

Научная статья

УДК 62.529: 656.089.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-40-48

## ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЛАНДШАФТНЫМ ПОЖАРОМ

✉ Бобров Владимир Николаевич;

Калач Андрей Владимирович.

Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия.

Кияткина Екатерина Николаевна.

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия

✉ [bvn280167@rambler.ru](mailto:bvn280167@rambler.ru)

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы, связанные с повышением качества принимаемых решений при управлении безопасностью полетов авиации в условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных ландшафтными пожарами. Эффективное принятие решений требует комплексного использования аналитических методов, большого объема данных, описывающих состояние окружающей среды и способов интерпретации полученных результатов. Повышение эффективности управления в режиме реального масштаба времени обеспечивается за счет использования прогностической информации о состоянии окружающей среды. Для установления прогностических значений параметров окружающей среды на основе ретроспективной информации выделен набор новых значимых параметров, оказывающих влияние как на течение чрезвычайной ситуации, так и на безопасность полетов авиации. В качестве значимых параметров используется информация о пространственно-временном распределении показателя преломления атмосферы и вариациях его градиента. Это позволило установить в окружающей среде пространственные границы с экстремальными значениями параметров атмосферы, оказывающих негативное влияние на безопасность полетов в условиях чрезвычайной ситуации, вызванной ландшафтными пожарами. Используемые в предиктивном управлении технологии позволили провести анализ больших данных о параметрах атмосферы, осуществить экспертную оценку состояний окружающей среды с точки зрения ее влияния на безопасность полетов, а также провести прогнозирование возможных негативных ситуаций развития чрезвычайных ситуаций, вызванных ландшафтными пожарами.

*Ключевые слова:* специальные авиационные работы, окружающая среда, ландшафтные пожары, параметры атмосферы, предиктивное управление, сопутствующие процессы

**Для цитирования:** Бобров В.Н., Калач А.В., Кияткина Е.Н. Предиктивное управление безопасностью полетов авиации при ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызванных ландшафтным пожаром // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 40–48. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-40-48.

Scientific article

## PREDICTIVE MANAGEMENT OF AVIATION FLIGHT SAFETY IN EMERGENCY RESPONSE CAUSED BY LANDSCAPE FIRE

✉ Bobrov Vladimir N.;

Kalach Andrey V.

Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia.

Kiyatkina Ekaterina N.

Siberian fire and rescue academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

✉ bvn280167@rambler.ru

*Abstract.* The article considers issues related to improving the quality of decisions made in managing aviation flight safety in emergencies caused by landscape fires. Effective decision-making requires the integrated use of analytical methods, a large amount of data describing the state of the environment and methods for interpreting the results. Improving the efficiency of management in real time ensured by using predictive information on the state of the environment. To establish predictive values of environmental parameters based on retrospective information, a set of new significant parameters that affect both the course of an emergency and the safety of aviation flights identified. Information on the spatio-temporal distribution of the refractive index of the atmosphere and variations in its gradient used as significant parameters. This made it possible to establish spatial boundaries in the environment with extreme values of atmospheric parameters that have a negative impact on flight safety in emergencies caused by landscape fires. The technologies used in predictive management made it possible to analyze large data on atmospheric parameters, carry out expert assessments of environmental conditions from the point of view of their impact on flight safety, and forecast possible negative situations in the development of emergencies caused by landscape fires.

**Keywords:** special aviation operations, environment, landscape fires, atmospheric parameters, predictive control, related processes

**For citation:** Bobrov V.N., Kalach A.V., Kiyatkina E.N. Predictive management of aviation flight safety in emergency response caused by landscape fire // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 3 (75). P. 40–48. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-40-48.

### Введение

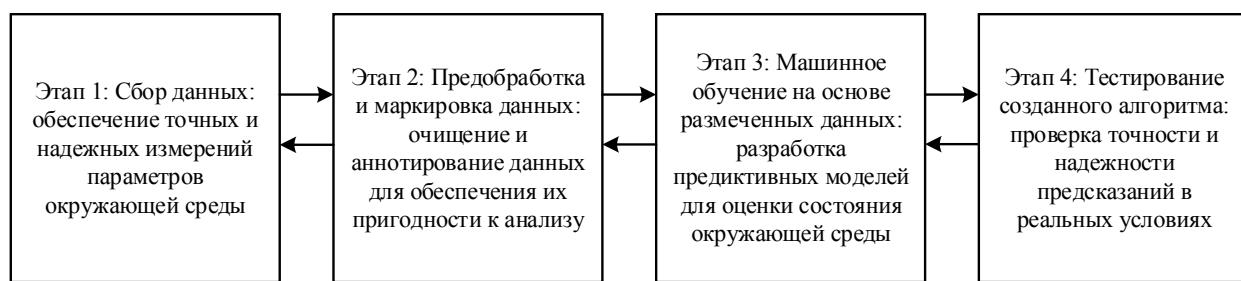
В настоящее время вопросы обеспечения эффективной безопасности актуальны во всех областях человеческой деятельности. Развитие современных информационных технологий представляет широкий спектр новых возможностей по совершенствованию инструментов управления, особенно в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС), характеризующихся неопределенностью условий их возникновения и параметров состояния окружающей среды [1–5].

Несмотря на высокий уровень применения автономных средств (без участия человека) ликвидации ЧС, связанных с ландшафтными пожарами, зачастую применение авиации является единственным оперативным, мобильным и надежным средством доставки необходимого количества огнетушащих веществ. Следует отметить, что успешное применение авиации, главным образом, определяется уровнем подготовки летного состава, состоянием авиационной техники, состоянием окружающей среды в районе ЧС, а также качеством всех видов обеспечения полетов и обслуживания воздушных судов (ВС).

## Методы исследования

Известно, что эффективное принятие решений при оценке особенностей развития ЧС невозможно без комплексного использования методов анализа большого объема данных и способов интерпретации результатов. Необходимо выделить набор значимых параметров, каждый из которых определенным образом оказывает влияние на течение ЧС и безопасность выполнения полетов в этих условиях. Другими словами, речь идет о прогнозировании состояния и функционирования объектов управления – ВС в условиях ЧС, а также о влиянии окружающей среды на безопасность полетов ВС. Такое прогностическое (предиктивное) управление позволит повысить эффективность реагирования на возникающие ЧС в реальном масштабе времени.

К числу основных технологий, используемых в предиктивном управлении, относят: анализ больших данных, машинное обучение, искусственный интеллект, экспертные оценки, сценарное прогнозирование (рис. 1).



**Рис. 1. Частные задачи реализации предиктивного управления безопасностью полетов при ликвидации ЧС**

Существующие проблемы при реализации первого и второго этапов предиктивного управления (рис. 1) заключаются в том, что в реальном масштабе времени невозможно адекватно оценить происходящие в атмосфере динамические процессы, а также использовать слабо структурированные данные о состоянии окружающей среды. Это требует корректировки исходных данных в целях повышения качества прогностической информации при метеорологическом обеспечении полетов авиации (особенно при ликвидации ЧС).

Очевидно, что обеспечение заданного уровня безопасности возможно за счет предупреждения, предотвращения или смягчения последствий ЧС. Для этого осуществляется комплекс мероприятий, включающий прогноз возможных ЧС и последствий их возникновения для населения, мониторинг состояния окружающей среды, оповещение и эвакуацию населения из опасных зон и районов, проведение спасательных и других неотложных работ в районах ЧС и очагах поражения, применение специальных режимов защиты населения на зараженной территории и др.

## Результаты исследований и их обсуждение

Динамика развития ландшафтных пожаров приводит к возникновению таких ситуаций ввиду ряда неопределенностей состояния окружающей среды, при которых последствия пожаров становятся причиной возникновения ЧС. Для предотвращения и уменьшения негативных воздействий ЧС во время проведения мероприятий по ликвидации ландшафтных пожаров применяется авиация в рамках выполнения специальных авиационных работ [6, 7]. При таких ситуациях становится очевидным, что обеспечение безопасности полетов требует всестороннего анализа данных в режиме реального масштаба времени о функционировании основных узлов и агрегатов ВС, их аэродинамических характеристик в экстремальных

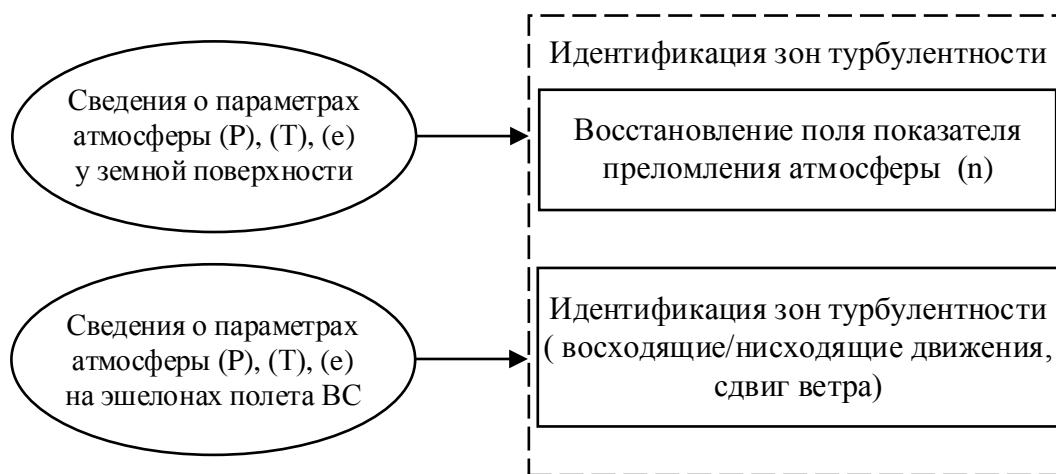
условиях, обусловленных ландшафтным пожаром, а так же об изменениях параметров атмосферы, приводящих к возникновению сопутствующих процессов, под которыми понимается изменение преломляющих свойств атмосферы и возникновение мощных турбулентных движений, вызывающих «болтанку» ВС.

При выявлении сопутствующих процессов атмосферы предлагается использовать, в качестве ее комплексной характеристики, информацию о пространственно-временном распределении показателя преломления атмосферы [8, 9].

Сбор, анализ и обработка большого объема данных о параметрах атмосферы осуществлялась с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики. Интерпретация состояний атмосферы проводилась по информации о вариациях показателя преломления как функции атмосферного давления ( $P$ ), температуры ( $T$ ) и влажности воздуха ( $e$ ) [9, 10].

Обработка информации о пространственном распределении значений градиента показателя преломления ( $n$ ) позволила выявить в атмосфере зоны атмосферной турбулентности вызывающей «болтанку» ВС. Кроме того, использование сведений о вертикальной и горизонтальной составляющих градиента показателя преломления ( $n$ ) позволяют оценить свойства атмосферы и позволяет экипажу достоверно оценить в пространстве положение ВС относительно земной поверхности при выполнении специальных авиационных работ в условиях ландшафтных пожаров [10].

Полученные сведения о сопутствующих процессах атмосферы позволяют лицу, принимающему решение (ЛПР), своевременно проинформировать экипажи о «болтанке» ВС, а также об изменениях преломляющих свойств атмосферы при выполнении специальных авиационных работ, связанных с ликвидацией ландшафтных пожаров (рис. 2).

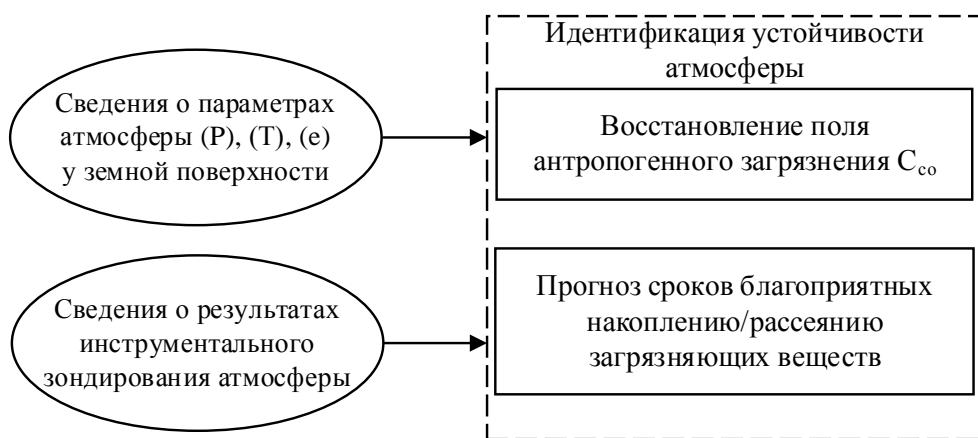


**Рис. 2. Комплексирование данных инструментальных измерений для идентификации состояния атмосферы в условиях ЧС**

Кроме того, информация о вертикальном градиенте показателя преломления позволяет оперативно получать информацию о наличии в атмосфере слоев инверсии и изотермии – благоприятных накоплению антропогенных веществ, возникающих в процессе развития ЧС, вызванной ландшафтными пожарами.

Проведенная экспертная оценка значений показателя преломления атмосферы в условиях ЧС позволила оценить возможность использования полученной информации для определения уровня антропогенного загрязнения атмосферы. Организация наблюдений осуществлялась на наклонной трассе на фиксированной измерительной базе. Оценка антропогенного загрязнения проводится по информации о разности горизонтальной проекции траектории зондирующего оптического сигнала реальной и идеальной атмосферы.

Разработан авторский вариант комплексного использования результатов инструментальных измерений параметров атмосферы и результатов ее оптического зондирования на наклонной трассе (рис. 3).

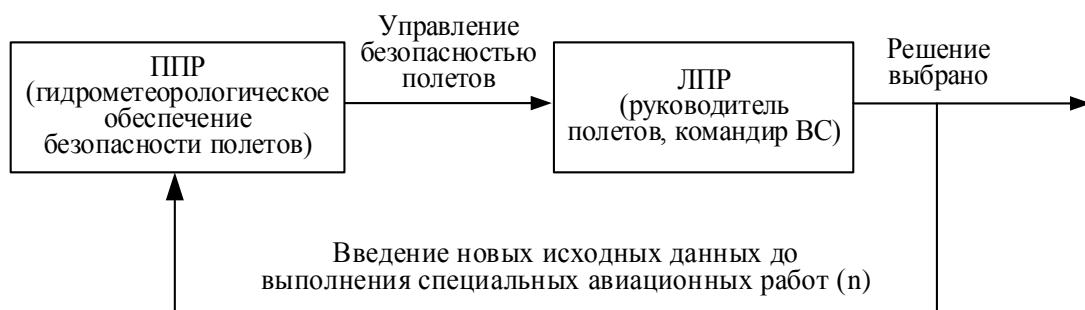


**Рис. 3. Комплексирование данных для прогнозирования условий антропогенного загрязнения в ЧС**

Управление безопасностью специальных авиационных работ базируется на всестороннем анализе выполняемых задач в районе ЧС, эшелонах полета ВС, оценки метеорологических условий, оказывающих негативное влияние на выполнение визуальных полетов на малых и предельно малых высотах, прогностических значений окружающей среды в период выполнения мероприятий по тушению ландшафтного пожара.

В процессе выполнения поставленных задач принятые ранее управленческие решения, ввиду наличия неопределенностей окружающей среды, корректируют по результатам выполненных полетов ВС [1, 11].

Следует отметить, что такая неопределенность может быть устранена путем использования новых исходных данных, полученных по имеющейся ретроспективной информации о пространственном распределении параметров атмосферы, физико-географического района для прогнозирования возможного состояния атмосферы для обеспечения безопасности полетов ВС в условиях ликвидации ЧС, вызванных ландшафтными пожарами (рис. 4) [12].



**Рис. 4. Схема принятия решений в условиях ЧС**

Новыми исходными данными выступают сведения о пространственно-временном распределении значений показателя преломления атмосферы ( $n$ ) [10].

Для оперативного получения информации о состоянии окружающей среды, выявления в атмосфере зон атмосферной турбулентности и оценки ошибок визуального определения местоположения наземных объектов был разработан и применен комплекс авторских программ для ЭВМ, реализующих оригинальные алгоритмы (свидетельства

о государственной регистрации программ для ЭВМ: 2025615671 «Программа для расчета ошибок определения пространственного положения наземных объектов при выполнении визуального полета экипажем воздушного судна», 2025614000 «Программа визуализации траектории полета летательного аппарата по вертикальной плоскости», 2025614631 «Программа визуализации траектории полета летательного аппарата по горизонтальной плоскости»; патенты: 2255360 «Способ определения загрязнения окисью углерода приземного слоя атмосферы автотранспортными средствами», 20255361 «Устройство для определения загрязнения окисью углерода приземного слоя атмосферы автотранспортными средствами»).

Сбор и анализ таких данных в реальном масштабе времени обеспечивает корректировку ЛПР ранее принятых управленческих решений для оперативного реагирования на возникающие изменения окружающей среды в условиях ЧС, вызванных ландшафтными пожарами [13, 14].

ЛПР для прогнозирования будущего состояния объекта управления (ВС) использует сведения согласно частным задачам предиктивного управления (рис. 1) на базе ретроспективной информации о пространственно-временном распределении параметров атмосферы основного и запасных аэродромах в условиях ЧС (рис. 5) [11].

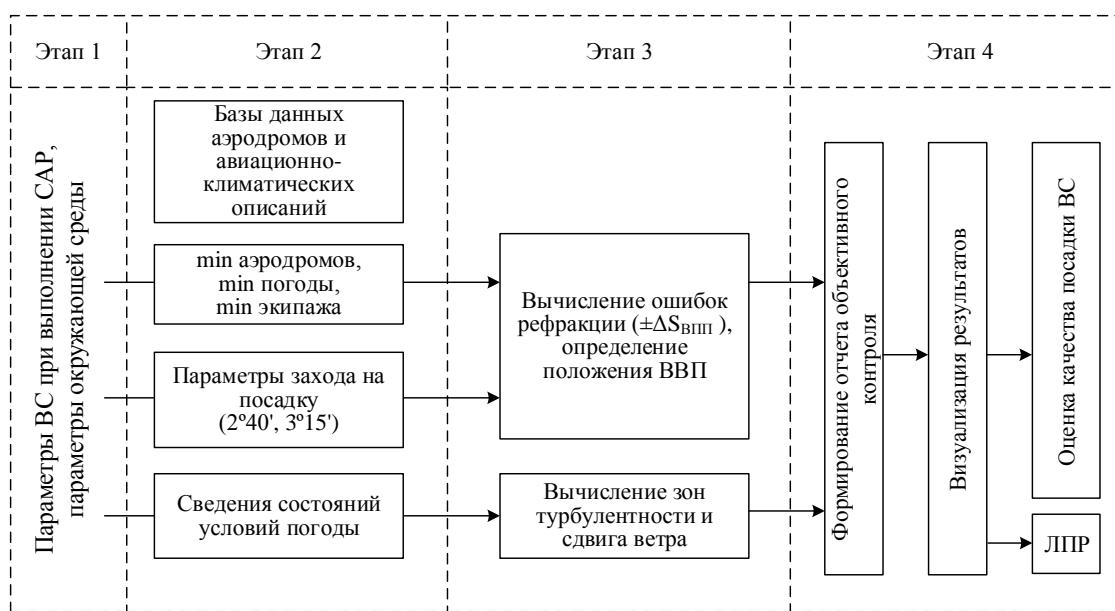


Рис. 5. Схема представления ЛПР информацией о состоянии окружающей среды в условиях ЧС

Такая информация (рис. 5) может быть представлена как элемент системы эффективного управления, что позволит ЛПР осуществить поддержку принятия решения для обеспечения безопасности полетов при выполнении специальных авиационных работ. Основываясь на получаемой информации, ЛПР принимает решение по изменению маршрута и траектории полета ВС, сроках проведения специальных авиационных работ, а также о посадке ВС на запасном аэродроме.

## Заключение

Таким образом, обеспечение безопасности полетов авиации можно представить в виде совокупности элементов системы эффективного управления, позволяющих парировать возможные изменения будущего состояния и применения объектов управления – ВС, а также заблаговременно реагировать на негативные воздействия окружающей среды на функционирование ВС при ликвидации ЧС, вызванных ландшафтными пожарами.

### **Список источников**

1. Чижевская Е.Л. Предиктивное управление безопасностью объектов нефтегазового комплекса с применением технологий беспилотных летательных аппаратов при угрозах чрезвычайных ситуаций // Тюменский научный журнал. 2024. № 2. С. 69–78.
2. Towards precision aviation emission modeling: A hybrid paradigm of convolutional neural networks and semi-empirical formulas for full flight phase gas pollutant indices / C. Longfei [et al.] // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 957. P. 177414. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177414.
3. Shea Calculations and observations of solar particle enhancements to the radiation environment at aircraft altitudes / C.S. Dyer [et al.] // Adv. Space Res. 2003. № 32 (1). P. 81–93. DOI: 10.1016/S0273-1177(03)90374-7.
4. Extreme atmospheric radiation environments & single event effects / C. Dyer [et al.] // IEEe Trans. Nucl. Sci. 2017. P. 9499 (c). DOI: 10.1109/TNS.2017.2761258.
5. Radiation risk assessment for varying space weather conditions for very high altitude 'near space' tourism balloon flights / C.T. Rees [et al.] // J. Space Safety Eng. 2023. № 10 (2). P. 197–207. DOI: 10.1016/j.jsse.2023.03.002.
6. Тимофеева С.С., Гармышев В.В. Ландшафтные пожары в Иркутской области: экологические последствия // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. Т. 7. № 2 (26). С. 179–188. DOI: 10.21285/2500-1582-2022-2-179-188.
7. Ашарапова Д.О., Тимофеева С.С. Оценка эмиссии загрязнителей при лесных пожарах (на примере Иркутской области) // Безопасность – 2024 : материалы XXIX Всерос. студенческой научн.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск: Иркутский нац. исслед. техн. ун-т, 2024. С. 183–186.
8. Тимофеева С.С., Гармышев В.В., Зырянов В.С. Оценка экологической нагрузки на атмосферу при лесных пожарах в Иркутской области // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 10 (154). С. 33–38.
9. Построение траектории распространения СВЧ-излучения в неоднородной атмосфере / В.Ю. Жуков [и др.] // Гидрометеорология и экология. 2025. № 78. С. 20–41. DOI: 10.33933/2713-3001-2025-78-20-41.
10. Бобров В.Н., Нахмансон Г.С. Влияние вертикального распределения показателя преломления атмосферы на визуальное определение местоположения взлетно-посадочной полосы с борта воздушного судна // Метеорология и гидрология. 2003. № 1. С. 58–63.
11. Медведев Д.В., Матвеев А.В. Информационная модель поддержки принятия решений по реагированию на ландшафтные пожары // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1 (36). С. 117–125. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.
12. Bobrov V.N., Bryushinin A.O. Mathematical Modeling of Refractive Properties of the Atmosphere in the Optical Wavelength Range // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus. Saint-Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 2247–2251. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039056.
13. Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н. Геоинформационный анализ ландшафтных пожаров в Волго-Ахтубинской пойме // Научно-агрономический журнал. 2019. № 1 (104). С. 14–17.
14. Оценка временных рядов последствий ландшафтных пожаров на территории Иркутской области / В.В. Гармышев [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2025. № 4 (292). С. 39–44.

### **References**

1. Chizhevskaya E.L. Prediktivnoe upravlenie bezopasnost'yu ob"ektov neftegazovogo kompleksa s primeniem tekhnologij bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri ugrozah chrezvychajnyh situacij // Tyumenskij nauchnyj zhurnal. 2024. № 2. S. 69–78.

2. Towards precision aviation emission modeling: A hybrid paradigm of convolutional neural networks and semi-empirical formulas for full flight phase gas pollutant indices / C. Longfei [et al.] // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 957. P. 177414. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177414.
3. Shea Calculations and observations of solar particle enhancements to the radiation environment at aircraft altitudes / C.S. Dyer [et al.] // Adv. Space Res. 2003. № 32 (1). P. 81–93. DOI: 10.1016/S0273-1177(03)90374-7.
4. Extreme atmospheric radiation environments & single event effects / C. Dyer [et al.] // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2017. P. 9499 (c). DOI: 10.1109/TNS.2017.2761258.
5. Radiation risk assessment for varying space weather conditions for very high altitude 'near space' tourism balloon flights / C.T. Rees [et al.] // J. Space Safety Eng. 2023. № 10 (2). P. 197–207. DOI: 10.1016/j.jsse.2023.03.002.
6. Timofeeva S.S., Garmyshev V.V. Landshaftnye pozhary v Irkutskoj oblasti: ekologicheskie posledstviya // HKHI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. T. 7. № 2 (26). S. 179–188. DOI: 10.21285/2500-1582-2022-2-179-188.
7. Asharapova D.O., Timofeeva S.S. Ocenna emissii zagryaznitej pri lesnyh pozharah (na primere Irkutskoj oblasti) // Bezopasnost' – 2024: materialy XXIX Vseros. studencheskoy nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Irkutsk: Irkutskij nac. issled. tekhn. un-t, 2024. S. 183–186.
8. Timofeeva S.S., Garmyshev V.V., Zyryanov V.S. Ocenna ekologicheskoy nagruzki na atmosferu pri lesnyh pozharah v Irkutskoj oblasti // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2013. № 10 (154). S. 33–38.
9. Postroenie traektorii rasprostraneniya SVCH-izlucheniya v neodnorodnoj atmosfere / V.Yu. Zhukov [i dr.] // Gidrometeorologiya i ekologiya. 2025. № 78. S. 20–41. DOI: 10.33933/2713-3001-2025-78-20-41.
10. Bobrov V.N., Nahmanson G.S. Vliyanie vertikal'nogo raspredeleniya pokazatelya prelomleniya atmosfery na vizual'noe opredelenie mestopolozheniya vzletno-posadochnoj polosy s borta vozduzhnogo sudna // Meteorologiya i gidrologiya. 2003. № 1. S. 58–63.
11. Medvedev D.V., Matveev A.V. Informacionnaya model' podderzhki prinyatiya reshenij po reagirovaniyu na landshaftnye pozhary // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2025. № 1 (36). S. 117–125. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.
12. Bobrov V.N., Bryushin A.O. Mathematical Modeling of Refractive Properties of the Atmosphere in the Optical Wavelength Range // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus. Saint-Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 2247–2251. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039056.
13. Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N. Geoinformacionnyj analiz landshaftnyh pozharov v Volgo-Ahtubinskoy pojme // Nauchno-agronomiceskij zhurnal. 2019. № 1 (104). S. 14–17.
14. Ocenna vremennyh ryadov posledstvij landshaftnyh pozharov na territorii Irkutskoj oblasti / V.V. Garmyshev [i dr.] // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2025. № 4 (292). S. 39–44.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 25.07.2025; одобрена после рецензирования: 15.08.2025;  
принята к публикации: 19.08.2024

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 25.05.2025; approved after review: 15.08.2025;  
accepted for publication: 19.08.2025

*Информация об авторах:*

**Бобров Владимир Николаевич**, начальник факультета подготовки научно-педагогических кадров Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1 а), кандидат технических наук, доцент, e-mail: bvn280167@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5474-2411>, SPIN-код: 3240-5750

**Калач Андрей Владимирович**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1 а); главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности транспорта Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор химических наук, профессор, e-mail: a\_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-6489>, SPIN-код: 2584-7456

**Кияткина Екатерина Николаевна**, ученый секретарь Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), e-mail: Katusha\_kt@mail.ru

*Information about the authors:*

**Bobrov Vladimir N.**, head of the faculty of training of scientific and pedagogical personnel of Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutskaya str., 1a), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: bvn280167@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5474-2411>, SPIN: 3240-5750

**Kalach Andrey V.**, head of the department of information security and protection of information constituting a state secret of Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutskaya str., 1a); chief researcher of the department of fire safety of transport of the Scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: a\_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-6489>, SPIN: 2584-7456

**Kiyatkina Ekaterina N.**, scientific secretary of the Siberian fire and rescue academy of State fire service of EMERCOM of Russia (662972, Krasnoyarsk Region, Zheleznogorsk, Severnaya str., 1), e-mail: Katusha\_kt@mail.ru