

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 614.8

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ MODIS

Глушков Алексей Петрович

Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. В рамках исследования разработан алгоритм автоматизированного детектирования и анализа пожарной обстановки по данным дистанционного зондирования Земли со спутниковых сенсоров MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Предложенный подход обеспечивает непрерывный процесс идентификации термальных аномалий, характерных для очагов открытого горения, с последующей оценкой их ключевых параметров (координаты, площадь, динамика распространения). Генерируемая информация систематизируется для анализа пространственно-временных закономерностей развития пожаров. Результаты обработки предназначены для интеграции в системы поддержки принятия решений, обеспечивая органы управления актуальными и объективными данными для планирования мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами природного и техногенного характера. Таким образом, внедрение данного алгоритма способствует обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях за счет оперативного предоставления критически важной аналитической информации.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, MODIS, активные очаги горения, яркостная температура, информационно-аналитическая система, спутниковый мониторинг, системный анализ, обработка информации

Для цитирования: Глушков А. П. Алгоритмизация поддержки принятия управленческих решений для обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера на основе данных MODIS // Техносферная безопасность. 2026. № 1 (50). С. 100–108.

ALGORITHMIZATION OF SUPPORT FOR MANAGEMENT DECISION MAKING TO ENSURING SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS OF NATURAL AND MAN-MADE NATURE BASED ON MODIS DATA

Alexey P. Glushkov

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russian Federation

Abstract. As part of the research, an algorithm for automated detection and analysis of the fire situation has been developed based on remote sensing data from MODIS (Moderate Resolution

Imaging Spectroradiometer) satellite sensors. The proposed approach provides a continuous process of identification of thermal anomalies characteristic of open-gorenje fires, followed by an assessment of their key parameters (coordinates, area, dynamics of propagation). The generated information is systematized to analyze the spatial and temporal patterns of fire development. The processing results are intended for integration into decision support systems, providing management bodies with up-to-date and objective data for planning measures to prevent and eliminate the consequences of emergencies related to natural and man-made fires. Thus, the implementation of this algorithm contributes to ensuring safety in emergency situations by promptly providing critical analytical information.

Keywords: remote sensing of the Earth, MODIS, active fire outbreaks, brightness temperature, information and analytical system, satellite monitoring, system analysis, information processing

For citation: Glushkov A. P. Algorithmization of support for management decision making to ensuring safety in emergency situations of natural and man-made nature based on MODIS data // Technospheric safety. 2026. No. 1 (50). Pp. 100–108.

Введение

Современные задачи обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера требуют оперативного получения объективной информации о состоянии природных территорий. В условиях роста частоты и интенсивности природных пожаров особую актуальность приобретает создание автоматизированных систем дистанционного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования Земли (далее — ДЗЗ). Исследования в этой области активно ведутся на протяжении последних лет научными коллективами многих стран [1–3].

Развитие приборов ДЗЗ позволило обеспечить регулярные глобальные наблюдения с высокой временной повторяемостью, что делает спутниковые данные практически безальтернативным источником информации при мониторинге на обширных территориях [4].

Данные ДЗЗ активно используют для обнаружения активных очагов горения, оценки площади и интенсивности пожаров, а также анализа их последствий. Важным преимуществом спутниковой съемки является ее оперативность, объективность и независимость от наземной инфраструктуры. До недавнего времени развитие практических систем сдерживалось ограниченной доступностью данных и недостаточной автоматизацией методов обработки. Однако появление современных спутниковых систем, таких как Terra/Aqua — MODIS, сделало данные ДЗЗ качественно более доступными и пригодными для решения прикладных задач.

Для решения задач пожарного мониторинга применяют данные среднего разрешения, сочетающие достаточную пространственную детальность и высокую частоту наблюдений. В качестве основного источника данных выбран прибор MODIS, установленный на борту спутников Terra и Aqua, обеспечивающий двукратную ежедневную съемку

поверхности Земли с пространственным разрешением 1 км в инфракрасных каналах, что позволяет оперативно выявлять термические аномалии, связанные с пожарами.

Эффективное использование данных MODIS требует разработки специализированных методов предварительной и тематической обработки, ориентированных на детектирование активных очагов горения.

Цель исследования — разработка алгоритма автоматизированной обработки данных MODIS для оперативного детектирования активных очагов горения, оценки их пространственно-временной динамики и формирования информационной основы для поддержки принятия управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Материалы и методы

В работе проведен анализ существующих спутниковых систем, способных идентифицировать пожары. Одни из главных критериев выбора — доступность информации, площадь идентификации и частота обновления выявленной термоточки.

В ходе анализа спутниковых систем для мониторинга пожаров был выбран метод MODIS как наиболее сбалансированный и эффективный для решения научно-прикладных задач. Ключевыми преимуществами стали: глобальное покрытие, высокая частота обновления данных (до четырех раз в сутки), открытый доступ к архиву с 2000 г. Технологическая возможность включает съемку в 36 спектральных каналов (диапазонов), охватывающих видимый, ближний, средний и дальний инфракрасный диапазоны, а также предоставление готовых специализированных продуктов (MOD14/MYD14) с уже

рассчитанными параметрами (координаты термоточки, мощность теплового излучения (FRP), уровень достоверности). Возможность использования API (Application Programming Interface) для получения данных в режиме, близком к реальному масштабу времени, является основой для развертывания интерактивной публичной карты пожаров. Эти характеристики делают MODIS оптимальным инструментом для оперативного отслеживания пожаров и долгосрочного анализа их динамики.

В работе использовали следующие данные MODIS — откалиброванные данные спектральной яркости и температуры (MOD021KM), геолокационные данные (широта, долгота, углы наблюдения — MOD03), стандартный продукт активных пожаров (для валидации MOD14) [5–7].

Анализ данных MODIS и алгоритм детектирования пожаров

Предварительная обработка данных включала следующие этапы.

1. Фильтрация по углу наблюдения для исключения пикселей с зенитным углом наблюдения более 60° для минимизации искажения, вызванного атмосферным рассеянием.
2. Геопривязка термоточек для предварительной обработки данных спутниковых измерений до формирования итоговых продуктов (MOD14) с информацией об активных очагах: исходные данные (радиометрические измерения в каналах 3,9 мкм и 11 мкм) синхронизируются с геолокационными метаданными из продукта MOD03, который предоставляет широту, долготу и углы наблюдения для каждого пикселя

с точностью ±500 м. Алгоритм детекции пожаров использует эти геопривязанные данные для расчета тепловых аномалий и координирования термоточек.

3. Расчет яркостной температуры заключался в измерении прибором спутника энергии, излучаемой от поверхности Земли в инфракрасном диапазоне. Чтобы определить, является ли этот сигнал признаком пожара, необходимо перевести его в физическую температуру. Поскольку MODIS не измеряет температуру напрямую, а фиксирует спектральную яркость, использовали обратную формулу закона Планка [8]. Необходимо

$$T_{b,3,9} > 310K. \tag{1}$$

Для снижения числа ложных срабатываний, вызванных горячими поверхностями без пламени, применяется разность

$$\Delta T = T_{b,3,9} - T_{b,11} > 10K. \tag{2}$$

Для обнаружения активного очага температуру центрального пикселя сравнивали с усредненной температурой его ближайшего окружения. Для этого в окне размером 3×3 пикселя (исключая анализируе-

$$T_{b,3,9} - T_{окр} > 15K. \tag{3}$$

5. Предусматривает результаты обработки по данным критериям в форме таблицы (MOD14), каждая запись которой содержит координаты, тепловые аномалии (bright_ti4, bright_ti5), мощность теплового излучения (FRP), метаданные

отметить, что данный этап обеспечивает физически обоснованную оценку температуры поверхности, необходимую для выявления термических аномалий.

4. Детектирование активных очагов горения. Данный алгоритм основан на модифицированной версии стандартного подхода, применяемого в продукте MOD14, и включает совокупность спектральных и пространственных критериев.

Пиксель рассматривали как возможный активный очаг, если яркостная температура в канале 3,9 мкм превышает установленное значение температуры.

температур между коротковолновым и длинноволновым инфракрасными каналами [9].

мый центр) вычисляли среднее значение. Пиксель считается активным очагом, если его температура превышает этот средний фон. При этом размер окна может быть адаптивный, а не фиксированный.

съемки (спутник, время, проч.) и атрибуты классификации (достоверность, тип очага).

Расчет мощности теплового излучения осуществляли по следующему выражению [10]:

$$FRP \approx \frac{A_{pix} \sigma}{\alpha \tau_4} (L_4 - \bar{L}_4), \tag{4}$$

где:

A_{pix} — площадь пикселя MODIS (варьируется как функция угла сканирования);
 σ — постоянная Стефана – Больцмана ($5,6704 \cdot 10^{-8} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$);

α — эмпирическая постоянная, зависящая от прибора (для MODIS $\alpha = 3,0 \cdot 10^{-9} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ср}^{-1} \text{мкм}^{-1} \text{К}^{-4}$);

τ_4 — коэффициент прохождения 21 канала MODIS в атмосфере;

L_4 — энергетическая яркость термически активного пиксела (цели) в канале 21, радиометра MODIS $\lambda \approx 4 \text{ мкм}$;

L_4 — энергетическая яркость фона в том же спектральном диапазоне.

Для повышения надежности данных применяют отбор термоточек с уровнем уверенности (confidence). Для разных задач используют различные пороговые значения: 30 % — когда важна полнота охвата, 80 % — когда приоритетом является минимальное количество ложных тревог.

Ежегодные наборы фиксированных параметров хранятся в сводных табличных базах данных. Из-за большого объема информации (миллионы записей) такие массивы относят к категории Big Data. Обработка таких массивов требует применения современных языков программирования для автоматической маркировки и эффективной обработки.

Алгоритм получения и обработки информации MODIS для решения задач управления безопасностью в чрезвычайных ситуациях представлен на рисунке.

$$\begin{aligned} \text{lat_min} &\leq \text{latitude} \leq \text{lat_max} \\ \text{lon_min} &\leq \text{longitude} \leq \text{lon_max} \end{aligned}$$

Для индикации физических параметров термоточки используем значения brightness и FRP, где $\text{min_brightness} = 320 \text{ К}$ — это минимальная яркостная температура, $\text{min_frp} = 1 \text{ МВт}$ — это минимальная мощность излучения, $\text{max_brightness} = 600 \text{ К}$ — это максимальная яркостная температура.

В качестве критерия достоверности использовали параметр confidence при минимальном значении, равном 30 %.

На основе многолетнего анализа временных рядов температурных аномалий рекомендуется сформировать маску стационарных источников тепла (промышленные

Для функционирования представленного алгоритма в архитектуру данного программного комплекса включены следующие блоки: Graphical User Interface (GUI), модуль обработки данных для работы с CSV-форматом, картографический модуль и аналитический модуль для статистических вычислений [11].

В качестве исходных данных термоточек выступали следующие параметры: latitude, longitude, brightness, confidence, acq_date, acq_time, frp.

Для дальнейшей обработки такого вида данных применим алгоритм отбора термоточек (многоуровневая фильтрация постоянных источников тепла). В качестве координатного фильтра использовали параметры latitude и longitude, где диапазон этих значений имеет вид:

зоны, ТЭЦ и др.), которые исключаются из итогового списка термоточек.

Разработанная система реализована в виде модульной архитектуры и включает в себя следующие подсистемы:

подсистема автоматизированной загрузки данных, которая осуществляет регулярную выборку данных MODIS с официальных серверов (NASA LAADS DAAC, NOAA CLASS);

подсистема предварительной и тематической обработки, которая реализует описанные выше алгоритмы с использованием библиотек: GDAL, NumPy и SciPy;

подсистема визуализации, которая позволяет генерировать векторные слои активных очагов в формате GeoJSON и отображает их в веб-интерфейсе на базе MapLibre GL JS;

подсистема отчетности и оповещения — формирует ежедневные сводки по количеству термоточек по регионам, способна отправлять уведомления при превышении заданных пороговых значений.

Для независимой проверки точности алгоритма детектирования MODIS применены данные сенсора VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) со спутников Suomi NPP и NOAA-20, обеспечивающего пространственное разрешение 375 м в канале активного пожара, при этом точность детектирования сенсора MODIS составила 88,1% и уровень ложных срабатываний составил 7,9%.

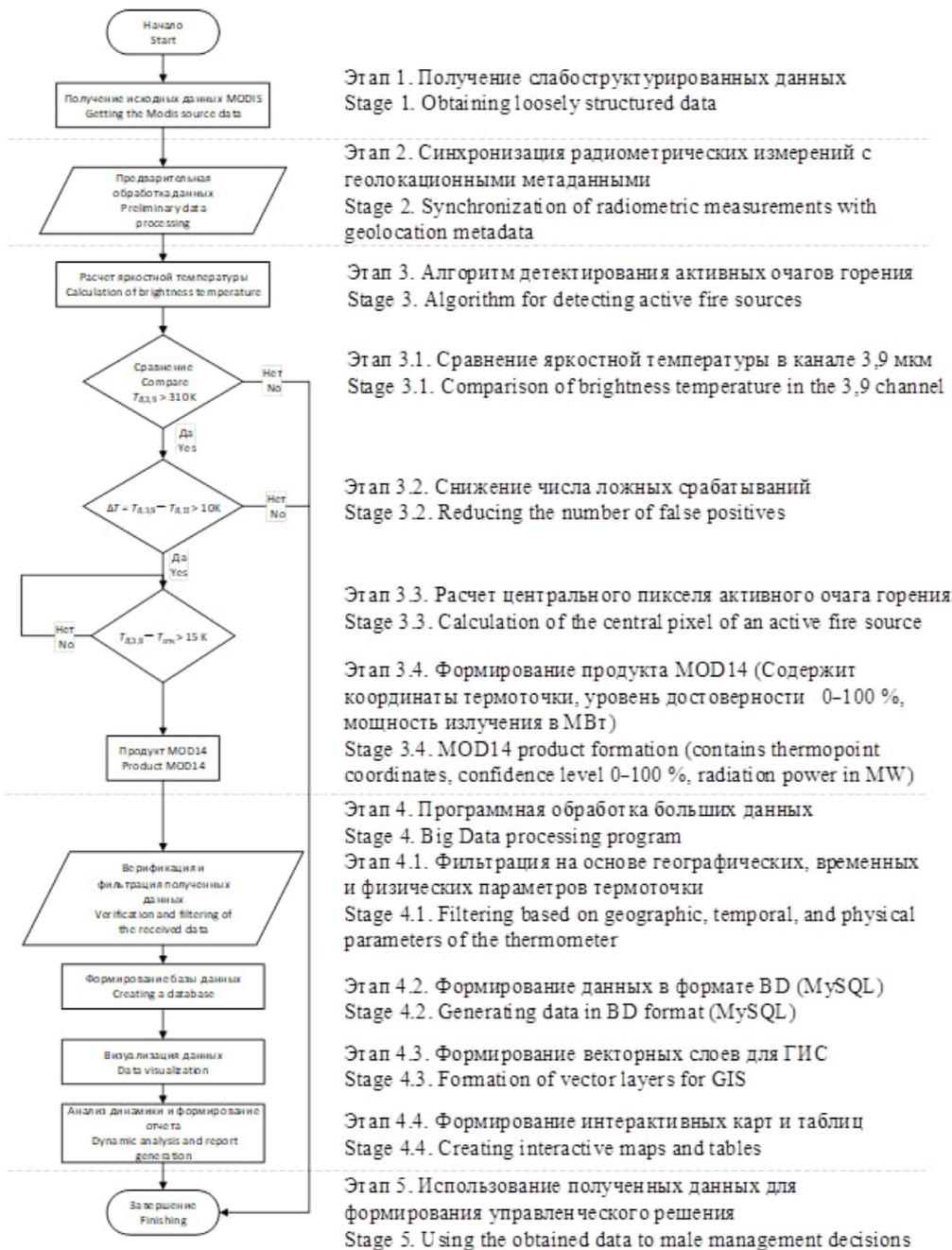


Рис. Алгоритм получения и обработки информации MODIS для решения задач управления безопасностью в чрезвычайных ситуациях

Fig. Modis information acquisition and processing algorithm for solving emergency safety management tasks

Заключение

Разработанный алгоритм автоматизированной обработки спутниковых данных MODIS направлен на решение задач оперативного детектирования активных очагов горения и анализа их пространственно-временной динамики. Реализующее его авторское программное обеспечение [11] позволяет осуществлять мониторинг активных очагов горения на территории субъектов РФ и других регионов, формировать базы

данных термоточек в административных границах региона и проводить количественную оценку числа термоточек, выполнять пространственный анализ плотности очагов для прогнозирования масштаба пожарной нагрузки.

Программа применима для планирования сил и средств, задействованных для ликвидации пожаров и осуществления интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений для обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sabitov O., Mukhamedgali A. Integrated satellite image processing for environmental monitoring and forest fire prediction in Abay region using Google Earth Engine // *Universum*. 2025. No. 5–9 (134). Pp. 20–23. DOI: 10.32743/UniTech.2025.134.5.20077
2. Roy P. S., Behera M. D., Srivastav S. K. Satellite Remote Sensing: Sensors, Applications and Techniques. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section // Physical Sciences*. 2017. Vol. 87 (4). Pp. 465–472. DOI: 10.1007/s40010-017-0428-8
3. Monitoring fire regimes and assessing their driving factors in Central Asia / H. Yin et al. // *Journal of Arid Land*. 2021. Vol. 13, No. 5. Pp. 500–515. DOI: 10.1007/s40333-021-0008-2
4. Арифуллин Е. З., Аврамов З. А., Калач А. В. Космический мониторинг пожароопасных и других видов чрезвычайных ситуаций // *Гражданская оборона и природно-технические системы : сборник статей по материалам XX Международной научно-практической конференции / Воронежский государственный технический университет. Воронеж, 2024. С. 62–65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75195198> (дата обращения: 23.12.2025).*
5. MODIS/Terra Calibrated Radiances 1km L1B Daily (MOD021KM). Collection 6.1. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) // NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2023. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD021KM.061> (дата обращения: 03.01.2026).
6. MODIS/Terra Geolocation Fields 1km Daily (MOD03), Collection 6.1. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) // NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2023. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD03.061> (дата обращения: 03.01.2026).
7. MODIS/Terra Thermal Anomalies & Fire Daily (MOD14), Collection 6. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) // NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD14.006> (дата обращения: 03.01.2026).
8. Технологии дистанционного мониторинга засух : монография / А. Н. Романов [и др.]. Барнаул, 2024. 148 с.

9. The MODIS fire products / C. O. Justice et al. // Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 83. Pp. 244–262. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00076-7

10. Оценка повреждений российских лесов пожарами в 21 веке на основе анализа интенсивности горения по данным приборов MODIS / Д. В. Лозин [и др.] // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» / Институт космических исследований Российской академии наук. М., 2024. С. 188. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80451686> (дата обращения: 03.01.2026).

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025697074 Российская Федерация. Программа для определения пожарной опасности территории на основе ретроспективной информации : № 2025695771 : заявл. 08.12.2025 : опубл. (зарег.) 22.12.2025 / А. В. Калач [и др.] ; заявитель ВИ ФСИН России.

REFERENCES

1. Sabitov O., Mukhamedgali A. Integrated satellite image processing for environmental monitoring and forest fire prediction in Abay region using Google* Earth Engine // Universum. 2025. No. 5–9 (134). Pp. 20–23. DOI: 10.32743/UniTech.2025.134.5.20077

2. Roy P. S., Behera M. D., Srivastav S. K. Satellite Remote Sensing: Sensors, Applications and Techniques. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section // Physical Sciences. 2017. Vol. 87 (4). Pp. 465–472. DOI: 10.1007/s40010-017-0428-8

3. Monitoring fire regimes and assessing their driving factors in Central Asia / H. Yin et al. // Journal of Arid Land. 2021. Vol. 13, No. 5. Pp. 500–515. DOI: 10.1007/s40333-021-0008-2

4. Arifullin E. Z., Avramov Z. A., Kalach A. V. Space monitoring of fire hazards and other emergency situations // Civil Defense and Natural-Engineering Systems : Collection of articles based on the materials of the XX International Scientific and Practical Conference / Voronezh State Technical University. Voronezh, 2024. Pp. 62–65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75195198> (accessed 23.12.2025).

5. MODIS/Terra Calibrated Radiances 1km L1B Daily (MOD021KM). Collection 6.1. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) // NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2023. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD021KM.061> (accessed 03.01.2026).

6. MODIS/Terra Geolocation Fields 1km Daily (MOD03), Collection 6.1. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) // NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2023. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD03.061> (accessed 03.01.2026).

7. MODIS/Terra Thermal Anomalies & Fire Daily (MOD14), Collection 6. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) // NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD14.006> (accessed 03.01.2026).

8. Remote drought monitoring technologies : monograph / A. N. Romanov et al. Barnaul, 2024. 148 p.

9. The MODIS fire products / C. O. Justice et al. // Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 83. Pp. 244–262. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00076-7

10. An assessment of fire damage to Russian forests in the 21st century based on an analysis of fire intensity using MODIS data / D. V. Lozin et al. // Proceedings of the 22nd International

Conference "Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space" / Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2024. P. 188. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80451686> (accessed 03.01.2026).

11. Certificate of state registration of a computer program No. 2025697074 Russian Federation. A program for determining the fire hazard of an area based on retrospective information : № 2025695771 : application dated 08.12.2025 : published on 22.12.2025 / A. V. Kalach et al. ; applicant VI of the Federal Penitentiary Service of Russia.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Глушков Алексей Петрович, старший преподаватель кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1а); РИНЦ ID: 3849-7674; ORCID: 0000-0002-8337-7446; e-mail: alexglushkov@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexey P. Glushkov, Senior lecturer of the department of information security and protection of information constituting a state secret, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia (1a Irkutskaya St., Voronezh, 394072, Russian Federation); ID RISC: 3849-7674; ORCID: 0000-0002-8337-7446; e-mail: alexglushkov@bk.ru