических данных о 16 природных пожарах, произошедших в 2012–2017 гг. в Сибирском, Дальневосточном и Уральском округах.

Наиболее крупными природными лесными пожарами, которые привели к возгораниям населенных пунктов, были следующие.

Пожар, произошедший 28 апреля 2017 г. в районе д. Ухтуй Зиминского района, привел к полному уничтожению деревни.

На рис. 2 показаны графики изменения температуры воздуха (°С) и скорости ветра (м/с) в районе д. Ухтуй Зиминского района за период 1–28 апреля 2017 г.

Анализ изменения температуры воздуха и скорости ветра в период с 1–28 апреля 2017 г. показал, что температура воздуха в этот период колебалась от 0 °С 1 апреля до 16 °С 23 апреля, и не могла привести к возникновению пожароопасной обстановки. Возгорание же в районе д. Ухтуй Зиминского района 28 апреля произошло из-за резкого усиления северо-западного ветра, способствовавшего быстрому распространению природного лесного пожара, находившегося 26–27 апреля в 11 км от пострадавшей деревни в районе населенного пункта Перевоз. В результате пожара сгорело 60 % домов.

13 апреля 2015 г. от природного лесного пожара пострадал населенный пункт Лесной городок Читинского района.

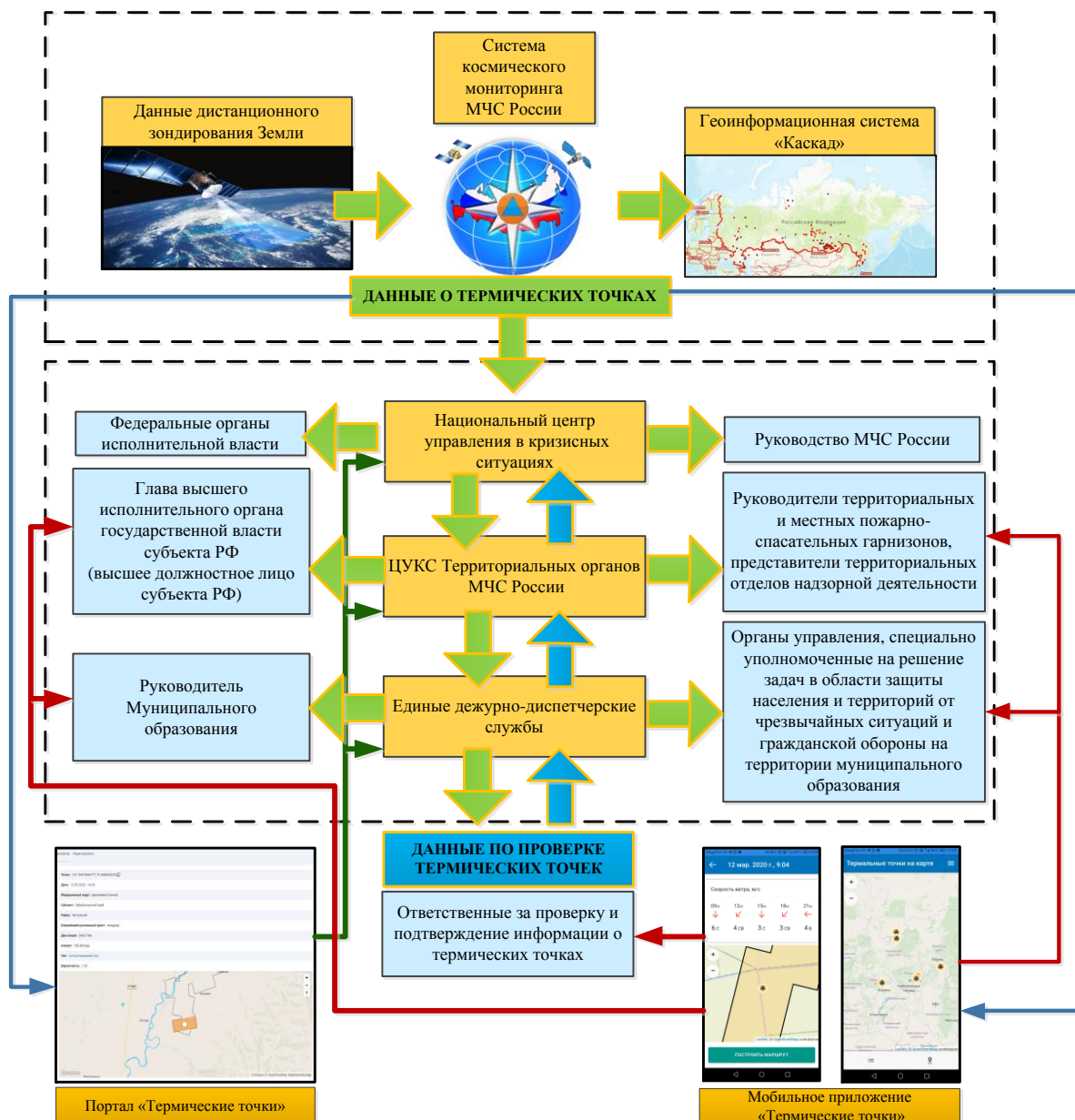


Рис. 1. Схема прохождения информации о термических точках (ЦУКС – центр управления в кризисных ситуациях)

На рис. 3 показаны графики изменения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и скорости ветра (м/с) в районе населенного пункта Лесной городок Читинского района за период 16 марта–13 апреля 2015 г.

Анализ изменения температуры воздуха и скорости ветра в период 16 марта–13 апреля 2015 г. показал, что температура воздуха в этот период колебалась от -7°C 21 марта до 12°C 26 марта и не могла привести к возникновению пожароопасной обстановки. 13 апреля произошло резкое увеличение северо-западного ветра с 3 до 21 м/с, что привело к стремительному распространению природного лесного пожара от очага возгорания, находившегося на расстоянии 6,1 км от поселка Красная речка Улетовского района, и возникновению пожара в районе населенного пункта Лесной городок.

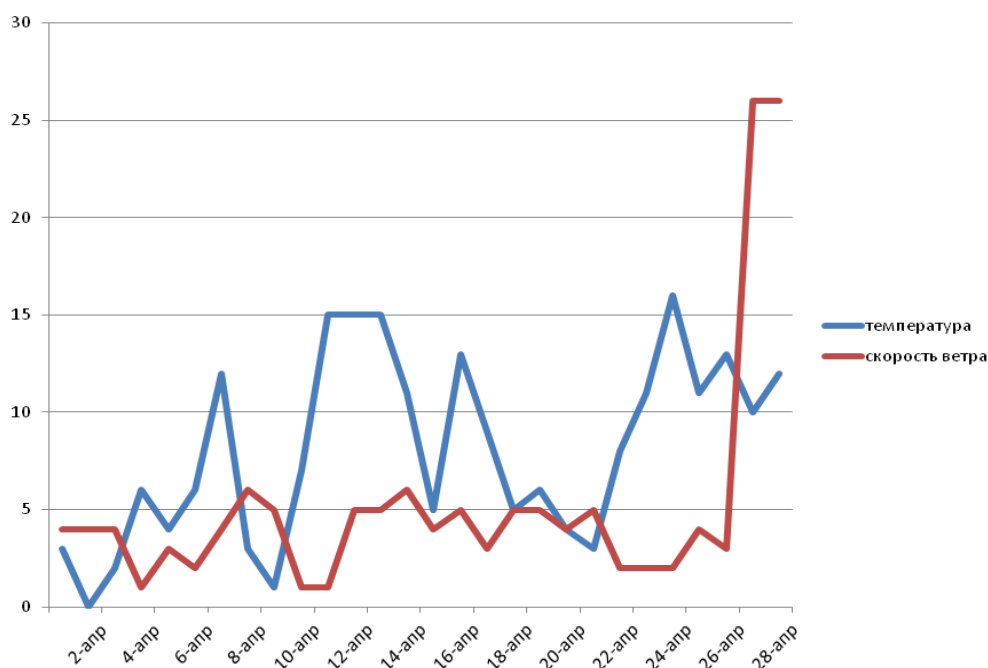


Рис. 2. График изменения температуры и скорости ветра

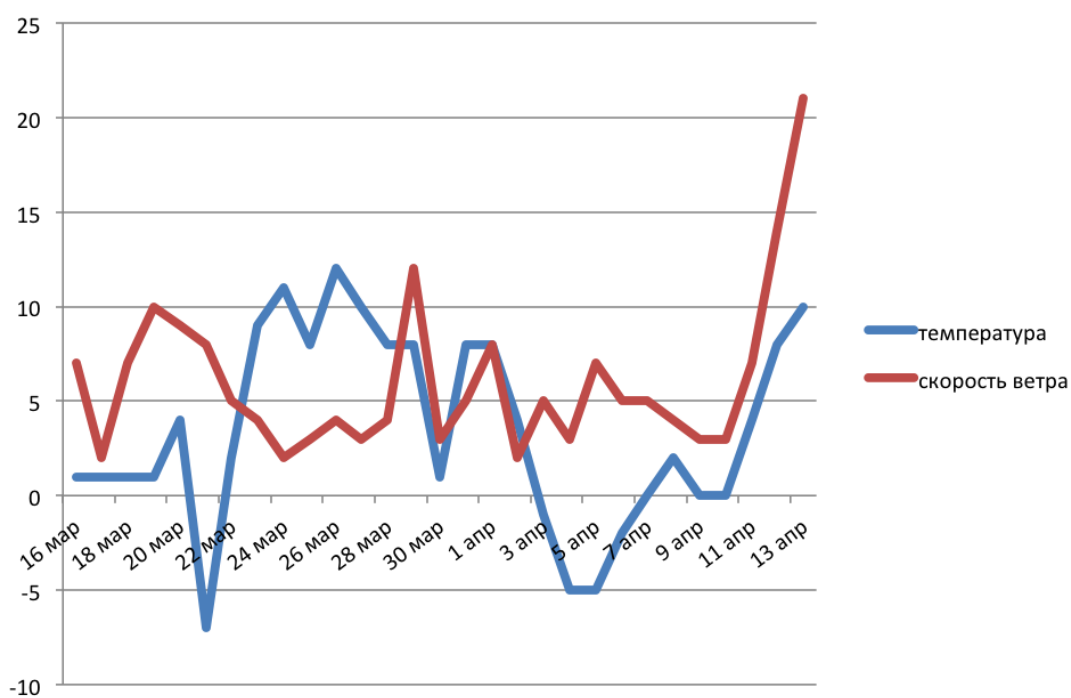


Рис. 3. Графики изменения температуры воздуха (°C) и скорости ветра (м/с)

Еще одним крупным природным лесным пожаром был пожар в населенном пункте Саянский. В результате пожара пострадал склад боеприпасов, находившийся неподалеку от населенного пункта.

На рис. 4 показаны графики изменения температуры воздуха (°C) и скорости ветра (м/с) в районе населенного пункта Саянский Саянского района за период 1 марта–28 апреля 2017 г.

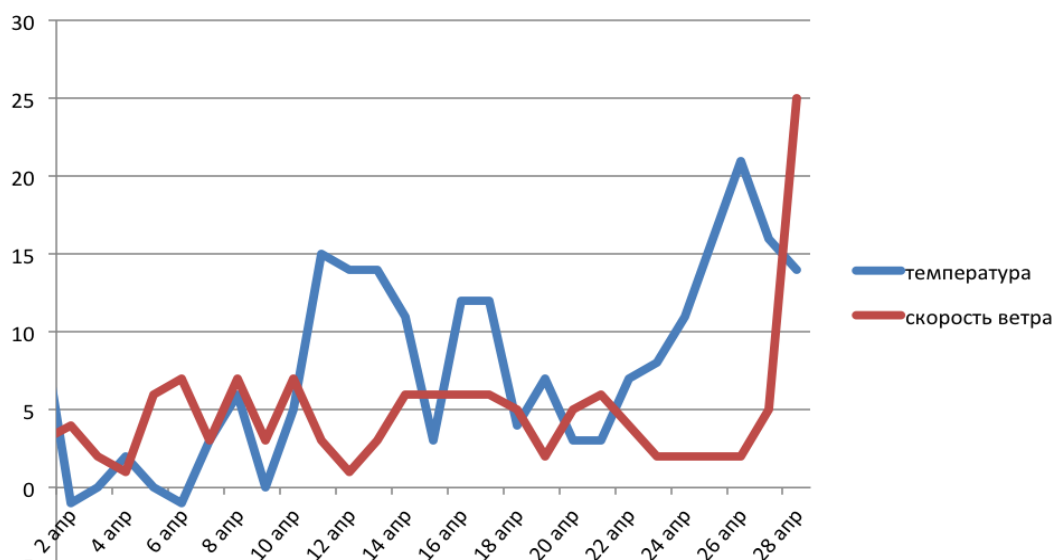


Рис. 4. Графики изменения температуры воздуха (°C) и скорости ветра (м/с)

Анализ изменения температуры воздуха и скорости ветра в период 1–28 апреля 2017 г. показал, что температура воздуха в этот период колебалась от – 1 °C 2 апреля до 16 °C 27 апреля и не могла привести к возникновению пожароопасной обстановки. В результате резкого усиления порывов северо-западного ветра с 2 до 25 м/с 28 апреля произошло быстрое распространение пожара от очага возгорания, находившегося на расстоянии 2 км от поселка Калиновка Рыбинского района и на расстоянии 9 км от населенного пункта Воронино Уярского района, что привело к возгоранию в районе населенного пункта Саянский.

Таким образом, были проанализированы факторы, повлиявших на возникновение 16 исследуемых природных лесных пожаров, приведших к возгоранию населенных пунктов. В результате анализа получены следующие соотношения.

В 11 случаях (68,8 %) незадолго до возникновения природного лесного пожара произошло резкое увеличение скорости ветра до 20–26 м/с в районе очага лесного пожара, что спровоцировало возгорание населенного пункта, в двух случаях (12 %) усиления ветра не наблюдалось, для трех (12 %) пожаров данные о скорости ветра в архиве Гидрометцентра России отсутствовали. На рис. 5 представлена диаграмма соотношения числа природных лесных пожаров в зависимости от изменения скорости ветра.

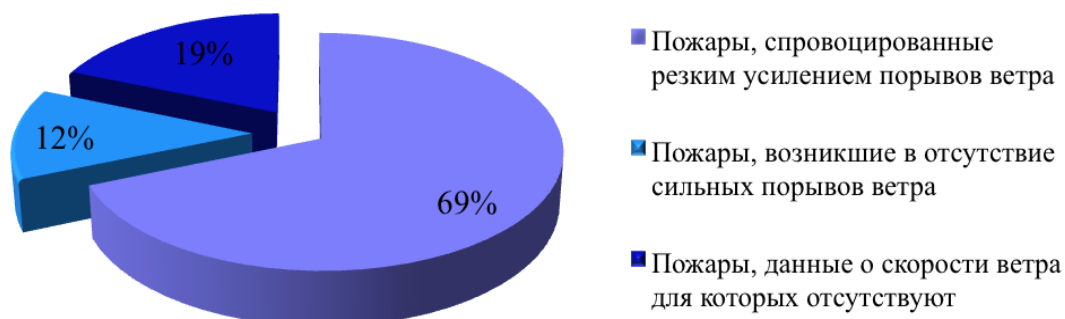


Рис. 5. Диаграмма соотношения числа природных лесных пожаров в зависимости от изменения скорости ветра

В восьми случаях (50,0 %) колебание температуры воздуха в 5-дневный предшествующий возникновению природного лесного пожара период составило от 0 до 9 °C,

в четырех случаях (25,0 %) – от 10 до 18 °С, для четырех (25,0 %) пожаров данные о температуре воздуха в архиве Гидрометцентра России отсутствовали. На рис. 6 представлена диаграмма соотношения числа природных лесных пожаров в зависимости от колебания температуры воздуха в 5-дневный предшествующий возникновению пожара период.

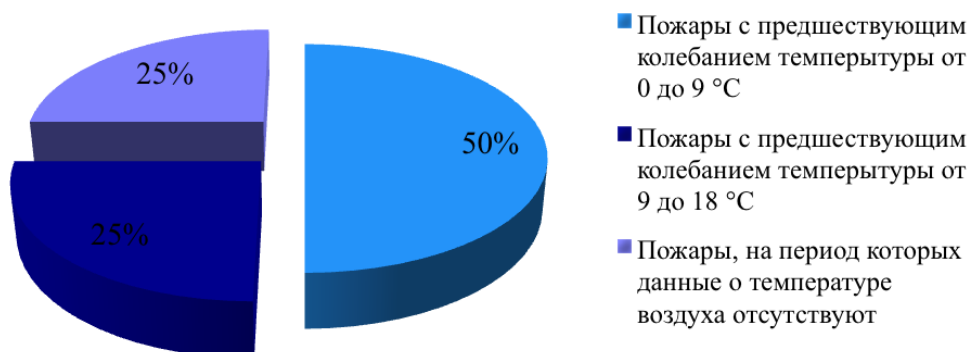


Рис. 6. Диаграмма соотношения числа природных лесных пожаров в зависимости от колебания температуры воздуха в 5-дневный предшествующий возникновению пожара период

В девяти (56,3 %) случаях из 16 к возгоранию населенных пунктов привело горение лесной подстиляющей поверхности, а в семи (43,7 %) случаях – пал сухой травы в окрестностях населенного пункта. Диаграмма соотношения количества природных лесных пожаров в зависимости от горючего материала представлена на рис. 7.

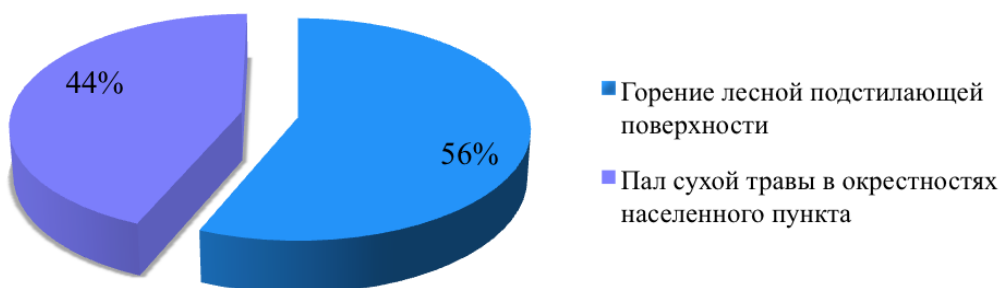


Рис. 7. Диаграмма соотношения количества природных лесных пожаров в зависимости от типа горючего материала

Таким образом, анализ скорости ветра в районе очага природного лесного пожара, показал, что к возникновению природных лесных пожаров, приведших к возгоранию населенных пунктов, в основном, привело резкое, до 20–26 м/с, усиление ветра, при этом только в 25 % случаев изменение температуры воздуха составило 10–18 °С. Анализ соотношения количества природных лесных пожаров в зависимости от типа горючего материала показал, что горение лесной подстиляющей поверхности было немного чаще, чем пал сухой травы.

Исходя из приведенного выше анализа, разрабатываем подход к формированию комплексного анализа рисков возникновения природных пожаров [2, 3]. Предполагается, что подход будет состоять из четырех этапов (рис. 8).

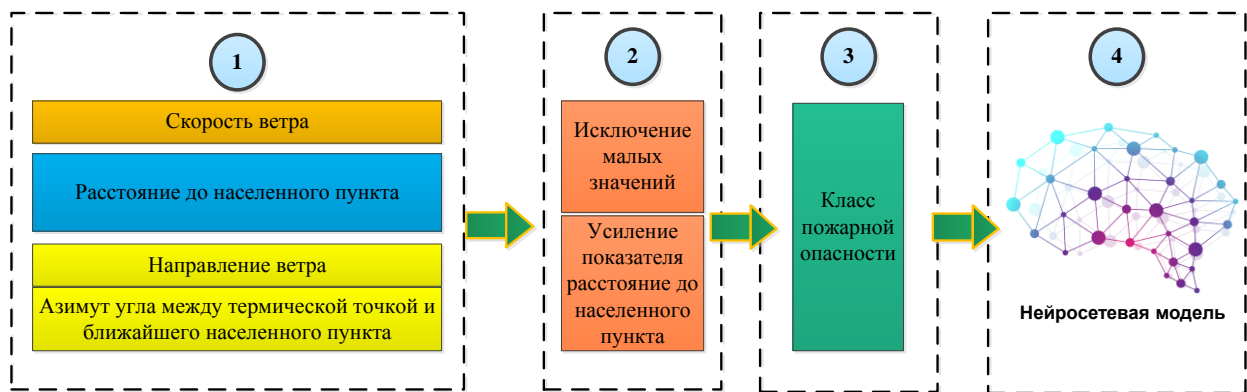


Рис. 8. Этапы формирования подхода к анализу рисков

Предполагается, что на первом этапе риск будет касаться трёх факторов [4, 5]:

- риск, основанный на показателе скорости ветра;
- риск, основанный на показателе расстояния от термической точки до ближайшего населенного пункта;

– риск, основанный на показателе сравнения показателя направления ветра и показателя азимут от термической точки до ближайшего населенного пункта.

Все зависимости получены на основе анализа статистики по термическим точкам за последние 10 лет и выявления функциональных закономерностей влияния одних показателей на другие (рис. 9, 10).

$$R = R_1 R_2 R_3 * 100\%$$

$$R_1 = 0,01 * \left(107,711197056 - \frac{433,45152092}{x} \right), \text{ где } x - \text{ скорость ветра в м/с}$$

$$R_2 = \begin{cases} y = 0,01(100 - x), \text{ при } x \in [0, 5] \\ y = 0,01(-30,63 \ln(x) + 147,7), \text{ при } x \in (5; +\infty) \end{cases}, \text{ где } x - \text{ расстояние от термоточки до населенного пункта}$$

$$R_3 = \begin{cases} \text{если } |\alpha - \beta| < 180, \text{ то } y = 0,01(100 - 0,55(|\alpha - \beta|)) \\ \text{если } |\alpha - \beta| > 180, \text{ то } \begin{cases} y = 0,01(100 - 0,55((360 - \alpha) + \beta)), \text{ при } \alpha > \beta \\ y = 0,01(100 - 0,55((360 - \beta) + \alpha)), \text{ при } \beta > \alpha \end{cases} \end{cases}, \text{ где } \alpha - \text{ азимут от термической точки до ближайшего н.п., } \beta - \text{ угол направления ветра}$$

При этом берется максимальное прогнозное значение риска, исходя из значений показателей направления и скорости ветра за определенные промежутки времени (12:00, 15:00, 18:00, 21:00, 00:00):

$$R_{total} = R_{1max} R_2 R_{3max}, \text{ где } R_{1max} = \max(r_{11} \dots r_{15}), R_{3max} = \max(r_{31} \dots r_{35})$$

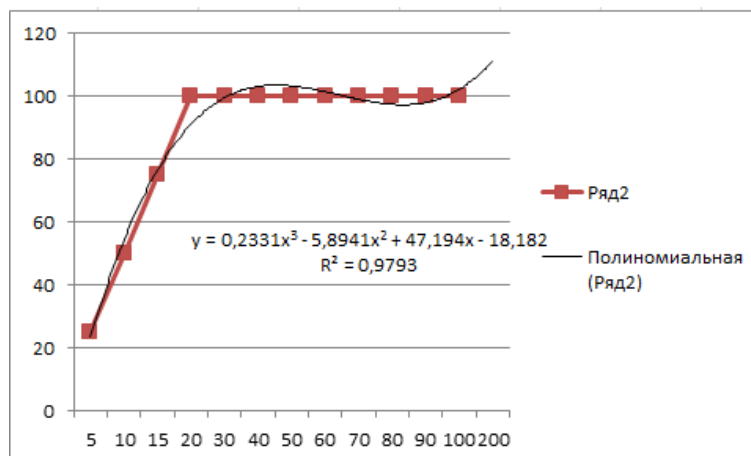


Рис. 9. Определение типа функции для выявления значения риска по показателю скорость ветра

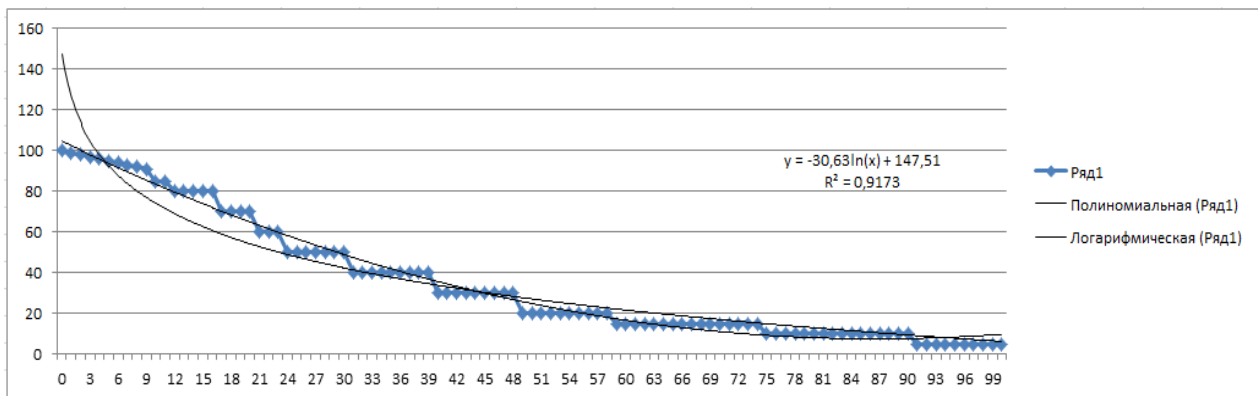


Рис. 10. Определение типа функции для выявления значения риска по показателю расстояние от термической точки до населенного пункта

На втором этапе осуществляется усиление приоритетного показателя – это расстояние между термической точкой и населенным пунктом, и исключаются случаи, когда один из показателей настолько чрезвычайно мал, что им можно пренебречь:

$$R = \begin{cases} R_2 R_3, \text{ если } ((R_1 \in [0; 0.5]) \&\& (R_3 \in [0.5; 1])) \\ R_1 R_2, \text{ если } (0.9; 1] \&\& (R_1 \in [0.5; 1] \&\& R_3 \in [0; 0.5]) \\ R_2 / 2, \text{ если } (0.9; 1] \&\& (R_1 \in [0; 0.5] \&\& R_3 \in [0; 0.5]) \end{cases} \text{ при } R_2 \in (0.9; 1]$$

На третьем этапе учитывается значение класса пожарной опасности, исходя из величины комплексного показателя пожарной опасности (1 класс – 0...300, 2 класс – 301...1 000, 3 класс – 1 001...4 000, 4 класс – 4 001...10 000, 5 класс – более 10 000).

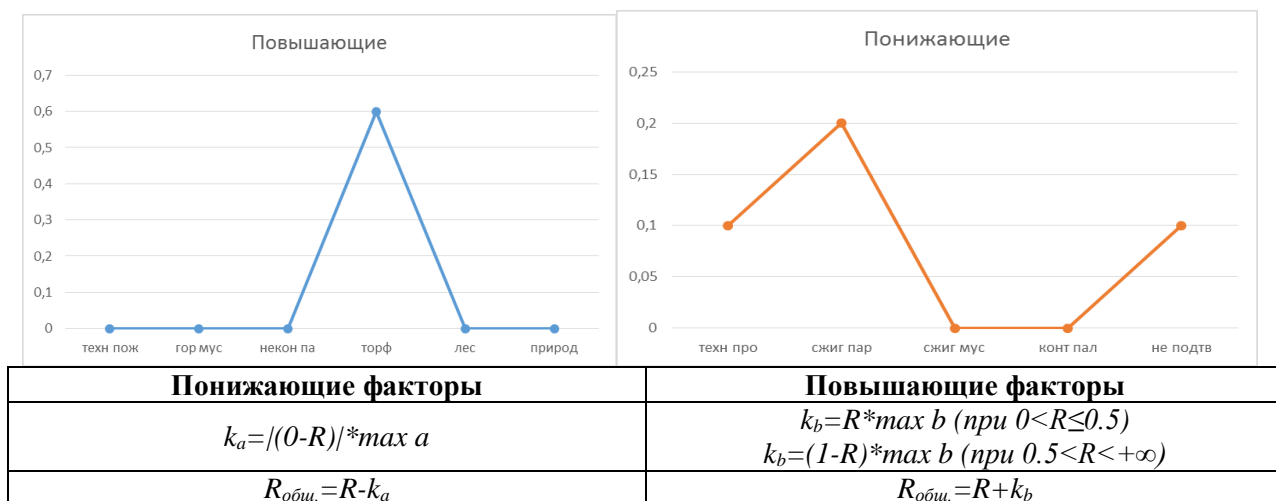
На четвертом этапе осуществляется подключение результатов прогнозирования нейросетевой модели (разработана в рамках совместно конкурса, организованного «Сбербанк» и МЧС России), которая автоматически классифицирует ту или иную термическую точку по типу подтверждения информации о ней.

Условно вся информация по подтверждению термических точек разделяется на повышающие и понижающие факторы (табл.).

Таблица

Понижающие факторы	Повышающие факторы
Технологический процесс	Технологический пожар
Сжигание порубочных остатков	Горение мусора
Контролируемый пал	Неконтролируемый пал
Не подтверждено	Торфяной пожар
Сжигание мусора	Лесной пожар
–	Природный пожар

По каждому фактору нейросетевая модель даёт вероятность наступления того или иного события. Подход учитывает максимальное значение вероятности. И, исходя из того, понижающий это фактор или повышающий происходит уменьшение или увеличение общего показателя риска соответственно:



где а и в – значения вероятностей наступления того или иного события; R – значение риска, полученное на этапах 1–3.

Полученные данные используются в разработанном МЧС России мобильном приложении «Термические точки» при отображении карточки термической точки в графе уровень риска (рис. 11).

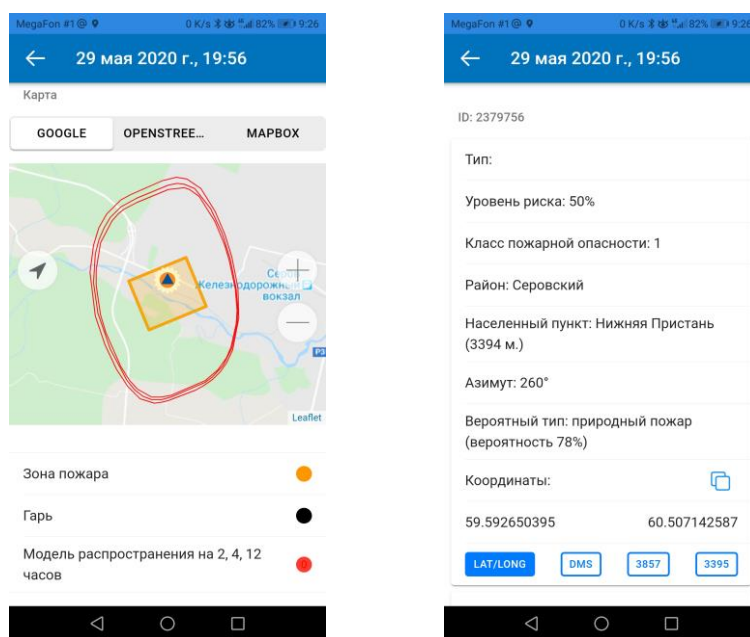


Рис. 11. Мобильное приложение «Термические точки»

Таким образом, был предложен подход к формированию комплексного показателя значения риска, позволяющего оценить вероятность перехода опасных факторов термических точек на населенный пункт, исходя из зависимостей, влияющих на значение данного риска [6, 7].

Литература

1. Антюхов В.И., Остудин Н.В., Сорока А.В. Методика анализа информационной потребности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 4 (20). С. 18–28.
2. Антюхов В.И. Системный анализ и принятие решений / под ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2009. 398 с.

3. Антюхов В.И., Остудин Н.В., Моделирование процесса интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2017. № 2. С. 78.

4. Антюхов В.И., Остудин Н.В., Сорока А.В. Методика выявления перечня задач интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2016. № 4. С. 63.

5. Присяжнюк Н.Л., Шишков Ю.А. Оценка пожарного риска территории Красноярского края // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности: сб. тезисов докладов материалов Междунар. науч.-практ. конф. М.: АГПС МЧС России, 2018.

6. Антюхов В.И., Остудин Н.В. Методика выявления и анализа проблемных вопросов в деятельности должностных лиц ЦУКС МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2016. № 1. С. 97.

7. Антюхов В.И., Остудин Н.В., Сорока А.В. Методика выявления перечня задач интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 4. С. 63–76.

References

1. Antyuhov V.I., Ostudin N.V., Soroka A.V. Metodika analiza informacionnoj potrebnosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2016. № 4 (20). S. 18–28.

2. Antyuhov V.I. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij / pod red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2009. 398 s.

3. Antyuhov V.I., Ostudin N.V., Modelirovanie processa intellektual'noj podderzhki deyatel'nosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. 2017. № 2. S. 78.

4. Antyuhov V.I., Ostudin N.V., Soroka A.V. Metodika vyyavleniya perechnya zadach intellektual'noj podderzhki deyatel'nosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. 2016. № 4. S. 63.

5. Prisyazhnyuk N.L., Shishkov Yu.A. Ocenka pozharnogo riska territorii Krasnoyarskogo kraja // Istoricheskij opyt, sovremennye problemy i perspektivy obrazovatel'noj i nauchnoj deyatel'nosti v oblasti pozharnoj bezopasnosti: sb. tezisov dokladov materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: AGPS MCHS Rossii, 2018.

6. Antyuhov V.I., Ostudin N.V. Metodika vyyavleniya i analiza problemnyh voprosov v deyatel'nosti dolzhnostnyh lic CUKS MCHS Rossii // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. 2016. № 1. S. 97.

7. Antyuhov V.I., Ostudin N.V., Soroka A.V. Metodika vyyavleniya perechnya zadach intellektual'noj podderzhki deyatel'nosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2016. № 4. S. 63–76.