

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

NATURAL AND MAN-MADE RISKS
(PHYSICO-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

№ 2 (58)–2026

Редакционный совет

Зыбина О.А.

Председатель

д.т.н., доц., Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Матвеев А.В.

Главный редактор

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Ивахнюк Г.К.

д.х.н., проф., лауреат премии Правительства Рос. Федерации
в области науки и техники, Санкт-Петербургский
государственный технологический институт (технический
университет), Санкт-Петербург, Россия

Минкин Д.Ю.

д.т.н., проф., Санкт-Петербургский ГУП «Горэлектротранс»,
Санкт-Петербург, Россия

Шарапов С.В.

д.т.н., проф., Санкт-Петербургский Пожарно-спасательный
колледж, Санкт-Петербург, Россия

Грешных А.А.

д.п.н., к.ю.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-
Петербург, Россия

Максимов А.В.

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Барбин Н.М.

д.т.н., проф., почетный работник науки и техники, Уральский
институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия; Научно-
исследовательский институт физико-химических проблем
и техносферной безопасности Уральского государственного
аграрного университета, Екатеринбург, Россия

Потапов А.И.

д.т.н., проф., засл. деятель науки Рос. Федерации, лауреат
Государственной премии Российской Федерации и премии
Правительства Российской Федерации в области науки и техники
Северо-Западный государственный заочный технический
университет, Санкт-Петербург, Россия

Сильников М.В.

д.т.н., к.физ.-мат.н., проф., засл. деятель науки Рос. Федерации,
Научно-производственное объединение специальных материалов,
Санкт-Петербург, Россия

Клюй В.В.

к.п.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Кайбичев И.А.

д.физ.-мат.н., доц., Уральский институт ГПС МЧС России,
Екатеринбург, Россия

Бурлов В.Г.

д.т.н., проф., Российский государственный гидрометеорологический
университет, Санкт-Петербург, Россия

Лепешкин О.М.

д.т.н., доц., Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Домничева А.В.

Секретарь

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Редакционная коллегия

Онов В.А.

Председатель

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский филиал Российской
таможенной академии, Санкт-Петербург, Россия

Дмитриева И.В.

Заместитель председателя

Санкт-Петербургская академия Следственного комитета Рос.
Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Таранцев А.А.

д.т.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, Институт
проблем транспорта им Н.С. Соломенко РАН, Санкт-Петербург,
Россия

Антюхов В.И.

к.т.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Романов Н.Н.

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Виноградов В.Н.

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Болотова П.А.

Секретарь

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия



Editorial council

Zybina O.A. <i>Chairman</i>	DSc, associate prof., Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia
Matveev A.V. <i>Editor-in-Chief</i>	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Ivakhnyuk G.K.	DSc, prof., laureate of the Russian Government prize. federation in the field of science and technology, Saint-Petersburg State technological institute (technical university), Saint-Petersburg, Russia
Minkin D.Yu.	DSc, prof., Saint-Petersburg state unitary enterprise «Gorelektrotrans», Saint-Petersburg, Russia
Sharapov S.V.	DSc, prof., Saint-Petersburg fire and rescue college, Saint-Petersburg, Russia
Greshnykh A.A.	DSc, PhD, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Maksimov A.V.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Barbin N.M.	DSc, prof., honored worker of science and technology, Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia; Research institute of physico-chemical problems and technosphere safety of the Ural state agrarian university, Yekaterinburg, Russia
Potapov A.I.	DSc, prof., honored scientist of the Russian Federation, winner of the state prize of the Russian Federation and the prize of the government of the Russian Federation in the field of science and technology of the North-Western state correspondence technical university, Saint-Petersburg, Russia
Silnikov M.V.	DSc, PhD, prof., honored scientist of the Russian Federation, Scientific and production association of special materials, Saint-Petersburg, Russia
Klyuj V.V.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Kajbichev I.A.	DSc, associate prof., Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia
Burlov V.G.	DSc, prof., Russian state hydrometeorological university, Saint-Petersburg, Russia
Lepeshkin O.M.	DSc, associate prof., Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia
Domnicheva A.V. <i>Secretary</i>	Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Editorial board

Onov V.A. <i>Chairman</i>	PhD, associate prof., Saint-Petersburg branch of the Russian customs academy, Saint-Petersburg, Russia
Dmitrieva I.V. <i>Deputy chairman</i>	Saint-Petersburg academy of the Investigative committee of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia DSc, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences, Saint-Petersburg, Russia
Tarantsev A.A.	
Antyukhov V.I.	PhD, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Romanov N.N.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Vinogradov V.N.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Bolotova P.A. <i>Secretary</i>	Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение
либо иное использование материалов, опубликованных в журнале
«Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»,
без письменного разрешения редакции не допускается

ББК Ц.9.3.2
УДК 504+614.8(051.2)

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU; JOURNALS.IGPS.RU

ISSN 2307-7476

СОДЕРЖАНИЕ

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Будянский М.В., Лебедева М.А., Файман П.А., Белоненко Т.В., Улейский М.Ю. Лагранжево моделирование как ключевой инструмент МЧС России в океане.....	6
Гончаров А.С. Анализ сложности задачи прогнозирования природных пожаров методами машинного обучения.....	29

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Маер О.М., Каминская М.М., Беспалов А.В. Обучение населения мерам пожарной безопасности как основа профилактики пожаров: отечественный и зарубежный опыт.....	36
Олухов Н.В. Оценка индексов вовлеченности аудитории официальных страниц органов власти (на примере пабликов МЧС России).....	47
Савчук О.Н. Нормативно-правовое совершенствование обеспечения безопасности населения при транспортировке опасных грузов автомобильным транспортом в арктическом регионе....	58
Савчук О.Н. Особенности применения роботизированных средств МЧС России в условиях Арктики.....	71
Удаиб М.А., Тютюнник В.М. Интеграция ситуационных факторов и гетерогенных данных для повышения эффективности анализа дорожно-транспортных происшествий.....	81
Волокобинский М.Ю., Пекарская О.А., Котюков М.В. Применение метода анализа иерархий к оценке риска возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера в регионе.....	90

Авторам журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)».....	100
--	-----

CONTENT

MONITORING AND FORECASTING OF NATURAL AND MAN-MADE RISKS

Budyansky M.V., Lebedeva M.A., Fayman P.A., Belonenko T.V., Yurievich M.U., Lagrange modeling as a key tool of the Russian Emercom in the ocean	7
Astashov E.V., Parenkina V.I. complexity analysis of wildfire forecasting task with machine learning.....	29

ENGINEERING AND INFORMATION SECURITY IN EMERGENCY SITUATIONS

Mayer O.M., Kaminskaya M.M., Bespalov A.V. Public education on fire safety measures as a basis for fire prevention: domestic and foreign experience.....	36
Olukhov N.V. Assessment of audience engagement indices on official government pages (using the example of public publications of the ministry of Emergency situations of Russia).....	48
Savchuk O.N. Regulatory and legal improvement of population safety during the transportation of dangerous goods by road in the Arctic region.....	58
Savchuk O.N. Peculiarities of the use of robotic means of Emercom of Russia in the Arctic.....	71
Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. Integrating situational factors and heterogeneous data for enhanced traffic accident analysis.....	81
Volokobinsky M.Y., Pekarskaya O.A., Kotyukov M.V. Application of the hierarchy analysis method to assess the risk of a technogenic emergency in a region.....	90

To the authors of the journal «Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects)».....	100
---	-----

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Научная статья

УДК 551.465.4; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-6-28

ЛАГРАНЖЕВО МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ МЧС РОССИИ В ОКЕАНЕ

Будянский Максим Васильевич;

✉ **Лебедева Мария Алексеевна;**

Файман Павел Аркадьевич;

Белоненко Татьяна Васильевна.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Улейский Михаил Юрьевич.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, Владивосток, Россия

✉ **lebedevamasha671@gmail.com**

Аннотация. В работе показано, что для решения задач МЧС России в морской среде принципиально недостаточно традиционных эйлеровых подходов, описывающих лишь поля скоростей и концентраций, но не реальные траектории распространения опасных веществ и объектов. На основе лагранжева моделирования продемонстрированы возможности оперативного прогноза переноса нефтяных и антропогенных загрязнений, радиоактивных выбросов от аварий на прибрежных АЭС, а также дрейфа тел и обломков судов в условиях сложной многомасштабной циркуляции океана. Рассмотрены примеры, имеющие непосредственное отношение к деятельности МЧС (авария в бухте Чажма, гипотетический разлив нефти в акватории порта Козьмино, загрязнение в Юго-Восточной Балтике, антропогенная нагрузка в Таганрогском заливе, последствия аварий на АЭС «Касивадзаки-Карива» и «Фукусима-1»), для которых лагранжев анализ позволяет выделять транспортные коридоры, зоны накопления загрязнений и временные «окна» риска. Показано, что интеграция лагранжева моделирования в систему мониторинга и поддержки принятия решений переводит МЧС России из режима запаздывающей реакции “по факту” в режим превентивного управления рисками, обеспечивая научно обоснованное планирование поисково-спасательных операций, экологического мониторинга и мер по защите населённых пунктов и ключевой инфраструктуры.

Ключевые слова: лагранжево моделирование, дрейф загрязнений, аварийные разливы нефти, радиоактивное загрязнение моря, поисково-спасательные операции, транспортные коридоры в океане, прогноз чрезвычайных ситуаций в морской среде

Для цитирования: Лагранжево моделирование как ключевой инструмент МЧС России в океане / М.В. Будянский [и др.] // Природные и техногенные риски(физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 6–28. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-2-6-28

Scientific article

**LAGRANGE MODELING AS A KEY TOOL
OF THE RUSSIAN EMERCOM IN THE OCEAN****Maxim V. Budyansky;**✉ **Maria A. Lebedeva;****Pavel A. Fayman;****Tatiana V. Belonenko.****St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia****Uleisky M. Yurievich.****V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, Russia**✉ **lebedevamasha671@gmail.com**

Abstract. The paper shows that traditional Eulerian approaches, which describe only velocity and concentration fields, but not the actual trajectories of hazardous substances and objects, are fundamentally insufficient for solving the problems of the Russian Ministry of Emergency Situations in the marine environment. Based on Lagrangian modeling, the paper demonstrates the possibilities of operational forecasting of the transport of oil and anthropogenic pollutants, radioactive emissions from accidents at coastal nuclear power plants, as well as the drift of bodies and shipwrecks in the context of complex multiscale ocean circulation. Examples that are directly related to the activities of the Ministry of Emergency Situations (the accident in Chazhma Bay, a hypothetical oil spill in the Kozmino port, pollution in the South-Eastern Baltic, anthropogenic pressure in the Taganrog Bay, and the consequences of accidents at the Kashiwazaki-Kariwa and Fukushima-1 nuclear power plants) are considered, for which Lagrangian analysis allows us to identify transport corridors, areas of pollution accumulation, and temporary “windows” of risk. It is shown that the integration of Lagrangian modeling

Keywords: Lagrangian modeling, pollution drift, oil spills, radioactive contamination of the sea, search and rescue operations, ocean transport corridors, marine emergency forecasting

For citation: Lagrange modeling as a key tool of the Russian Emercom in the ocean / Budyansky M.V. [et al.] // Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 6–28. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-2-6-28

Введение

В океане невозможно «увидеть» движение вещества напрямую. Можно наблюдать температуру, уровень, скорость течений – но не траекторию конкретной капли нефти, радиоактивной частицы или иного загрязнителя. Между тем именно траектория, а не поле в целом, является ключевой величиной для служб, отвечающих за ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. Для МЧС России это не абстрактная научная проблема, а вопрос времени, ресурсов и, в конечном счёте, эффективности реагирования: где окажется загрязнение, когда оно достигнет критически важных районов и какие территории попадут под удар [1].

Традиционные эйлеровы подходы описывают поля скоростей и концентраций, но принципиально не отвечают на главный практический вопрос: куда именно попадёт конкретное вещество и когда. Они дают «мгновенную картину океана», но не дают понимания «судьбы» вещества. Для задач МЧС этого недостаточно. Здесь требуется не распределение в данный момент времени, а прогноз траекторий – конкретных путей распространения опасности реальной и потенциальной [2, 3].

Именно это и обеспечивает лагранжево моделирование – метод, отслеживающий движение индивидуальных частиц (пассивных маркеров, имитирующих загрязнение) в реальном поле течений. По сути, это переход от описания среды к прогнозу последствий. И

этот переход радикально меняет возможности реагирования: от пассивного наблюдения к активному управлению рисками.

Наиболее очевидная и критически важная область применения – аварийные разливы нефти. В реальном океане нефтяное пятно не просто растекается; оно разрывается на фрагменты, вытягивается в тонкие струи, захватывается вихрями и переносится на сотни километров. Простые оценки здесь не работают. Лагранжевы расчёты позволяют заранее определить зоны риска, выявить приоритетные участки защиты побережья и оптимизировать размещение сил и средств. Без такого прогноза борьба с разливом неизбежно превращается в реакцию «постфактум», когда основные экологические и экономические потери уже произошли [4–7].

Не менее важна задача переноса антропогенных загрязнений – от сточных вод до микропластика. Эти процессы не столь зрелищны, но значительно более долговременны и опасны. Лагранжев подход позволяет выявлять устойчивые транспортные коридоры, зоны накопления и скрытые пути проникновения загрязнений в биологически и экономически значимые районы, включая рыбопромысловые акватории. Для МЧС это означает возможность долгосрочного прогноза экологических рисков, а не только реагирования на уже случившиеся события [8–12].

Наконец, существует крайне практическая задача – определение путей переноса тел погибших людей течениями в море. В поисково-спасательных операциях на море ошибка даже в десятки километров может означать потерю операции. В условиях сложной вихревой структуры океана такие ошибки неизбежны без использования лагранжевых методов. Только учёт реальных траекторий, включая влияние ветра, струйных течений и мезомасштабных вихрей, позволяет существенно повысить эффективность поисков.

Особое значение имеет перенос радиоактивных веществ. Опыт аварии на АЭС «Фукусима-1» показал, что океан способен переносить загрязнение на огромные расстояния в относительно короткие сроки [13–14]. Современные лагранжевы расчёты демонстрируют, что в реальных условиях перенос загрязнения (антропогенного или радиационного) может происходить не равномерно, а скачкообразно – порционно в определённые временные окна.

Например, моделирование показывает, что потенциально загрязнённые воды от одной из мощнейших атомных станций Японии «Касивадзаки-Карива» способны достигать российских рыбопромысловых районов за 58–60 суток, тогда как перенос к побережью Приморского края РФ может занимать порядка 4–5 месяцев (138–140 суток) и более [15–16]. Это означает, что у МЧС есть крайне ограниченное «окно реагирования» при возникновении реальной опасности, причём длительность такого временного окна определяется не только расстоянием, но и текущей океанологической ситуацией. Игнорирование этой динамики фактически лишает систему реагирования прогностической способности.

Все эти задачи объединяет одно фундаментальное обстоятельство: перенос вещества в океане определяется не средним течением, а сложной многомасштабной динамикой – системой струй, фронтов, вихрей и неустойчивых структур. Именно эта динамика формирует транспортные коридоры и временные окна переноса. Игнорирование особенностей делает любые прогнозы принципиально ненадёжными.

Таким образом, лагранжево моделирование следует рассматривать не как вспомогательный инструмент, а как основу современной прогностической системы МЧС России в морской среде. Только этот подход позволяет:

- определять реальные маршруты распространения загрязнений,
- оценивать время достижения критически важных районов,
- выявлять зоны повышенного риска,
- учитывать порционность и нестационарность переноса.

Таким образом – лагранжево моделирование необходимо при организации управления и оперативного (экстренного) реагирования при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Без лагранжева моделирования решение задач МЧС в океане – будь то антропогенное загрязнение, радиационная авария или поисково-спасательные операции на море –

становится принципиально неполным и в ряде случаев просто невозможным в прогностическом смысле [17].

Сегодня лагранжевы методы фактически открывают для МЧС России новую парадигму работы в морской среде. Они переводят систему реагирования из режима догоняющего анализа в режим опережающего прогноза. В условиях роста техногенной нагрузки на океан, увеличения числа потенциально опасных объектов и усложнения циркуляции под влиянием климатических изменений интеграция лагранжева моделирования в оперативную практику МЧС России является не рекомендацией, а объективной необходимостью: без этого инструмента невозможно обеспечить ни достоверный прогноз распространения опасных веществ, ни эффективное планирование спасательных операций, что напрямую ставит под угрозу устойчивость системы реагирования и уровень национальной безопасности России.

Лагранжево моделирование

Лагранжево моделирование – это подход, используемый для изучения движения частиц в жидкой среде, циркуляции вод, переноса веществ и микроорганизмов в океане. Данный метод позволяет глубже понять динамику океанологических процессов за счёт расчёта траекторий большого количества пассивных маркеров, имитирующих примесь или загрязнение, и исследования адвекции в пределах рассматриваемой акватории.

Лагранжевы траектории рассчитываются путем численного решения уравнений адвекции:

$$\frac{d\lambda}{dt} = u(\lambda, \varphi, t), \quad \frac{d\varphi}{dt} = v(\lambda, \varphi, t), \quad (1)$$

где u и v – угловые зональные и меридиональные компоненты скорости, рассчитанные по данным некоторой гидродинамической модели, φ и λ – широта и долгота, t – время.

Угловые скорости используются для упрощения уравнений движения на сфере. Значения скоростей внутри ячеек пространственно-временной сетки получаются путём бикубической интерполяции в пространстве и интерполяцией полиномами Лагранжа третьей степени по времени. Расчет лагранжевых траекторий включает интегрирование уравнений (1) с использованием схемы Рунге-Кутты четвертого порядка с постоянным временным шагом 0,001 сут. Каждая траектория рассчитывалась на заданный временной интервал, либо в прямом направлении (вперед по времени), либо в обратном – в случае решения ретроспективной задачи.

В отличие от эйлеровых характеристик (например, распределения океанографических параметров – температуры, солености воды), которые дают лишь “мгновенные” снимки состояния среды [18], лагранжев подход позволяет отслеживать индивидуальные траектории пассивных трассеров во времени. Это даёт возможность строить дазиметрические карты – карты вероятных путей распространения загрязнения или других объектов [19, 20].

Возможности применение лагранжева моделирования в задачах МЧС Авария в бухте Чажма

Одним из показательных примеров практической эффективности лагранжева подхода является ретроспективное моделирование распространения радиоактивного загрязнения после аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма (Японское море) в 1985 году. Эта задача по своей сути полностью соответствует типичным сценариям, с которыми сталкивается МЧС России: внезапный выброс опасного вещества, ограниченность наблюдений и необходимость восстановления путей его распространения в сложной динамической среде.

Авария, произошедшая 10 августа 1985 года, стала одной из крупнейших радиационных катастроф на Тихоокеанском флоте в период холодной войны. В результате самопроизвольного пуска реактора на атомной подводной лодке К-431, находившейся у причальной стенки в бухте Чажма, произошёл мощный тепловой взрыв. Событие сопровождалось мгновенным разрушением активной зоны и выбросом в окружающую среду колоссального количества радиоактивных материалов – по оценкам специалистов, совокупная активность выброшенных изотопов достигла десятков тысяч кюри.

Картина загрязнения сформировалась в первые же часы по сложному, комбинированному сценарию. На начальном этапе доминировал атмосферный перенос: мощный радиоактивный факел, поднявшийся на высоту до 150–200 метров, был подхвачен господствующими ветрами. Значительная часть аэрозолей, минуя прибрежную зону, выпала на поверхность моря на удалении в несколько десятков километров от источника, а также осела на сопках и акватории соседней бухты Павловского. Одновременно с этим произошёл прямой сброс высокоактивных вод в морскую среду через ливневую систему и фильтрацию в грунтовые воды, что создало очаг локального загрязнения непосредственно в самой бухте Чажма. Таким образом, уже в первые часы после события сформировалась сложная, неоднородная структура загрязнения, включавшая как компактные придонные скопления в районе аварии, так и обширные поверхностные пятна, вытянутые вдоль траекторий ветрового переноса.

В условиях дефицита детальных измерений распределения концентраций и высокой турбулентности прибрежных вод Японского моря, где процессы адвекции и перемешивания накладываются друг на друга, единственным надёжным способом восстановления картины переноса и ретроспективной оценки масштабов экологического ущерба стало численное моделирование. Именно лагранжев подход, оперирующий траекториями движения пассивных маркеров (имитирующих реальное или потенциальное загрязнение) в поле гидродинамической модели высокого разрешения, позволил реконструировать не только траектории перемещения загрязнённых вод, но и объяснить пространственное распределение остаточных концентраций радионуклидов, зафиксированное спустя десятилетия в донных отложениях.

На рис. 1 представлены дазиметрические карты, показывающие плотность ежесуточных следов траекторий маркеров (имитирующих радиоактивное загрязнение, попавшее в море в результате аварии в бухте Чажма) на поверхности. В работе использовался лагранжев подход, основанный на отслеживании большого числа пассивных маркеров. Поле скоростей задавалось с помощью высокоразрешающей региональной модели океанической циркуляции (ROMS), после чего решалась задача адвекции частиц. Это позволило перейти от неопределённого распределения концентраций к конкретным траекториям переноса загрязнённых водных масс.

Результаты моделирования показали, что распространение загрязнения определяется не средним течением, а совокупностью динамических факторов различного масштаба. В первые дни (и последующий месяц) после аварии ключевую роль сыграли тайфуны, которые существенно усилили перемешивание и деформацию загрязнённого пятна. Под действием ветра и связанной с ним циркуляции поверхностные течения достигали значений до 50 см/с, что приводило к быстрому перераспределению радионуклидов в пределах залива.

Принципиально важным результатом стало выявление роли мезомасштабных вихрей и лагранжевых когерентных структур. Было показано, что антициклонические вихри выступают в роли “ловушек”, аккумулируя загрязнение и обеспечивая его длительное удержание в определённых районах; гиперболические точки и связанные с ними неустойчивые многообразия формируют узкие транспортные коридоры, вдоль которых происходит вытягивание и филаментация загрязнённого пятна; структура этих многообразий определяет геометрию распространения загрязнения (S-образные и нитевидные структуры), которая принципиально не может быть описана эйлеровыми методами.

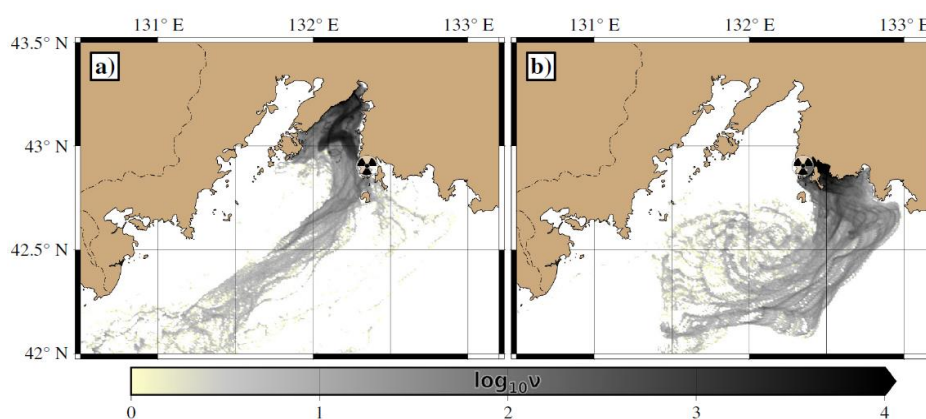


Рис. 1. Дазиметрические карты аварии в заливе Чажма, показывающие плотность ежесуточных следов траекторий маркеров (имитирующих радиоактивное загрязнение, попавшее в море в результате аварии в бухте Чажма) на поверхности (в логарифмическом масштабе): а) от шлейфа в Уссурийском заливе и б) от всего залива Стрелок. Данные накапливаются в течение месяца после аварии [13]

Особенно важно, что поведение загрязнения существенно различалось по глубине. Если на поверхности динамика определялась преимущественно ветровым воздействием, то в подповерхностных слоях (10–20 м) ключевую роль играли вихревые структуры и устойчивые элементы циркуляции. Это приводило к расслоению пятен по вертикали и формированию различных сценариев переноса в зависимости от глубины.

Моделирование также выявило явление порционности переноса. Загрязнение не распространялось непрерывно, а разделялось на отдельные “пакеты”, которые переносились в разные части акватории с различными скоростями и по различным траекториям (рис. 2). Часть загрязнения задерживалась в заливах, часть выносилась в открытое море, где далее вовлекалась в крупномасштабную циркуляцию.

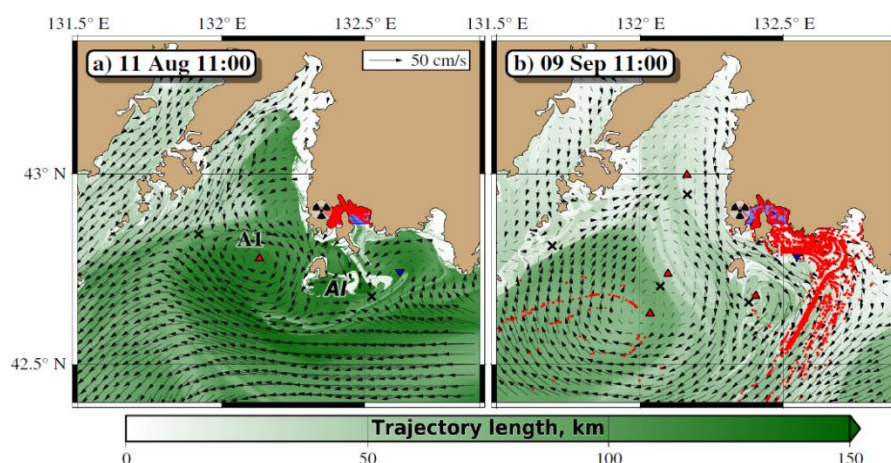


Рис. 2. Распределение пассивных маркеров (красные точки), имитирующих радиоактивное загрязнение, на поверхности моря, исходно покрывавших всю акваторию бухты Стрелок: а) на следующий день после аварии в бухте Чажма 10 августа 1985 года и б) через месяц. Красные маркеры нанесены на карты длин траекторий, где градацией зелёного цвета показано расстояние, пройденное маркерами за 15 дней, предшествующих указанной дате. Стрелками показано направление скоростей течений. На рисунке а) показано местоположение антициклона A1. AI – остров Аскольд [13]

Прогнозирование распространения нефтяных загрязнений

Аварийные разливы нефти традиционно рассматриваются как одна из наиболее сложных и социально значимых задач, стоящих перед МЧС России в морской среде. В отличие от идеализированных пассивных примесей, нефть представляет собой многокомпонентную смесь с существенно различающимися физико-химическими свойствами, что принципиально усложняет как наблюдение, так и моделирование её поведения. Тем не менее, именно лагранжев подход в настоящее время остаётся ключевым инструментом для прогноза пространственно-временной эволюции нефтяных загрязнений.

В реальном океане нефтяное пятно не является сплошной и однородной структурой. Уже в первые часы после разлива оно подвергается интенсивной деформации под действием течений и ветра: растягивается в узкие филаменты, разрывается на фрагменты, захватывается вихрями и вовлекается в сложную систему транспортных коридоров. В результате формируется мозаичная структура загрязнения, в которой соседние участки могут иметь принципиально различную судьбу – от быстрого выноса в открытое море до длительного удержания в прибрежной зоне.

Лагранжево моделирование позволяет воспроизвести именно эту динамику, переходя от усреднённого описания поля концентрации к анализу индивидуальных траекторий. В рамках такого подхода нефтяное загрязнение представляется ансамблем маркеров, переносимых полем течений с учётом ветрового дрейфа и турбулентной диффузии. Это даёт возможность определять вероятные направления распространения загрязнения в первые часы и сутки после аварии; выявлять зоны потенциального выноса нефти к берегу; прогнозировать формирование локальных зон накопления; оценивать временные окна, в течение которых возможны эффективные защитные мероприятия.

В то же время принципиально важно подчеркнуть ограниченность такого представления. В отличие от пассивных трассеров, нефть не является консервативной примесью: она испаряется, эмульгируется, диспергируется, взаимодействует с поверхностным слоем и донными осадками. Различные фракции нефти обладают разной плотностью, вязкостью и скоростью трансформации, что приводит к расслоению и изменению её динамики во времени. Поэтому лагранжевы маркеры в данном контексте следует рассматривать не как прямое моделирование нефти, а как приближённое описание переноса её отдельных компонентов или “эффективного” загрязнённого пятна.

С учётом этого ограничения лагранжев подход наиболее надёжен на начальных стадиях аварии, когда динамика загрязнения определяется прежде всего гидродинамическими процессами. Именно в этот период принимаются ключевые решения по локализации разлива, защите береговой линии и распределению ресурсов, и именно здесь точность прогноза траекторий имеет максимальную ценность.

Численные эксперименты и анализ реальных событий показывают, что распространение нефтяного загрязнения в значительной степени контролируется мезомасштабной и субмезомасштабной динамикой. Установлено, что антициклонические вихри океана могут эффективно удерживать нефть, формируя устойчивые зоны накопления; струйные течения обеспечивают быстрый перенос загрязнения на значительные расстояния; лагранжевы когерентные структуры формируют границы между областями различного сценария эволюции пятна.

Эти особенности приводят к тому, что даже при относительно простых начальных условиях дальнейшая эволюция нефтяного загрязнения носит резко неоднородный и часто неожиданно быстрый характер. В частности, возможны ситуации, когда отдельные фрагменты пятна достигают берега значительно раньше, чем это следует из оценок на основе средних течений.

Для задач МЧС России это имеет принципиальное значение. Лагранжев анализ позволяет заранее выделить так называемые “зоны наибольшей угрозы” – участки побережья, в которые с наибольшей вероятностью будет вынесено загрязнение в заданный временной интервал. Это, в свою очередь, даёт возможность оптимизировать размещение боновых

заграждений; устанавливать очередность защиты наиболее уязвимых участков; минимизировать время реагирования; снизить экологический и экономический ущерб.

Кроме того, лагранжев подход позволяет решать и обратную задачу – реконструкцию источника загрязнения по наблюдаемому положению пятна. Это особенно важно в ситуациях, когда факт разлива был зафиксирован с задержкой или источник загрязнения неизвестен.

Таким образом, несмотря на физическую сложность и многокомпонентность нефти, лагранжево моделирование остаётся базовым инструментом прогноза её переноса в океане. Его сила заключается не в полном описании всех процессов трансформации нефти, а в точном воспроизведении геометрии и кинематики переноса, которые и определяют пространственно-временную структуру риска. В сочетании с моделями трансформации нефтяных фракций этот подход формирует основу современной системы прогноза и реагирования на аварийные разливы, позволяя МЧС России действовать не реактивно, а на опережение.

Приведем два характерных примера применения лагранжева моделирования для переноса нефтяных загрязнений.

Нефтеналивной порт Козьмино (Приморский край)

Нефтеналивной порт Козьмино, являющийся конечной точкой трубопроводной системы Восточная Сибирь – Тихий океан, представляет собой один из ключевых узлов экспорта углеводородов России в Азиатско-Тихоокеанский регион (рис. 3). Интенсивность судоходства и высокая концентрация нефтеналивной инфраструктуры объективно формируют повышенный уровень потенциального техногенного риска, связанного с возможными аварийными разливами нефти.

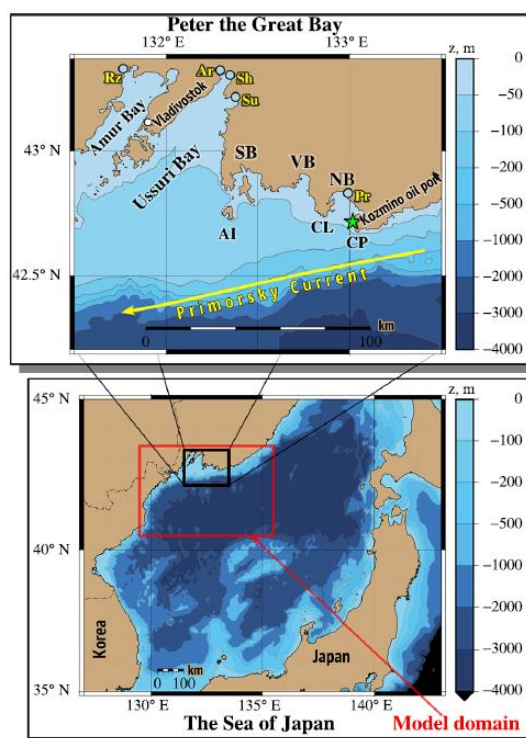


Рис. 3. Батиметрические карты залива Петра Великого (вверху) и Японского моря (внизу) с некоторыми географическими объектами. Расчетная область показана на верхней панели с изобатами 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 и 3000 м. Обозначения: SB – бухта Стрелок; VB – бухта Восток; NB – бухта Находка, CL – мыс Лихачева, CP – мыс Поворотный, AI – остров Аскольд. Положение нефтеналивного порта Козьмино показано звездочкой зеленого цвета. Rz, Ar, Sh, Su и Pr – устья рек Раздольная, Артемовка, Шкотовка, Суходол и Партизанская [4]

Ещё на этапе проектирования нефтяного терминала рассматривались сценарии аварийных разливов (в частности, для альтернативной площадки в бухте Перевозная). Численные оценки показали, что при неблагоприятных условиях загрязнение могло бы распространяться на значительные расстояния, достигая побережья Владивостока и прилегающих особо охраняемых природных территорий. Эти результаты стали одним из факторов переноса терминала в район Козьмино, что уже само по себе демонстрирует роль моделирования в принятии инженерных решений.

С точки зрения лагранжева подхода, акватория Козьмино представляет собой типичную прибрежную систему с выраженным влиянием ветрового дрейфа, приливных и прибрежных течений, мезомасштабной вихревой динамики Японского моря. В случае гипотетической аварии (например, повреждения танкера или утечки при погрузке) начальная стадия эволюции нефтяного пятна определяется именно этими процессами. Лагранжево моделирование позволяет рассматривать множество возможных реализаций переноса, задавая ансамбль маркеров, соответствующих различным фракциям загрязнения.

При этом принципиально важно сделать оговорку: нефть не является пассивной примесью, и её представление в виде лагранжевых маркеров носит приближённый характер. Различные фракции нефти обладают разной плавучестью и скоростью трансформации (испарение, эмульгирование, дисперсия), поэтому лагранжевы расчёты корректнее интерпретировать как моделирование переноса “эффективного пятна” или отдельных его компонентов, а не нефти как единой субстанции.

Тем не менее, даже в таком приближении моделирование позволяет выявить принципиально важные закономерности (рис. 4). Во-первых, перенос потенциального загрязнения носит резко неоднородный характер. В зависимости от текущей синоптической ситуации возможны принципиально различные сценарии: вынос загрязнения в открытое море, захват в прибрежные циркуляции, быстрый перенос вдоль берега. Во-вторых, существенную роль играют мезомасштабные структуры. Вихри и фронты формируют так называемые лагранжевы когерентные структуры, которые разделяют области с различной судьбой загрязнения, задают транспортные коридоры, определяют зоны накопления. В-третьих, для акватории Козьмино характерна высокая чувствительность к ветровым условиям. Даже кратковременные штормовые события способны радикально изменить сценарий распространения, что приводит к эффекту “переключения режимов” переноса.

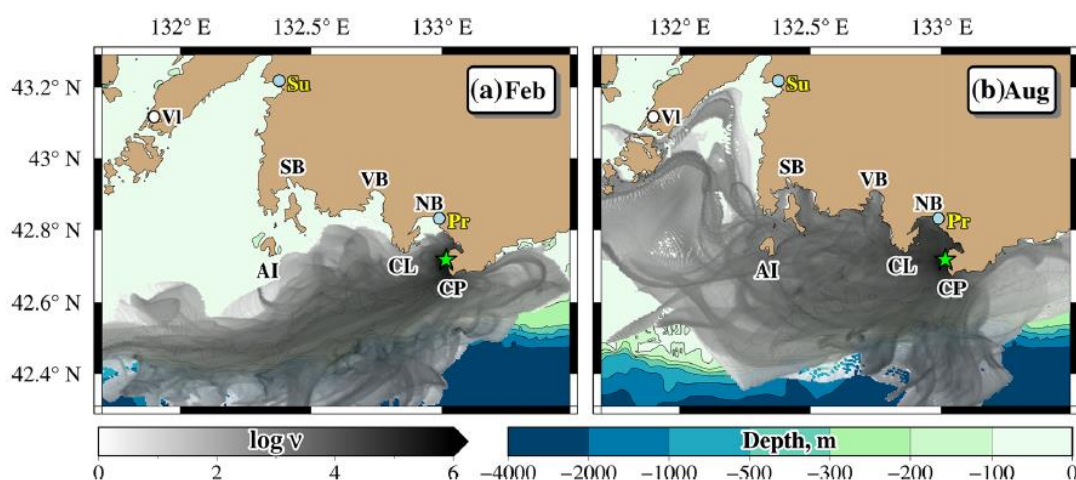


Рис. 4. Дазиметрические карты, показывающие накопленную на поверхности моря плотность ежесуточных следов траекторий маркеров, имитирующих потенциальное загрязнение, выпущенных с нефтяного терминала Козьмино (зеленая звездочка) в (а) феврале и (б) августе месяцы с преобладающими ветрами с континента и с моря, соответственно. Данные собирались в течение шести дней после запуска маркеров и отображаются в логарифмической шкале [4]

С практической точки зрения для МЧС России это означает следующее. Даже при отсутствии реальной аварии лагранжево моделирование позволяет заранее выделить зоны наибольшего риска загрязнения побережья; определить временные окна, в течение которых загрязнение может достигнуть критических объектов; оценить эффективность различных сценариев реагирования; сформировать карты приоритетной защиты.

Таким образом, пример порта Козьмино демонстрирует принципиально важный переход: от анализа уже произошедших катастроф к системному прогнозированию потенциальных аварий. В этом контексте лагранжево моделирование выступает не просто как инструмент расчёта, а как основа превентивного управления рисками, позволяющая МЧС России действовать до наступления чрезвычайной ситуации, а не после неё.

Однако задачи прогноза нефтяных загрязнений не ограничиваются акваториями отдельных портов. В ряде случаев существенно более сложной является ситуация в полузамкнутых морях, где циркуляция определяется взаимодействием ветрового воздействия, прибрежных течений и мезомасштабных вихревых структур. В таких условиях даже относительно небольшие изменения атмосферной обстановки способны радикально изменить направление переноса загрязнения.

Распространение загрязняющих веществ в Юго-Восточной Балтике

Юго-восточная часть Балтийского моря (рис. 5) является не только зоной интенсивного судоходства, но и районом добычи углеводородов: на шельфе эксплуатируется месторождение Кравцовское (D-6), где ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» осуществляет добычу нефти с использованием морской ледостойкой стационарной платформы. При этом многолетний спутниковый мониторинг (2004–2015 гг.) не выявил загрязнений, связанных с эксплуатацией платформы, что указывает на высокую эффективность экологических мер и подтверждает, что основной риск нефтяных разливов в регионе связан не с добычей, а с транспортировкой нефти и ростом судоходства.

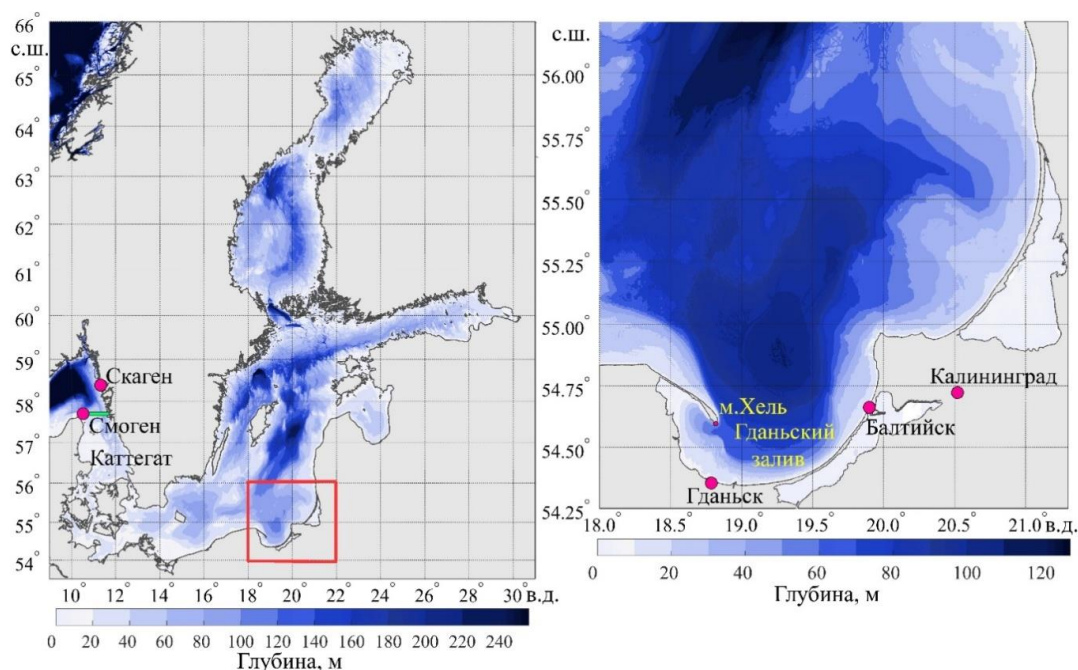


Рис. 5. Донная топография Балтийского моря. Красной линией обозначена жидкая граница модели INMOM. Красным прямоугольником показана область исследования (показана справа). Зеленой линией показана жидкая граница между Балтийским и Северным морями [5]

Исследование, выполненное с использованием гидродинамической модели циркуляции моря и лагранжева отслеживания маркеров, было направлено на анализ путей распространения поверхностных загрязнений и выявление факторов, определяющих их пространственную структуру. Численные эксперименты показали, что динамика переноса в Балтийском море во многом определяется ветровым воздействием на поверхностный слой, который реагирует на изменения атмосферных условий значительно быстрее, чем глубинные воды. В результате траектории пассивных маркеров, имитирующих загрязнение, выделяют сложную систему вдольбереговых и офшорных потоков, способных переносить загрязняющее вещество как вдоль побережья, так и в центральную часть акватории.

Особенно важным результатом стало выявление зон накопления загрязнения, формирующихся не только вблизи береговой линии, но и в открытом море. Дазиметрические карты плотности ежесуточных следов траекторий показали существование компактных областей повышенной концентрации маркеров, удалённых от побережья. Это свидетельствует о том, что перенос загрязнения в Балтике контролируется не только средним течением, но и локальными вихревыми структурами и изменчивостью ветрового режима.

Полученные результаты имеют прямое прикладное значение для систем мониторинга и реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов. Они демонстрируют, что сочетание гидродинамических моделей, метеорологических данных и лагранжева анализа позволяет заранее определить вероятные направления распространения загрязнения и зоны потенциального риска. Такие оценки могут использоваться при разработке планов предупреждения и ликвидации аварийных разливов нефти (ПЛАРН), а также при планировании защитных мероприятий в прибрежных районах.

Таким образом, пример Юго-Восточной Балтики показывает, что лагранжево моделирование эффективно работает не только в локальных портовых акваториях, но и в масштабах целого моря, где перенос загрязнения определяется взаимодействием ветровых процессов, циркуляции и мезомасштабной динамики. Для задач МЧС России это особенно важно, поскольку именно такие сложные условия чаще всего определяют реальное развитие чрезвычайных ситуаций в морской среде.

Антропогенное загрязнение Таганрогского залива Азовского моря

Таганрогский залив Азовского моря представляет собой одну из наиболее уязвимых и одновременно наиболее нагруженных антропогенными воздействиями акваторий региона. Являясь устьевой областью реки Дон, залив аккумулирует значительные объёмы речного стока, содержащего как взвешенные, так и растворённые вещества природного и техногенного происхождения. В сочетании с интенсивной хозяйственной деятельностью в прибрежной зоне это формирует устойчиво высокий уровень загрязнения, что подтверждается многочисленными наблюдениями и оценками экологического состояния региона.

Ключевыми источниками антропогенного загрязнения являются речной сток Дона, несущий сельскохозяйственные, промышленные и бытовые загрязнения; портово-промышленные зоны Таганрога и Мариуполя; прибрежные сбросы и диффузное загрязнение водосборного бассейна. В результате в акваторию залива поступают тяжёлые металлы, нефтепродукты, биогенные вещества и органические загрязнители, которые накапливаются как в водной толще, так и в донных отложениях, создавая длительную экологическую нагрузку.

С гидродинамической точки зрения Таганрогский залив представляет собой мелководную (средние глубины порядка 4–5 м) и высокодинамичную систему, в которой перенос загрязняющих веществ определяется сложным взаимодействием ветрового воздействия, речного стока и локальной циркуляции. Важнейшую роль играет водообмен с Азовским морем через Должанский пролив. При этом характерной особенностью является

высокая кратность обновления вод: годовой объём водообмена в несколько раз превышает объём самого залива.

Однако принципиально важно, что экологические последствия определяются не столько интегральными объёмами водообмена, сколько пространственно-временной структурой переноса загрязнения. Даже при интенсивном обмене вод загрязняющие вещества могут длительно удерживаться в отдельных зонах, формировать локальные области повышенной концентрации, выноситься в открытое море по определённым направлениям. Именно эта задача – выявление реальных путей переноса и зон накопления – требует применения лагранжева подхода.

В рамках лагранжева моделирования загрязнение представляется ансамблем пассивных маркеров, запускаемых в районах основных источников (устье Дона, портовые зоны). Расчёт их траекторий в поле течений позволяет восстановить пространственную организацию переноса, которая принципиально не видна в эйлеровых характеристиках.

Результаты таких расчётов показывают, что Таганрогский залив функционирует как своеобразный “донор загрязнения” для Азовского моря [21]. Показано, что при определённых ветровых условиях происходит вынос загрязнённых вод из залива в открытое море, что, с одной стороны, способствует частичному “самоочищению” прибрежной зоны, а с другой – приводит к распространению загрязнения на более широкие акватории (рис.6).

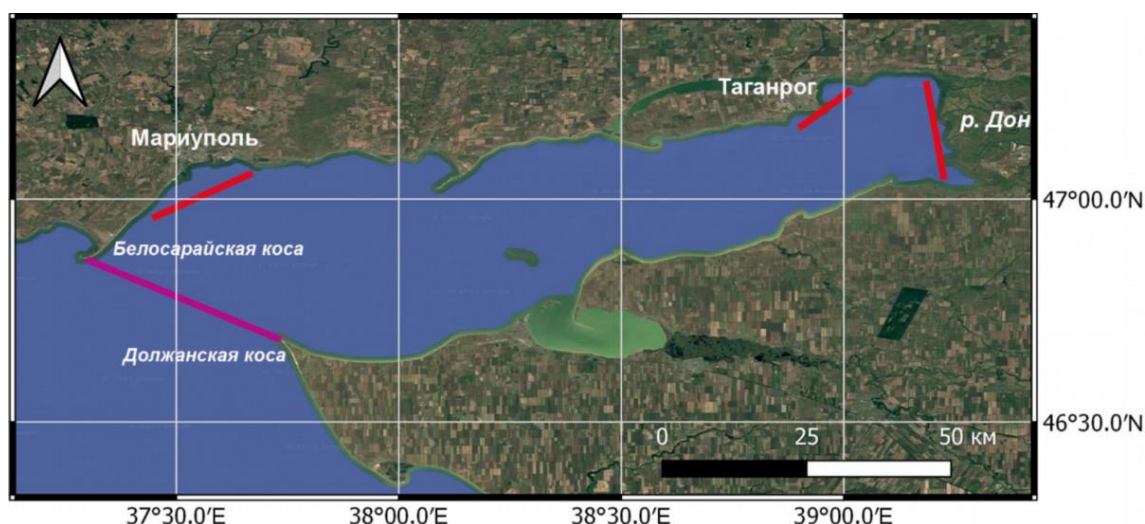


Рис. 6. Таганрогский залив Азовского моря. Красными линиями показаны области запуска при лагранжевом анализе пассивных маркеров, имитирующих загрязнение. Фиолетовой линией обозначена условная граница, разделяющая Таганрогский залив и Азовское море, проходящая между Белосарайской и Должанской косами [21]

Ключевым фактором, определяющим направление и интенсивность переноса, являются ветровые сгонно-нагонные явления. Именно они, а не только речной сток, контролируют водообмен через Должанский пролив и, соответственно, экспорт загрязнения из залива. В зависимости от метеорологических условий возможны принципиально различные сценарии: накопление загрязнения в восточной части залива; вынос загрязнённых вод в центральную часть Азовского моря; формирование вдольбереговых транспортных потоков.

Лагранжев анализ также выявляет наличие зон повышенной устойчивости (аналогов лагранжевых когерентных структур), в которых происходит задержка и аккумуляция загрязнения. Эти зоны представляют особую опасность, поскольку именно здесь формируются долговременные “очаги” экологической нагрузки.

Дополнительным фактором, существенно влияющим на перенос, является ледовый режим. В зимний период значительная часть залива покрывается льдом, что изменяет

структуру циркуляции, ограничивает перемешивание и может способствовать локальному накоплению загрязняющих веществ с последующим их резким перераспределением в период вскрытия.

С практической точки зрения для МЧС России данный регион представляет собой сложную систему с высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Лагранжево моделирование позволяет прогнозировать вынос загрязнения из залива в Азовское море; выявлять зоны потенциального накопления загрязняющих веществ; оценивать влияние экстремальных гидрометеорологических условий; планировать мероприятия по экологическому мониторингу и реагированию.

Таким образом, пример Таганрогского залива наглядно демонстрирует, что даже в условиях интенсивного водообмена загрязнение не исчезает, а перераспределяется в пространстве в соответствии с динамикой течений [21]. Для задач МЧС России это означает необходимость перехода от оценки “уровня загрязнения” к анализу его переноса, где лагранжево моделирование выступает как ключевой инструмент выявления реальных путей распространения антропогенной нагрузки и управления экологическими рисками.

Прогнозирование последствий аварий на морских АЭС и прибрежных ядерных объектах методами лагранжева моделирования

Строительство и эксплуатация атомных электростанций (АЭС) в регионах с высокой сейсмической активностью представляет собой одну из наиболее острых проблем современной экологической безопасности. Особую угрозу для мирового океана несут прибрежные ядерные объекты, где разрушение инфраструктуры в результате природных катаклизмов может привести к неконтролируемому выбросу радионуклидов в морскую среду.

Случаи на АЭС «Касивадзаки-Карива» и катастрофа на АЭС «Фукусима-1» демонстрируют, что даже современные инженерные системы защиты не могут полностью исключить риск попадания радионуклидов в морскую среду при сильных сейсмических воздействиях. Прямые утечки из бассейнов охлаждения, повреждение резервуаров хранения и вторичный смыв загрязнений с промплощадок формируют комплексную угрозу для трансграничных морских экосистем.

В данных условиях критически важным становится использование методов оперативного лагранжева моделирования. Это позволяет МЧС и экологическим службам заблаговременно прогнозировать траектории дрейфа возможных пятен загрязнения и оценивать время их достижения береговых линий сопредельных государств, обеспечивая необходимый уровень региональной экологической безопасности.

Авария на АЭС “Касивадзаки-Карива”

Крупнейшая в мире АЭС “Касивадзаки-Карива”, расположенная на западном побережье острова Хонсю (префектура Ниигата, Япония), находится в зоне экстремального сейсмического риска (рис. 7). Станция включает 7 энергоблоков суммарной мощностью 8,212 ГВт. Расположение объекта непосредственно на берегу Японского моря делает его критически уязвимым перед лицом подземных толчков и угроз, связанных с разрушительным воздействием цунами.

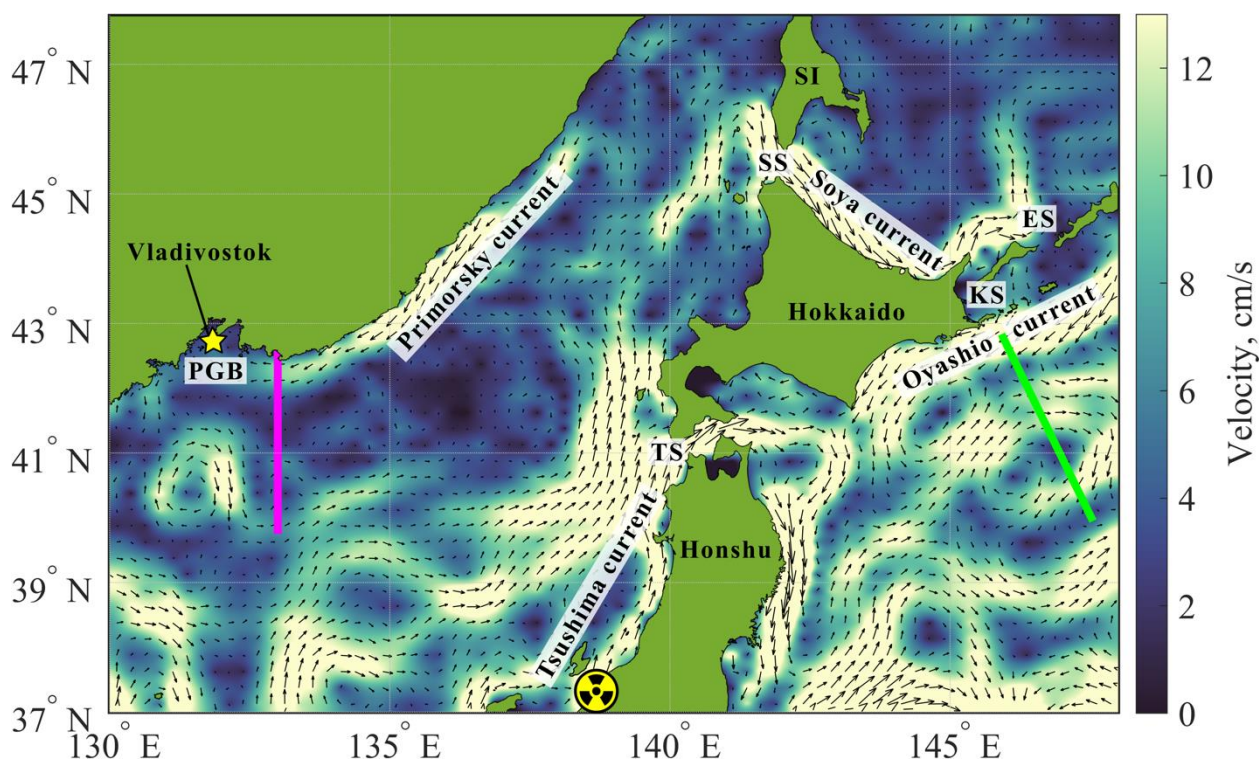


Рис. 7. Поле течений по данным AVISO (осреднение за период 01.01.2013 по 31.12.2023). Меридиональный отрезок сиреневого цвета (I, 40,0°–43,0° с.ш., 133° в.д.) пересекает стрежень Приморского течения; отрезок зеленого цвета (II, 40,2°–43,084° с.ш., 145,917°–147,55° в.д.) соответствует юго-западной границе Южно-Курильской рыболовной зоны. Обозначения: SI – Сахалин, KS – Кунаширский пролив, ES – пролив Екатерины, SS – пролив Лаперуза (Soya strait), TS – Сангарский пролив (Tsugaru strait), PGB – залив Петра Великого (Peter the Great Bay). Символ ☢ показывает расположение АЭС “Касивадзаки-Карива” в Японском море [15, 16]

История эксплуатации станции АЭС “Касивадзаки-Карива” подтверждает реальность угроз, связанных с геологической нестабильностью региона:

– Инцидент 2007 года. Землетрясение магнитудой 6,8 с эпицентром в 19 км от станции привело к серьезным структурным повреждениям. Подвижки почвы под реакторами вызвали утечку радиоактивной воды из резервуаров хранения отработанного топлива в зону общего доступа под шестым блоком. Было зафиксировано опрокидывание более 400 емкостей с низкоактивными отходами, пожар на трансформаторе и повреждение фильтрационных систем, что привело к выходу радиоактивной пыли в атмосферу.

– События 2024 года. Несмотря на длительную приостановку работы станции для антисейсмической модернизации (2021–2023 гг.), первый же день после возобновления эксплуатации ознаменовался серией мощных толчков магнитудой 7,6. Проверка бассейнов выдержки топлива выявила разлив радиоактивной воды из реакторов №2 и №7. Хотя объемы утечек (около 10 и 4 литров соответственно) были признаны локальными, сам факт нарушения целостности систем в первый день работы после ревизии указывает на сохраняющуюся уязвимость инфраструктуры.

Применение лагранжевых методов позволяет МЧС строить вероятностные карты распространения “пятен” радиоактивного загрязнения. Моделирование показывает, что динамика адвекции в Японском море крайне изменчива. Загрязненные водные массы могут подхватываться основными течениями (такими как Цусимское течение) и переноситься вдоль побережья. Исследования, представленные в работах [15, 16], показывают, что при определенных условиях частицы могут достигать удаленных районов за относительно короткие промежутки времени (от нескольких недель до месяцев). Лагранжевы карты

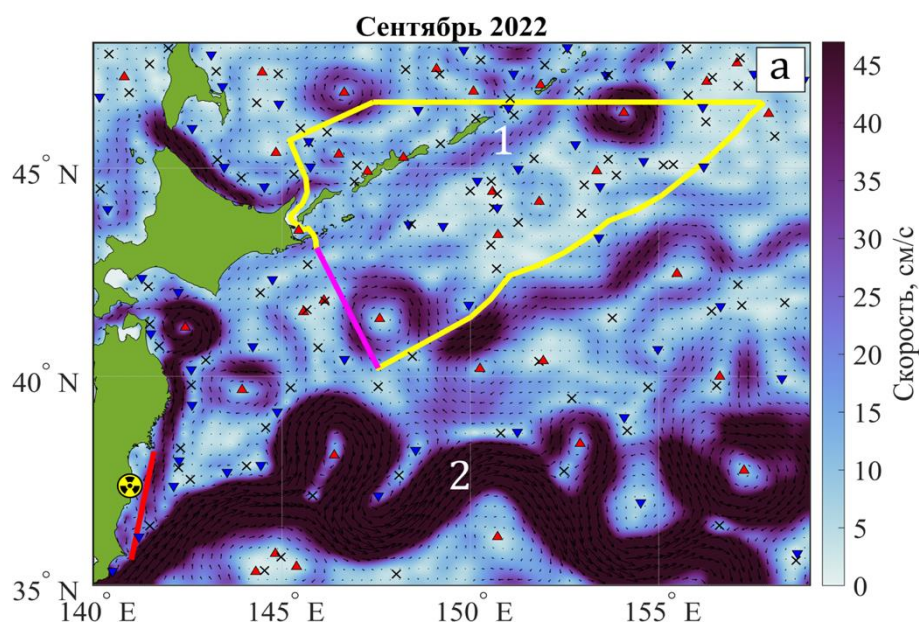
позволяют заранее определить, какие участки акватории и прибрежной зоны РФ находятся в зоне первоочередного риска. Это критически важно для своевременного введения ограничений на рыболовство и водопользование.

Для МЧС использование лагранжева подхода дает ряд стратегических преимуществ. Во-первых, модели позволяют выявить “коридоры” наиболее вероятного прохождения загрязненных вод, где целесообразно размещать буи-анализаторы. Во-вторых, расчет концентрации виртуальных лагранжевых частиц помогает оценить потенциальную дозу облучения морских экосистем, что позволяет оценить экологический ущерб.

Следует особо подчеркнуть, что в условиях неопределенности (например, при выходе из строя датчиков контроля на самой АЭС) расчетные методы остаются единственным источником данных для прогнозирования движения радиационного облака или пятна. Таким образом, интеграция лагранжева моделирования в систему мониторинга МЧС позволяет перейти от констатации факта загрязнения к превентивному планированию защитных мероприятий, минимизируя риски для населения и экологии Дальнего Востока.

Авария на АЭС «Фукусима-1»

Ядерная катастрофа на АЭС «Фукусима-1», произошедшая в марте 2011 года, стала крупнейшим радиационным инцидентом современности, оказавшим трансграничное воздействие на экосистему Тихого океана (рис. 8). Станция, расположенная на восточном побережье острова Хонсю, подверглась воздействию мощного землетрясения и последовавшего за ним цунами, что привело к расплавлению активных зон реакторов и масштабному выбросу радионуклидов. Основными путями попадания радиоактивных элементов в океан стали прямой слив технической воды с промышленной площадки, атмосферные осадки на поверхность моря и последующий смыв радионуклидов с почвы. Этот опыт подчеркнул необходимость внедрения жестких протоколов контроля и превентивного моделирования последствий для аналогичных объектов.



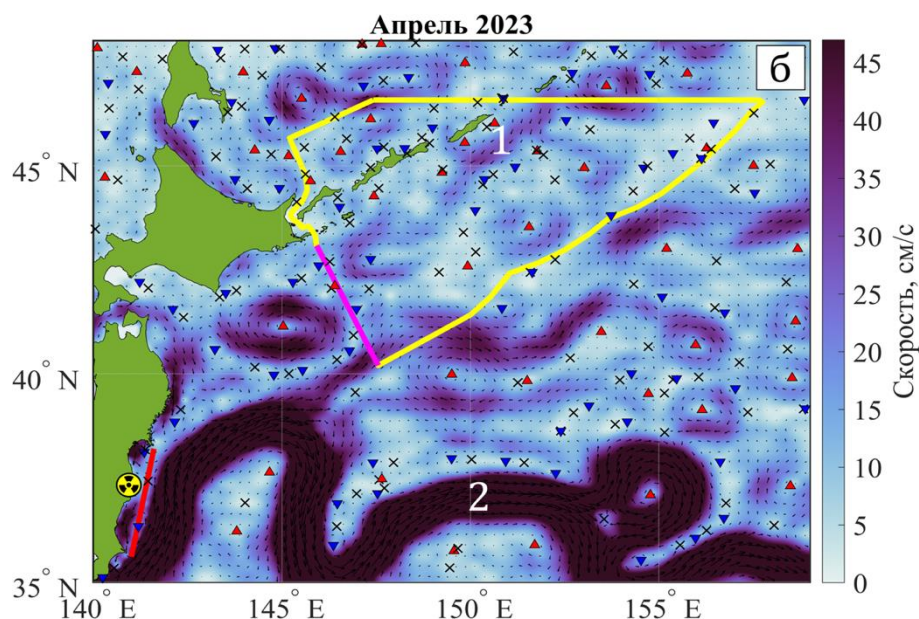


Рис. 8. Расположение АЭС «Фукусима-1» (координаты $37^{\circ}25'12.0''$ с. ш., $141^{\circ}2'58.0''$ в. д.) показано знаком радиационной опасности ☢. Желтая линия обозначает границы Южно-Курильской рыболовной зоны РФ. Розовый отрезок – юго-западная ее граница. Красный отрезок – область запуска (при лагранжевом анализе в прямом времени) и ловли (при лагранжевом анализе в обратном времени) пассивных маркеров, имитирующих загрязнение. Цветом показана топография. Геострофические течения, рассчитанные по альтиметрическим данным AVISO и усредненные за сентябрь 2022 г. а) и апрель 2023 г. б). Течения: 1 – Ойясио, 2 – Куроисио. Стрелками показаны вектора течений, цветовая шкала соответствует модулю скорости. Красный отрезок (35.6° с. ш., 141° в. д. – 38.3° с. ш., 141.6° в. д.) расположен вблизи АЭС «Фукусима-1» от него рассчитываются траектории маркеров. Красные треугольники ▲ соответствуют центрам антициклонов, синие ▼ – циклонов. Черными крестиками показаны гиперболические точки [23]

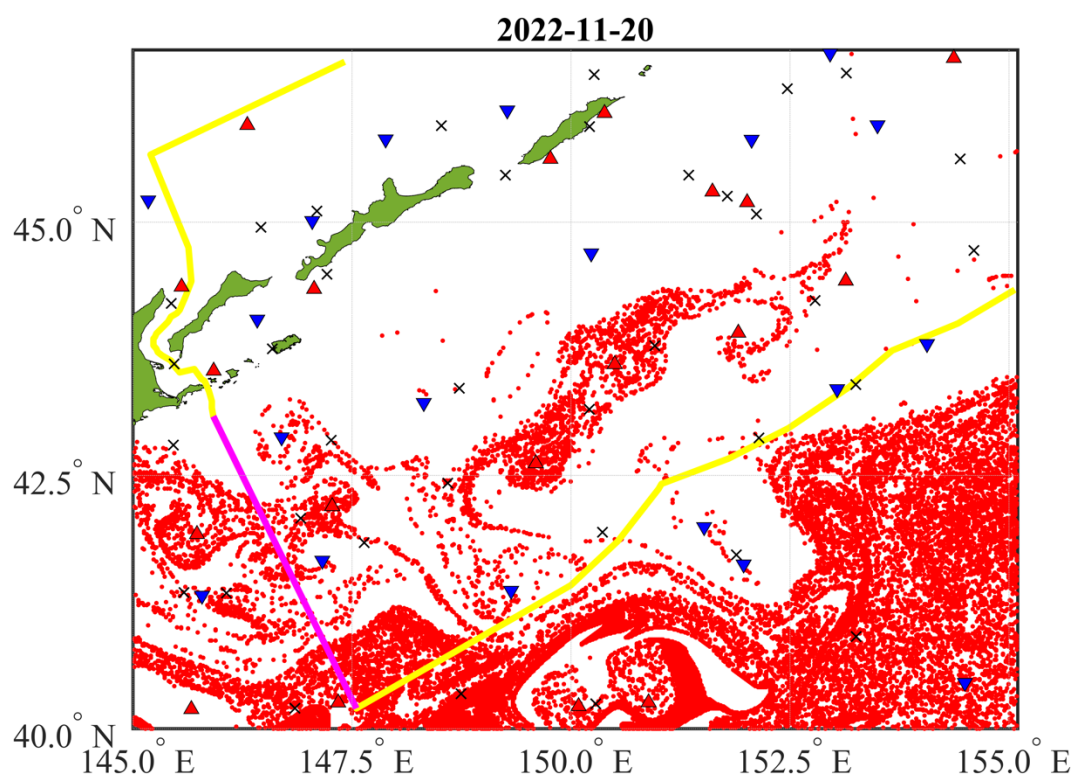
Особую актуальность проблема приобрела в последние годы в связи с санкционированным сливом очищенной технической воды, накопленной в резервуарах станции. Для оценки рисков распространения этих вод в северо-западной части Тихого океана критически важным является использование лагранжева моделирования. Согласно исследованиям [22–24], перенос загрязненных водных масс определяется сложной динамикой системы течений Куроисио и Ойясио. Лагранжево моделирование выявило ключевые механизмы адвекции:

- Роль течения Куроисио. Основной поток течения выступает в роли динамического барьера, препятствующего быстрому распространению загрязнений на юг, однако меандрирование (изгибы) Куроисио и формирование мезомасштабных вихрей способствуют захвату и переносу “пятен” загрязнения в открытый океан.

- Вихревая адвекция. Было установлено, что антициклонические вихри способны перемещать изолированные объемы загрязненной воды на значительные расстояния, сохраняя в них концентрацию примеси выше фоновых значений.

- Сезонная изменчивость. Моделирование показало, что пути дрейфа частиц существенно зависят от сезона. В определенные периоды (особенно при усилении северных ветров и соответствующей динамике течений) формируются условия для выноса водных масс в сторону Южно-Курильской рыболовной зоны.

Результаты лагранжева моделирования, представленные в работах [22–24], вносят критические коррективы в существовавшие ранее представления о безопасности последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» для российских акваторий. Вопреки распространенному мнению о том, что система региональных течений надежно изолирует побережье России от радиоактивных частиц, перенося их строго на восток в открытый океан, детальный анализ траекторий пассивных маркеров подтвердил реальный риск трансграничного загрязнения Южно-Курильской рыболовной зоны (ЮКРЗ) (рис. 9). Исследования показали, что потенциально “грязные” маркеры не только достигают границ ЮКРЗ, но и способны проникать через Курильские проливы в Охотское море, причем в определенных гидродинамических условиях была зафиксирована возможность аномально быстрой адвекции загрязнения – всего за 13 суток от момента сброса. Такой стремительный перенос обусловлен захватом радиоактивных масс первым меандром Куроисио и их последующей транспортировкой системой мезомасштабных антициклонических вихрей непосредственно к границам российского рыбопромыслового района. ЮКРЗ является стратегически важным регионом для экономики РФ, где ведется активная добыча ценных биоресурсов, включая сайру, сардину, скумбрию, тресковые виды, камбалу, тихоокеанских лососей, а также крабов, моллюсков и иглокожих. Учитывая способность трития и изотопов цезия накапливаться в морских организмах и передаваться по пищевым цепям, обнаруженная порционность и сезонная зависимость поступления загрязнения (с пиками в осенний и весенний периоды) требуют пересмотра старых оценок безопасности и внедрения системы непрерывного лагранжева мониторинга для защиты побережья. Дополнительное подтверждение долгосрочных рисков приводится в работе [25], где на основе численного моделирования на период 2023–2025 гг. показано, что при сохранении темпов сброса очищенной воды активность трития в морской воде Дальневосточного региона будет иметь тенденцию к росту. В частности, авторы указывают на формирование зон потенциального накопления радионуклидов в районах активного рыболовства, что в сочетании со способностью изотопов встраиваться в трофические цепи требует внедрения системы непрерывного лагранжева мониторинга для обеспечения радиационной безопасности прибрежных регионов России и строгого контроля качества поставляемой на рынок продукции и обеспечения радиационной чистоты вылавливаемой продукции.



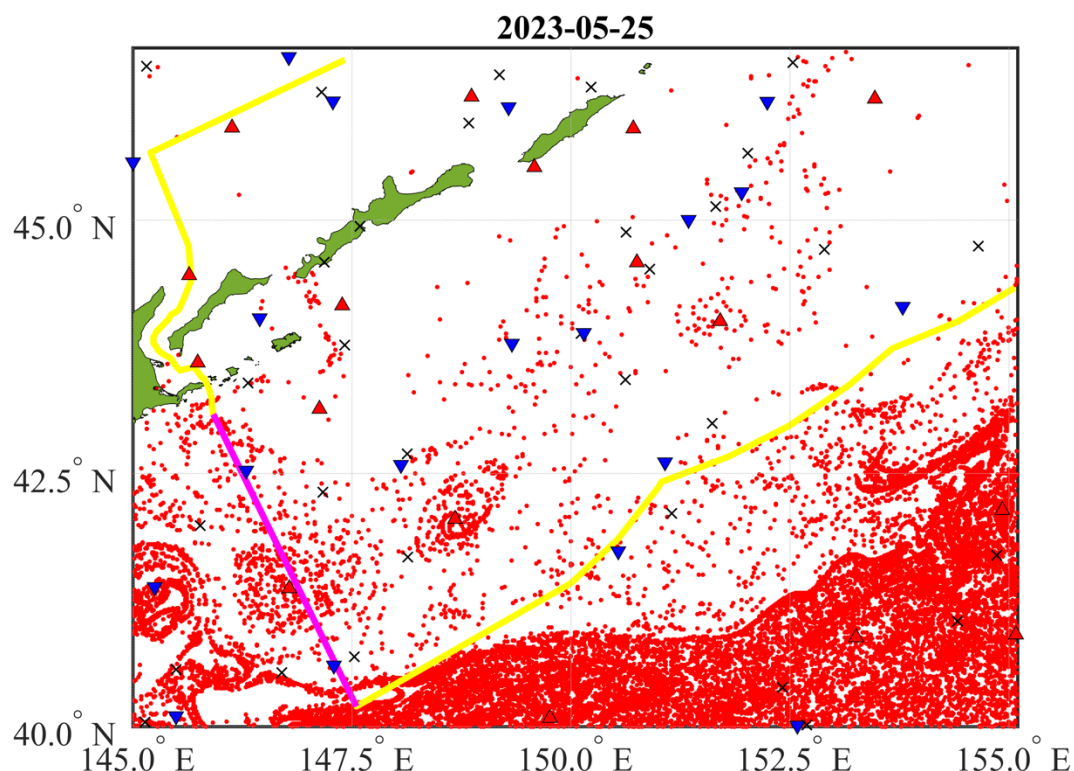


Рис. 9. Пространственное распределение “грязных” маркеров, ассоциируемых с потенциальным радиоактивным загрязнением после первого слива технической воды с АЭС «Фукусима-1» в августе 2024 года, на 20 ноября 2022 г. и 25 мая 2023 г. Треугольники и крестики означают то же, что и на рис. 8 [23]

Для МЧС России результаты лагранжева анализа имеют фундаментальное стратегическое значение, выступая научной основой для оперативного планирования и развертывания мониторинговых миссий в исключительной экономической зоне Российской Федерации. Практическое применение расчетных методов позволяет решать комплекс критических задач по обеспечению радиационной и продовольственной безопасности в Дальневосточном регионе: точная оценка “времени транзита” виртуальных лагранжевых частиц к акваториям Южных Курил дает ведомству необходимый временной резерв для заблаговременной корректировки графиков работы рыболовного флота и вывода судов из зон потенциального прохождения пятен загрязнения. На основе прогнозных траекторий дрейфа могут быть сформированы планы адресного радиологического контроля в ключевых районах промысла, что позволяет гарантировать экологическую чистоту изымаемых биоресурсов и предотвратить масштабный экономический ущерб. Кроме того, использование лагранжева моделирования оптимизирует распределение сил и средств ведомства, позволяя с высокой точностью определять районы для постановки специализированных гидрофизических буев и проведения судовых экспресс-анализов проб воды в наиболее опасных “коридорах” переноса, избавляя от необходимости сплошного и ресурсозатратного мониторинга всей акватории.

Таким образом, на примере катастрофы на АЭС «Фукусима-1» окончательно подтверждается, что лагранжевы методы являются безальтернативным инструментом оперативного прогнозирования экологических рисков в масштабах целых океанических бассейнов, переводя систему поддержки принятия решений МЧС России на качественно новый уровень – от пассивной констатации фактов к активному стратегическому управлению рисками в условиях высокой неопределенности.

Заключение

Проведённые исследования показали, что ключевым ограничением традиционных подходов МЧС России к работе в морской среде является их эйлерова основа: они описывают поля, но не судьбу конкретного вещества, человека или загрязняющего пятна. В условиях сложной многомасштабной циркуляции океана, наличия струй, фронтов и мезомасштабных вихрей именно траектории частиц определяют реальные сценарии развития чрезвычайных ситуаций, “временные окна” их эволюции и зоны наибольшего риска.

На конкретных примерах – от Таганрогского залива до потенциальных аварий на прибрежных АЭС – показано, что загрязнение в море не исчезает, а перераспределяется, формируя устойчивые зоны аккумуляции и направленные потоки выноса, которые невозможно корректно описать без расчёта лагранжевых траекторий. Именно лагранжево моделирование позволяет перейти от констатации “уровня загрязнения” к анализу его реального переноса и последствий для прибрежных социально-экономических систем.

В таком контексте лагранжевы методы перестают быть вспомогательным инструментом и становятся инфраструктурой современной системы реагирования МЧС России в океане. Без интеграции лагранжева моделирования в оперативную практику невозможно ни достоверно прогнозировать распространение опасных веществ, ни планировать эффективные поисково-спасательные операции, ни оценивать реальные временные рамки и географию риска. Это означает, что отказ от лагранжева подхода де-факто лишает МЧС прогностической компоненты и переводит работу в морской среде в режим хронически запаздывающей реакции “по факту произошедшего” – с прямыми последствиями для экологической, экономической и национальной безопасности России.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования Санкт-Петербургскому государственному университету (грант № 129659573) и Российскому научному фонду (РНФ, грант № 25-17-00021), а также ТОИ ДВО РАН (госзадание № 124022100072–5 “Фундаментальные основы адаптационных стратегий развития экосистем в условиях глобальных климатических изменений”). Лагранжевы вычисления были выполнены при поддержке программы Инжинирингового центра развития технологий исследования и освоения ресурсов Мирового океана ТОИ ДВО РАН.

Список источников

1. Анализ законодательства в области организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на объектах Арктической зоны Российской Федерации / Р.Ю. Шестаков [и др.] // Нефтяное хозяйство. 2024. № 9. С. 147–152. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-9-147-152.
2. Моделирование разливов нефти в море для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. Часть 1. Методология / С.Н. Зацепя [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 4 (106). С. 26–38.
3. Моделирование разливов нефти в море для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. Часть 2. Особенности реализации прикладных задач / С.Н. Зацепя [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 1 (107). С. 5–18.
4. Lagrangian Oil Spill Simulation in Peter the Great Bay (Sea of Japan) with a High-Resolution ROMS Model / S.V. Prants [et al.] // Pure and Applied Geophysics. 2023. Vol. 180. P. 551–568. DOI: 10.1007/s00024-022-03222-6.
5. Лагранжево моделирование путей переноса загрязнения на морской поверхности в Юго-Восточной Балтике на основе INMOM / М.В. Будянский [и др.] // Метеорология и гидрология. № 4. 2026. С. 121–142.

6. Пугачева П.В., Гончар А.Э., Шестаков Р.Ю. Анализ нового законодательства, регламентирующего разработку и утверждение планов предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на объектах магистральных трубопроводов // Нефтяное хозяйство. 2021. № 9. С. 122–128. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-9-122-128.
7. Совершенствование законодательства в области разработки и утверждения планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на объектах магистральных трубопроводов / А.В. Захарченко [и др.] // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т. 10. № 6. С. 654–662. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-6-654-662.
8. Шабас И.Н. Моделирование на высокопроизводительных вычислительных системах процессов распространения многокомпонентных примесей в водоеме // «Вестник Южно-Уральского государственного университета». Серия: Вычислительная математика и информатика. 2014. Т. 3. № 1. С. 89–96.
9. Математическое моделирование эволюции примеси в Азовском море / В.А. Иванов [и др.]. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2006. № 14. С. 230–239.
10. Белова Ю.В., Чистяков А.Е. Моделирование динамики концентрации вредоносных видов фитопланктона в Таганрогском заливе Азовского моря // Безопасность техногенных и природных систем. 2025. Т. 9. № 4. С. 284–293. DOI: 10.23947/2541-9129-2025-9-4-284-293.
11. Чистяков А.Е., Кузнецова И.Ю. Оценка экологических рисков мелководного водоема при проведении дноуглубительных работ // Безопасность техногенных и природных систем. 2024. Т. 8. № 2. С. 37–46. DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-2-37-46.
12. Белова Ю.В., Никитина А.В. Применение методов усвоения данных наблюдений для моделирования распространения загрязняющих веществ в водоеме и управления устойчивым развитием // Безопасность техногенных и природных систем. 2024. Т. 8. № 3. С. 39–48. DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-3-39-48.
13. The impact of circulation features on the dispersion of radionuclides after the nuclear submarine accident in Chazhma Bay (Japan Sea) in 1985: A retrospective Lagrangian simulation / M.V. Budyansky [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2022. Vol. 177. 113483. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113483.
14. Search and rescue at sea aided by hidden flow structures / M. Serra [et al.] // Nature Communications. 2020. Vol. 11. 2525. DOI: 10.1038/s41467-020-16281-x.
15. Потенциальная опасность радиационного загрязнения морской среды из-за возможных землетрясений вблизи АЭС «Касивадзаки-КАРИВА» / М.В. Будянский [и др.] // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2025. Т. 520. № 2. С. 348–358. DOI: 10.31857/S2686739725020204.
16. Potential Hazard of Radioactive Contamination of the Marine Environment Due to Possible Earthquakes near the Kashiwazaki–Kariwa Nuclear Power Plant / M.V. Budyansky [et al.] // Doklady Earth Sciences. 2025. Vol. 520. No. 5. DOI: 10.1134/S1028334X24604358.
17. Бокатов А.Ю., Лабузов А.Г. Проблемы при ликвидации аварийных разливов нефти на арктическом шельфе // Судостроение. 2021. № 6(859). С. 56–58.
18. Пример сопоставления вихревых структур в полях эйлеровых и лагранжевых характеристик для Северо-западной части Тихого океана / Е.В. Новоселова [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2024. Т. 69. № 2. С. 372–388. DOI: 10.21638/spbu07.2024.209.
19. Role of mesoscale eddies in transport of Fukushima-derived cesium isotopes in the ocean / M.V. Budyansky [et al.] // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2015. Vol. 96. P. 15–27. DOI: 10.1016/j.dsr.2014.09.007.
20. Prants S.V., Uleysky M.Y., Budyansky M.V. Lagrangian Oceanography: Large-scale Transport and Mixing in the Ocean // Cham: Springer. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-53022-2.
21. Dynamics of anthropogenic pollutant spread from Taganrog Bay into the Sea of Azov / M.V. Budyansky [et al.] // Russian Journal of Earth Sciences. 2026.

22. Surface Transport of Technical Waters from Fukushima NPP to the South Kuril Fishing Zone / M.V. Budyansky [et al.] // Russian Journal of Earth Sciences. 2024. Vol. 24. ES4002. DOI: 10.2205/2024es000934.

23. Оценка загрязнения вод Южно-Курильской рыболовной зоны радиоактивными водами АЭС «Фукусима-1» на основе лагранжева моделирования / М.В. Будянский [и др.] // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2024. Т. 515. № 1. С. 164–174. DOI: 10.31857/S2686739724030212.

24. Can contaminated waters from the Fukushima Daiichi NPP penetrate the East China Sea. / M.V. Budyansky [et al.] // Pure and Applied Geophysics. 2025. Vol. 182. P. 1843–1860. DOI: 10.1007/s00024-025-03688-0.

25. Обеспечение радиационной безопасности населения дальневосточных регионов Российской Федерации в условиях долговременного сброса воды с АЭС «Фукусима-1» / А.Ю. Попова [и др.] // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19. № 1. С. 7–22. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-7-22.

References

1. Analiz zakonodatel'stva v oblasti organizacii meropriyatij po preduprezhdeniyu i likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov na ob'ektax Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii / R.Yu. Shestakov [i dr.] // Neftyanoe khozyajstvo. 2024. № 9. S. 147–152. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-9-147-152.

2. Modelirovanie razlivov nefi v more dlya planirovaniya meropriyatij po obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti pri realizacii neftegazovykh proektov. Chast' 1. Metodologiya / S.N. Zacepa [i dr.] // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2015. № 4(106). S. 26–38.

3. Modelirovanie razlivov nefi v more dlya planirovaniya meropriyatij po obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti pri realizacii neftegazovykh proektov. Chast' 2. Osobennosti realizacii prikladnykh zadach / S.N. Zacepa [i dr.] // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2016. № 1(107). S. 5–18.

4. Lagrangian Oil Spill Simulation in Peter the Great Bay (Sea of Japan) with a High-Resolution ROMS Model / S.V. Prants [et al.] // Pure and Applied Geophysics. 2023. Vol. 180. P. 551–568. DOI: 10.1007/s00024-022-03222-6.

5. Lagranzhevo modelirovanie putej perenosa zagryazneniya na morskoy poverkhnosti v Yugo-Vostochnoj Baltike na osnove INMOM / M.V. Budyanskij [i dr.] // Meteorologiya i gidrologiya. 2026. № 4. 2026. S. 121–142.

6. Pugacheva P.V., Gonchar A.E., Shestakov R.Yu. Analiz novogo zakonodatel'stva, reglamentiruyushhego razrabotku i utverzhdenie planov preduprezhdeniya i likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov na obektax magistral'nykh truboprovodov // Neftyanoe khozyajstvo. 2021. № 9. S. 122–128. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-9-122-128.

7. Sovershenstvovanie zakonodatel'stva v oblasti razrabotki i utverzhdeniya planov po preduprezhdeniyu i likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov na obektax magistral'nykh truboprovodov / A.V. Zaxarchenko [i dr.] // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov. 2020. T. 10. № 6. S. 654–662. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-6-654-662.

8. Shabas I.N. Modelirovanie na vysokoproizvoditel'nykh vychislitel'nykh sistemax processov rasprostraneniya mnogokomponentnykh primesej v vodoeme // «Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta». Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika. 2014. T. 3. № 1. S. 89–96.

9. Matematicheskoe modelirovanie e'vol'yucii primesi v Azovskom more / V.A. Ivanov [i dr.] // Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa. 2006. № 14. S. 230–239.

10. Belova Yu.V., Chistyakov A.E. Modelirovanie dinamiki koncentracii vredonosnykh vidov fitoplanktona v Taganrogskom zalive Azovskogo morya // Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnnykh sistem. 2025. T. 9. № 4. S. 284–293. DOI: 10.23947/2541-9129-2025-9-4-284-293.

11. Chistyakov A.E., Kuzneczova I.Yu. Ocenka ekologicheskix riskov melkovodnogo vodoema pri provedenii dnouglubitel'ny`x rabot // Bezopasnost' texnogennyx i prirodnyx sistem. 2024. T. 8. № 2. S. 37–46. DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-2-37-46.
12. Belova Yu.V., Nikitina A.V. Primenenie metodov usvoeniya dannyx nablyudenij dlya modelirovaniya rasprostraneniya zagryaznyayushhix veshhestv v vodoeme i upravleniya ustojchivym razvitiem // Bezopasnost' texnogennyx i prirodnyx sistem. 2024. T. 8. № 3. S. 39–48. DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-3-39-48.
13. The impact of circulation features on the dispersion of radionuclides after the nuclear submarine accident in Chazhma Bay (Japan Sea) in 1985: A retrospective Lagrangian simulation / M.V. Budyansky [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2022. Vol. 177. 113483. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113483.
14. Search and rescue at sea aided by hidden flow structures / M. Serra [et al.] // Nature Communications. 2020. Vol. 11. 2525. DOI: 10.1038/s41467-020-16281-x.
15. Potencial'naya opasnost' radiacionnogo zagryazneniya morskoy sredy iz-za vozmozhnyx zemletryasenij vblizi AES «Kasivadzaki-KARIVA» / M.V. Budyanskij [i dr.] // Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle. 2025. T. 520. № 2. S. 348–358. DOI: 10.31857/S2686739725020204.
16. Potential Hazard of Radioactive Contamination of the Marine Environment Due to Possible Earthquakes near the Kashiwazaki–Kariwa Nuclear Power Plant / M.V. Budyansky [et al.] // Doklady Earth Sciences. 2025. Vol. 520. No. 5. DOI: 10.1134/S1028334X24604358.
17. Bokatov A.Yu., Labuzov A.G. Problemy pri likvidacii avarijnyx razlivov nefi na arkticheskom shel'fe // Sudostroenie. 2021. № 6(859). S. 56–58.
18. Primer sopostavleniya vixrevy`x struktur v polyax ejlerovyx i lagranzhevyyx xarakteristik dlya Severo-zapadnoj chasti Tixogo okeana / Novoselova E.V. [i dr.] // «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta». Nauki o Zemle. 2024. T. 69. № 2. S. 372–388. DOI: 10.21638/spbu07.2024.209.
19. Role of mesoscale eddies in transport of Fukushima-derived cesium isotopes in the ocean / M.V. Budyansky [et al.] // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2015. Vol. 96. P. 15–27. DOI: 10.1016/j.dsr.2014.09.007.
20. Prants S.V., Uleysky M.Y., Budyansky M.V. Lagrangian Oceanography: Large-scale Transport and Mixing in the Ocean. Cham: Springer. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-53022-2.
21. Dynamics of anthropogenic pollutant spread from Taganrog Bay into the Sea of Azov / M.V. Budyansky [et al.] // Russian Journal of Earth Sciences. 2026.
22. Surface Transport of Technical Waters from Fukushima NPP to the South Kuril Fishing Zone / M.V. Budyansky [i dr.] // Russian Journal of Earth Sciences. 2024. Vol. 24. ES4002. DOI: 10.2205/2024es000934.
23. Ocenka zagryazneniya vod Yuzhno-Kuril'skoj rybolovnoj zony radioaktivnymi vodami AE'S «Fukusima-1» na osnove lagranzheva modelirovaniya / M.V. Budyanskij [i dr.] // Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle. 2024. T. 515. № 1. S. 164–174. DOI: 10.31857/S2686739724030212.
24. Can contaminated waters from the Fukushima Daiichi NPP penetrate the East China Sea / M.V. Budyanskij [et al.] // Pure and Applied Geophysics. 2025. Vol. 182. P. 1843–1860. DOI: 10.1007/s00024-025-03688-0.
25. Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti naseleniya dal'nevostochny`x regionov Rossijskoj Federacii v usloviyax dolgovremennogo sbrosa vody` s AE'S «Fukusima-1» / A.Yu. Popova [i dr.] // Radiacionnaya gigiena. 2026. T. 19. № 1. S. 7–22. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-7-22.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 21.03.2026; одобрена после рецензирования: 17.05.2026; принята к публикации: 27.05.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 21.03.2026; approved after review: 17.05.2026; accepted for publication: 27.05.2026

Информация об авторах:

Будянский Максим Васильевич, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43), кандидат физико-математических наук, e-mail: plaztic@poi.dvo.ru, SPIN-код: 4301-2220

Улейский Михаил Юрьевич, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43), кандидат физико-математических наук, e-mail: uleysky@poi.dvo.ru, SPIN-код: 6373-0580

Лебедева Мария Алексеевна, старший инженер Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43), e-mail: lebedevamasha671@gmail.com, SPIN-код: 7877-9778

Файман Павел Аркадьевич, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43), кандидат физико-математических наук, e-mail: pavel.fayman@yandex.ru, SPIN-код: 8880-4600

Белоненко Татьяна Васильевна, профессор кафедры океанологии СПбГУ (199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9), доктор географических наук, e-mail: btvlisab@yandex.ru, SPIN-код: 1978-1620

Information about the authors:

Budyansky M. V., Head Scientist Researcher at V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43), PhD in Physics and Mathematics, e-mail: plaztic@poi.dvo.ru, SPIN: 4301-2220

Uleysky M. Yu., Head Scientist Researcher at V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43), PhD in Physics and Mathematics, e-mail: uleysky@poi.dvo.ru, SPIN: 6373-0580

Lebedeva M. A., senior engineer at V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43), PhD in Physics and Mathematics, e-mail: lebedevamasha671@gmail.com, SPIN: 7877-9778

Fayman P. A., Head Scientist Researcher at V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43), PhD in Physics and Mathematics, e-mail: pavel.fayman@yandex.ru, SPIN: 8880-4600

Belonenko T. V., Full Professor of the Department of Oceanology, St. Petersburg State University (199034, St. Petersburg, Universitetskaya emb., 7–9), PhD in Geography, e-mail: btvlisab@yandex.ru, SPIN: 1978-1620

Научная статья

УДК 004.8:614.8; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-29-35

АНАЛИЗ СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

✉ Гончаров Андрей Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ andreygoncharov04@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется сложность задачи вероятностного прогнозирования возникновения природных пожаров методами машинного обучения. Проведен анализ обучающей выборки, включающей метеорологические, спутниковые и исторические данные, а также выполнена визуализация распределений и решена задача понижения размерности с помощью нелинейных методов t-SNE и UMAP. Продемонстрировано, что классы «пожар» и «нет пожара» в значительной степени перекрывают друг друга в признаковом пространстве. Полученные результаты говорят о необходимости применения сложных, нелинейных методов машинного обучения.

Ключевые слова: природные пожары, машинное обучение, t-SNE, UMAP, визуализация данных

Для цитирования: Гончаров А.С. Анализ сложности задачи прогнозирования природных пожаров методами машинного обучения // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 29-35. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-29-35

Scientific article

COMPLEXITY ANALYSIS OF WILDFIRE FORECASTING TASK WITH MACHINE LEARNING

✉ Andrey S. Goncharov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ andreygoncharov04@mail.ru

Abstract. This article examines the complexity of probabilistic wildfire forecasting using machine learning. A training set including meteorological, satellite, and historical data is analyzed, distributions are visualized, and dimensionality reduction is performed using nonlinear t-SNE and UMAP methods. It is demonstrated that the "fire" and "no fire" classes significantly overlap in the feature space, suggesting the need for complex, nonlinear machine learning methods.

Keywords: wildfires, machine learning, t-SNE, UMAP, data visualization

For citation: Goncharov A.S. Complexity analysis of wildfire forecasting task with machine learning // Natural and Man-Made Risks (Physical, Mathematical, and Applied Aspects). 2026. No. 2 (58). pp. 29-35. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-29-35.

Введение

Как известно, из многолетних наблюдений и различных исследований, лесные пожары возникают из-за влияния множества различных факторов, а именно: метеорологических условий, типа растительности, рельефа местности, антропогенной нагрузки, и, к сожалению, их практически невозможно описать линейными моделям [1–3]. Именно поэтому задачи вероятностного прогнозирования различных физических и природных процессов, в том числе и прогнозирования природных пожаров, считаются одними из наиболее сложных в прикладном машинном обучении [4–6]. Стандартные физические индексы пожарной опасности довольно ограничены и поэтому способны давать лишь приблизительную оценку, а методы машинного обучения позволяют выявлять глубокие нелинейные зависимости, но при условии хорошего качества и подходящей структуры данных [7–9].

Целью исследования является анализ структуры данных, их сложности, а также выборе алгоритмов машинного обучения наиболее подходящих для решения задачи прогнозирования природных пожаров. Для этого применены два широко известных метода визуализации данных с помощью понижения размерности – t-SNE и UMAP, они позволяют определить, насколько классы «пожар» и «нет пожара» разделимы в признаковом пространстве и какие алгоритмы обучения использовать [10, 11]. Такой подход позволяет как оценить сложность решаемой задачи, так и дать обоснованные рекомендации по выбору архитектуры будущей системы прогнозирования.

Методы исследования

Начать необходимо с выбора исходных данных, в данной работе были использованы данные из открытых источников, они включали в себя метеорологические данные с восемью метеорологических станций Сибири и Дальнего Востока, а также данные дистанционного зондирования земли с информационного ресурса NASA FIRMS MODIS за период с 2019 по 2024 гг. Была построена обучающая выборка для прогнозирования возникновения природных пожаров с упреждением в 7 суток. Все переменные были сведены в единое признаковое пространство из 140 характеристик, включающее экспоненциально взвешенные средние, лаговые значения метеопараметров и спутниковых данных, сезонные компоненты. Целевая переменная определялась как индикатор возникновения нового пожара в ближайшие 7 суток.

Итоговый объем выборки составил 9896 наблюдений, с долей положительного класса 44%.

Для анализа данных и их визуализации с проецированием на плоскость использовали два алгоритма нелинейного понижения размерности t-SNE и UMAP. Метод t-SNE сжимает гиперпространство признаков, на основе вероятностной близости объектов и наиболее эффективно сохраняет локальные соседства и зависимости, что позволяет выявлять кластеры и области смешения, перекрытия классов [10]. Метод UMAP основан на топологическом анализе данных, но в упрощенном графовом представлении данных и стремится сохранить локальную и глобальную структуру выборки, создавая компактные и понятные кластеры [11].

Перед построением результатов анализа на графиках, было необходимо поставить оба метода в одинаковые условия, то есть стандартизировать. Для этого в настройках метода t-SNE был выбран параметр perplexity равный 30, этот параметр можно представить как количество ближайших соседей, которые алгоритм будет пытаться сохранить при понижении размерности пространства к двумерному, для наилучшей визуализации. Значение параметра 30 является стандартным и хорошо работает для выборок в несколько тысяч наблюдений [12]. Для UMAP использовались основные настройки по умолчанию n_neighbors равный 15 и min_dist равный 0.1. Первый параметр в чистом виде количество ближайших соседей, второй определяет, насколько плотно точки могут располагаться друг к другу [13].

Оба метода запускались на случайной подвыборке из 5000 наблюдений, для более быстрого вычисления и получения результатов, основные закономерности при этом не утрачиваются. Полный список параметров представлен на рис. 1.

```
# Размер подвыборки
N_SAMPLES = 5000
# Параметры методов
tsne_params = {
    'n_components': 2,
    'random_state': 42,
    'perplexity': 30,
    'init': 'pca',          # по умолчанию в sklearn
    'learning_rate': 'auto',
    'max_iter': 1000        # значение по умолчанию
}

umap_params = {
    'n_components': 2,
    'random_state': 42,
    'n_neighbors': 15,      # по умолчанию в umap-learn
    'min_dist': 0.1,        # по умолчанию
    'metric': 'euclidean',
    'n_jobs': 1
}
```

Рис. 1. Листинг программы

Результаты

После завершения работы алгоритмов были получены следующие результаты, представленные на рис. 2 и 3.

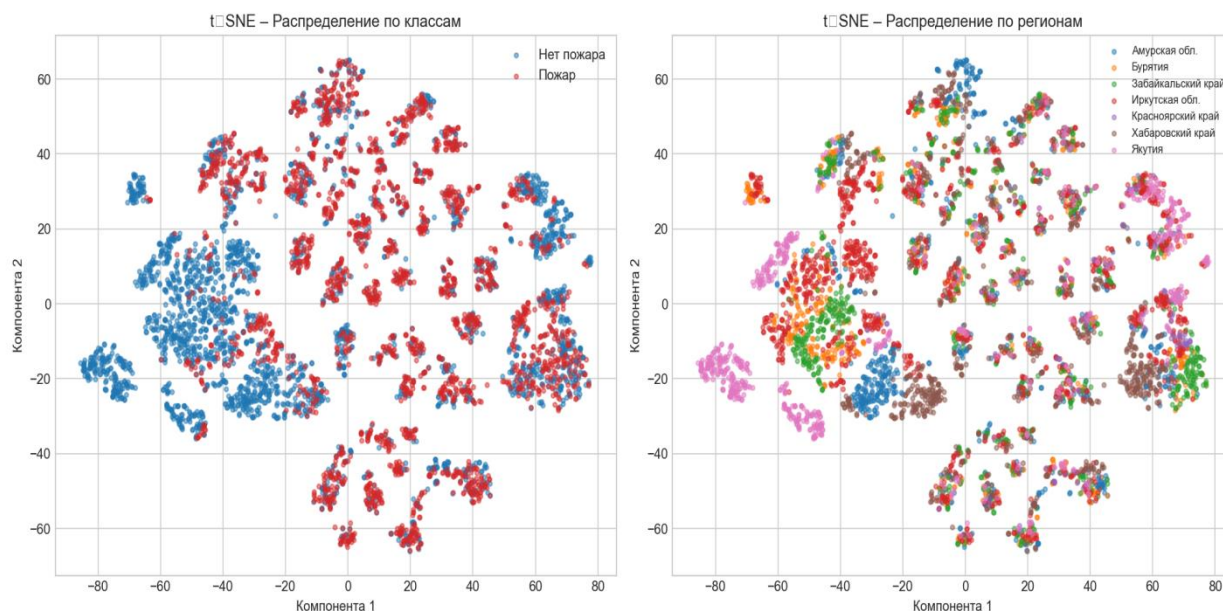


Рис. 2. Результаты визуализации данных методом t-SNE

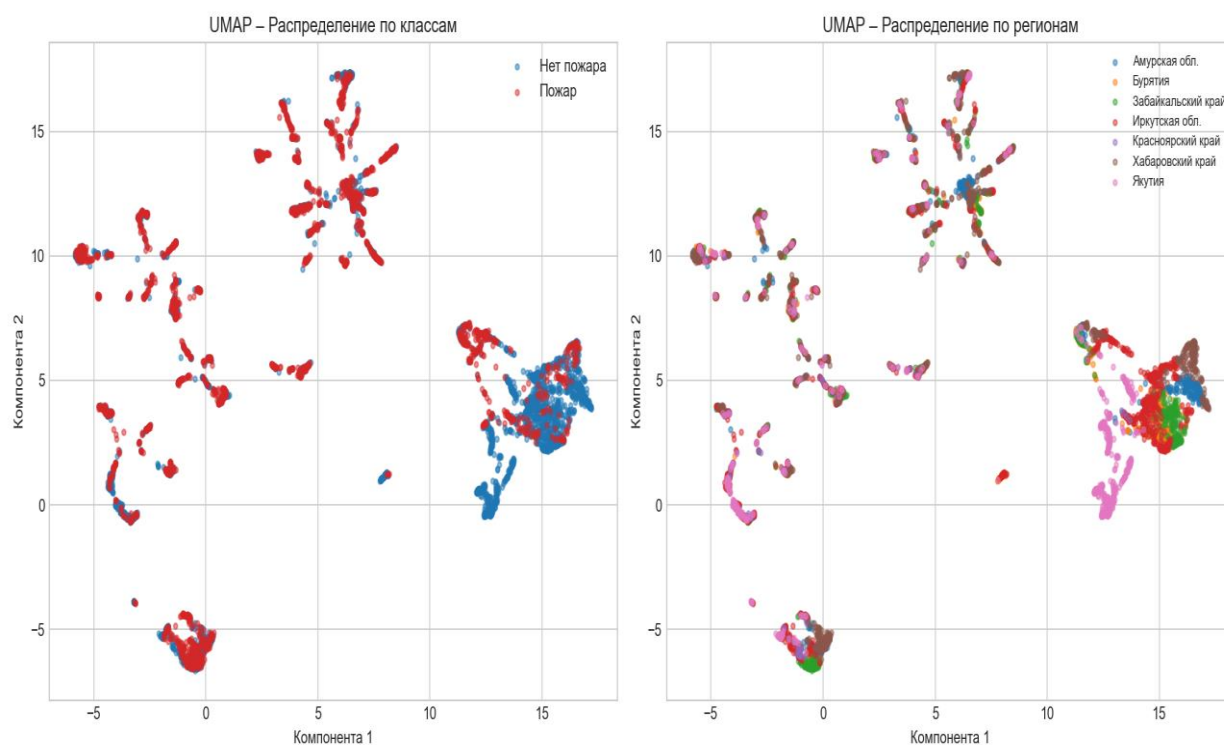


Рис. 3. Результаты визуализации данных методом UMAP

Как видно из рис. 2 и 3, явно выделяется сильное перемешивание синих (нет пожара) и красных (пожар) точек, о явной границе между классами говорить не приходится, а это означает лишь то, что никакая даже самая совершенная модель не сможет достичь идеальной точности, так как в данных присутствуют объекты разных классов при почти одинаковых признаках, исходя из этого, вывод напрашивается сам собой – задача объективно сложная и линейные модели здесь не покажут высокой эффективности.

Говоря о региональной структуре (правые графики рис. 2 и 3), можно сделать вывод, что регионы образуют отчетливые, хотя и немного перекрывающиеся, кластеры. Особенно выделяется Якутия, из-за особенностей климата и насаждений, точки формируют почти обособленный кластер. Также видны близко расположенные друг к другу кластеры разных регионов, что говорит о существовании общего климатического характера, а также похожий тип насаждений, вследствие чего и близкие причины возникновения природных пожаров.

Также было проведено сравнение методов, по его результатам UMAP оказался более предпочтительным, так как дает более компактную и легко читаемую картину, кластеры более аккуратные, отчетливее просматривается глобальная структура, t-SNE немного сложнее интерпретировать, так как он разбивает локальные группы, в целом это объясняется различиями в основе построения этих методов, но в целом можно сказать, что метод UMAP более удобный инструмент для разведочного анализа сложных данных.

Полученные в ходе исследования результаты имеют практическую значимость, так как становится очевидно, что классы линейно неразделимы и поэтому приоритетом при построении прогностических моделей должны быть полнота правильно предсказанных данных, способность моделей корректно ранжировать дни по степени риска и выдавать хорошо откалиброванные вероятности возникновения природных пожаров. Наличие региональных кластеров и их частичное пересечение говорит о том, что модели обязаны учитывать географические факторы. В таких условиях неприменимы методы типа регрессии, логистической регрессии и методы опорных векторов, здесь хорошо показывают себя ансамблевые методы и градиентный бустинг [14], а также рекуррентные нейронные сети, в частности LSTM, которые способны учитывать долгосрочные зависимости без явного конструирования лаговых признаков [15].

Заключение

Проведенный визуальный анализ гиперпространства признаков задачи прогнозирования природных пожаров показал, что классы имеют высокую степень перекрытия, при одинаковых условиях существуют оба класса, регионы формируют выраженные, но все же пересекающиеся группы, все это объясняет почему простые линейные модели неэффективны, и обосновывает применение более сложных архитектур типа градиентного бустинга и рекуррентных нейронных сетей [14, 15]. Проведенное сравнение методов снижения размерности и визуализации выявило незначительное преимущество UMAP для задач нашего типа с точки зрения наглядности и компактности представления данных. Полученные результаты на практике определяют выбор архитектур прогностических моделей.

Список источников

1. Матиев Р.Т., Матвеев А.В., Таранцев А.А. Модель поддержки принятия решений при реагировании на лесные пожары в горной местности с использованием нечеткой логики // Инженерный вестник Дона. 2025. № 12 (132). EDN LCTAWP.
2. Медведев Д.В., Матвеев А.В. Алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при угрозах лесных пожаров // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2025. № 2. С. 35-48. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-2-35-48. EDN OKGHLE.
3. Матвеев А.В., Матиев Р.Т. Принятие решений при пожарах в горной местности: Сравнительный анализ методов мониторинга // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 2(42). С. 76-90. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-76-90. EDN QPRUWC.
4. A review of machine learning applications in wildfire science and management / P. Jain [et al] // Environmental Reviews. 2020. V. 28. No 4. P. 478-505. DOI: 10.1139/er-2020-0019.
5. Wildfire Risk Prediction: A Survey of Recent Advances Using Deep Learning Techniques / Z Xu [et al.] // 2024. arXiv:2405.01607v4
6. 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.2025.22.36.011. EDN PKSBTR.
7. Медведев Д.В., Матвеев А.В., Смирнов А.С. Применение модели логистической регрессии при принятии решений по определению количества привлекаемых сил на ликвидацию лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33. № 4. С. 84-96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.04.84-96. EDN MJLVTY.
8. Медведев Д.В., Матвеев А.В., Дмитриева А.И. Применение нейро-нечеткой системы ANFIS при прогнозировании площади лесных пожаров // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2024. С. 43-48. EDN PFZVXO.
9. Медведев Д. В., Матвеев А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024682958 Российская Федерация. Нейро-нечеткая система ANFIS для прогнозирования показателей лесных пожаров: № 202468121: заявл. 13.09.2024: опубл. 01.10.2024 // С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России. EDN MMAXOR.
10. Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing data using t-SNE // Journal of machine learning research. 2008. V. 9. No. 11.
11. McInnes L., Healy J., Melville J. Umap: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction // arXiv preprint arXiv: 1802.03426. 2018. DOI: 10.48550/arXiv.1802.03426
12. Scikit-learn: T SNE. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/manifold.html#t-distributed-stochastic-neighbor-embedding-t-sne> (дата обращения: 06.02.2026).
13. Umap-learn documentation. URL: <https://umap-learn.readthedocs.io/> (дата обращения: 06.02.2026).

14. CatBoost: unbiased boosting with categorical features / L. Prokhorenkova [et al.] // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018. Vol. 31.
15. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short Term Memory // *Neural Computation*. 1997. Vol. 9. № 8. P. 1735–1780. DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

References

1. Matiev R.T., Matveev A.V., Tarancev A.A. Model` podderzhki prinyatiya reshenij pri reagirovanii na lesnye pozhary v gornoj mestnosti s ispol`zovaniem nechetkoj logiki // *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2025. № 12(132). EDN LCTAWP.
2. Medvedev D.V., Matveev A.V. Algoritmy intellektual`noj podderzhki prinyatiya upravlencheskix reshenij pri ugrozax lesny`x pozharov // *Nauchno-analiticheskij zhurnal Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` MChS Rossii*. 2025. № 2. S. 35-48. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-2-35-48. EDN OKGHLE.
3. Matveev A.V., Matiev R.T. Prinyatie reshenij pri pozharax v gornoj mestnosti: Sravnitel`nyj analiz metodov monitoringa // *Nacional`naya bezopasnost` i strategicheskoe planirovanie*. 2023. № 2(42). S. 76-90. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-76-90. EDN QPRUWC.
4. P. Jain [et al.] A review of machine learning applications in wildfire science and management // *Environmental Reviews*. 2020. V. 28. No 4. P. 478-505. DOI: 10.1139/er-2020-0019
5. Wildfire Risk Prediction: A Survey of Recent Advances Using Deep Learning Techniques / Z Xu [et al.] // 2024. arXiv:2405.01607v4.
6. Medvedev D.V., Matveev A.V. Informacionnaya model` podderzhki prinyatiya reshenij po reagirovaniyu na landshaftnye pozhary // *Sibirskij pozharo-spasatel`nyj vestnik*. 2025. № 1(36). S. 117-125. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.22.36.011. EDN PKSBTR.
7. Medvedev D.V., Matveev A.V., Smirnov A.S. Primenenie modeli logisticheskoy regressii pri prinyatii reshenij po opredeleniyu kolichestva privlekaemyx sil na likvidaciyu lesnyx pozharov // *Pozharovzryvbezopasnost`*. 2024. T. 33. № 4. S. 84-96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.04.84-96. EDN MJLVTY.
8. Medvedev D.V., Matveev A.V., Dmitrieva A.I. Primenenie nejro-nechetkoj sistemy ANFIS pri prognozirovanii ploshhadi lesny`x pozharov // *Pozharnaya bezopasnost`: sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: sb. materialy` Vseros.j nauch.-prakt. konf., Sankt-Peterburg, 18 aprelya 2024 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS Rossii, 2024. S. 43-48. EDN PFZVXO.*
9. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM № 2024682958 Rossijskaya Federaciya. Nejro-nechetkaya sistema ANFIS dlya prognozirovaniya pokazatelej lesny`x pozharov : № 2024681214 : zayavl. 13.09.2024 : opubl. 01.10.2024 / D.V. Medvedev, A.V. Matveev; zayavitel` Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS Rossii. EDN MMAXOR.
10. Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing data using t-SNE // *Journal of machine learning research*. 2008. V. 9. No. 11.
11. McInnes L., Healy J., Melville J. Umap: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction // *arXiv preprint arXiv: 1802.03426*. 2018. DOI 10.48550/arXiv.1802.03426
12. Scikit-learn: T SNE. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/manifold.html#t-distributed-stochastic-neighbor-embedding-t-sne/> (data obrashcheniya: 06.02.2026).
13. Umap-learn documentation. URL: <https://umap-learn.readthedocs.io/> (data obrashcheniya: 06.02.2026).
14. CatBoost: unbiased boosting with categorical features / L. Prokhorenkova [et al.] // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018. Vol. 31.
15. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short Term Memory // *Neural Computation*. 1997. Vol. 9. № 8. P. 1735–1780. DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.02.2026; одобрена после рецензирования: 26.05.2026;
принята к публикации: 29.05.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 24.02.2026; approved after review: 26.05.2026;
accepted for publication: 29.05.2026

Информация об авторах:

Гончаров Андрей Сергеевич, кафедра системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149),
e-mail: andreygoncharov04@mail.ru

Information about the authors:

Goncharov Andrey S. department of systems analysis and crisis management at the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149),
e-mail: andreygoncharov04@mail.ru

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Научная статья

УДК 614.849; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-36-46

ОБУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ МЕРАМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ОСНОВА ПРОФИЛАКТИКИ ПОЖАРОВ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

✉ Маер Олег Михайлович;

Каминская Марина Миахйловна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Беспалов Александр Владимирович.

Главное управление МЧС России по Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург, Россия

✉ oleg.maer.84@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ подходов к обучению населения мероприятиям, направленных на предотвращение возникновения пожаров в России и зарубежных странах. На основе сопоставления существующих практик и концепций раскрыты положительные факторы, которые возможно адаптировать в отечественной практике. Отдельное внимание уделяется подходам к определению категорий населения, подлежащих обучению мерам пожарной безопасности в Российской Федерации и за рубежом. Приведенные в статье данные представлены на основании анализа опубликованных отечественных трудов и иностранных источников. Выводы отражают перспективные направления для просветительской работы с населением как основного механизма профилактики возникновения пожаров.

Ключевые слова: профилактика пожаров, меры пожарной безопасности, обучение населения, просветительская работа

Для цитирования: Маер О.М., Каминская М.М., Беспалов А.В. Обучение населения мерам пожарной безопасности как основа профилактики пожаров: отечественный и зарубежный опыт // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 36-46. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-36-46

Scientific article

PUBLIC EDUCATION ON FIRE SAFETY MEASURES AS A BASIS FOR FIRE PREVENTION: DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE

✉ Oleg M. Mayer;

Marina M. Kaminskaya.

Saint Petersburg University of the State fire service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

Alexander V. Bespalov.

Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia for St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

✉ oleg.maer.84@mail.ru

Abstract. The article presents an analysis of approaches to educating the population on measures aimed at preventing fires in Russia and abroad.

Based on a comparison of existing practices and concepts, the positive factors that can be adapted in domestic practice are revealed. Special attention is paid to approaches to determining the categories of the population to be trained in fire safety measures in the Russian Federation and abroad. The data presented in the article is based on an analysis of published domestic works and foreign sources. The conclusions reflect promising areas for educational work with the population as the main mechanism for fire prevention.

Keywords: fire prevention, fire safety measures, public instruction, educational work

For citation: Mayer O.M., Kaminskaya M.M., Bepalov A.V. Public education on fire safety measures as a basis for fire prevention: domestic and foreign experience // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 36-46. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-36-46

Введение

На протяжении всей истории развития человеческой цивилизации пожары неизменно сопровождали общество, нанося ущерб жизни, имуществу, культурному наследию. Рост урбанизации, усложнение технологических процессов и увеличение плотности застройки закономерно приводил к учащению аварий и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся возгораниями. А потому вопрос разработки эффективных превентивных мер становился все более актуальным.

Девиз МЧС России не зря начинается со слова «Предотвращение» - приоритет профилактики над действиями по тушению очевиден со всех точек зрения: экологической, экономической и социальной. В этой связи целесообразно, в первую очередь, установить основные источники рисков возникновения пожаров и целенаправленно работать с их минимизацией: провести комплексный анализ причин возгораний от бытовой до промышленной сфер, и на основании выявленных рисков сформировать приоритетные направления профилактической работы.

Статистические данные упрямо свидетельствуют о том, что наиболее частым источником пожаров выступает «человеческий фактор». Так, из-за неосторожного обращения с огнем, нарушений эксплуатации оборудования, халатности либо умышленных поджогов ежегодно фиксируетсякратно больше возгораний, чем из-за причин, не связанных с человеческой деятельностью (природных явлений, технических неисправностей и т.д.). [3,4] С учетом изложенного, роль профилактической работы в сфере пожарной безопасности невозможно переоценить.

Стоит отметить, что профилактическая работа как направление является многовекторным, и к современным мерам профилактики пожаров по всему миру можно отнести:

- совершенствование и актуализация нормативной правовой базы;
- внедрение систем контроля и надзора за соблюдением мер пожарной безопасности;
- внедрение современных технических решений, и другие [5,6].

Стоит отметить, что обеспечение пожарной безопасности в России, некоторых странах СНГ и других государствах [7] сочетают в себе комплекс из практической составляющей (куда входит профилактическая работа) и институциональной: данная сфера регламентируется законодательно и подлежит контролю со стороны надзорных органов. Так в 2026 году в силу вступили изменения в ключевой закон Российской Федерации о пожарной безопасности [1]: они коснулись полномочий должностных лиц надзорных органов, обязанностей лиц, отвечающих за эксплуатацию зданий, а также внесли конкретику в определение охраняемых законом ценностей в этой области [1]. Однако, нельзя не отметить, что развитие нормативной базы опережает выстраивание системной профилактической работы, что потенциально может снижать общую эффективность мер по предупреждению пожаров.

В представленных выше направлениях профилактики прослеживается единая закономерность: без должного уровня осведомленности и навыков у всех категорий населения технические новшества и нормативные требования останутся инструментом с неполным потенциалом. Таким образом, просветительскую работу и обучение населению мерам пожарной безопасности следует рассматривать как базу для эффективной реализации любых регулирующих механизмов.

Аналитическая часть

В данной статье предпринята попытка осмыслить не столько содержательную часть программ обучения различных категорий населения мерам пожарной безопасности, сколько выявить подходы к построению просветительской деятельности в России и за рубежом. Анализ научных статей, статистических данных и медиа-контента, опубликованного по теме исследуемого вопроса, выявил ряд существенных различий, которые могут быть полезны при проектировании новых стратегий формирования безопасного поведения.

Человек как источник опасности

Как нами уже было отмечено во введении, человек - основной источник возникновения пожаров. Вместе с этим, даже интерпретации этого факта российские и зарубежные источники, анализирующие статистические данные, относятся по-разному.

Ежегодный анализ обстановки с пожарами на территории нашей страны, проводимый МЧС России, содержит довольно широкий спектр сведений, от распределения количества пожаров по регионам и причин их возникновения, до количественных и социальных характеристик пострадавших на пожарах [2,3]. Вместе с тем, данные носят характер изолированного «среза»: внешние факторы, контекстные условия, влияющие в целом на обстановку с пожарами, не учитываются, что ограничивает возможность более глубокого анализа причинно-следственных связей.

Так, например, очевидным внешним фактором, влияющим на рост пожаров в России в последние годы являются боевые действия, проводимые в рамках специальной военной операции: применение беспилотных летательных аппаратов для вывода из строя военной и промышленной инфраструктуры, использование боеприпасов с зажигательными веществами и смесями, ракетные удары по территории нашей страны - все эти действия со стороны противника практически всегда приводят к возникновению пожаров на объектах инфраструктуры, в жилом фонде, на открытых территориях и в лесных массивах [8]. Однако данный факт и закономерно с ним связанный прирост пожаров в ряде субъектов Российской Федерации не находит свое отражение в ежегодном анализе, как и влияние аномально высоких температур на участвовавшие возгорания сухой растительности и возникновение лесных пожаров.

Не смотря на это, анализ обстановки с пожарами за 2025 год показывает: 66,13% пожаров произошли по вине человека (62,21% - по причине неосторожного обращения с огнем; 3,92% - поджоги) [3]. Таким образом, отечественная ежегодная статистика пожаров демонстрирует прямую зависимость частоты возгораний от их причин. И в этом случае игнорирование внешних факторов позволяет сфокусироваться на выявлении основных источников опасностей и последующей корректировке профилактических мер на основании полученных данных. Отсюда можно сделать вывод: человек и его деятельность - основная причина возникновения пожаров в России.

Несколько иного подхода придерживаются зарубежные коллеги, анализируя обстановку с пожарами. В изученных нами материалах из США [9], Китая [4], Турции [10], Канаде [11] и других стран [12,13] отражается проблема критического роста в течение последнего десятилетия ландшафтных и лесных пожаров, и фигурирует следующая

закономерность: рост числа пожаров связывают с последствиями глобального потепления, в то время как природа глобального потепления исключительно антропогенная и происходит по вине человека. Соответственно, в международных исследованиях цепочка причинно-следственных связей выстроена иначе: акцент переносится с непосредственно «бытовых» причин возникновения пожаров на масштабные климатические изменения, и в этом ключе корреляция «человек - источник пожара» сохраняется, но становится опосредованной.

Приведенные различия в трактовке антропогенного фактора как основной причины пожаров не отменяют главного - и в России, и за рубежом фокус профилактики должен быть сосредоточен на человеке и обществе.

Целевые группы населения для обучения мерам пожарной безопасности

В России порядок обучения населения мерам пожарной безопасности закреплён законодательно [1] и в первую очередь направлен на:

- трудоустроенных граждан (в особенности - на руководителей всех уровней, должностных лиц, ответственных за сохранность имущества, специалистов, в обязанности которых входит проведение мероприятий, направленных на обеспечение безопасности организации);
- обучающихся образовательных организаций - в рамках образовательного процесса;
- лиц, проходящих обучение по программам среднего и высшего профессионального образования в сфере безопасности, а также программам дополнительного профессионального образования [1].

Если проанализировать представленные категории, выявляется классический для нашей страны принцип непрерывности в формировании компетенций. Обучение мерам пожарной безопасности выстраивает преемственную траекторию - от образовательных программ и специальных объединений для школьников, до требований к обучению и информированию работающих граждан, обеспечивая сопровождение на всем протяжении трудовой жизни.

Однако, такая система в условиях современности обнаруживает существенные «пробелы». Так, например, фактически упускается из виду категории неработающих и самозанятых граждан, чье обучение действиям по предотвращению и тушению пожаров завершается в рамках одной из ступеней образований, и с высокой долей вероятности в дальнейшей жизни не актуализируется. У этих групп населения отсутствуют так называемые «точки контакта» с системой повышения квалификации в сфере пожарной безопасности, а базовые знания со временем утрачиваются или не соответствуют обновляющимся реалиям (новым типам оборудования, особенностям застройки, современным средствам пожаротушения и т.д.).

Чтобы устранить неравномерность в уровне осведомленности о мерах пожарной безопасности у работающих и неработающих (а также самозанятых) граждан, в рамках отечественного законодательства реализуется комплекс мер - от широкого информирования посредством СМИ до организации массовых просветительских мероприятий [14,15,16]. Современная реальность, неразрывно связанная с развитием информационного пространства, неизбежно влияет на трансформацию подходов к пропаганде безопасного поведения среди граждан. В научных публикациях фиксируется положительный опыт использования цифровых ресурсов и привлечения инфлюенсеров для распространения соответствующих знаний среди широкой аудитории [14,16,17]. Однако подобные профилактические мероприятия по своему качеству не могут заменить полноценного обучения и систематического информирования, поскольку носят, как правило, эпизодический характер, и не способны сформировать устойчивые когнитивные модели безопасного поведения.

Еще одной отличительной чертой российского подхода к определению категорий населения, подлежащих обучению мерам пожарной безопасности, выступает его ориентация

преимущественно на участие граждан в трудовой или образовательной деятельности. При этом такие значимые факторы, как региональная специфика, а также риски, обусловленные особенностями инфраструктуры и профессиональной среды, практически не учитываются. А инструктажи в области пожарной безопасности как основной метод обучения работающего населения мерам пожарной безопасности демонстрируют достаточно низкую эффективность [18].

В ходе анализа зарубежных научных трудов, посвященных вопросам обучения населения в рамках профилактики пожаров, выявлена альтернативная модель категорирования целевых групп населения. При разделении населения на группы для обучения мерам пожарной безопасности определяющую роль играют два направления: либо особенности повседневной жизнедеятельности людей, либо характеристики их профессиональной сферы. Во втором случае особое внимание уделяется фактором риска, непосредственно связанным с выполняемыми трудовыми функциями. Данные факторы в том числе влияют на выбор форм и методов обучения.

Анализ иностранных источников показал, что ключевым детерминантом при выделении групп для обучения является наличие повышенного риска в сфере профессиональной деятельности. Это особенно актуально для сфер здравоохранения, социального обслуживания, а также для объектов с наличием пожароопасных и взрывоопасных веществ. Основной упор при этом делается на практическую отработку действий при пожаре (в том числе с использованием виртуальных технологий) [19]. Такая практика актуальна, в первую очередь, для стран Азии, таких как Китай [19,22], Республика Корея [21], вместе с тем, в научной литературе подобный подход описывают и европейские авторы - так коллектив итальянских авторов университета Салерно вводит пример инновационного подхода к обеспечению пожарной безопасности объектов культурного наследия, включающих в себя мероприятия по обучению персонала мерам пожарной безопасности [22].

Эффективность профилактических мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности, при этом учитывающих среду проживания целевой группы населения также описана в зарубежных научных статьях. Опыт организации просветительских мероприятий, включающий в себя демонстрацию противопожарного оборудования и практическую отработку по эвакуации для жителей многоквартирных жилых домов [20,24] опирается на учет сопутствующих рисков - плотности застройки, работу систем противопожарной защиты и возможность использования путей эвакуации из высотного здания. В то же время, подобная профилактическая работа для жителей сельской местности в Китайской провинции Дун [25] была построена с опорой на иные условия - особенности отопления и содержания подсобных помещений, наличия открытых источников пламени, удаленность пожарных подразделений, расположение в безводной местности и другие.

Таким образом, при сопоставлении российского и зарубежного опыта в определении групп, подлежащих обучению мерам пожарной безопасности, обнаруживаются как преимущества, так и ограничения каждого подхода. Отечественная модель, базирующаяся на принципах непрерывного образования, успешно охватывает разные возрастные категории, но далеко не в полной мере включает граждан, не вовлеченных в трудовую деятельность. Зарубежные стратегии, дифференцируя обучение по социальным и профессиональным условиям, могут добиваться формирования качественных, но ограниченных навыков, упуская при этом выработку базовой противопожарной грамотности, необходимой каждому человеку независимо от обстоятельств.

Перспективы развития обучения населения в рамках профилактики пожаров

Российские и зарубежные авторы сходятся в одном - профилактическая работа в сфере обеспечения пожарной безопасности невозможна без просветительской деятельности и обучения населения. Изучение материалов о возможных векторах дальнейшего развития

просветительской работы с населением дает возможность провести сравнительный анализ и зафиксировать характерные дефициты, присущие отдельным странам или группам государств.

Отечественные авторы отмечают необходимость усиления роли СМИ в профилактической работе с населением за счет использования всех доступных информационных каналов [26], в том числе - социальной рекламы [27].

В ходе анализа причин пожаров, обусловленных деятельностью человека, исследователи в США за последние десятилетия пришли к выводу о том, что наибольшую эффективность в работе с населением имеют следующие способы пропаганды и информирования:

- создание и распространение кампаний по отказу от курения и употребления алкоголя;
- рост осведомленности граждан о смертельных случаях, связанных с пожарами;
- обучение мерам пожарной безопасности (как безопасно работать с огнем, как пользоваться огнетушителями, как пользоваться аварийными выходами при пожаре);
- повсеместные практические тренировки по действиям при пожаре [6].

Основной вектор развития противопожарной пропаганды в Республике Корея - становление устойчивой культуры безопасности в повседневной жизни граждан. Эта цель достигается двумя путями: во-первых, через создание гибкой системы обучения пожарной безопасности, учитывающей специфику каждого жизненного этапа человека; во-вторых, через целенаправленное повышение уровня подготовки наиболее уязвимых категорий населения, включая инвалидов [28].

Таким образом, не смотря на многообразие направлений дальнейшего развития профилактической работы в сфере предупреждения пожаров в разных точках земного шара, ключевым требованием остается ее системность. При этом реализация соответствующих мероприятий должна быть ориентирована на актуальные тенденции и специфические проблемы конкретного общества.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ отечественных и зарубежных практик обучения населения мерам пожарной безопасности позволяет сделать ряд ключевых выводов.

Во-первых, существует фундаментальное различие базовых предпосылок профилактической работы: в России основной причиной пожаров выступают непосредственные действия человека, тогда как зарубежные исследования акцентируют внимание на опосредованном его влиянии (например связи человеческой деятельности с глобальными климатическими изменениями, способствующими росту числа пожаров).

Во-вторых, подходы к определению категорий населения, подлежащих обучению в области пожарной безопасности также различаются. Российская система охватывает весь цикл образования и профессиональной деятельности, но не в полной мере учитывает отдельные группы населения, а также специфики профессиональных рисков и условий проживания. В то время как зарубежная практика напротив, фокусируется на формировании устойчивых навыков пожарной безопасности у граждан в зависимости от специфических рисков, связанных с профессией, регионом или территорией проживания, однако могут оставлять без внимания базовые универсальные принципы пожарной безопасности.

В совокупности это подчеркивает необходимость постоянного обмена опытом и критического осмысления наиболее эффективных мировых практик. Вопросы обеспечения пожарной безопасности не утрачивают свою актуальность вне зависимости от географии, и для их решения требуются максимально точные и выверенные подходы, сформированные с учетом как локальных особенностей, так и глобальных вызовов.

Список источников

1. О пожарной безопасности (в ред. от 31 июля 2025 года): Федер. закон Рос. Федерации от 21 дек. 1994 г. № 69–ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Об утверждении Порядка учёта пожаров и их последствий: приказ МЧС России от 8 апреля 2025 года № 290. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2025 г. // Департамент надзорной деятельности и профилактической работы, МЧС России. Москва, 2026.
4. Increasing fire risks in cities worldwide under warming climate / L. Shi [et al.] // *Nat Cities* 2. 2025. P. 254–264. URL: <https://doi.org/10.1038/s44284-025-00204-2> (дата обращения: 15.02.2026).
5. The status and needs for implementation of Fire Safety Engineering approach in Europe / A. Athanasopoulou [et al.] // *EUR 31383 EN*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. DOI: 10.2760/031591
6. Preventive measures for fire-related injuries and their risk factors in residential buildings: a systematic review / M. Shokouhi [et al.] // *J Inj Violence Res*. P. 1–14. DOI: 10.5249/jivr.v11i1.1057
7. Inspection supervision in the field of fire protection according to the law on inspection supervision, common elements in risk assessment and checklist in the part of inspection supervision / G. Djordjevic [et al.] // *IETI Transactions on Ergonomics and Safety*. 2024. Vol. 8. Issue 2. P. 61–73. DOI: 10.6722/TES.202412_8(2).0007
8. Площадь пожаров в 2024 году на 10% больше, чем в среднем за последние 15 лет. Огромные территории горят в новых регионах // URL: <https://tochno.st/materials/ploshhad-pozarov-v-2024-godu-na-10-bolse-cem-v-srednem-za-poslednie-15-let-ogromnye-territorii-goriat-v-novykh-regionax?ysclid=mpla9smkcw720646096> (дата обращения: 15.02.2026).
9. Human-ignited fires result in more extreme fire behavior and ecosystem impacts / S. Hantson [et al.] // *Nat Commun*. 2022. V. 2717. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30030-2> (дата обращения: 15.02.2026).
10. Sari F. Identifying anthropogenic and natural causes of wildfires by maximum entropy method-based ignition susceptibility distribution models // *J. For. Res*. 2023. P. 355–371. URL: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01502-4> (дата обращения: 15.02.2026).
11. Drivers and Impacts of the Record-Breaking 2023 Wildfire Season in Canada / P. Jain [et al.] // *Nat. Commun*. 2024. V. 6764.
12. Advance report on Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2025 / F. Sedano [et al.] // Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2026. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/3859043> (дата обращения: 15.02.2026).
13. Wang X., Swystun T., Flannigan M. D. Future wildfire extent and frequency determined by the longest fire-conducive weather spell // *Sci. Total Environ*. 2022. V. 830. P. 154752.
14. Чебыкин В.В. Методы и инструменты профилактической работы должностных лиц надзорных органов МЧС России // «Вестник науки». 2024. №3 (72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-instrumenty-profilakticheskoy-raboty-dolzhnostnyh-lits-nadzornyh-organov-mchs-rossii> (дата обращения: 25.04.2026).
15. Юлтыев Ш.Р. Информационные ресурсы как элемент противопожарной пропаганды // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов IV Всерос. науч.-практ. конф. Железнодорожск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2023. С. 341–343.
16. Жукова С.О. Инфлюенсер как субъект, влияющий на формирование пожаробезопасного поведения детей для предотвращения детской шалости с огнем // *Человек. Социум. Общество*. 2025. № S1. С. 167–176.
17. Использование противопожарной пропаганды в социальных сетях / Р.В. Кошкарров [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023. №2 (47).

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-protivopozharnoy-propagandy-v-sotsialnyh-setyah> (дата обращения: 25.04.2026).

18. Ширококов С.В., Рябова В.И., Касаткина Е.А. Исследование эффективности инструктажей по пожарной безопасности // «Сибирский пожарно-спасательный вестник». 2025. №2 (37). С. 190–199. URL: <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.37.32.015> (дата обращения: 25.04.2026).

19. The effectiveness of an on-line training program for improving knowledge of fire prevention and evacuation of healthcare workers: A randomized controlled trial / P.H. Lee [et al.] // PLoS One. 2018. № 13. DOI: 10.1371/journal.pone.0199747

20. Kim, Sang-Sig, Kong, Ha-Sung The Effect of Safety Education Satisfaction of Apartment Residents and Application of Fire Protection Plan on Fire Safety Awareness // Fire Science and Engineering. 2020. № 34. P. 103–114. DOI: 10.7731/KIFSE.2020.34.1.103.

21. Zhang C, Hong W.H., Bae Y.H. Fire Safety Knowledge of Firefighting Equipment among Local and Foreign University Students // Int J Environ Res Public Health. 2022. № 27 (19):12239. DOI: 10.3390/ijerph191912239

22. Li W.C., Tseng J.M., Huang H.S. Effectiveness of Advanced Fire Prevention and Emergency Response Training at Nursing Homes // Int J Environ Res Public Health. 2022. № 13;19(20):13185. DOI: 10.3390/ijerph192013185

23. Proposal of an innovative model for fire prevention assessment in Cultural Heritage Protection / Cucco [et al.] // Research study in Italy. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2023. № 97. P. 104066. DOI: 10.1016/j.ijdr.2023.104066

24. Preventive measures for fire-related injuries and their risk factors in residential buildings: a systematic review / M. Shokouhi [et al.] // J Inj Violence Res. 2019. P. 1–14. DOI: 10.5249/jivr.v11i1.1057

25. Risk Perception and Knowledge in Fire Risk Reduction in a Dong Minority Rural Village in China: A Health-EDRM Education Intervention Study / E.Y.Y. Chan [et al.] // Int J Disaster Risk Sci 9. 2018. P. 306–318.

26. Зуев Д. Ю. Совершенствование деятельности органов федерального государственного пожарного надзора МЧС России // Актуальные исследования. 2025. №27 (262). С. 10–12. URL: <https://apni.ru/article/12608-sovershenstvovaniyedeyatel'nostiorganovfederalnogo-gosudarstvennogo-pozharnogo-nadzora-mchs-rossii> (дата обращения: 25.04.2026).

27. Шерин Д.А. Формы и способы государственного и муниципального управления в области пожарной безопасности и активизации населения // «Вестник науки». 2025. №12 (93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formy-i-sposoby-gosudarstvennogo-i-munitsipalnogo-upravleniya-v-oblasti-pozharnoy-bezopasnosti-i-aktivizatsii-naseleniya> (дата обращения: 25.04.2026).

28. Overview of Fire Prevention Technologies by Cause of Fire: Selection of Causes Based on Fire Statistics in the Republic of Korea / H.-G. Lee [et al.] // Processes. 2023. № 11. P. 244. URL: <https://doi.org/10.3390/pr11010244> (дата обращения: 25.04.2026).

References

1. О пожарной безопасности (в ред. от 31 июля 2025 года): Федер. закон Рос. Федерации от 21 дек. 1994 г. № 69–ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Об утверждении Порядка учыота пожаров и их последствий: приказ МЧС России от 8 апреля 2025 года № 290. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Росийской Федерации за 12 месяцев 2025 г. // Департамент надзорной деятельности и профилактической работы, МЧС России. Москва, 2026.

4. Increasing fire risks in cities worldwide under warming climate / L. Shi [et al.] // Nat Cities 2. 2025. P. 254–264. URL: <https://doi.org/10.1038/s44284-025-00204-2> (дата обращения: 15.02.2026).

5. The status and needs for implementation of Fire Safety Engineering approach in Europe

- / A. Athanasopoulou [et al.] // EUR 31383 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2023. DOI: 10.2760/031591
6. Preventive measures for fire-related injuries and their risk factors in residential buildings: a systematic review / M. Shokouhi [et al.] // *J Inj Violence Res.* P. 1–14.
DOI: 10.5249/jivr.v11i1.1057
7. Inspection supervision in the field of fire protection according to the law on inspection supervision, common elements in risk assessment and checklist in the part of inspection supervision / G. Djordjevic [et al.] // *IETI Transactions on Ergonomics and Safety.* 2024. Vol. 8. Issue 2. P. 61–73. DOI: 10.6722/TES.202412_8(2).0007
8. Ploshchad' pozharov v 2024 godu na 10% bol'she, chem v srednem za poslednie 15 let. Ogromnye territorii goryat v novykh regionakh // URL: <https://tochno.st/materials/ploshhad-pozharov-v-2024-godu-na-10-bolse-cem-v-srednem-za-poslednie-15-let-ogromnye-territorii-goriat-v-novykh-regionax?ysclid=mpla9smkcw720646096> (data obrashcheniya: 15.02.2026).
9. Human-ignited fires result in more extreme fire behavior and ecosystem impacts / S. Hantson [et al.] // *Nat Commun.* 2022. V. 2717. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30030-2> (data obrashcheniya: 15.02.2026).
10. Sari F. Identifying anthropogenic and natural causes of wildfires by maximum entropy method-based ignition susceptibility distribution models // *J. For. Res.* 2023. P. 355–371. URL: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01502-4> (data obrashcheniya: 15.02.2026).
11. Drivers and Impacts of the Record-Breaking 2023 Wildfire Season in Canada / P. Jain [et al.] // *Nat. Commun.* 2024. V. 6764.
12. Advance report on Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2025 / F. Sedano [et al.] // Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2026. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/3859043> (data obrashcheniya: 15.02.2026).
13. Wang X., Swystun T., Flannigan M. D. Future wildfire extent and frequency determined by the longest fire-conducive weather spell // *Sci. Total Environ.* 2022. V. 830. P. 154752.
14. Chebykin V.V. Metody i instrumenty profilakticheskoy raboty dolzhnostnykh lic nadzornyykh organov MChS Rossii // «Vestnik nauki». 2024. №3 (72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-instrumenty-profilakticheskoy-raboty-dolzhnostnykh-lits-nadzornyykh-organov-mchs-rossii> (data obrashcheniya: 25.04.2026).
15. Yul'tyev Sh.R. Informacionnye resursy kak element protivopozharnoy propagandy // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti i zashchity ot chrezvychajnykh situacij: sb. materialov IV Vseros. nauch.-prakt. konf. Zheleznogorsk: Sibirskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii. 2023. S. 341–343.
16. Zhukova S.O. Inflyuenser kak sub"ekt, vliyayushchij na formirovanie pozharobezopasnogo povedeniya detej dlya predotvrashcheniya detskoj shalosti s ognem // *Chelovek. Socium. Obshchestvo.* 2025. № S1. S. 167–176.
17. Ispol'zovanie protivopozharnoy propagandy v social'nykh setyah / R.V. Koshkarov [i dr.] // *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity.* 2023. №2 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-protivopozharnoy-propagandy-v-sotsialnykh-setyah> (data obrashcheniya: 25.04.2026).
18. Shirobokov S.V., Ryabova V.I., Kasatkina E.A. Issledovanie effektivnosti instruktazhej po pozharnoj bezopasnosti // «Sibirskij pozharo-spasatel'nyj vestnik». 2025. №2 (37). S. 190–199. URL: <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.37.32.015> (data obrashcheniya: 25.04.2026).
19. The effectiveness of an on-line training program for improving knowledge of fire prevention and evacuation of healthcare workers: A randomized controlled trial / P.H. Lee [et al.] // *PLoS One.* 2018. № 13. DOI: 10.1371/journal.pone.0199747
20. Kim, Sang-Sig, Kong, Ha-Sung The Effect of Safety Education Satisfaction of Apartment Residents and Application of Fire Protection Plan on Fire Safety Awareness // *Fire Science and Engineering.* 2020. № 34. P. 103–114. DOI: 10.7731/KIFSE.2020.34.1.103.

21. Zhang C, Hong W.H., Bae Y.H. Fire Safety Knowledge of Firefighting Equipment among Local and Foreign University Students // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. № 27 (19):12239. DOI: 10.3390/ijerph191912239
22. Li W.C., Tseng J.M., Huang H.S. Effectiveness of Advanced Fire Prevention and Emergency Response Training at Nursing Homes // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. № 19(20):13185. DOI: 10.3390/ijerph192013185
23. Proposal of an innovative model for fire prevention assessment in Cultural Heritage Protection / Cucco [et al.] // *Research study in Italy. International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023. № 97. P. 104066. DOI: 10.1016/j.ijdr.2023.104066
24. Preventive measures for fire-related injuries and their risk factors in residential buildings: a systematic review / M. Shokouhi [et al.] // *J Inj Violence Res*. 2019. P. 1–14. DOI: 10.5249/jivr.v11i1.1057
25. Risk Perception and Knowledge in Fire Risk Reduction in a Dong Minority Rural Village in China: A Health-EDRM Education Intervention Study / E.Y.Y. Chan [et al.] // *Int J Disaster Risk Sci* 9. 2018. P. 306–318.
26. Zuev D. Yu. Sovershenstvovanie deyatelnosti organov federal'nogo gosudarstvennogo pozharnogo nadzora MChS Rossii // *Aktual'nye issledovaniya*. 2025. №27 (262). S. 10-12. URL: <https://apni.ru/article/12608-sovershenstvovanie-deyatelnosti-organov-federal'nogo-gosudarstvennogo-pozharnogo-nadzora-mchs-rossii> (data obrashcheniya: 25.04.2026).
27. Sherin D.A. Formy i sposoby gosudarstvennogo i municipal'nogo upravleniya v oblasti pozharnoj bezopasnosti i aktivizatsii naseleniya // «*Vestnik nauki*». 2025. №12 (93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formy-i-sposoby-gosudarstvennogo-i-munitsipalnogo-upravleniya-v-oblasti-pozharnoy-bezopasnosti-i-aktivizatsii-naseleniya> (data obrashcheniya: 25.04.2026).
28. Overview of Fire Prevention Technologies by Cause of Fire: Selection of Causes Based on Fire Statistics in the Republic of Korea / H.-G. Lee [et al.] // *Processes*. 2023. № 11. P. 244. URL: <https://doi.org/10.3390/pr11010244> (data obrashcheniya: 25.04.2026).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 12.04.2026; одобрена после рецензирования: 17.06.2026; принята к публикации: 19.06.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 12.04.2026; approved after review: 17.06.2026; accepted for publication: 19.06.2026

Информация об авторах:

Маер Олег Михайлович, начальник кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), кандидат экономических наук, e-mail: oleg.maer.84@mail.ru, SPIN-код 6979-7289

Каминская Марина Михайловна, старший инженер отдела обеспечения научно-технической деятельности научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), e-mail: mdumchi@mail.ru, SPIN-код 1439-7371.

Беспалов Александр Владимирович, заместитель начальника отдела надзорной деятельности и профилактической работы Петродворцового района и г. Ломоносова управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу, подполковник внутренней службы, адъюнкт 2 курса Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), e-mail: bespalov.a.v@78.mchs.gov.ru

Information about the authors:

Mayer Oleg Mikhailovich, head of the department of supervisory activities at the St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Prospekt, 149), Candidate of Economic Sciences, e-mail: oleg.maer.84@mail.ru, SPIN-code 6979-7289

Kaminskaya Marina M., Senior Engineer at the Department of Scientific and Technical Support at the Scientific Research Institute for Advanced Research and Innovative Technologies in the Field of Life Safety at the Saint Petersburg University of the State fire service of EMERCOM of Russia (149 Moskovsky Ave., 196105 Saint Petersburg), e-mail: mdumchi@mail.ru, SPIN code 1439-7371.

Bespalov Alexander V., deputy Head of the Department of Supervisory Activities and Preventive Work of the Petrodvorets District and the City of Lomonosov, Directorate of Supervisory Activities and Preventive Work of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the City of St. Petersburg, Lieutenant Colonel of the Internal Service, 2nd-year postgraduate student of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: bespalov.a.v@78.mchs.gov.ru

Научная статья

УДК 316.472.4; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-47-57

ОЦЕНКА ИНДЕКСОВ ВОВЛЕЧЕННОСТИ АУДИТОРИИ ОФИЦИАЛЬНЫХ СТРАНИЦ ОРГАНОВ ВЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПАБЛИКОВ МЧС РОССИИ)

✉ Олухов Николай Владимирович.

Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России,
Екатеринбург, Россия

✉ nikeoluhov@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена эмпирическому анализу индексов вовлеченности и видимости аудитории официальных пабликов МЧС России в «ВКонтакте» («ГУ МЧС России по г. Москве», «МЧС Санкт-Петербург», «МЧС Севастополь»). Исследование охватывает период с 1 сентября 2024 по 1 сентября 2025 г., фокусируясь на метриках: численности подписчиков, объеме постов, просмотрах, лайках, репостах, комментариях. Московский паблик с наибольшей аудиторией показывает низкие показатели вовлеченности при высоком охвате, в то время как сообщества Санкт-Петербурга и Севастополя демонстрируют более высокие значения с заметной активностью в комментариях. В столичном мегаполисе преобладает «размытость интереса» из-за наличия «информационного шума», а также когнитивной перегрузки, снижающих конверсию охвата в реакции. Меньшие сообщества проявляют сфокусированную лояльность с наличием качественной интеракции в менее насыщенной медиасреде. Дихотомия крупных и малых государственных пабликов иллюстрирует парадокс платформ: гетерогенность аудитории ослабляет связи, малые группы аккумулируют социальный капитал через доверие и обратную связь, а высокая видимость в пабликах Санкт-Петербурга и Севастополя обусловлена превалированием целенаправленного интереса с меньшей конкуренцией. Представленные результаты акцентируют необходимость гибких контентных подходов для государственных учреждений – персонализации, акцента на лояльность, снижение «информационного шума». Теоретически, исследование, по мнению автора, обогащает теорию цифровой публичной сферы, практически – стратегию МЧС России в социальных медиа и аналогичных структур в гиперконнективной среде.

Ключевые слова: социальные сети, официальное сообщество, индексы вовлеченности, МЧС России, Москва, Санкт-Петербург, Севастополь

Для цитирования: Олухов Н.В. Оценка индексов вовлеченности аудитории официальных страниц органов власти (на примере пабликов МЧС России) // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 47-57. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-47-57

Scientific article

ASSESSMENT OF AUDIENCE ENGAGEMENT INDICES ON OFFICIAL GOVERNMENT PAGES (USING THE EXAMPLE OF PUBLIC PUBLICATIONS OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA)

✉ Nikolay V. Olukhov.

Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia

✉ nikeoluhov@mail.ru

Abstract. This article is devoted to an empirical analysis of the audience engagement and visibility indices of the official VKontakte public pages of the Ministry of Emergency Situations of Russia (the Moscow Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations, the St. Petersburg Ministry of Emergency Situations, and the Sevastopol Ministry of Emergency Situations). The study covers the period from September 1, 2024, to September 1, 2025, focusing on the following metrics: subscriber count, post volume, views, likes, reposts, and comments. The Moscow public page with the largest audience shows low engagement rates with high reach, while the St. Petersburg and Sevastopol communities demonstrate higher values with noticeable comment activity. In the capital's metropolis, «interest blurring» prevails due to the presence of «information noise» and cognitive overload, which reduce the conversion of reach into reactions. Smaller communities demonstrate focused loyalty with high-quality interactions in a less saturated media environment. The dichotomy of large and small government public pages illustrates the paradox of platforms: audience heterogeneity weakens connections, small groups accumulate social capital through trust and feedback, and high visibility in public pages in St. Petersburg and Sevastopol is due to the prevalence of targeted interest with less competition. The presented results emphasize the need for flexible content approaches for government agencies – personalization, an emphasis on loyalty, and a reduction in «information noise». Theoretically, the study, according to the author, enriches the theory of the digital public sphere and, practically, the strategy of the Russian Ministry of Emergency Situations in social media and similar structures in a hyperconnected environment.

Keywords: social networks, official community, engagement indices, Russian Ministry of Emergency Situations, Moscow, St. Petersburg, Sevastopol

For citation: Olukhov N.V. Assessment of audience engagement indices of official government pages (using the public pages of the Ministry of Emergency Situations of Russia as an example) // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 47-57. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-47-57

Введение

Исследование официальных сообществ главных управлений МЧС России в федеральных городах Российской Федерации, таких как Москва, Санкт-Петербург и Севастополь, имеет ключевое значение в контексте современных цифровых трансформаций коммуникации органов власти.

Федеральные города, в контексте настоящего исследования, выступают уникальными социально-экономическими, административными, культурными центрами в стране, которые характеризуются высокой плотностью населения, а также существенной интенсивностью информационных потоков. Подобные особенности обуславливают применение специализированного подхода к анализу цифровизации в системе управления.

В структуре информационного общества онлайн-платформы, в частности социальные медиа (такие как «ВКонтакте» или «Одноклассники»), выступают важным каналом для коммуникации государственных организаций с различными социальными группами. В этой

плоскости паблики МЧС России в социальных сетях являются не только каналами для опубликования оперативной информации, но и инструментами формирования социальной ответственности, повышения гражданской активности и укрепления доверия (развития «социального диалога») между государством и социумом в целом.

Данное исследование основывается на теории медиаэффектов [1–3], в контексте которой, автор рассматривает социальные сети как инструмент развития информационного общества в условиях цифровой трансформации. В работе анализируются показатели вовлеченности пользователей, которые выступают объективным индикатором степени участия аудитории, а также динамики взаимодействия пользователей с публикуемым контентом МЧС России на онлайн-платформах.

Российские учёные, исследуя обозначенную проблематику, уделяют достаточно много внимания обозначенным выше аспектам. За последнее десятилетие появилось множество научных публикаций, анализирующих не только эволюцию социальных медиа в социуме, но и использование сетевых платформ государственными институтами власти. В этих исследованиях авторы акцентируют свое внимание на эффективности онлайн-платформ в публичном управлении, а также на особенностях формирования и дальнейшей реализации информационной политики в цифровой среде. Указанные аспекты отражены в следующих работах: Агаркова К.Ю. [4], Баранова А.В. [5], Боженова Е.А. и Мокан А.Д. [6], Будникова Н.С. [7], Куприянова Д.М. [8], Лисничая М.А. [9], Скокова А.Н. [10], Шитова Е.А. [11] и др.

В исследовании вопросов развития цифровой коммуникации между органами власти и населением через социальные сети, в частности, в контексте деятельности МЧС России, особое внимание уделяется анализу динамики вовлеченности пользователей в работу ведомственных пабликов. «Вовлеченность» рассматривается как ключевой индикатор эффективности взаимодействия ведомственных платформ с аудиторией, отражающий уровень заинтересованности и активности граждан. Анализ изменений пользовательского поведения - количества лайков, комментариев, репостов, а также темпов роста подписчиков - позволяет выявлять тенденции восприятия и реакций на информационные кампании. Данный аспект получил широкое отражение в научных исследованиях ряда авторов, среди которых можно отметить работы: Кириллиной Н.В. [12], Олухова Н.В. [13, 14]; Палачевой Ю.А. [15]; Рубцовой Н.В. [16], Шадриной Л.Ю. [17] и др.

В качестве объекта эмпирического исследования вовлеченности пользователей были отобраны официальные сообщества МЧС России, действующие в социальной сети «ВКонтакте» и представляющие федеральные города Российской Федерации:

- Москва – <https://vk.com/mosmchs>;
- Санкт-Петербург – https://vk.com/mchs_st.peterburg;
- Севастополь – <https://vk.com/club56087562>.

В рамках эмпирического исследования были собраны и в дальнейшем проанализированы метрики публикаций в трех (указанных выше) пабликах за период с 01 сентября 2024 года по 01 сентября 2025 года. Выборка охватывала такие количественные показатели, как аудиторная база подписчиков, агрегированный объем публикаций в новостной ленте, пользовательские суммарные реакции – «лайки» (отметка «нравится»)¹, «репосты»², комментарии и просмотры.

Исследовательская цель выражалась в количественно-качественном сравнительном анализе пользовательской активности пабликов МЧС России в федеральных городах РФ через методологии цифрового маркетинга и социометрической аналитики сетей.

1 Общепринятый в сетевой среде знак поддержки публикации, изображения, статьи, видео или иного цифрового объекта, обычно реализуемый через иконку в виде сердца, поднятого пальца или знака «плюс»

2 Социально-сетевое действие, представляющее собой пересылку или повторную публикацию чужого контента среди собственной аудитории посредством сообщений, лент или историй

Методы исследования

В рамках исследования применялся метод контент-анализа, направленный на изучение, классификацию и оценку характеристик публикаций в новостных лентах представленных сообществ. Для оценки эффективности контентной политики использовались метрики вовлеченности, полученные с помощью парсингового инструмента Popsters (Popsters. Метрики) [18]. В частности, были проанализированы следующие показатели:

1) Engagement Rate (ER) – коэффициент вовлеченности, отражающий уровень интерактивности аудитории с опубликованным контентом. Рассчитывались показатели ERpost (среднее арифметическое всех публикаций за период) и ERday (вовлеченность пользователей суммарно у всех опубликованных записей за период), представляющие собой процентное отношение пользователей, проявивших активность (лайки, комментарии, репосты), к общему числу подписчиков/охвату.

Формулы расчета коэффициента вовлеченности Engagement Rate:

$$ER_{post} = (\Sigma \text{ всех реакций за период} - \text{лайки, репосты и комментарии}) / (N \text{ количество постов} \times N \text{ количество подписчиков}) \times 100\%$$

$$ER_{day} = (\Sigma \text{ всех реакций за период} - \text{лайки, репосты и комментарии}) / (N \text{ количество дней} \times N \text{ количество подписчиков}) \times 100\%$$

2) Visibility Rate (VR) – коэффициент видимости, характеризующий охват аудитории. Рассчитывались показатели VRpost (видимость публикаций за период) и VRday (среднедневная видимость за период), определяющие долю пользователей, видевших публикации, от общего числа подписчиков.

Формулы расчета коэффициента видимости Visibility Rate:

$$VR_{post} = (\Sigma \text{ просмотров} / N \text{ подписчиков} / N \text{ постов}) \times 100\%$$

$$VR_{day} = (\Sigma \text{ просмотров} / N \text{ подписчиков} / N \text{ дней}) \times 100\%$$

Теоретическая значимость настоящего исследования состоит в развитии методологических подходов к оценке индексов вовлеченности аудитории пабликов МЧС России на местах, на базе цифровых платформ, способствующих углубленному пониманию механизмов цифровой интеракции в условиях информационного общества.

Применение инструментов цифрового маркетинга и аналитики социальных сетей способствует интеграции количественных и качественных методов исследования, позволяет формализовать показатели эффективности коммуникационной политики государственных органов власти.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение количественных показателей подписчиков официальных страниц главных управлений МЧС России в социальной сети «ВКонтакте» федеральных городов РФ выявляет существенные вариации в уровне взаимодействия ведомства с целевой аудиторией (см. табл. 1).

В табл. 1 представлены количественные показатели, позволяющие комплексно проанализировать ключевые факторы, влияющие на уровень активности пользователей в официальных сообществах МЧС России.

Для повышения точности оценки вовлеченности аудитории применялись специализированные методики Social Media Marketing, формализованные в виде расчетных формул, приведенных в теоретической части статьи. Результаты расчетов индексных

показателей вовлеченности, представленные в табл. 2, служат основанием для дальнейшего анализа динамики пользовательской активности и разработки рекомендаций по оптимизации контентной политики в целях повышения уровня взаимодействия и повышения эффективности коммуникационной деятельности ведомства в онлайн-среде.

Таблица 1

**Статистические данные официальных сообществ главных управлений МЧС России
федеральных городов РФ за 2024-2025 годы**

Показатели для сравнения (период анализа: 366 дней)	Главные управления МЧС России в федеральных городах РФ		
	Москва	Санкт-Петербург	Севастополь
Количество подписчиков	42990	15236	5265
Постов за анализируемый период	1566	1201	938
Лайки	62996	98014	20733
Репосты	6355	6493	1614
Комментарии	962	3	451
Просмотры	4132178	2879764	733798

Таблица 2

**Индексы вовлеченности пользователей сообществ главных управлений МЧС России
федеральных городов РФ за 2024-2025 годы**

Индексы вовлеченности (период анализа: 366 дней)	Главные управления МЧС России в федеральных городах РФ		
	Москва	Санкт-Петербург	Севастополь
ERpost	0,1 %	0,57 %	0,46 %
ERday	0,45 %	1,88 %	1,18 %
VRpost	6,14 %	15,74 %	14,86 %
VRday	26,27 %	51,68 %	38,13 %

Анализ представленных индексов вовлеченности аудитории (ER) выявляет ряд значимых различий, которые можно интерпретировать с позиции локальных медиаэкосистем.

Сообщество «ГУ МЧС России по г. Москве», обладая самой высокой численностью подписчиков (42990), среди анализируемых групп демонстрирует низкий уровень вовлеченности, как на пост (ERpost = 0,1 %), так и на день (ERday = 0,45 %).

По мнению автора, такой феномен может быть обусловлен эффектом «размытости интереса», характерным для мегаполисов с многочисленными медиа-сообществами. Объясняется данное обстоятельство следующим образом: поскольку в цифровом пространстве, в котором представлена Москва, существует большое разнообразие информационных каналов, вероятность высокой концентрации внимания подписчиков заметно снижается. Причиной такой ситуации может быть, например, наличие т.н. эффекта «информационного шума», когда сообщения конкурируют друг с другом за вовлеченность пользователей не только в новостной ленте конкретной группы, но и между сообществами. В целом, можно констатировать, что значительное количество постов (1566) и общее большое количество просмотров (4132178) указывают на повышенную активность контентной стратегии, но низкие показатели по «живым» реакциям – «лайкам» (62996) и «репостам» (6355) – свидетельствуют о низкой конверсии охвата в активное включение аудитории.

В отличие от паблика г. Москвы, сообщество «МЧС Санкт-Петербург» показывает более высокий индекс вовлеченности: ERpost составляет 0,57 %, ERday – 1,88 %, (и это) несмотря на значительно меньшую аудиторию (15236 подписчиков).

Такое соотношение может свидетельствовать о более сфокусированной и лояльной группе участников паблика, которая проявляет более высокую степень участия в просмотре контента. При этом обращает на себя внимание факт наличия критически минимального количества комментариев (всего 3 за период). Данное обстоятельство указывает на пользовательскую пассивность по отношению к публикуемому контенту. Последний аспект, возможно, объясняется спецификой социальной коммуникации в сообществе: свою активность подписчики предпочитают выражать через «лайки» или «репосты», нежели чем через участие в дискуссии. Такой тип активности является типичным для сообществ с доминированием информационно-инструктивного формата. Однако общее количество просмотров (2879764) и активность по «лайкам» (98014), тем не менее, свидетельствуют о качественной вовлеченности, при меньшем размере сообщества.

Паблик «МЧС Севастополь» отличается промежуточными показателями ERpost (0,46 %) и ERday (1,18 %), а также сравнительно небольшой аудиторией (5 265 подписчиков). При этом оно демонстрирует достаточно активный пользовательский вклад через показатель «комментарии» (451 комментарий), отчетливо выделяя его на фоне других анализируемых пабликов. Указанный факт характеризует группу как более тесное паблик-сообщество с высоким уровнем обратной связи, поддерживаемый менее размытым кругом интересов, а также верхним порогом вовлеченности. Здесь также наблюдается достаточно высокая активность по «лайкам» (20733) и «репостам» (1614), но при наличии меньшего охвата просмотров (733798). Данные по сообществу, в определенном смысле, иллюстрируют наличие фрагментарности участия отдельных подписчиков.

Результаты анализа индексов вовлеченности (ERpost и ERday) показывают, что в малых медиа-сообществах аудитория спланируется в крепкую группу благодаря активному общению. А вот в крупных пабликах, наоборот, страдают от разрозненной вовлеченности.

Обнаруженная дихотомия показывает парадокс больших цифровых платформ: чем больше людей в группе, тем разнообразнее их взгляды и интересы, а связи между ними – неустойчивее. Малые же сообщества держатся более концентрированно, накапливая тем самым прочный «социальный капитал», когда на первый план выходит не количество подписчиков, а их качественная составляющая со свойствами для этого характеристиками – поддержкой и доверием.

В дополнение к индексам вовлеченности в исследовании были также проанализированы показатели видимости - VRpost и VRday.

Индекс Visibility Rate, анализируемый нами, как коэффициент видимости контента, представляет собой количественную характеристику охвата и эффективного восприятия публикуемой информации. Научная интерпретация коэффициента видимости подчеркивает потенциал контента привлекать внимание целевой аудитории, становясь ключевым индикатором эффективности цифровой коммуникации, еще одним значимым цифровым инструментом анализа взаимодействия государственных органов власти, представленных в цифровом пространстве, с населением. Высокие значения VR сигнализируют о достижении значительной доли подписчиков размещенным контентом, усиливая информированность через вовлеченность [19].

В рассматриваемом случае, показатели вовлеченности VR демонстрируют значительные вариации, при этом данные для сообществ «МЧС Санкт-Петербург» и «МЧС Севастополь» существенно превышают соответствующие значения паблика «ГУ МЧС России по г. Москве».

В частности, VRpost для сообщества Санкт-Петербурга достигает 15,74 %, Севастополя - 14,86 %, что значительно выше московского показателя, который находится на уровне 6,14 %. Аналогичная тенденция прослеживается для VRday: 51,68 %, 38,13 % и 26,27%, соответственно (см. табл. 2).

По мнению автора, такая диспропорция во многом может быть обусловлена не только структурно-демографическими характеристиками аудитории аккаунтов, но и дифференциацией информационной среды в рассматриваемых городах.

Москва, будучи крупнейшим мегаполисом в России, имеет сообщество «ВКонтакте» с численностью подписчиков свыше 43 тыс. человек. Данное обстоятельство влияет на уровень гетерогенности пользовательского потребления в онлайн-среде, что, в конечном счете, влияет и на снижение концентрации внимания к контенту на фоне множества информационных альтернатив. В итоге, возникает эффект когнитивной перегрузки [20], которую как раз можно объяснить низким уровнем вовлеченности аудитории паблика при большом числе публикаций и просмотров. Эффективность коммуникации при этом также страдает.

В свою очередь, сравнительный анализ пабликов Санкт-Петербурга и Севастополя показывает различия в масштабах и численности населения – индексы VRpost и VRday этих аккаунтов находятся близко друг к другу значительно превышая московские. Вероятно, такая ситуация обусловлена более целенаправленным интересом аудитории в этих федеральных городах к официальным ресурсам МЧС России, способствуя улучшению уровня взаимодействия с публикуемым контентом. Кроме того, меньшая насыщенность информационного пространства в этих городах содействует более высокой видимости, и соответственно, удержанию внимания пользователей.

Заключение

На основе полученных данных можно сделать ряд выводов.

Во-первых, масштаб аудитории оказывает прямое влияние на уровень вовлеченности: в мегаполисах с высокой информационной насыщенностью, таких как Москва, наблюдается эффект когнитивной размытости, снижающий средний уровень взаимодействия на пользователя.

Во-вторых, города с меньшим количеством подписчиков и более узкой целевой аудиторией, например, Севастополь, характеризуются более высокой эффективностью коммуникации и, вероятно, более релевантным контентом (публикуемой информацией в новостном блоке паблика, которая находит «живой» отклик у подписчиков).

В-третьих, различия в доминирующих формах вовлеченности свидетельствуют о вариативности коммуникационных моделей: преобладание пассивного взаимодействия в

Санкт-Петербурге и сбалансированность форм интеракции в Севастополе требуют дифференцированного подхода к разработке контентной стратегии.

В целом, полученные и проанализированные результаты позволяют выдвинуть ряд рабочих рекомендаций по исследованным сообществам.

1) Для повышения эффективности размещенных публикаций в крупных публичных сообществах стоит усилить персонализацию, вводя локальные примеры, опросы или оперативные ответы на комментарии. Такой подход, аналогичный динамике малых сообществ, по мнению автора, снижает когнитивную нагрузку аудитории, а также способствует накоплению т.н. «социального капитала».

2) Необходимо, на систематической основе, диверсифицировать форматы публикаций, отходя от преимущественно информационно-инструктивного стиля к интерактивным элементам вроде коротких видео, «сторис» и «челленджей». Подобная стратегия простимулирует комментарии с репостами, а это особенно актуально в условиях высокой конкуренции за внимание в мегаполисах с интенсивным трафиком.

3) Следует оптимизировать частоту постов, сокращая её в крупных городах до оптимального ритма с акцентом на пиковые часы активности. Такой прием будет способствовать повышению вовлечённости при просмотрах новостной ленты, приближая показатели к более сбалансированным региональным моделям.

4) Анализ локальных медиаэкосистем подразумевает адаптацию: в столичных зонах необходимо использовать инструментарий таргетированной рекламы, а в малых городах сохранять инструктивный контент с лёгкими элементами вовлечения.

5) Внедрение регулярного мониторинга метрик, таких как коэффициент вовлечённости (ER) и просмотров (VR), с кластерным анализом по регионам позволит корректировать стратегии на основе данных о реакциях аудитории, обеспечивая устойчивый рост взаимодействия.

Таким образом, исходя из этого, гипотетически, можно предположить, что дальнейшие исследовательские усилия должны быть направлены:

- на выявление социально-психологических факторов, которые формируют пассивно-активное взаимодействие пользователей-подписчиков платформ,
- на изучение эффектов структурной и содержательной модерации контента для повышения комплексной эффективности цифровых коммуникаций государственных органов.

Список источников

1. McQuail D. McQuail's mass communication theory. 2011. 621 p.
2. Schramm W. The Beginnings of Communication Study in America // Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1997. 206 p.
3. James Potter W. Media effects. 2012. 377 p.
4. Агарков К.Ю. Социальные сети как канал политической коммуникации парламентских партий России // Власть и управление на Востоке России. 2025. №1 (110). С. 136–144. DOI:10.22394/1818-4049-2025-110-1-136-144
5. Баранов А.В. Социальные сети как инструмент формирования доверия к власти в клиентоцентричной модели государства // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2024. №3. С. 226–235. URL: <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2024-1-3-226-235> (дата обращения: 20.02.2026).
6. Боженова Е.А., Мокан А.Д. Диалог исполнительной власти и общества в социальной сети «ВКонтакте» // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2023. Т. 16. № 10. С. 3464–3470.
7. Будникова Н.С. Информационная открытость государства в России: органы исполнительной власти в социальных сетях // Социодинамика. 2023. № 6. С. 22–35. DOI: 10.25136/2409-7144.2023.6.40709

8. Куприянова Д.М. Популяризация и модернизация социальных сетей в сфере деятельности органов власти // Вестник науки. 2024. № 12 (81). Т. 2. С. 983–990.
9. Лисничая М.А. Феномен социальных сетей как инструмент диалога органов власти и общественности // Гуманитарные, социально-экономические общественные науки. 2024. № 12, С. 74–78. URL: <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2024-12-12> (дата обращения: 20.02.2026).
10. Скокова А.Н. Вовлеченность населения в процессы цифровой коммуникации с региональными органами власти: оценка жителей Курской области // Юридическая наука. 2023. №4. С. 97–102.
11. Шитова Е.А. Стратегии и тактики коммуникации органов МСУ с жителями муниципалитета посредством электронных ресурсов // Медиасреда. 2019. С. 118–123.
12. Кириллина Н.В. Феномен вовлеченности как отражение социального потенциала коммуникации // Коммуникология. 2020. Т. 8. № 1. С. 27–33. DOI: 10.21453/2311-3065-2020-8-1-27-33.
13. Олухов Н.В. Анализ вовлеченности пользователей официальных страниц глав муниципальных образований в социальной сети «ВКонтакте» // Управленческое консультирование. 2025. № 3 (189). С. 25–39.
14. Олухов Н.В. Анализ контента официальных страниц главных управлений МЧС России в Уральском Федеральном округе в социальной сети «ВКонтакте» // Культура и безопасность. 2025. № 2. С. 62–72.
15. Палачева Ю.А. Использование метрик для анализа социальных сетей: проблемные вопросы, количественные методы оценки, выбор показателей эффективности // PolitBook. 2021. № 4. С. 140–156.
16. Рубцова Н.В. Исследование медиаактивности университетов с использованием аналитических платформ // Вопросы теории и практики журналистики. 2023. Т. 12. № 1. С. 104–120. DOI: 10.17150/2308-6203.2023.12(1).104-120.
17. Шадрин Л.Ю. Бренд преподавателя ВУЗа в социальных сетях: концептуальные характеристики // Вестник экономики, права и социологии. 2022. № 3. С. 143–146.
18. Popsters. Метрики: VR (VisibilityRate). URL: <https://popsters.ru/faq/ispolzuyemye-metriki/> (дата обращения: 10.02.2026).
19. 15 ключевых метрик в SMM, которые необходимо измерять в 2025 году. URL: <https://vc.ru/id1360869/1056273-15-klyuchevyh-metrik-v-smm-kotorye-neobhodimo-izmeryat-v-2025-godu> (дата обращения: 15.02.2026).
20. Оценка влияния информационного шума на принятие решений / А.А. Вертинова [и др.] // Лидерство и менеджмент. 2022. Т. 9. № 3. С. 877–890. DOI:10.18334/lim.9.3.116218

References

1. McQuail D. McQuail's mass communication theory. 2011. 621 p.
2. Schramm W. The Beginnings of Communication Study in America. // Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1997. 206 p.
3. James Potter W. Media effects. 2012. 377 p.
4. Agarkov K.Yu. Social'nye seti kak kanal politicheskoy kommunikacii parlamentskih partij Rossii // Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii. 2025. №1 (110). С. 136–144. DOI:10.22394/1818-4049-2025-110-1-136-144
5. Baranov A.V. Social'nye seti kak instrument formirovaniya doveriya k vlasti v klientocentrichnoj modeli gosudarstva // Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie. Uchenye zapiski. 2024. №3, С. 226–235. URL: <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2024-1-3-226-235> (data obrashcheniya: 20.02.2026).
6. Bozhenova E.A., Mogan A.D. Dialog ispolnitel'noj vlasti i obshchestva v social'noj seti «VKontakte» // Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki. 2023. Т. 16. № 10. С. 3464–3470.
7. Budnikova N.S. Informacionnaya otkrytost' gosudarstva v Rossii: organy ispolnitel'noj vlasti v social'nyh setyah // Sociodinamika. 2023. № 6. С. 22–35. DOI: 10.25136/2409-7144.2023.6.40709

8. Kupriyanova D.M. Populyarizatsiya i modernizatsiya social'nyh setej v sfere deyatel'nosti organov vlasti // Vestnik nauki. 2024. № 12 (81). T. 2. S. 983–990.
9. Lisnichaya M.A. Fenomen social'nyh setej kak instrument dialoga organov vlasti i obshchestvennosti // Gumanitarnye, social'no-ekonomicheskie obshchestvennye nauki. 2024. № 12. S. 74–78. URL: <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2024-12-12> (data obrashcheniya: 20.02.2026).
10. Skokova A.N. Vovlechnost' naseleniya v processy cifrovoj kommunikacii c regional'nymi organami vlasti: ocenka zhitelej Kurskoj oblasti // Yuridicheskaya nauka. 2023. №4. S. 97–102.
11. Shitova E.A. Strategii i taktiki kommunikacii organov MSU s zhiteleyami municipaliteta posredstvom elektronnyh resursov // Mediasreda. 2019. S. 118–123.
12. Kirillina N.V. Fenomen vovlechnosti kak otrazhenie social'nogo potentsiala kommunikacii // Kommunikologiya. 2020. T. 8. № 1. S. 27–33. DOI: 10.21453/2311-3065-2020-8-1-27-33.
13. Oluhov N.V. Analiz vovlechnosti pol'zovatelej oficial'nyh stranic glav municipal'nyh obrazovaniy v social'noj seti «VKontakte» // Upravlencheskoe konsul'tirovanie. 2025. № 3 (189). S. 25–39.
14. Oluhov N.V. Analiz kontenta oficial'nyh stranic glavnyh upravlenij MChS Rossii v Ural'skom Federal'nom okruge v social'noj seti «VKontakte» // Kul'tura i bezopasnost'. 2025. № 2. S. 62–72.
15. Palacheva Yu.A. Ispol'zovanie metrik dlya analiza social'nyh setej: problemnye voprosy, kolichestvennye metody ocenki, vybor pokazatelej effektivnosti // PolitBook. 2021. № 4. S. 140–156.
16. Rubcova N.V. Issledovanie mediaaktivnosti universitetov s ispol'zovaniem analiticheskikh platform // Voprosy teorii i praktiki zhurnalistiki. 2023. T. 12. № 1. S. 104–120. DOI: 10.17150/2308-6203.2023.12(1).104-120.
17. Shadrina L.Yu. Brend prepodavatela VUZa v social'nyh setyah: konceptual'nye harakteristiki // Vestnik ekonomiki, prava i sociologii. 2022. № 3. S. 143-146.
18. Popsters. Metriki: VR (VisibilityRate).URL:<https://popsters.ru/faq/ispolzuemye-metriki/> (data obrashcheniya: 10.02.2026).
19. 15 klyuchevykh metrik v SMM, kotorye neobhodimo izmeryat' v 2025 godu. URL: <https://vc.ru/id1360869/1056273-15-klyuchevykh-metrik-v-smm-kotorye-neobhodimo-izmeryat-v-2025-godu> (data obrashcheniya: 15.02.2026).
20. Ocenka vliyaniya informacionnogo shuma na prinyatie reshenij / A.A. Vertinova [i dr.] // Liderstvo i menedzhment. 2022. T. 9. № 3. S. 877–890. DOI:10.18334/lim.9.3.116218

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 27.03.2026; одобрена после рецензирования: 22.06.2026; принята к публикации: 25.06.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 27.03.2026; approved after review: 22.06.2026; accepted for publication: 25.06.2026

Информация об авторах

Николай Владимирович Олухов, доцент кафедры философии и гуманитарных наук Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России (г. Екатеринбург), 620062, Свердловская область, город Екатеринбург, ул. Мира, стр. 22., кандидат социологических наук, SPIN-код (РИНЦ): 5793-4585, AuthorID (РИНЦ): 400166, <https://orcid.org/0009-0001-2788-7698>

Information about the authors:

Nikolay Vladimirovich Olukhov, Associate Professor, Department of Philosophy and Humanities, Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Yekaterinburg), 620062, Sverdlovsk Region, Yekaterinburg, st. Mira, p. 22., candidate of Sociological Sciences, SPIN code (RSCI): 5793-4585, Author ID (RSCI): 400166.

Научная статья

УДК 656.073.436; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-58-70

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

✉ Савчук Олег Николаевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются специфические климатические и географические условия Арктики, которые влияют на организацию безопасного перемещения автомобильного транспорта, перевозящего опасные грузы. Существующая система законодательства транспортировки опасных грузов, основанная на федеральных нормах и международных обязательствах, в настоящее время недостаточно учитывает специфику условий Арктического региона. Вскрыты проблемы обеспечения безопасности населения при транспортировке опасных грузов в Арктике, связанные с климатическими, дорожными условиями, особенностями перевозки опасных грузов в регионе, возможных экстремальных экологических последствий. На основе анализа существующего законодательства по перевозке опасных грузов Российской Федерации в целях адаптации их к специфическим условиям Арктики и устранения проблем по обеспечению безопасности населения при перевозке опасных грузов предлагаются ряд уточнений и внесения положений в основные правовые документы. Реализация таких предложений позволит повысить безопасность перевозки опасных грузов в Арктическом регионе.

Ключевые слова: федеральный закон, законодательные акты, правовое регулирование, опасные грузы, экологическая катастрофа, экстремальные климатические условия

Для цитирования: Савчук О.Н. Нормативно-правовое совершенствование обеспечения безопасности населения при транспортировке опасных грузов автомобильным транспортом в Арктическом регионе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 58-70. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-58-70

Scientific article

REGULATORY AND LEGAL IMPROVEMENT OF POPULATION SAFETY DURING THE TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS BY ROAD IN THE ARCTIC REGION

✉ Oleg N. Savchuk.

Saint-Petersburg university of state fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Abstract. The article examines the specific climatic and geographical conditions of the Arctic, which affect the organization of the safe movement of road transport carrying dangerous goods. The existing system of legislation for the transportation of dangerous goods, based on federal regulations and international obligations, currently does not sufficiently take into account the specifics of the conditions of the Arctic region.

The problems of ensuring the safety of the population during the transportation of dangerous goods in the Arctic related to climatic, road conditions, the peculiarities of the transportation of dangerous goods in the region, and possible extreme environmental consequences were revealed. Based on an analysis of the existing legislation on the transportation of dangerous goods of the Russian Federation in order to adapt them to the specific conditions of the Arctic and eliminate problems to ensure the safety of the population during the transportation of dangerous goods, a number of clarifications and amendments to the main legal documents are proposed. The implementation of such proposals will improve the safety of transportation of dangerous goods in the Arctic region.

Keywords: Federal law, legislative acts, legal regulation, dangerous goods, ecological catastrophe, extreme climatic conditions

For citation: Savchuk O.N. Regulatory and legal improvement of population safety during the transportation of dangerous goods by road in the arctic region // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 58-70. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-58-70

Введение

Арктический регион характеризуется особыми природно-климатическими условиями, такими как экстремально низкие температуры, частые метели, полярная ночь и сезонные изменения таяния почвы в районах вечной мерзлоты. Эти факторы создают значительные сложности для эксплуатации автомобильного транспорта. Слаборазвитая дорожная сеть, многие элементы которой представлены временными зимниками и грунтовыми дорогами, дополнительно повышает риски транспортных происшествий с опасными грузами, что повышает опасность для населения [1]. Действующая система правового регулирования транспортировки опасных веществ, основанная на федеральных нормах и международных обязательствах, в настоящее время недостаточно учитывает специфику арктических условий [2].

Учитывая стратегическое значение северных территорий, обеспечение безопасности населения в условиях роста промышленной активности возможно лишь при создании надежной системы правового регулирования перевозок опасных грузов, способной эффективно минимизировать потенциальные угрозы.

Территориальная разобщенность населённых пунктов и отсутствие устойчивой связи затрудняют оперативное оповещение и реагирование при чрезвычайных ситуациях. В Арктической зоне Российской Федерации связь есть не везде. Современная телекоммуникационная инфраструктура есть в таких городах, как Норильск, Якутск, Магадан, Архангельск, Мурманск, на остальных территориях она практически отсутствует. В случае аварий или утечек опасных веществ это приведет к угрозе для жизни и здоровья людей, а ликвидация последствий их потребует значительных ресурсов и времени. Кроме того, перевозка опасных грузов в Арктическом регионе сопряжена с высоким риском аварий, утечек и загрязнений из-за экстремальных природно-климатических условий, слабой транспортной инфраструктуры и удалённости населённых пунктов [1].

На проблемное обеспечение безопасности населения при транспортировке опасных грузов в Арктике влияют [3]:

1. Экстремальные природно-климатические условия: изменения физико-механические свойств металлов, приводящая к хрупкости металлов и резинотехнических изделий при температурах – 50⁰; снежные покровы, затрудняющие движения транспорта и увеличивающие риск возникновения аварийных ситуаций; ограниченная видимость в полярной ночи, снижающая возможность визуального контроля и ориентации на местности.

2. Ограниченная сеть дорог с преобладанием временных зимников и грунтовых дорог; недостаточное количество специализированных пунктов технического обслуживания и аварийно-спасательных станций на протяженных участках маршрутов; низкая пропускная

способность существующих автомобильных дорог; мало оборудованных мест для стоянок и отдыха водителей [4,5,6].

3. Особенности транспортировки опасных грузов: нефтепродукты и аварийно-химические вещества (АХОВ) требуют поддержания определенного температурного режима [7]; взрывчатые и токсичные вещества чувствительны к механическим воздействиям и вибрациям; требования соблюдения специальных условий безопасности при погрузке и разгрузке на терминалах.

4. Экологические катастрофы вследствие аварий с автотранспортом, перевозящим опасные грузы, приводящие к длительному характеру последствий загрязнения для окружающей среды, оказывающей влияние на жизнедеятельность человека [8].

В этих условиях совершенствование законодательства должно быть направлено на внедрение специальных требований к транспортным средствам, подготовку персонала, развитие инфраструктуры контроля и спасательных служб, которые позволят снизить число аварий, утечек и загрязнений, обеспечив безопасность населения и сохранность природной среды Арктики [9].

Целью статьи является на основе анализа существующих законодательных актов по перевозке опасных грузов автомобильным транспортом выявить направления совершенствования нормативно-правовой базы и организационных мер, направленных на снижение рисков при перевозке их в Арктических условиях.

Анализ существующей системы российского законодательства по обеспечению безопасности населения при транспортировке опасных грузов автомобильным транспортом с учетом адаптации их к Арктическому региону

В настоящее время правовое регулирование перевозки опасных грузов в России основывается на ряде основных нормативных актов: Федеральных законах №16-ФЗ «О транспортной безопасности», №196-ФЗ «О безопасности дорожного движения», Правилах перевозки опасных грузов (ПП РФ № 272) и международных требованиях ДОПОГ. Эти документы определяют общие принципы обеспечения безопасности, устанавливают классификацию опасных веществ, требования к транспортным средствам, персоналу и маршрутам.

Однако названные акты ориентированы преимущественно на стандартные климатические и инфраструктурные условия и не учитывают специфические риски Арктической зоны России. Здесь действуют факторы, которые существенно повышают вероятность происшествий. Указанные документы требуют тщательного анализа: необходимо оценить потребность в их корректировке и совершенствовании, включая уточнение формулировок и учет недостающих факторов [2]. Предлагаемое внесение предложений по изменению и дополнению статей на основе анализа существующих нормативных требований (табл. 1) позволит устранить пробелы и противоречия, обеспечить эффективное правовое регулирование Арктического региона.

Таблица 1

Анализ нормативных требований и предложений по обеспечению безопасности перевозки опасных грузов автомобильным транспортом в Арктической зоне России

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
Федеральный закон № 16-ФЗ «О транспортной безопасности»	Статья 1 Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе	Неполноценное раскрытие терминологии, не охватывающее	Дополнить понятийный аппарат определением «опасные грузы в условиях Арктической зоны»,

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
		современные реалии	отражающим специфику перевозки веществ, поведение которых изменяется под воздействием низких температур. Ввести понятие «экологическая и техногенная уязвимость арктических маршрутов», связывающее риски для населения и окружающей среды при транспортировке опасных грузов
	Статья 4 Обеспечение транспортной безопасности	Принципы, включающие приоритет жизни и здоровья людей, взаимодействие органов власти, комплектность и системность мер требуют доработки с учетом сложившейся обстановки и накопившегося опыта на 2025 год	Добавить принцип «региональной адаптации мер безопасности», предусматривающий разработку специальных требований к перевозкам в экстремальных климатических условиях. Уточнить, что приоритет жизни и здоровья распространяется на всё население зон возможного воздействия аварийных выбросов и проливов
	Статья 8 Требования по обеспечению транспортной безопасности	Современный опыт показывает, что требований по обеспечению транспортной безопасности, обеспечение защиты транспортных средств и грузов от актов незаконного вмешательства недостаточно для комплексного решения данной проблемы	Наличие специальных комплексов локализации утечек и аварийных разливов (средства герметизации, поглощения и утилизации) на автомобильном транспорте, перевозящем опасные вещества. Для повышения безопасности населения предусмотреть обязательное информирование региональных МЧС России и местных органов власти о маршрутах и временных интервалах перевозки опасных грузов
	Статья 12.1 Подготовка и аттестация сил обеспечения транспортной безопасности, аккредитация	Поскольку Федеральный закон № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» был принят в 2007 году,	Включить положения о создании специализированного модуля информационной системы для мониторинга перевозок опасных грузов в арктической

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
	подразделений транспортной безопасности	то нельзя не отметить тот факт, что единая государственная информационная система обеспечения транспортной безопасности, предназначенная для сбора и обработки информации, нуждается в скорейшем уточнении, в рамках накопленного опыта на 2025 год	зоне. Установить требования к обмену данными между системой и региональными центрами МЧС России, МВД и Росморречфлота для оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации. Добавить обязательность использования спутникового и навигационного контроля (ГЛОНАСС) для отслеживания маршрутов, состояния грузов и погодных условий в арктических районах
Федеральный закон № 196 ФЗ «О безопасности дорожного движения»	Статья 2. Основные термины	Устаревшая терминология, требующая своевременной корректировки	Включить в статью понятие «транспортировка опасных грузов в особых климатических условиях», с уточнением, что это процесс перевозки веществ повышенной опасности в зонах экстремального климата, требующий дополнительных мер контроля и нормативного обеспечения. Ввести термин «Арктическая транспортная зона», предусматривающий особый порядок регулирования безопасности движения и обращения с опасными грузами
	Статья 5. Основные направления обеспечения безопасности дорожного движения	Необходимость дополнения основных направлений обеспечения безопасности дорожного движения с учетом перевозок в Арктическом регионе	Дополнить пунктом о формировании специальных стандартов безопасности перевозок опасных грузов для Арктического региона, включающих технические и организационные меры по защите населения. Закрепить необходимость адаптации требований к транспортным средствам, маршрутам и оперативному реагированию с учетом климатических рисков и удаленности населенных пунктов

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
	Статья 20. Основные требования по обеспечению безопасности дорожного движения, предъявляемые к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, физическим лицам при эксплуатации транспортных средств	Положение федерального закона, отраженное в данной статье, о регулировании обязанностей перевозчиков, составлялись с учетом данных и средств, имеющихся на период 1995 года	Включить: оборудование транспорта морозоустойчивыми тахографами с геолокацией и контролем температуры. Ввести в специальные правила оборудования маршрутов: пункты обогрева, наличие аварийных средств, организация постоянной связи с органами МЧС России. Включить осуществлять подготовку водителей по работе в экстремальных условиях и реагированию в ЧС Арктического региона. Исключить послабления требований даже в экспериментальных режимах
	Статья 25. Основные положения, касающиеся допуска к управлению транспортными средствами	Нецелесообразность соотношения уникальных, тяжелых природных условий арктического региона с общепринятыми нормами, применяемыми к стандартной классификации водителей и категорий прав	Введение специальной подкатегории для водителей, допускаемых к управлению транспортом в условиях низких температур и зимнего бездорожья. Обязательная подготовка по арктической навигации, экстренной эвакуации и обращению с замерзающими материалами. Оснащение транспортных средств системами обогрева топливных магистралей, датчиками обледенения и мониторинга микроклимата при перевозке опасных веществ. Дополнить статью требованием периодической проверки знаний о действиях в экстремальных условиях
	Статья 30. Контроль (надзор) в области безопасности дорожного движения.	Требуется уточнение работы уполномоченных федеральных органов, осуществляющих контроль за безопасностью дорожного движения с учетом арктических норм	Дополнить: Создание специализированных подразделений дорожного надзора по арктическим маршрутам с круглогодичным мониторингом состояния дорог и техники. Введение обязательных арктических сертификатов допуска транспорта и водителей к перевозке опасных грузов при низких

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
			температурах. Оснащение грузовиков системами дистанционного контроля температуры и давления внутри цистерн. Разработка адаптированных стандартов технического осмотра, учитывающих обледенение, полярную ночь и экстремальные температуры. Использование спутниковых систем отслеживания маршрутов и аварийного оповещения в арктической зоне
Постановление Правительства РФ № 272 «Правила перевозки грузов автомобильным транспортом»	Пункт 1. Общие положения	Правила, регулирующие отношения, возникающие при перевозке грузов автомобильным транспортом на территории РФ, основанные на данных 2011 года, требуют уточнений с учетом современных реалий	Ввести отдельный подраздел, посвященный перевозке грузов в экстремальных климатических условиях, в том числе в Арктической зоне РФ. Установить, что перевозка опасных грузов в таких условиях требует применения дополнительных мер по обеспечению безопасности движения, защиты персонала и предотвращению аварийных ситуаций
	Пункт 23. Требования к техническому состоянию транспортных средств	Необходимо учитывать, что оснащение техники совершенствуется с каждым годом, поэтому необходимо учитывать для более детальной оценки транспортные средства	Закрепить норму о том, что при эксплуатации в Арктике транспорт должен быть оборудован системами подогрева, утепления и контроля герметичности емкостей. Ввести требование к применению арктически сертифицированных материалов для кузовов и цистерн, исключающих разгерметизацию при экстремальных температурах. Добавить пункт о необходимости спутникового мониторинга и передачи информации о состоянии транспорта и груза в режиме реального времени
	Пункт 33. Предоставление транспортных средств и	Нормы, указанные в пункте 33, разработаны с учетом	Обязать отправителя указывать региональные климатические риски и

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
	контейнеров, предъявление и прием груза для перевозки, погрузка грузов в транспортные средства и контейнеры	технологий 2011 года, что требует необходимости доработки данного положения	особенности маршрута в перевозочных документах. Ввести обязанность по дополнительной маркировке тары, адаптированной к условиям низких температур. Предусмотреть требование к информированию местных органов МЧС России о предстоящих маршрутах перевозок опасных грузов по арктическим дорогам
	Пункт 43. Обязанности перевозчика	Перечень обязанностей перевозчика не позволяет в должной мере оценить его готовность к арктическим грузоперевозкам	Ввести обязательное прохождение водителями и экспедиторами арктической подготовки, включающей действия при обледенении дорог, низких температурах, отключении связи и аварийных ситуациях. Предусмотреть создание специальных арктических транспортных инструкций, регламентирующих порядок движения, контроль за состоянием дороги, и взаимодействие с аварийно-спасательными службами
Европейское соглашение ДОПОГ (ADR)	Глава 1.4 Обязанности участников перевозки опасных грузов	Требуется уточнения с учетом индивидуальных особенностей регионов	Дополнить положения требованием учёта экстремальных климатических факторов Арктики при планировании маршрута и выборе транспортных средств. Ввести обязанность участников перевозки разрабатывать специальные арктические регламенты безопасности, включающие порядок действий в условиях низких температур, полярной ночи и ограниченной связи. В части перевозчика добавить пункт о необходимости прохождения арктической подготовки для водителей, сопровождающих опасные грузы
	Глава 8.2 требования, касающиеся подготовки экипажа транспортного средства	Опыт последних лет показывает необходимость доработки данной	Дополнить учебную программу специализированным модулем «Перевозка опасных

Нормативный документ	Статьи/Пункты/Главы	Недостатки	Предложения
		главы, с учетом собранной статистики на 2025 год	грузов в арктических условиях», охватывающим: - особенности управления техникой на обледенелых дорогах; - действия при отказе систем обогрева; - взаимодействие с аварийно-спасательными службами при ограниченной видимости и низких температурах
	Глава 9.2 Требования касающиеся конструкции транспортных средств	Конструктивные особенности и нововведения претерпели некоторые изменения в период с 2019 по 2025 годы	Ввести отдельное обозначение «АРКТИК-сертификация» для транспортных средств, предназначенных для эксплуатации в северных широтах. Обязать оснащение арктических транспортных средств дублируемыми системами обогрева и электропитания, утеплёнными цистернами, а также антифризными материалами уплотнений. Предусмотреть обязательное наличие систем спутникового мониторинга с круглосуточной передачей координат маршрута и состояния груза

Результаты обсуждений

Реализация и соблюдение предложений, представленных в таблице 1 по адаптации и уточнению законодательных актов применительно к условиям Арктического региона будет направлена на:

1. Совершенствование законодательства в области экологической и промышленной безопасности создаст правовые предпосылки для регулирования хозяйственной деятельности, национальной, экономической и других видов безопасности в Арктике [5]. Разработка новых нормативов по обеспечению безопасности населения и экосистем в регионах Арктики позволит снизить риски при перевозке опасных грузов и воздействия на окружающую среду. Формирование прозрачной системы правового контроля укрепит баланс между экономическим развитием территорий и сохранением природных богатств Севера, обеспечивая долгосрочную устойчивость.

Это приведет к уменьшению техногенных катастроф за счет внедрения комплексной системы мониторинга обстановки, позволяющей обеспечить непрерывный контроль состояния транспортных средств и инфраструктуры при организации перевозки опасных грузов автотранспортом. Это позволит на основе своевременной оценки обстановки оперативно принимать решения по предупреждению и ликвидации последствий аварий

автотранспорта, перевозящего опасные грузы, в суровых климатических и географических условиях Арктики.

2. Повышение защищённости населения путем совершенствования систем оповещения и связи, координации между ведомствами, входящими в систему РСЧС, по оперативному реагированию и ликвидации ЧС [6]. Внесение уточнений в экологические стандарты и внедрение современных технологий предотвращения загрязнений будет способствовать сохранению биологического разнообразия, устойчивости водных и наземных экосистем, а также снижению долгосрочного антропогенного воздействия на арктическую природу.

3. Создание специализированной инфраструктуры, учитывающей экстремальные климатические условия Арктики, позволит обеспечить надежность и устойчивость транспортных связей [7]. Следует продолжать совершенствование технологий для эксплуатации транспорта при низких температурах, повысив требования к прочности материалов и энергоснабжению. Широкое применение системы спутникового мониторинга и навигации в условиях ограниченной видимости обеспечит круглогодичную устойчивость логистических маршрутов, повысит надежность доставки опасных грузов и снизит зависимость от погодных условий.

Заключение

Совершенствование законодательной базы в сфере перевозки опасных грузов в Арктике представляет собой не просто юридическую задачу, а ключевое направление государственной политики в области транспортной и экологической безопасности. В условиях уникальных особенностей Арктики нормативно-правовое регулирование должно не только обеспечивать безопасное функционирование транспортной инфраструктуры, но и соответствовать стратегическим целям по сохранению экосистем и устойчивому освоению северных территорий.

Главным направлением развития законодательства становится создание адаптивной системы управления рисками, учитывающей специфику арктических маршрутов: низкие температуры, сложную ледовую обстановку, удалённость от основных спасательных баз и ограниченные ресурсы связи. Важно обеспечить интеграцию норм международного морского и экологического права (в частности, положений Полярного кодекса Международной морской организации) с российскими стандартами, что позволит гармонизировать требования к безопасности перевозок, повысить уровень их предсказуемости и прозрачности.

Одним из элементов станет развитие цифровых технологий: систем навигации, мониторинга и прогнозирования, основанных на использовании спутниковых данных и искусственного интеллекта [10, 11]. Это позволит в реальном времени отслеживать движение автотранспорта, фиксировать отклонения их от назначенных маршрутов. Это особенно важно для оперативного предупреждения аварий с утечкой АХОВ и нефтепродуктов, которые могут нанести непоправимый ущерб арктическим экосистемам.

Большое значение имеет создание эффективной модели межведомственного взаимодействия, объединяющей транспортные структуры, природоохранные ведомства, службы МЧС России, органов исполнительной власти на местах [12]. Создание единой координационной системы и обмен данными в автоматизированном режиме позволит оперативно принимать решения и минимизировать последствия чрезвычайных ситуаций.

Соблюдение уточненных правовых норм, развитие инновационных технологий и повышение уровня подготовки специалистов повысит безопасность населения и экосистем при перевозке опасных грузов автомобильным транспортом в Арктике.

Список источников

1. Очкалова А.Р. Статистика происшествий и меры по снижению аварийных ситуаций при перевозке опасных грузов // Вестник Госуниверситета управления. 2016. № 6. С. 92–97.
2. Автономов А.С., Малько А.В., Немченко С.Б. Правовая политика современной России в арктическом регионе // Правовая политика и правовая жизнь. 2016. № 1. С. 8–17.
3. Злотникова Т. В. Современные проблемы Арктического региона: природа, право, геополитика // Экологическое право. 2017. № 6. С. 12–16.
4. Митрюкова К.А. Транспортный каркас Арктической зоны Российской Федерации // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. № 5. С. 1371–1388. DOI: 10.18334/epp.13.5.117587
5. Кондратов Н.А. Особенности развития транспортной инфраструктуры в Арктической зоне России // Географический вестник. 2017. № 4 (43). С. 68–80. DOI: 10.17072/2079-7877-20174-67-89
6. Котов А.В. Разработка инноваций и модернизация в арктической транспортной системе // Российская академия транспорта. URL: <https://rosacademtrans.ru/wp-content/uploads/2022/05/Презентация-Котов.pdf> (дата обращения: 15.02.2026).
7. Кирсанов А.А., Кожемякина Е.В., Синицын В.В. Влияние метеоусловий, количества и свойств аварийно химически опасных веществ на параметры зоны химического заражения // Безопасность в техносфере. 2016. № 3 (60). С. 71–77.
8. Жаворонкова Н. Г., Агафонов В. Б. Правовые проблемы пространственного развития Арктической экологической зоны Российской Федерации // Lex russica. 2020. № 3. С. 105–113.
9. Винокуров В.А., Немченко С.Б., Чижиков Э.Н. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктике: предложения по нормативно-правовому регулированию комплексной безопасности // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2017. № 2. С. 148–158.
10. Левкин А.В. Разработка методического и информационного обеспечения для систем экологического мониторинга химического и физического воздействия автотранспорта на атмосферный воздух городов: автореф. дис. ...канд. Техн. наук. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. 154 с.
11. Матвеев А.В., Медведев Д.В., Смирнов А.С. Возможности применения технологий искусственного интеллекта для повышения эффективности управления в чрезвычайных ситуациях // Информатизация и связь. 2025. № 4. С. 98–111. DOI 10.34219/2078-8320-2025-16-4-98-111
12. Матвеев А.В., Метельков А.Н. Развитие системы информационного взаимодействия в интересах обеспечения безопасности в Арктической зоне РФ // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2021. № 4(36). С. 12–19. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2021-4-12-19

References

1. Ochkalova A.R. Statistika proisshествij i mery po snizheniyu avarijnyh situacij pri perevozke opasnyh грузов // Vestnik Gosuniversiteta upravleniya. 2016. № 6. S. 92–97.
2. Avtonomov A.S., Mal'ko A.V., Nemchenko S.B. Pravovaya politika sovremennoj Rossii v arkticheskom regione // Pravovaya politika i pravovaya zhizn'. 2016. № 1. S. 8–17.
3. Zlotnikova T. V. Sovremennye problemy Arkticheskogo regiona: priroda, pravo, geopolitika // Ekologicheskoe pravo. 2017. № 6. S. 12–16.
4. Mitryukova K.A. Transportnyj karkas Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. 2023. T. 13. № 5. S. 1371–1388. DOI: 10.18334/epp.13.5.117587
5. Kondratov N.A. Osobennosti razvitiya transportnoj infrastruktury v Arkticheskoy zone Rossii // Geograficheskij vestnik. 2017. № 4 (43). S. 68–80. DOI: 10.17072/2079-7877-20174-67-

6. Kotov A.V. Razrabotka innovacij i modernizaciya v arkticheskoy transportnoj sisteme // Rossijskaya akademiya transporta: URL: <https://rosacademtrans.ru/wp-content/uploads/2022/05/Prezentaciya-Kotov.pdf> (data obrashcheniya: 15.02.2026).

7. Kirsanov A.A., Kozhemyakina E.V., Sinicyn V.V. Vliyanie meteouslovij, kolichestva i svojstv avarijno himicheski opasnyh veshchestv na parametry zony himicheskogo zarazheniya // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2016. № 3 (60). S. 71–77.

8. Zhavoronkova N. G., Agafonov V. B. Pravovye problemy prostranstvennogo razvitiya Arkticheskoy ekologicheskoy zony Rossijskoj Federacii // Lex russica. 2020. № 3. S. 105–113.

9. Vinokurov V.A., Nemchenko S.B., Chizhikov E.N. Preduprezhdenie i likvidaciya chrezvychajnyh situacij v Arktike: predlozheniya po normativno-pravovomu regulirovaniyu kompleksnoj bezopasnosti // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii». 2017. № 2. S. 148–158.

10. Levkin A.V. Razrabotka metodicheskogo i informacionnogo obespecheniya dlya sistem ekologicheskogo monitoringa himicheskogo i fizicheskogo vozdejstviya avtotransporta na atmosfernyj vozduh gorodov: avtoref. dis. ...kand. Tekhn. nauk. SPb.: Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet «Gornyj», 2015. 154 s.

11. Matveev A.V., Medvedev D.V., Smirnov A.S. Vozmozhnosti primeneniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta dlya povysheniya effektivnosti upravleniya v chrezvychajnyh situacijah // Informatizaciya i svyaz'. 2025. № 4. S. 98–111. DOI 10.34219/2078-8320-2025-16-4-98-111

12. Matveev A.V., Metel'kov A.N. Razvitie sistemy informacionnogo vzaimodejstviya v interesah obespecheniya bezopasnosti v Arkticheskoy zone RF // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2021. № 4(36). S. 12–19. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2021-4-12-19

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 19.01.2026; одобрена после рецензирования: 15.05.2026; принята к публикации: 25.05.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 19.01.2026; approved after review: 15.05.2026; accepted for publication: 25.05.2026

Информация об авторах:

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Information about the authors:

Savchuk Oleg N., professor of the department of ecology and life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928

Научная статья

УДК 007.51; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-71-80

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ МЧС РОССИИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

✉ Савчук Олег Николаевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Аннотация. В статье на основе анализа современного оснащения и применения робототехнических систем подразделениями в структуре МЧС России при выполнении аварийно-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях рассматриваются проблемы их использования в регионах Арктической зоны. С учетом географических и климатических условий регионов Арктической зоны предлагаются перспективные направления их разработки и использования на обширных территориях, шельфах и Северного морского пути в целях обеспечения безопасности населения и сотрудников МЧС России, а также экологичности регионов Арктической зоны. Предлагается использовать в этих регионах универсальный роботизированный комплекс и ряд разработок по применению беспилотных летающих аппаратов (БПЛА).

Ключевые слова: робототехническая система (РТС), аварийно-спасательные работы, чрезвычайная ситуация, универсальный роботизированный комплекс, беспилотный летающий аппарат

Для цитирования: Савчук О.Н. Особенности применения роботизированных средств МЧС России в условиях Арктики // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 71-80. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-71-80

Scientific article

PECULIARITIES OF THE USE OF ROBOTIC MEANS OF EMERCOM OF RUSSIA IN THE ARCTIC

✉ Oleg N. Savchuk.

Saint-Petersburg university of state fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Abstract. The article, based on the analysis of modern equipment and the use of robotic systems by units in the structure of the Russian Emergencies Ministry in emergency rescue operations, considers the problems of their use in the regions of the Arctic zone. Taking into account the geographical and climatic conditions of the regions of the Arctic zone, promising directions for their development and use in vast territories, shelves and the Northern Sea Route are proposed in order to ensure the safety of the population and employees of the EMERCOM of Russia, as well as the environmental friendliness of the regions of the Arctic zone. It is proposed to use in these regions a universal robotic complex and a number of developments on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs).

Keywords: robotic system (RTS), rescue operations, emergency, universal robotic complex, unmanned aerial vehicle

For citation: Savchuk O.N. Peculiarities of the use of robotic means Of Emercom of Russia in the Arctic // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 71-80. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-71-80

Введение

Арктика является одним из уникальных регионов нашей планеты, освоение которого имеет огромное значение для человеческой цивилизации в современных условиях в связи с наличием больших энергетических запасов нефти и газа на шельфе, а также других ценных ископаемых в земной ее коре.

В связи с этим, пребывание и хозяйственно-экономическая деятельность в арктической зоне сопряжены с серьезными опасностями. Факторами, которые определяют вызовы для качества и эффективности деятельности человека в Арктическом регионе России, являются, прежде всего природные – это очень низкие и устойчивые температуры, сильные ветры с обильными осадками, вечная мерзлота почвы, а также длительная полярная ночь. Значительное место занимает территориальная обособленность и отсутствие необходимой транспортной и хозяйственной инфраструктуры.

В этих условиях осложняется работа сотрудников МЧС России и, в первую очередь непосредственно пожарных-спасателей.

Поисковые работы, спасение людей при чрезвычайных ситуациях (ЧС), присущих данному региону, особенно людей, терпящих бедствие среди льдов, при выходе из строя транспорта и оборудования в сочетании с природными и климатическими факторами Арктики делают работу спасателей еще более трудной.

Целью работы является на основе анализа существующего обеспечения и практики работы роботизированных средств в структуре оснащения ими МЧС России предложить варианты совершенствования способов и средств применения роботов с учетом особенностей климатических и географических условий Арктики.

Анализ наличия и практики применения роботизированных средств сотрудниками МЧС России

С 1996 года в структурных подразделениях МЧС России стали активно использовать в своей практической деятельности по ликвидации последствий и спасению людей в чрезвычайных ситуациях (ЧС) робототехнические системы (далее – РТС).

РТС – это автоматизированное самоходное техническое устройство, способное автономно выполнять задачи, которые в обычных условиях выполняет человек, обладающий специальными профессиональными навыками. Работа РТС не требует физического присутствия человека в области выполнения задачи в опасных условиях, они способны функционировать в заданных опасных условиях, обеспечивая ликвидацию последствий ЧС и спасение людей.

Общепринятыми являются следующие классификации РТС: по области действия – наземные, воздушные (включая самолеты и вертолеты) и подводные; по весогабаритным характеристикам – легкие (весом до 1 тонны), средние (весом до 20 тонн) и тяжелые (весом свыше 20 тонн); по базовому функционалу – разведывательные, конкретные спасательно-технологические, комплексные высокоинтеллектуальные [1].

Практика использования РТС в вооружении специалистов МЧС России продолжает развиваться, техническую базу составляют РТС различных видов отечественного и зарубежного производства. Ключевое назначение таких средств – применение в период выполнения задач по обеспечению безопасности людей и территорий при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Наиболее зарекомендовавшими себя и распространенными в отечественной практике являются

робототехнические комплексы «Ель», «Кедр», «Атаман», «Щит», «АКВА-ЧС», «КАСКАД», «ТРОПА», LUF и DOK-ING [2].

В количественном измерении на территории страны в подразделениях ведомства МЧС имеются и функционируют 24 подводных комплекса РТС, более 70 наземных единиц РТС для использования в условиях масштабных пожаров, более 20 единиц, предназначенных для проведения инженерных мероприятий [2]. Ряд РТС, широко используемых в практике, и их основные тактико-технические характеристики представлены в табл. [1].

Таблица

Тактико-технические характеристики РТС

Наименование	Основные ТТХ	Предназначение
РТК пожаротушения среднего класса РТС ЕЛЬ-4	Управление комплексом осуществляется дистанционно, по радиоканалу с пульта дистанционного управления. Оператор, используя установленные на роботе видеокамеры, способен осуществлять мониторинг местности до 2000 м	Комплекс «Ель-4» используют для доставки средств тушения в зону возгорания в условиях повышенной радиации, химического заражения, возникновения взрыва, а также при проведении разведки местности, извлечения и обезвреживания боеприпасов или взрывоопасных предметов
Мобильная роботизированная установка пожаротушения МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС	Установка способна выбрасывать капли водяного тумана на расстояние до 60 м, передвигаться со скоростью 10 км/ч, обладает полем технического зрения от 300 м, продолжительность работы в течение 8ч	Для тушения пожаров в авто и ж/д туннелях, крытых станциях, подземных автостоянок, электростанций, станций метро
Гусеничный беспилотный пожарный робот LUF 60	Способен перемещаться со скоростью 6 км/ч по лестницам и проникать в узкие проходы, подавать пену на расстояние 35 м, воды до 80 м. Управление происходит по радиоканалу с радиусом до 300 м	Для тушения пожаров в экстремальных условиях в ограниченном пространстве (туннели, вокзалы, склады).

Последовательный рост количества чрезвычайных ситуаций различного генеза, складывающаяся международная обстановка вызывает необходимость в увеличении количества и эффективности РТС в подразделениях МЧС России. Дальнейшее развитие робототехники диктует необходимость постоянной модернизации РТС, внедрения новейших технологий, а также оптимизации затрат на их использование и обслуживание путем повышения эффективности и дальнейшей автоматизации.

Сложившаяся практика позволяет сформулировать основные трудности при внедрении высокотехнологичных РТС в профессиональную деятельность специалистов МЧС России на современном этапе, а именно:

- невозможность полного исключения человеческого фактора из спасательных операций: разработка и внедрение полностью автоматизированных технологий сопряжено с трудностями, что не дает возможность в полной мере снизить риски для пожарных-спасателей в условиях чрезвычайных ситуаций;

- недостаточный уровень подготовки операторов РТС: максимальная отдача от применения робототехники достигается только при наличии высококвалифицированных специалистов, способных эффективно управлять и обслуживать РТС.

Вместе с этим, внедрение роботизированных систем связано с улучшением деятельности специалистов подразделений МЧС России:

- способствует росту качества, безопасности и результативности осуществления профессиональной деятельности спасателей;
- существенно снижает риски для жизни и здоровья спасателей при работе в условиях чрезвычайных условиях;
- обеспечивает экономическую выгоду и сокращение финансовых и ресурсных потерь при проведении спасательных и аварийно-восстановительных работ.

Анализ и пути совершенствования применения роботизированных средств МЧС России в условиях Арктической зоны

Возрастающее геополитическое значение и экономическая роль Арктики, наряду с происходящими там климатическими изменениями, обусловили широкий спектр национальных интересов России в данном регионе. Указ Президента РФ от 02.05.2014 № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации», вступивший в силу 2 мая 2014 года, закрепил границы сухопутных территорий, входящих в Арктическую зону Российской Федерации (АЗРФ) [4].

В состав Арктической зоны Российской Федерации входят территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Красноярского края, Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, республики Карелия и Коми [5].

Российская Арктическая зона выделяется на фоне других регионов страны своими уникальными природно-экономическими, демографическими и прочими особенностями.

Современное понятие Арктики не ограничивается территориальными, географическими, региональными характеристиками или субъектностью. Арктика – это масштабный и комплексный феномен, который имеет двойной статус [1].

Во-первых, Арктика во внутреннем политическом пространстве нашей страны представляет собой совокупность пограничных регионов. Указом Президента РФ от 02.05.2014 № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» в составе Российской Арктики определены следующие субъекты: Республики Саха (Якутия), Карелия, Коми, Мурманская и Архангельская области, Красноярский край, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономные округа [4, 5].

Во-вторых, в более глобальном политическом смысле Арктика – это российский плацдарм, связанный с борьбой за определение экономических и политических режимов взаимодействия разных субъектов международного права в Арктике.

Уникальными характеристиками Арктики также являются пространственная целостность, экстремальные природно-климатические условия, удаленность от промышленных центров, этнокультурная общность, низкая плотность населения, богатство природно-сырьевых ресурсов [6].

Население Арктики составляет около четырех миллионов человек, из них российской Арктики – более двух миллионов. Географически на площади российской Арктики свыше 3 миллионов квадратных километров (около 20% площади страны) создано и функционирует 23 города. Особенностью многих из этих городов является достаточно развитая промышленная, энергетическая, транспортная и складская инфраструктура, наличие предприятий химической и нефтегазовой промышленности, крупные объекты энергетики и другие объекты, потенциально способные при авариях стать причиной чрезвычайной ситуации [5].

Вместе с этим, такие города и их население находится в уникальных, суровых природных и климатических условиях. Это экстремально низкие температуры воздуха, продолжительные полярные ночи, вечная мерзлота, сильнейшие ветра и другие.

Сочетание этих двух факторов – наличие масштабных, потенциально опасных инфраструктурных объектов и суровые природные и климатические условия становятся предпосылкой для возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Природно-экономические, демографические и другие особенности Арктической зоны Российской Федерации существенно отличают ее от других регионов страны. К основным отличительным чертам относятся:

- суровые метеорологические условия: вечная мерзлота, ледовое покрытие, дрейфующие льды в арктических морях (температуры в январе от -30°C до -50°C в центральной части Арктики и от -15°C до -25°C в прибрежных районах), бураны, непредсказуемость изменений погоды [5, 6, 7];

- избирательная хозяйственная и промышленная география освоения территории, неравномерная и низкая плотность населения (от 1 до 2 человек на 10 км^2);

- территориальная удаленность, потребность в непрерывной поставке из других регионов страны ресурсов, прежде всего топлива, продовольственных товаров, а также товаров первой необходимости для населения;

- высокая чувствительность природной среды к внедрению технологий и деятельности человека в целом [4, 5, 7].

Рассмотренные особенности и специфика арктических условий оказывают непосредственное отрицательное влияние на проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий.

Во-первых, удаленность и труднодоступность территорий существенно увеличивает время прибытия специалистов спасателей на место происшествия. В отдельных случаях такое прибытие может быть невозможным вследствие блокировки трассы лавинами, ледяных торосов и других природных явлений. Это обуславливает актуальность применения при подобных спасательных операциях РТС в части совершенствования их разведывательных функций для обеспечения оперативной транспортировки специалистов.

Во-вторых, первичным остается вопрос сохранения жизни и здоровья спасателей, которое невозможно без использования специализированного обмундирования и использования технологичного оборудования в условиях низких температур, высокой влажности воздуха, сильных и порывистых ветров.

В-третьих, необходимо отметить, что в настоящее время остается проблемным вопрос о коммуникационной инфраструктуре и качественной связи в Арктике [8].

Современные РТС имеют достаточные ресурсы для нивелирования многих сложностей при проведении аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в арктических условиях, а также продолжают совершенствоваться [8].

Один из примеров такого средства - предлагаемый к созданию Универсальный роботизированный комплекс, в составе которого предполагаются следующие компоненты:

1. Амфибийное поисково-спасательное роботизированное средство (АПСРС), которое предназначено для оперативного поиска и спасения людей в зоне аварий, а также прибрежных зонах и акваториях: до 10 человек, до 5 км^2 .

2. Амфибийное эвакуационно-спасательное роботизированное средство (АЭСРС), которое предназначено для эвакуации и доставки пострадавших к пункту оказания помощи: до 30 человек, до 300 км.

3. Комплекс локальной воздушной разведки (КЛВР) на базе БПЛА, который предназначен для ретрансляции сигнала и поддержания связи на территориях с ограниченным доступом, корректировки транспортных маршрутов, визуальной воздушной разведки, доставки средств спасения, а также для обнаружения пострадавших с воздуха. Бесперебойная работа требует минимум два БПЛА.

Отличительными преимуществами предлагаемого к разработке комплекса являются следующие:

1. Интеграция роботизированных спасательных устройств различного назначения в более масштабную и многоцелевую систему с обеспечением штатного функционирования, транспортировки и высадки в заданном месте;
2. Модернизация интерфейса, внедрение супервизорного управления, абсолютная автоматизация;
3. Разработка автономного амфибийного РТС широкого радиуса действия;
4. Рост устойчивости и снижение восприимчивости к внешним экстремальным условиям;
5. Функциональная универсальность комплексной системы;
6. Рост качества условий эвакуации для пострадавших;
7. Модульный принцип построения и интеллектуализация роботизированных спасательных средств [9].

Одним из перспективных направлений развития и совершенствования и развития робототехнических средств МЧС в Арктической зоне является разработка и внедрение в работу специалистов МЧС беспилотных авиационных систем (БАС), основу которых составляют дроны – дистанционно управляемые летательные аппараты, в составе которых имеются специализированные под различные задачи датчики, и наземное навигационное и коммуникационное оборудование, обеспечивающее взлет, движение по заданной траектории и посадку [9].

Применение российских беспилотных летательных аппаратов в Арктической зоне началось в 2007 году. Беспилотные системы открывают огромные возможности для развития логистики, разведки месторождений, добычи природных богатств, научных исследований и туристической отрасли в этом регионе. Организации и население получают возможность оперативной доставки грузов, ожидание которых в настоящее время может занимать недели или даже месяцы. Ученые смогут проводить воздушные наблюдения за климатическими изменениями и путями миграции фауны. Дроны могут быть использованы для обнаружения терпящих бедствие экспедиций и оказания им необходимой помощи [9].

В суровых условиях Крайнего Севера строительство автомобильных и железнодорожных магистралей представляет собой сложную и дорогостоящую задачу. Транспортировка материалов связана со значительными затратами, а летнее оттаивание верхнего слоя вечной мерзлоты приводит к деформации и разрушению дорожного полотна. Использование грузовых дронов позволит снизить расходы и сократить сроки доставки грузов из центральных регионов страны.

Актуальной для качественной и эффективной деятельности подразделений МЧС России в Арктике остается мониторинг и оценка акватории Северного морского пути. Результаты мониторинга необходимы для построения и своевременной корректировки транспортных маршрутов морских судов, сбора информации о состоянии морской акватории, повышения точности прогнозирования погодных условий и решения других специализированных задач спасателей.

В ЗАО ЦНИИ «Волна» создан проект, предусматривающий проведение комплексной воздушной разведки маршрута Северного морского пути с использованием беспилотного авиационного комплекса, оснащённого системами дальнего радиолокационного и оптического наблюдения (БАК ДРЛО). Модель БАК ДРЛО представлена на рис. 1.



Беспилотный авиационный комплекс
дальнего радиолокационно-оптического обнаружения для воздушной
разведки на трассе северного морского пути



Безальтернативное решение на базе технологий оборонно-промышленного комплекса России

Рис. 1. БАК ДРЛО для воздушной разведки на трассе Северного морского пути.

В 2015 году инженеры Омского государственного технического университета (ОКБ «Малые беспилотные аппараты») создали уникальный беспилотный летательный аппарат, специально адаптированный для работы в экстремальных условиях российской Арктики.

Этот БПЛА третьего

поколения, получивший название «Взор», способен функционировать в диапазоне температур от - 40 до + 40 градусов Цельсия, при ветре скоростью до 15 метров в секунду, а также в условиях снегопада и дождя. Модель БПЛА «Взор» представлена на рис. 2.

Время полета аппарата достигает шести часов. Разработанная в России сложная система автоматического управления обеспечивает стабильную работу в сложных условиях. Гиростабилизированная платформа «Взора» обеспечивает устойчивое наблюдение за любыми объектами на земной поверхности с увеличением от 10 до 30 раз, а оптическая система позволяет обозревать всю нижнюю полусферу под аппаратом.

В условиях стремительного развития и внедрения в работу подразделений МЧС роботизированных средств в российской Арктике все большую актуальность приобретает вопрос юридического регулирования применения таких средств.



Рис. 2. БПЛА «Взор» для Арктической зоны РФ

В настоящее время использование РТС, и, в частности, БПЛА, в Арктике подчиняется общим федеральным законодательным нормам. Это приказ министерства транспорта Российской Федерации от 31 июля 2009 г. №128 «Об утверждении федеральных авиационных правил «подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации», Федеральные авиационные правила №128, № 246 и другие нормативные акты. Основными требованиями являются обязательная регистрация технических средств, согласование полетов, запрет полётов над стратегическими и военными объектами, а также в пограничных районах без специального разрешения и другие.

Вместе с этим, существуют дополнительные ограничения, обусловленные стратегическим, природоохранным и пограничным значением данного региона. Значительная территория российской Арктики относится к пограничной зоне с особым пропускным режимом, который устанавливает Постановление Правительства РФ № 470 от 4 июля 1992 г. В связи с этим, для работы РТС и БПЛА необходимо разрешение пограничной службы ФСБ России. В ряде районов Арктики расположены объекты стратегической инфраструктуры – Северный флот, нефтегазовые месторождения и другие, в связи с чем в этих районах действуют специальные режимы секретности.

Таким образом, в настоящее время законодательство в области применения РТС и БПЛА в Арктике представлено общими федеральными нормами и системой дополнительных ограничений, запретов и согласований.

Заключение

Внедрение роботизированных систем существенно снижает опасность поражения спасателей, работающих в экстремальных условиях, одновременно ускоряя и оптимизируя поисково-спасательные операции в суровых арктических. Совершенствование роботизированных комплексов и широкое применение БПЛА позволяет оградить спасателей от повышенных рисков, расширить функционал, повысить скорость реагирования и эффективность спасательной техники в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера, а также стимулирует прогресс в области морской робототехники.

Реализация путей совершенствования и широкого применения роботизированных средств и БПЛА, а также законодательства будет способствовать решению важной государственной задачи по освоению арктического шельфа и Северного морского пути, обеспечению и защите интересов Российской Федерации, а также нейтрализации угроз безопасности в Арктическом регионе.

Список источников

1. Робототехнические комплексы (РТК): основные модели, описание и ТТХ. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/robototekhnicheskie-kompleksyi-mchs-osnovnyie-modeli-opisanie-i-tth/> (дата обращения: 22.05.2025).
2. Северов Н. В., Байков А. В. Применение робототехнических средств МЧС России для ликвидации последствий техногенных чрезвычайных ситуаций // Вестник КРСУ. 2012. № 7. С. 134–138.
3. О перспективах развития и применения робототехники в МЧС России / Е. Н. Тужиков [и др.] // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (23). С. 85–91.
4. Мингалева С. Г. Технологии гражданской безопасности. 2017. № 4 (54). С. 18–27.
5. Кнауф Р. В. Развитие арктических территорий Российской Федерации в XXI веке в контексте безопасности от чрезвычайных ситуаций различного генезиса // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2021. № 2. С. 58–72.
6. Данилов, А. И. Современные климатические изменения в Арктике: проявления и риски // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 4 (23). С. 1–7.

7. Шилов С. В. Повышение обеспеченности мероприятий по защите в чрезвычайных ситуациях в арктической зоне // Совершенствование форм и методов проведения мероприятий, направленных на защиту населения и территорий от возможных ЧС природного и техногенного характера в арктической зоне Республики Коми: сб. материалов Всеросс. круглого стола. Усинск: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 78–81.

8. Концепция аэромобильного роботизированного комплекса для проведения поисково-спасательных операций в условиях Арктики и крайнего севера / С. А. Половко [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. 2020. № 8 (3). С. 181–188.

9. Шахрамьян М. А., Григорьев С. М. Унифицированные роботизированные комплексы для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в арктической зоне Российской Федерации // Безопасность в современном мире. 2023. № 1. С. 54–60.

10. Рзаев И. А., Сараев И. В. Обзор беспилотных авиационных систем для работы в Арктической зоне // Совершенствование форм и методов проведения мероприятий, направленных на защиту населения и территорий от возможных ЧС природного и техногенного характера в арктической зоне Республики Коми: сб. материалов Всеросс. круглого стола. Усинск: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 70–75.

References

1. Robototekhnicheskie komplekсы (RTK): osnovnye modeli, opisanie i TTH. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/robototekhnicheskie-kompleksyi-mchs-osnovnyie-modeli-opisanie-i-tth/> (data obrashcheniya: 22.05.2025).

2. Severov N. V., Bajkov A. V. Primenenie robototekhnicheskikh sredstv MChS Rossii dlya likvidatsii posledstviy tekhnogennykh chrezvychajnykh situatsij // Vestnik KRSU. 2012. № 7. S. 134–138.

3. O perspektivah razvitiya i primeneniya robototekhniki v MChS Rossii / E. N. Tuzhikov [i dr.] // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 2 (23). S. 85–91.

4. Mingaleev S. G. Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2017. № 4 (54). S. 18–27.

5. Knaub R. V. Razvitie arkticheskikh territorij Rossijskoj Federacii v XXI veke v kontekste bezopasnosti ot chrezvychajnykh situatsij razlichnogo genezisa // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2021. № 2. S. 58–72.

6. Danilov, A. I. Sovremennye klimaticheskie izmeneniya v Arktike: proyavleniya i riski // Aktual'nye problemy nefti i gaza. 2018. № 4 (23). S. 1–7.

7. Shilov S. V. Povyshenie obespechennosti meropriyatij po zashchite v chrezvychajnykh situatsiyah v arkticheskoy zone // Sovershenstvovanie form i metodov provedeniya meropriyatij, napravlennykh na zashchitu naseleniya i territorij ot vozmozhnykh ChS prirodnogo i tekhnogennogo haraktera v arkticheskoy zone Respubliki Komi: sb. materialov Vseross. kruglogo stola. Usinsk: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023. S. 78–81.

8. Konceptiya aeromobil'nogo robotizirovannogo kompleksa dlya provedeniya poiskovo-spasatel'nykh operatsij v usloviyakh Arktiki i krajnego severa / S. A. Polovko [i dr.] // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2020. № 8 (3). S. 181–188.

9. Shahraman'yan M. A., Grigor'ev S. M. Unificirovannye robotizirovannye komplekсы dlya provedeniya avarijno-spasatel'nykh i drugih неотложных работ в арктической зоне Rossijskoj Federacii // Bezopasnost' v sovremennom mire. 2023. № 1. S. 54–60.

10. Rzaev I. A., Saraev I. V. Obzor bespilotnykh aviacionnykh sistem dlya raboty v Arkticheskoy zone // Sovershenstvovanie form i metodov provedeniya meropriyatij, napravlennykh na zashchitu naseleniya i territorij ot vozmozhnykh ChS prirodnogo i tekhnogennogo haraktera v arkticheskoy zone Respubliki Komi: sb. materialov Vseross. kruglogo stola. Usinsk: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023. S. 70–75.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.01.2026; одобрена после рецензирования: 28.05.2026; принята к публикации: 01.06.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 24.01.2026; approved after review: 28.05.2026; accepted for publication: 01.06.2026

Информация об авторах:

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Information about the authors:

Savchuk Oleg N., professor of the department of ecology and life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928

Научная статья

УДК 004.94; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-81-89

ИНТЕГРАЦИЯ СИТУАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ И ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЛИЗА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

✉ Удайб Масар Абед;

Тютюнник Вячеслав Михайлович.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

✉ masar.uthaib2018@gmail.com

Аннотация. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) представляют собой значительную угрозу для общественной безопасности и транспортных сетей, что требует применения передовых методов моделирования для изучения их причин, тенденций и последствий. Сложность моделирования ДТП обусловлена необходимостью объединения различных источников данных, включая пространственно-временные изменения, переменные окружающей среды, характеристики автомобилей и водителей, элементы инфраструктуры. Недавние прорывы в машинном обучении, включая графовые нейронные сети, модели глубокого обучения на основе механизма внимания и гибридные древовидные классификаторы, повысили точность прогнозирования и интерпретируемость. Эти методы используют гетерогенные данные для обеспечения прогнозирования аварий в реальном времени, оценки тяжести и выявления наиболее проблемных зон. Тем не менее, остаются препятствия, такие как разреженность данных, дисбаланс классов и интерпретируемость модели. В данной статье рассмотрены современные подходы к моделированию аварий, выявлено влияние разнообразной информации на установления частоты и тяжести аварий, что позволяет повысить безопасность дорожного движения, оптимизировать управление дорожным движением и усовершенствовать подходы и технологии предотвращения аварий. Определены перспективные направления исследований в этом направлении моделирования и машинного обучения: интеграция гетерогенных данных, использование методов причинно-следственного машинного обучения и системы поддержки принятия решений в реальном времени.

Ключевые слова: моделирование, гетерогенная информация, дорожно-транспортные происшествия, машинное обучение

Для цитирования: Удаиб М.А., Тютюнник В.М. Интеграция ситуационных факторов и гетерогенных данных для повышения эффективности анализа дорожно-транспортных происшествий // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 81-89. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-81-89

Scientific article

INTEGRATING SITUATIONAL FACTORS AND HETEROGENEOUS DATA FOR ENHANCED TRAFFIC ACCIDENT ANALYSIS

✉ Masar A. Uthaib;

Viacheslav M. Tyutyunnik.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

✉ masar.uthaib2018@gmail.com

Abstract. Road traffic accidents (RTAs) pose a significant threat to public safety and transportation networks, requiring advanced modeling techniques to study their causes, trends, and consequences.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2026

The complexity of RTAs modeling stems from the need to integrate diverse data sources, including spatiotemporal changes, environmental variables, vehicle and driver characteristics, and infrastructure elements. Recent advances in machine learning, including graph neural networks, attention-based deep learning models, and hybrid tree classifiers, have improved prediction accuracy and interpretability. These methods leverage heterogeneous data to provide real-time crash prediction, severity assessment, and identification of problem areas. However, obstacles remain, such as data sparsity, class imbalance, and model interpretability. This article reviews modern approaches to RTAs modeling and identifies the impact of diverse information on crash frequency and severity estimates, thereby improving road safety, optimizing traffic management, and refining crash prevention approaches and technologies. Promising research directions in this area of modeling and machine learning are identified: integration of heterogeneous data, use of causal machine learning methods and real-time decision support systems.

Keywords: modeling, heterogeneous information, traffic accidents, machine learning

For citation: Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. Integrating situational factors and heterogeneous data for enhanced traffic accident analysis // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 81-89. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-81-89

Введение

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) представляют собой серьёзную угрозу общественной безопасности и транспортной инфраструктуре во всём мире. Сложность моделирования ДТП обусловлена необходимостью варьирования множеством данных из разных источников: пространственно-временными колебаниями, условиями окружающей среды, поведением человека, характеристиками транспортных средств, многообразием инфраструктур и частотой аварий [1, 2].

Достижения в области машинного обучения и анализа больших данных позволили разработать креативные методы преодоления этих трудностей [3-5]. В данной статье рассмотрены некоторые модели ДТП с акцентом на разнообразные информационные и ситуационные аспекты, а также проанализированы данные из ряда исследовательских работ других авторов [6, 7].

Цель данного исследования – проанализировать многочисленные данные о повышении эффективности анализа динамики ДТП и уровень поддержки принятия решений по безопасности дорожного движения, показать перспективы исследований в области распознавания образов на основе данных о ДТП.

Основные методы моделирования дорожно-транспортных происшествий

К настоящему времени в мировой практике наработано большое количество моделей и методов для фиксирования, оценки, классификации, распознавания участников ДТП и их предотвращения. Рассмотрим наиболее эффективные из них.

Самыми современными являются графовые нейронные сети (GNN) для пространственно-временного анализа, которые стали эффективным инструментом для моделирования ДТП, поскольку они учитывают пространственные и временные взаимодействия в дорожных сетях. Метод GraphSAGE использовался для прогнозирования аварий с достаточно высокой точностью, достигнув средней абсолютной ошибки менее 22% и показатель эффективности, который используют для оценки моделей классификации (AUROC), выше 87% [8]. В этом методе используют модели конфигурации дорожной сети и данные об объёме трафика, на основе чего получают сведения об опасностях аварий.

Модели архитектуры глубокого обучения, основанные на механизме внимания, используют для решения проблемы пространственно-временной изменчивости данных о дорожном движении. Причинно-следственная пространственно-временная многографовая свёрточная сеть (ASTMGCN) демонстрирует использование многографовых свёрточных операторов и механизмов внимания для эффективного захвата динамических пространственных и временных характеристик и точного прогнозирования трафика [9]. Этот метод не только повышает точность прогнозирования, но и улучшает интерпретируемость модели, так как используем технологию калибровки неопределённости с учётом разрежённости.

Метод объединения древовидных и глубоких моделей обучения (гибридные модели) также продемонстрировали успех в прогнозировании ДТП. Такие методы, как AdaBoost, XGBoost и Random Forest, при интеграции с моделями глубокого обучения достигли высоких показателей производительности, включая точность, полноту и F1-меру (метрика оценки качества моделей классификации, представляющая собой гармоническое среднее между точностью и полнотой), превышающие 90% [10]. Эти модели очень эффективны в обработке несбалансированных наборов данных, характеризующихся редкостью инцидентов.

Метод многомодальных крупномасштабных моделей для углублённого анализа (AccidentGPT) синтезирует данные из множества источников, включая восприятие окружающей среды V2X (Vehicle-to-Everything – транспортное средство для всего), чтобы предоставить комплексную методологию анализа и предотвращения аварий [11]. Эта модель обеспечивает оповещения об опасности в режиме реального времени, предотвращение столкновений и оценку ответственности после инцидента, что делает её всесторонним инструментом для обеспечения безопасности дорожного движения.

Для распознавания образов после применения перечисленных методов требуется учитывать достаточное количество факторов, которые обычно сопровождают ДТП и требует рассматривать и учитывать в моделях разнообразную гетерогенную информацию о ДТП.

Гетерогенная информация о дорожно-транспортных происшествиях

ДТП демонстрируют значительную пространственно-временную изменчивость, то есть их частота и тяжесть колеблются в зависимости от местоположения и временных интервалов. Модель географически и временно взвешенной регрессии (GTWR) эффективно отражает эти различия, демонстрируя, что такие элементы, как насыщенность трафика и конфигурация дорожной сети, оказывают уникальное влияние на аварии в различных пространственных и временных контекстах [12, 13].

Созданная человеком искусственная среда, включающая многообразие различных дорог, землепользование и плотность городской застройки, существенно влияет на тяжесть ДТП. Исследования показывают, что в мегаполисах, характеризующихся разнообразным землепользованием, как правило, наблюдается повышенный уровень аварийности, в то время как в пригородных или сельских районах наблюдается обратная зависимость [11–13]. Эти выводы подчёркивают необходимость учёта географической изменчивости при моделировании.

Погодные условия, включая дождь, снег и туман, существенно повышают вероятность ДТП. Алгоритмы машинного обучения, использующие метеорологические данные, показывают, что неблагоприятные погодные условия усугубляют тяжесть аварий, особенно в сочетании с такими переменными, как время суток и тип дороги. Обледенелые дороги, стоячая вода и недостаточное освещение повышают тяжесть аварий сверх обычного уровня, при этом модели глубоких нейронных сетей демонстрируют высокую точность в прогнозировании катастрофических столкновений [13]. Более того, методы машинного обучения показали, что метеорологические элементы, такие как скорость и температура ветра, являются значимыми факторами при прогнозировании продолжительности и тяжести аварий [14]. Исследование [15] подтверждает, что погода в сочетании с местоположением и

типом дороги существенно влияет на ДТП, при этом модели машинного обучения эффективно сопоставляют характеристики аварий с уровнями тяжести. Эти результаты подчёркивают необходимость включения метеорологических данных в стратегии управления дорожным движением для снижения риска аварий.

Тип транспортного средства, поведение водителя и характеристики участников дорожного движения являются важными элементами моделирования аварий. С участием мотоциклов аварии чаще происходят в определённых городских регионах, тогда как столкновения грузовиков и легковых автомобилей преобладают на автомагистралях. Передовые методы машинного обучения, включая географически взвешенные нейронные сети (GWNN), использовались для анализа географических различий в тяжести аварий, выявляя в качестве значимых факторов риска травм такие переменные, как тип транспортного средства, состояние водителя и место аварии [16]. Кроме того, исследования с использованием глубокого обучения и нейронных сетей с радиальными базисными функциями подчеркнули значимость данных о вождении в реальном времени, указывая на то, что динамика транспортного средства и поведение водителя существенно влияют на уровень риска аварий [17]. Модели машинного обучения использовались для оценки тяжести травм водителей, указывая на то, что такие характеристики, как безрассудное вождение, превышение скорости и тип столкновения, значительно влияют на исход аварий [18]. Эти выводы получены с помощью методов кластеризации, поиска ассоциативных правил и прогнозной аналитики, подчёркивая необходимость обязательного учёта характеристик транспортного средства и водителя.

Применение моделей дорожно-транспортных происшествий

Методы машинного обучения оценивают ретроспективные данные об авариях, состояние дорог, метеорологические факторы и плотность движения для прогнозирования зон повышенного риска. Модели градиентного бустинга и случайного леса использованы для определения регионов, подверженных авариям, и внедрения превентивных стратегий [19].

Системы мониторинга в реальном времени и раннего предупреждения снижают частоту аварий. Байесовские сетевые модели предлагают динамические оценки риска аварий и генерируют сигналы тревоги для предотвращения столкновений [20]. Модели географических информационных систем (ГИС) облегчают визуализацию мест с высокой аварийностью, интеграцию данных о транспортном потоке и оптимизацию развития инфраструктуры. Эти модели помогают градостроителям создавать более безопасные переходы и улучшать дорожные сети [21].

Классификаторы машинного обучения, такие как машины опорных векторов (SVM) и случайный лес, классифицируют тяжесть несчастных случаев как смертельную, серьёзную или незначительную. Они помогают службам экстренной помощи расставлять приоритеты в реагировании и оптимизировать распределение медицинских ресурсов [22]. Передовые архитектуры глубокого обучения, такие как свёрточные рекуррентные нейронные сети (CRNN), обеспечивают прогнозирование аварий в реальном времени и оповещения водителей, снижают количество аварий за счёт изменения действий водителя посредством прогнозной оценки риска.

Препятствия в моделировании дорожно-транспортных происшествий

Относительная редкость аварийных событий затрудняет разработку устойчивых моделей прогнозирования. Для преодоления дисбаланса классов использованы такие методы, как синтетическое генерирование данных (SMOTE) и адаптивная синтетическая выборка для несбалансированных данных (ADASYN), что повысило эффективность модели на данных об авариях, происходящих нечасто [9].

Разнообразные эффекты элементов в различных географических и временных контекстах требуют моделей, учитывающих пространственно-временную неоднородность. Для решения этой проблемы созданы перспективные модели: географическая и временная взвешенная регрессия (Geographical and Temporal Weighted Regression, GTWR) и географически и временной взвешенный анализ пропорциональных рисков (Geographical and Temporal Weighted Proportional Hazard analysis, GTWPH) [23].

Несмотря на эффективность моделей глубокого обучения, их недостаточная интерпретируемость может препятствовать применению в практических сценариях. Для анализа результатов работы моделей обычно используется метод добавок Шепли (SHapley Additive exPlanations, SHAP) – метод интерпретации машинного обучения, который объясняет вклад каждого признака в предсказание конкретного наблюдения. Он основан на концепции значений Шепли из теории кооперативных игр и позволяет получить представление о факторах, влияющих на прогнозы [24, 25].

Перспективы исследований

Проведённый анализ показывает, что в перспективных моделях следует использовать мультимодальные источники данных, включая связь V2X, спутниковые снимки и ленты социальных сетей, чтобы обеспечить более полное понимание ДТП. Для улучшения понимания причинно-следственных связей между переменными и результатами аварий следует использовать методы причинно-следственного машинного обучения, такие как двойное робастное обучение. Создание систем поддержки принятия решений в режиме реального времени с использованием прогностических моделей поможет операторам дорожного движения и водителям принимать обоснованные решения для снижения риска аварий.

Заключение

Моделирование дорожно-транспортных происшествий значительно продвинулось благодаря включению разнообразных источников данных и сложных методов машинного обучения. Графовые нейронные сети, модели на основе внимания и гибридные методы продемонстрировали потенциал в улавливании пространственно-временной неоднородности и повышении точности прогнозирования. Будущие исследования должны сосредоточиться на использовании мультимодальных данных, причинно-следственного машинного обучения и систем поддержки принятия решений в реальном времени для повышения безопасности дорожного движения [1, 3].

Список источников

1. Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. Pattern recognition of the state registration plate of a vehicle // Мир науки без границ: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных. Тамбов: издат. Центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. С. 285–287.
2. Удаиб М.А. Современные методы и информационные системы фиксирования, прогнозирования и предотвращения дорожно-транспортных происшествий // Информационные процессы, системы и технологии. 2024. Т.5. №2. С. 14–22. DOI: 10.52529/27821617_2024_5_2_14
3. Тютюнник В.М., Удаиб М.А. Нейросетевые методы и модели прогнозирования дорожно-транспортных происшествий и снижения их рисков // Промышленные АСУ и контроллеры. 2024. №12. С. 47–56. DOI: 10.25791/asu.12.2024.15483
4. Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. Integrating situational factors and heterogeneous data for enhanced traffic accident analysis // Общество. 2025. №1 (36), Ч. 2. С. 15–19.

5. Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. The effects of heterogeneous information in analyzing traffic accidents // Мир науки без границ: сб. материалов 12-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных. Тамбов: Издат. центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. С. 41–44.
6. SMA-HYPER: Spatiotemporal Multi-View Fusion Hypergraph Learning for Traffic Accident Prediction / X. Gao [et al.] // Preprint Submitted to Elsevier, 2024.
7. Ghahremannezhad H., Shi H., Liu C. Real-Time Accident Detection in Traffic Surveillance Using Deep Learning. 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.06461> (дата обращения: 20.02.2026).
8. Graph Neural Networks for Road Safety Modeling: Datasets and Evaluations for Accident Analysis / A. Nippani [et al.] // 2023. URL: [arXiv.org.2311.00164](https://arxiv.org/abs/2311.00164) (дата обращения: 20.02.2026).
9. Interpretable Traffic Accident Prediction: Attention Spatial–Temporal Multi-Graph Traffic Stream Learning Approach / C. Li [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systemsю 2024. P. 1–13.
10. Predictive analysis for road accidents using a tree-based and deep learning fusion system / M. Ameksa [et al.] // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2023. Vol. 46. P. 2381–2397.
11. AccidentGPT: Accident Analysis and Prevention from V2X Environmental Perception with Multi-modal Large Model / L. Wang [et al.] // 2023. Vol. abs/2312.13156.
12. Exploring the spatiotemporal heterogeneity of freeway secondary crashes using GTWR model / H. Liu [et al.] // Journal of Transportation Safety & Security. 2023. P. 1–24.
13. Jiang J., Miao Y., Wu D. Machine Learning-based Prediction Analysis of Potential Factors in Traffic Accidents // Applied and Computational Engineering. EWA Publishing. 2024. Vol. 99. № 1. P. 112–120.
14. Sukonna R.T., Swapnil S.I. A Bi-level Framework for Traffic Accident Duration Prediction: Leveraging Weather and Road Condition Data within a Practical Optimum Pipeline // URL: [arXiv.org.2311.00634](https://arxiv.org/abs/2311.00634) (дата обращения: 20.02.2026).
15. It Is About Weather: Explainable Machine Learning for Traffic Accident Understanding. / S. Soedirman [et al.] // 2023. P. 2689–2694.
16. Exploring spatial heterogeneity in factors associated with injury severity in speeding-related crashes: An integrated machine learning and spatial modeling approach / Z. Zhang [et al.] // Accident Analysis & Prevention. Elsevier BV, 2024. Vol. 206. P. 107697.
17. Prediction of Accident Risk Levels in Traffic Accidents Using Deep Learning and Radial Basis Function Neural Networks Applied to a Dataset with Information on Driving Events / C. Arciniegas-Ayala [et al.] // Applied Sciences. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 14. № 14. P. 6248.
18. Sorum N.G., Pal D. Identification of the best machine learning model for the prediction of driver injury severity // International Journal of Injury Control and Safety Promotion. 2024. P. 1–16.
19. Mehdi M. Machine learning and multisource data analysis approach towards traffic accident risk prediction // Scientific Publishing Center InterConf. 2024. No. 50 (221). P. 401–406.
20. Development and Application of Highway Traffic Congestion and Accident Risk Early / B. Xie [et al.] // Warning Model. 2024. P. 1519–1523.
21. Nayak A., Goyal K. Traffic modeling and accidental data analysis using GIS // A Review. 2024.
22. Machine Learning Applications in Traffic Safety / S. Priyanka [et al.]. // Assessing Accident Severity Automatically. 2023. P. 1197–1203.
23. Exploring the spatiotemporal heterogeneity of freeway secondary crashes using GTWR model / H. Liu [et al.] // Journal of Transportation Safety & Security. 2023. P. 1–24.
24. Benfaress I., Bouhoute A., Zinedine A. Enhancing Traffic Accident Severity Prediction Using ResNet and SHAP for Interpretability // AI. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 5. No.4. P. 2568–2585.

25. Kashifi M.T. Robust spatiotemporal crash risk prediction with gated recurrent convolution network and interpretable insights from SHapley additive explanations // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2024.

References

1. Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. Pattern recognition of the state registration plate of a vehicle // *Mir nauki bez granic: materialy XI Vseros. nauch.-prakt. konf. molodyh uchyonyh*. Tambov: izdat. Centr FGBOU VO «TGTU», 2024. S. 285–287.
2. Udaib M.A. Sovremennyye metody i informacionnye sistemy fiksirovaniya, prognozirovaniya i predotvrashcheniya dorozhno-transportnyh proisshestvij // *Informacionnye processy, sistemy i tekhnologii*. 2024. T.5. №2. S. 14–22. DOI: 10.52529/27821617_2024_5_2_14
3. Tyutyunnik V.M., Udaib M.A. Nejrosetevyye metody i modeli prognozirovaniya dorozhno-transportnyh proisshestvij i snizheniya ih riskov // *Promyshlennyye ASU i kontroly*. 2024. №12. S. 47–56. DOI: 10.25791/asu.12.2024.15483
4. Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. Integrating situational factors and heterogeneous data for enhanced traffic accident analysis // *Obshchestvo*. 2025. №1 (36), Ch. 2. S. 15–19.
5. Uthaib M.A., Tyutyunnik V.M. The effects of heterogeneous information in analyzing traffic accidents // *Mir nauki bez granic: sb. materialov 12-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchyonyh*. Tambov: Izdat. centr FGBOU VO «TGTU», 2025. S. 41–44.
6. SMA-HYPER: Spatiotemporal Multi-View Fusion Hypergraph Learning for Traffic Accident Prediction / X. Gao [et al.] // Preprint Submitted to Elsevier, 2024.
7. Ghahremannezhad H., Shi H., Liu C. Real-Time Accident Detection in Traffic Surveillance Using Deep Learning. 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.06461> (data obrashcheniya: 20.02.2026).
8. Graph Neural Networks for Road Safety Modeling: Datasets and Evaluations for Accident Analysis / A. Nippani [et al.] // 2023. URL: [arXiv.org.2311.00164](https://arxiv.org/abs/2311.00164) (data obrashcheniya: 20.02.2026).
9. Interpretable Traffic Accident Prediction: Attention Spatial–Temporal Multi-Graph Traffic Stream Learning Approach / C. Li [et al.] // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2024. P. 1–13.
10. Predictive analysis for road accidents using a tree-based and deep learning fusion system / M. Ameksa [et al.] // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2023. Vol. 46. P. 2381–2397.
11. AccidentGPT: Accident Analysis and Prevention from V2X Environmental Perception with Multi-modal Large Model / L. Wang [et al.] // 2023. Vol. abs/2312.13156.
12. Exploring the spatiotemporal heterogeneity of freeway secondary crashes using GTWR model / H. Liu [et al.] // *Journal of Transportation Safety & Security*. 2023. P. 1–24.
13. Jiang J., Miao Y., Wu D. Machine Learning-based Prediction Analysis of Potential Factors in Traffic Accidents // *Applied and Computational Engineering*. EWA Publishing. 2024. Vol. 99. № 1. P. 112–120.
14. Sukonna R.T., Swapnil S.I. A Bi-level Framework for Traffic Accident Duration Prediction: Leveraging Weather and Road Condition Data within a Practical Optimum Pipeline // URL: [arXiv.org.2311.00634](https://arxiv.org/abs/2311.00634) (data obrashcheniya: 20.02.2026).
15. It Is About Weather: Explainable Machine Learning for Traffic Accident Understanding. / S. Soedirman [et al.] // 2023. P. 2689–2694.
16. Exploring spatial heterogeneity in factors associated with injury severity in speeding-related crashes: An integrated machine learning and spatial modeling approach / Z. Zhang [et al.] // *Accident Analysis & Prevention*. Elsevier BV, 2024. Vol. 206. P. 107697.
17. Prediction of Accident Risk Levels in Traffic Accidents Using Deep Learning and Radial Basis Function Neural Networks Applied to a Dataset with Information on Driving Events / C. Arciniegas-Ayala [et al.] // *Applied Sciences*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 14. № 14. P. 6248.

18. Sorum N.G., Pal D. Identification of the best machine learning model for the prediction of driver injury severity // *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. 2024. P. 1–16.
19. Mehdi M. Machine learning and multisource data analysis approach towards traffic accident risk prediction // *Scientific Publishing Center InterConf*. 2024. No. 50 (221). P. 401–406.
20. Development and Application of Highway Traffic Congestion and Accident Risk Early / B. Xie [et al.] // *Warning Model*. 2024. P. 1519–1523.
21. Nayak A., Goyal K. Traffic modeling and accidental data analysis using GIS // *A Review*. 2024.
22. Machine Learning Applications in Traffic Safety / S. Priyanka [et al.]. // *Assessing Accident Severity Automatically*. 2023. P. 1197–1203.
23. Exploring the spatiotemporal heterogeneity of freeway secondary crashes using GTWR model / H. Liu [et al.]. // *Journal of Transportation Safety & Security*. 2023. P. 1–24.
24. Benfaress I., Bouhoute A., Zinedine A. Enhancing Traffic Accident Severity Prediction Using ResNet and SHAP for Interpretability // *AI. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2024. Vol. 5. No.4. P. 2568–2585.
25. Kashifi M.T. Robust spatiotemporal crash risk prediction with gated recurrent convolution network and interpretable insights from SHapley additive explanations // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2024.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 12.01.2026; одобрена после рецензирования: 08.06.2026; принята к публикации: 15.06.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 12.01.2026; approved after review: 08.06.2026; accepted for publication: 15.06.2026

Информация об авторах:

Тютюнник Вячеслав Михайлович, профессор кафедры радиоэлектронных и микропроцессорных систем Тамбовского государственного технического университета (392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5), доктор технических наук, профессор, e-mail: vmtyutyunnik@gmail.com, SPIN-код: 1442-1686, ORCID: 0000-0003-2099-5730

Удаиб Масар Абед, аспирант Тамбовского государственного технического университета (392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5), e-mail: masar.uthaib2018@gmail.com, SPIN- код: 6875-8867

Information about the authors:

Vyacheslav Mikhailovich Tyutyunnik, Professor of the Department of Radio-Electronic and Microprocessor Systems at Tambov State Technical University (106/5 Sovetskaya Street, Tambov, 392000), Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: vmtyutyunnik@gmail.com, SPIN-code: 1442-1686, ORCID: 0000-0003-2099-5730

Udaib Masar Abed, Postgraduate Student at Tambov State Technical University (106/5 Sovetskaya Street, Tambov, 392000), e-mail: masar.uthaib2018@gmail.com, SPIN-code: 6875-8867

Научная статья

УДК 338.054.23; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-90-99

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ К ОЦЕНКЕ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА В РЕГИОНЕ

✉ Волокобинский Михаил Юрьевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Пекарская Ольга Анатольевна;

Котюков Михаил Васильевич.

Национальный открытый институт, Санкт-Петербург, Россия

✉ volokobin@mail.ru

Аннотация. Сегодня изменения геофизической среды, в которую «встроена» техническая среда, повышают риск возникновения техногенных аварий, потому что возникает синергетический эффект взаимодействия этих сред. Поэтому очень важными являются научно обоснованные подходы к моделированию и прогнозированию аварий и чрезвычайных ситуаций, а также оценки степени риска их возникновения на определенных территориях.

В статье показано применение метода анализа иерархий для эффективного ранжирования шести важнейших критериев (факторов) техногенной опасности, выделенных экспертами по степени их значимости.

Ключевые слова: факторы техногенных опасностей, техногенные чрезвычайные ситуации, оценка рисков, метод анализа иерархий, вектор приоритетов

Для цитирования: Волокобинский М.Ю., Пекарская О.А., Котюков М.В. Применение метода анализа иерархий к оценке риска возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера в регионе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 2 (58). С. 90-99. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-90-99

Scientific article

APPLICATION OF THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD TO ASSESS THE RISK OF A TECHNOGENIC EMERGENCY IN A REGION

✉ Mikhail Y. Volokobinsky.

Saint-Petersburg university of state fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Olga A. Pekarskaya;

Mikhail V. Kotyukov.

National Open Institute of St. Petersburg, Saint-Petersburg, Russia

✉ volokobin@mail.ru

Abstract. Today, changes in the geophysical environment, which includes the technical environment, increase the risk of natural and man-made accidents, because there is a synergistic effect of interaction between these environments. Therefore, it is very important to use scientifically based approaches to modeling and forecasting accidents and emergencies, as well as to assess the risk of their occurrence in certain territories.

The analysis of risks and sources of man-made hazards was carried out, taking into account the influence of territorial factors.

The article demonstrates the application of the analysis of hierarchies method for effectively ranking six most important criteria of man-made hazards in terms of their significance.

Keywords: factors of man-made hazards, man-made emergencies, risk assessment, hierarchy analysis method, and priority vector

For citation: Volokobinsky M.Y., Pekarskaya O.A., Kotyukov M.V. Application of the hierarchy analysis method to assess the risk of a technogenic emergency in a region // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 2 (58). P. 90-99. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-90-99

Введение

Наше время характеризуется активной динамикой процессов, касающихся геоэкологических комплексов, причем факторов воздействия в данном случае имеется множество, но наиболее значительным является техногенное воздействие, интенсивность которого возрастает от года к году. При этом, ожидаемо, будет расти и вероятность возникновения техногенных аварий и катастроф в связи с застройкой новых территорий, промышленным строительством и развитием всех видов инфраструктуры [1].

Количество таких аварий, за последние 15 лет составило 190 тыс., а пожаров произошло 900 тыс. Такие происшествия приводят к жертвам, огромному материальному ущербу и крупным финансовым затратам, что, конечно, отрицательно сказывается на социальных процессах в обществе, экономической ситуации и экологических процессах [2].

Конечно, такие изменения необходимо отслеживать, т.е. изучать обстановку в регионах, применяя различные методы мониторинга, используя методику прогнозирования и картографического моделирования территорий [3].

Отметим, что техносферные и биосферные явления проявляют себя не изолированно, а в постоянном взаимодействии друг с другом, поэтому и тяжелые последствия возникающих чрезвычайных ситуаций (ЧС) из-за взаимодействия данных систем часто тесно связаны. Постоянное развитие техносферы привело к возникновению новых терминов: «техногенная опасность», то есть совокупность факторов (технологических явлений и процессов, объектов и субъектов), представляющих угрозу для жизнедеятельности человека, экологической обстановки, социально-экономических объектов, и «техногенная чрезвычайная ситуация (ЧС)», под которой подразумевается обстановка в регионе (районе), уже сформировавшаяся в результате аварий, причиной которых техногенные опасности, и повлекшая за собой не только ущерб здоровью людей или окружающей среде, но и человеческие жертвы, большие материальные потери и даже экологические катастрофы [4].

Несмотря на новизну термина, понятно, что данная проблема появилась уже период активной урбанизации, когда люди, используя технические средства производства, углеводородное сырье, разные виды энергии, в том числе и ядерной, вступив в период научно-технической революции, одновременно создали условия для возникновения крупномасштабных аварий, катастроф, чрезвычайных ситуаций.

Рассмотрим сначала общепринятую классификацию чрезвычайных ситуаций, закрепленную в постановлении Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» по масштабу распространения, когда основными классификационными критериями являются размер территории, количество пострадавших и жертв, а также материальные потери.

Согласно данной квалификации выделяют:

- локальные ЧС, распространение которых не выходит за границы территории конкретного объекта (рабочее место, производственный участок, квартира, малая часть дороги), число пострадавших и жертв не превышает десяти человек, а объем финансового ущерба не более 100 тыс. рублей;

- муниципальные и межмуниципальные чрезвычайные ситуации, особенностью которых, соответственно, является распространение в пределах муниципального образования или не менее двух муниципальных образований; число пострадавших и жертв не более 50 человек, размер финансового ущерба не более 18,81 млн. руб.;
- региональные чрезвычайные ситуации, в ликвидации которых чаще всего необходимо участие не только субъекта РФ, на территории которого они происходят, но и привлечение федеральных сил, число пострадавших и жертв при которых составляет до 500 человек, а материальный ущерб может достичь 1,2 млрд. рублей;
- межрегиональные чрезвычайные ситуации, отличающиеся от региональных только тем, что они затрагивают территорию более чем двух субъектов РФ;
- чрезвычайные ситуации федерального характера, в которых обстановка оценивается количеством пострадавших более 500 человек, ущерб превышает 1,2 млрд. руб. [5].

Необходимо отметить, что для отнесения чрезвычайной ситуации к конкретному из вышеперечисленных видов, достаточно помимо территориального критерия зафиксировать хотя бы один критериев, касающихся числа пострадавших или материальных потерь.

В зависимости от характера чрезвычайных ситуаций и непосредственных аварий, с ними связанных, наиболее часто возникают аварии: на транспорте, на производственных зданиях, сооружениях и коммуникациях, в жилищно-коммунальном секторе, на природных объектах [6].

И техногенные опасности, и техногенные чрезвычайные ситуации, всегда порождают дополнительные поражающие факторы, воздействующие как на окружающую среду, так и на человека.

Определяющим фактором интенсивности техногенных опасностей и угроз является состояние техносферы, и поэтому, для своевременного применения комплексных мер, предотвращающих возникновение или уменьшающих интенсивность чрезвычайных ситуаций, классификация техногенных опасностей с определением главнейших классификационных признаков, приводящих к развитию аварии или чрезвычайной ситуации, является сегодня актуальной задачей.

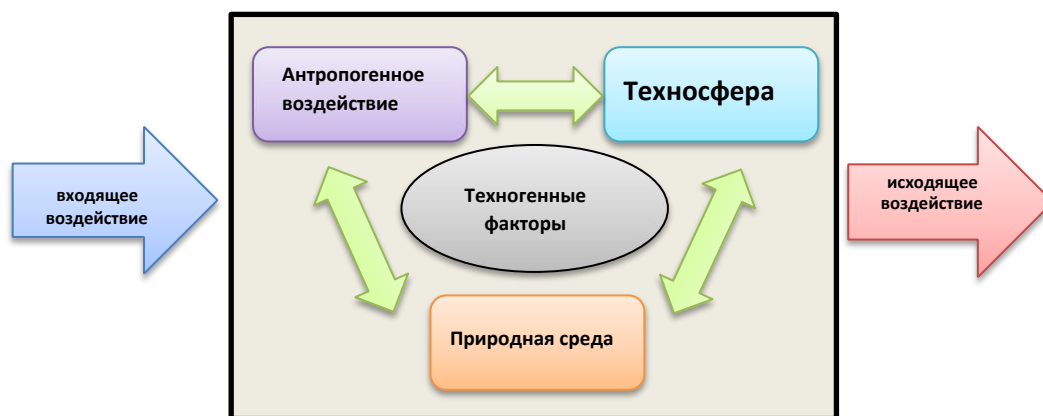


Рис. 1. Составляющие системы «человек – техносфера – природная среда» [7]

Какая-либо серьезная авария, как правило, может повлечь за собой возникновение других опасных явлений и процессов, как природных, так и техногенных, и известный в теории чрезвычайных ситуаций эффект «домино», то есть не только негативный суммарный, но и синергетический эффект от аварии, будет настолько сильным, что предвидеть возможный сценарий развития данной аварии будет очень трудно [7]

Риском называется сочетание результата опасного явления (процесса) и его вероятность возникновения, вследствие негативного влияния каких-либо факторов [8].

Знание возможных источников возникновения техногенных опасностей и умение проводить оценку их влияния на состояние территории региона, сформированная многофакторная оценка техногенной опасности региона через основные критерии опасности позволит сформировать комплекс мер, проведение которых обеспечит снижение риска техногенных ЧС и, в целом, безусловно, будет способствовать снижению техногенной опасности в регионе, и определению основных направлений совершенствования региональной политики в области техногенной безопасности [9].

Модели и методы исследования.

Большинство специалистов, изучающих техногенные опасности территорий, выделяют основные факторы (показатели) опасностей, к которым относятся:

- 1) климатическая составляющая (КС);
- 2) территориальная урбанизированность (ТУ)
- 3) топливно-энергетический сектор (ТЭС);
- 4) промышленный сектор (ПС);
- 5) сектор жилищно-коммунального хозяйства (СЖКХ);
- 6) транспортная инфраструктура (ТИ).

Каждый регион нашей страны характеризуется основными физико-географическими, социально-экономическими, оказывающими влияние на проявление и активизацию техногенных процессов, поэтому оценка влияния этих факторов на формирование источников техногенных опасностей очень значима для предотвращения самых распространенных техногенных аварий и ЧС, которые влекут за собой человеческие жертвы или серьезные последствия для здоровья людей, огромный экономический ущерб, связанный с разрушениями зданий и инфраструктуры, и, естественно, негативно влияют на состояние окружающей среды, нанося экологический вред посредством физических, химических и биологических загрязнений [10].

Так как факторы техногенных опасностей не имеют явных числовых показателей, для оценки их значимости (по степени опасности) необходимо обратиться к балльно-рейтинговым шкалам или к теории экспертных оценок, то есть к методике качественных методов, основанных на многокритериальном выборе [11].

Одним из наиболее эффективных и удобных методов является метод анализа иерархий (метод МАИ), предложенный Т. Саати, и позволяющий путем парных сравнений проранжировать все критерии по степени их значимости, получить для каждого критерия свой весовой коэффициент, а затем, учитывая полученные значения весовых коэффициентов техногенной опасности, определить значение эндогенной переменной «техногенная опасность», представляющую собой многофакторную категорию [12].

Именно по этому значению переменной можно определить риск развития на территории региона техногенной аварии (катастрофы) или чрезвычайной ситуации.

Техногенная опасность территории определяется опасностью объектов, которые на ней расположены, и реализуется в виде поражающих воздействий источников техногенных чрезвычайных ситуаций. Под безопасностью понимается состояние защищенности населения, объектов народного хозяйства и окружающей среды от опасностей [13].

Каждая территория по-своему особенна, т.к. сочетает набор определенных факторов, влияющих на формирование уровня опасности. Основными территориальными особенностями, которые определяют существование и развитие и геоэкологических рисков, являются все имеющиеся на территории явления и процессы природного, техногенного и социального происхождения.

Для оценки риска техногенной опасности региона можно использовать двухуровневую иерархическую модель по методу Саати, где первый уровень является уровнем отбора доминантных факторов техногенной опасности, а на втором уровне представлены факторы, которые будут ранжированы.



Рис. 2. Двухуровневая иерархическая структура для отбора доминантных факторов риска техногенной ЧС

Модель техногенной опасности территории региона представлена в виде некоторой целевой функции Z (многофакторная эндогенная переменная):

$$Z = \sum_{i=1}^k a_i x_i, \quad (1)$$

где x_i – значения i -го фактора техногенной опасности, k – количество факторов техногенной опасности, a_i – коэффициенты, характеризующие степень значимости i -го фактора (весовые коэффициенты).

Сопоставление выбранных показателей друг другу приведено авторами статьи на основании опросов 214 специалистов (экспертов) из различных областей и сфер деятельности (техносферная безопасность, землеустройство, инженерная геоморфология, экология и природопользование, гидрометеорология).

С использованием традиционной для метода иерархий девятибалльной шкалы, каждый из факторов сравнивался попарно с оставшимися факторами по их влиянию на техногенную опасность.

Степень важности, равная единице, свидетельствовала об идентичности факторов с точки зрения их влияния на достижение цели. Степени важности 3,5,7,9 показывали, соответственно, умеренное, сильное, очень сильное и абсолютное превосходство одного фактора над другим. Таким образом, можно толковать данные значения степеней важности (в порядке возрастания) как легкое, достаточно убедительное, очень убедительное и практически абсолютное предпочтение при выборе одного из двух факторов. А четные значения также можно использовать как промежуточные показатели соседних смежных степеней важности.

В унифицированной для метода иерархий матрице попарного сравнения факторов, элементом a_{ij} (i – номер строки, j – номер столбца) являлось отношение критерия i к критерию j . Соответственно методике Т.Саати, элемент a_{ji} являлся обратной величиной по отношению к $a_{ij} = 1/a_{ji}$. На главной диагонали матрицы находились элементы, соответствующие сравнению фактора с самим собой, то есть равные единице.

В табл. 1 целые значения являются усредненными оценками попарного сравнения факторов (округленные до ближайших целых значений), полученных по мнению всех экспертов-специалистов.

Так, например, фактор «топливно-энергетический сектор» по приоритету достаточно убедительно превосходил фактор «территориальная урбанизированность» (среднее экспертное значение, округленное до целого, $a_{24} = 6$), а фактор «климатическая составляющая» очень сильно отставал по значимости от фактора «транспортная инфраструктура» (соответствующее усредненное значение $a_{16} = 1/7$).

Таблица 1

**Результаты попарного сравнения и вектор приоритетов
для факторов техногенной опасности территории**

Факторы	КС	ТЭС	ПС	ТУ	СЖКХ	ТИ	Среднее геометрическое значение фактора	Вектор приоритетов
КС	1	1/6	1/8	1/4	1/5	1/7	0,230	0,025
ТЭС	6	1	1/3	6	5	1/2	1,762	0,193
ПС	8	3	1	7	6	2	3,554	0,395
ТУ	4	1/6	1/7	1	1/2	1/6	0,447	0,062
СЖКХ	5	1/5	1/6	2	1	1/2	0,741	0,094
ТИ	7	2	1/2	6	2	1	2,092	0,231
Сумма	31	6,53	1,95	23,25	14,53	7,34	9,126	1,000

В табл. 1 авторы статьи приводят результаты попарного сравнения факторов, расчетное среднее значение каждого фактора и координаты вектора приоритетов, под которым понимается совокупность весовых характеристик каждого фактора.

Результаты исследования и их обсуждение

В каждой строке было найдено среднее геометрическое всех ее элементов, в предпоследнем столбце таблицы представлены усредненные значения факторов. Элементы каждого столбца были просуммированы, и в последнем столбце, который называется вектором приоритетов факторов (техногенной опасности), представлены нормированные усредненные значения факторов (результат деления среднего значения фактора на сумму средних значений).

Так как в методе анализа иерархий важна согласованность матрицы парных сравнений, важно было убедиться в том, что при наличии рассогласованности (например, из-за субъективности эксперта, неопределенностью объекта оценки или из-за отсутствия необходимой пропорциональности), оценочный критерий непротиворечивости умозаключений эксперта об иерархической предпочтительности элементов будет не выше определенного значения [14].

В общем случае любая матрица парных сравнений почти всегда не является согласованной.

Был рассчитан показатель λ_{max} : по каждому фактору сумму значений из последней строки умножали на вес фактора из последнего столбца и складывали полученные произведения. Данный показатель имел следующее значение: $\lambda_{max} = 6,616$.

Индекс согласованности (ИС) в методе анализа иерархий рассчитывается по формуле:

$$ИС = (\lambda - k) / (k - 1)$$

где k – количество факторов.

Оценка индекса согласованности в нашем случае для шести факторов приняла следующее значение: $ИС = 0,123$.

Затабулированное значение случайной согласованности для матрицы 6-го порядка равно 1,24.

Расчет отношения согласованности (ОС) произведен по формуле:

$$ОС = ИС / СС = 0,123 / 1,24 = 0,099 \text{ (9,9\%)},$$

где ИС – индекс согласованности, СС – средняя согласованность. $ОС = 0,099$.

Величина ОС < 10% , и это значит, что матрица приоритетов факторов согласована.

Таким образом, можно определить «тройку» факторов, наиболее значимых с точки зрения серьезности возникновения риска техногенной катастрофы.

К этим факторам относятся: промышленность (вес фактора 0,395), транспортная система (вес фактора 0,231), топливно-энергетический комплекс (вес фактора 0,193).

Поэтому (1) будет выглядеть так:

$$Z = 0,395 x_1 + 0,395 x_2 + 0,395 x_3 + 0,395 x_4 + 0,395 x_5 + 0,395 x_6$$

Методика ранжирования факторов техногенной опасности региона является первым, базовым, этапом формирования эндогенной переменной Z (1), характеризующей техногенную опасность региона.

Заключение

При оценке угрозы возникновения ЧС, как природной, так и техногенной, необходимо иметь четкую методику оценки степени рисков. Это позволяет объективнее оценивать складывающуюся в результате возможной ЧС обстановку, а также устанавливать необходимую последовательность действий для борьбы с возникшей ЧС и ее последствиями. Осложняющим обстоятельством является то, что как техногенные опасности, так и уже возникающие техногенные ЧС всегда порождают дополнительные поражающие факторы, воздействующие как на окружающую среду, так и на человека. Важнейшие факторы техногенной опасности могут быть оценены с помощью метода анализа иерархий, где нами была использована двухуровневая иерархическая модель по методу Т.Саати. Значения самих факторов x_i , в свою очередь, могут быть определены разными методами, например, методом нечетких множеств, методом фиктивных переменных и другими методами, применяемыми при конвертации атрибутивных переменных в количественные значения. Это позволяет оценить техногенную опасность того или иного региона или отдельных территорий регионов для того, чтобы эффективно планировать комплекс мероприятий для борьбы с возникающими ЧС, а также состав сил и средств, которые для этого предназначены.

Реализация выше оговоренных мер с учетом рассмотренной методики ранжирования факторов техногенной опасности позволяет повысить оперативность, объективность и точность оценки существующих факторов техногенной опасности по регионам, что позволяет уточнить риск возникновения ЧС как в пределах субъектов РФ, так и на всей территории России. Это позволит разрабатывать дополнительные меры, позволяющие эффективнее бороться с ЧС и провоцируемыми ими последствиями.

Список источников

1. Кожар В.В., Скращук Н.Д. Промышленный симбиоз: классификация и опыт для Беларуси. Ключевые позиции и точки развития экономики и промышленности: наука и практика. // Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2022. С. 226–230.
2. Каранина Е.В., Картавых К.Е. Экологические аспекты устойчивого развития региона // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. №1. С. 26–35.
3. Towards the Circular Economy: An Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-a-an> (дата обращения: 12.04.2026).
4. Стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2025 года. URL: <https://pravo.by/document> (дата обращения: 31.01.2026).
5. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: постановление Правительства Рос. Федерации от 21 мая 2007 г. № 304. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Ильясова А.И. Оценка техногенного риска магистрального газопровода с учетом воздействия магнитного поля при проведении внутритрубной дефектоскопии // Уфа. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» 2022. 24 с.
7. Татаринцев С.А. Методика геоэкологической оценки риска проявления техногенных опасностей в аридных территориях// Воронеж. Военно-учебный центр ВВС «Военно-воздушная академия профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина» МО РФ. 2024.
8. Кулагин А.В., Зыкин С.А. Технологии управления техногенными рисками // Ижевск: Удмуртский университет. 2022. 87 с.
9. Сытдыков М.Р., Балобанов А.А., Иванов А.В. Оценка степени ущерба при авариях магистральных трубопроводов методом анализа иерархий // «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. №3. С. 36–44.
10. Пекарская О.А., Лукьянов А.Г. Методика расчета зоны чрезвычайной ситуации при затоплении // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1. С. 13–19.
11. Пекарская О.А., Рыбакова И.В. Анализ математических моделей, описывающих формирование горных селевых потоков // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. №1. С. 30–39.
12. Стрижак А.Ю., Волокобинский М.Ю. Применение многокритериального метода выбора альтернатив при ранжировании маркетплейсов покупателями // Новое в экономической кибернетике. 2024. № 4. С. 41–52.
13. Волокобинский М.Ю., Выходцев С.А. Методы оценки экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2025. № 3 (55). С. 45–54.
14. О повышении индекса согласованности матрицы парных сравнений в системах поддержки принятия решений / А.Е.Куренных [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 196. 16 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp> (дата обращения 12.04.2026).
15. Стрижак А.Ю., Пекарская О.А. Проблемы социальной инженерии в киберпространстве: региональный аспект // Инновационная парадигма экономических механизмов хозяйствования: сб. материалов IX Междунар. науч.-практ. конф. Симферополь, 2024. С. 621–623.

References

1. Kozhar V.V., Skrashchuk N.D. Promyshlennyj simbioz: klassifikaciya i opyt dlya Belarusi. Klyuchevye pozicii i tochki razvitiya ekonomiki i promyshlennosti: nauka i praktika. // Lipeck: Lipeckij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitetu. 2022. S. 226–230.
2. Karanina E.V., Kartavyh K.E. Ekologicheskie aspekty ustojchivogo razvitiya regiona // Problemy analiza riska. 2023. T. 20. №1. S. 26–35.
3. Towards the Circular Economy: An Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-a-an> (data obrashcheniya: 12.04.2026).
4. Strategiya razvitiya ekonomiki zamknutogo cikla do 2025 goda. URL: <https://pravo.by/document> (data obrashcheniya: 31.01.2026).
5. O klassifikacii chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 21 maya 2007 g. № 304. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
6. Il'yasova A.I. Ocenka tekhnogennogo riska magistral'nogo gazoprovoda s uchetom vozdejstviya magnitnogo polya pri provedenii vnutritrubnoj defektoskopii // Ufa. FGBOU VO «Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoy tekhnicheskij universitet» 2022. 24 s.
7. Tatarincev S.A. Metodika geoekologicheskoy ocenki riska proyavleniya tekhnogennyh opasnostej v aridnyh territoriyah// Voronezh. Voennno-uchebnyj centr VVS «Voennno-vozdushnaya akademiya professora N.E.Zhukovskogo i Yu.A.Gagarina» MO RF. 2024.

8. Kulagin A.V., Zykin S.A. Tekhnologii upravleniya tekhnogennymi riskami // Izhevsk: Udmurtskij universitet. 2022. 87 s.
9. Sytdykov M.R., Balobanov A.A., Ivanov A.V. Ocenka stepeni ushcherba pri avariyaх magistral'nyh truboprovodov metodom analiza ierarhij // «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MChS Rossii». 2023. №3. S. 36–44.
10. Pekarskaya O.A., Luk'yanov A.G. Metodika rascheta zony chrezvychajnoj situacii pri zatoplenii // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2022. № 1. S. 13–19.
11. Pekarskaya O.A., Rybakova I.V. Analiz matematicheskikh modelej, opisyvayushchih formirovanie gornyh selevyh potokov // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2022. №1. S. 30–39.
12. Strizhak A.Yu., Volokobinskij M.Yu. Primenenie mnogokriterial'nogo metoda vybora al'ternativ pri ranzhirovanii marketplejsov pokupatelyami // Novoe v ekonomicheskoy kibernetike. 2024. № 4. S. 41–52.
13. Volokobinskij M.Yu., Vyhodcev S.A. Metody ocenki ekonomicheskogo ushcherba ot chrezvychajnyh situacij tekhnogennogo i prirodnogo haraktera // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2025. № 3 (55). S. 45–54.
14. O povyshenii indeksa soglasovannosti matricy parnyh sravnenij v sistemah podderzhki prinyatiya reshenij / A.E.Kurennyh [i dr.] // Preprinty IPM im. M.V.Keldysha. 2018. № 196. 16 s. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp> (data obrashcheniya 12.04.2026).
15. Strizhak A.Yu., Pekarskaya O.A. Problemy social'noj inzhenerii v kiberprostranstve: regional'nyj aspekt // Innovacionnaya paradigma ekonomicheskikh mekhanizmov hozyajstvovaniya: sb. materialov IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Simferopol', 2024. S. 621–623.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 01.02.2026; одобрена после рецензирования: 17.05.2026; принята к публикации: 21.05.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 01.02.2026; approved after review: 17.05.2026; accepted for publication: 21.05.2026

Информация об авторах:

Волокобинский Михаил Юрьевич, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, доктор технических наук, профессор, адрес – 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект 149; тел. 89112107994, e-mail: volokobin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5350-6556>

Пекарская Ольга Анатольевна, заведующий кафедрой Национального открытого института г.Санкт-Петербург, адрес – 197183, Санкт-Петербург, Сестрорецкая улица 6, тел. 89312583101, эл.почта: pekarskaya.olga@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0717-4284>

Котюков Михаил Васильевич, обучающийся Национального открытого института г.Санкт-Петербург, адрес–197183, Санкт-Петербург, Сестрорецкая улица 6, тел. 89219744252, e-mail: kot-spb@bk.ru

Information about the authors:

Volokobinsky Mikhail Y., Professor Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), Doctor of Technical Sciences tel. 89112107994, e-mail: volokobin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5350-6556>

Pekarskaya Olga A., Head of the Department of the National Open Institute, Saint Petersburg, address - 197183, Saint Petersburg, 6 Sestroretskaya Street, tel. 89312583101, e-mail: pekarskaya.olga@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0717-4284>

Kotyukov Mikhail V., a student at the National Open Institute, Saint Petersburg, address - 197183, Saint Petersburg, 6 Sestroretskaya Street, tel. 89219744252, e-mail: kot-spb@bk.ru

АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)»

К публикации принимаются оригинальные исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

1. Материалы для публикации представляются в редакцию журнала лично. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющего ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя *отзывом научного руководителя*.

г) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

в) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Статьи рецензируются в обязательном порядке членами редакционной коллегии журнала. Основная цель рецензирования – предоставить редакции аргументированную информацию для принятия решения об опубликовании материала.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем** от **8** до **15** страниц. По согласованию с руководством журнала статьи могут быть приняты и большего объема.

3. Оригинальность статей должна быть **не менее 70 %**.

4. Текст статьи должен быть обязательно структурирован по разделам:

Введение

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

Методы исследования

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

Результаты исследования и их обсуждение

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

Заключение

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

Для **ОБЗОРНЫХ** аналитических статей допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения рекомендуется подтверждать сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

5. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны: тип статьи (научная, обзорная, редакционная, дискуссионная, рецензия и т.п.), УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов полностью (**не более трех**); место работы (название учреждения), электронный адрес авторов (без слова e-mail), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

6. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

7. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в текст или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2 (выравнивание по правому краю листа), ниже, отступив одну строку, – название таблицы (полушироко, выравнивание по центру листа), и далее, отступив одну строку, следует разместить саму таблицу);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

8. Оформление библиографии (списка источников):

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для **обзорных** аналитических статей **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Правила оформления списка литературы:

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка источников:

Список источников

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэгжану П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневого процесса: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

9. Оформление раздела «Информация об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>); SPIN-код для каждого автора (elibrary.ru).

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Вниманию авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 614.8

МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА

✉Иванов Сергей Петрович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉spi78@mail.ru

Аннотация. 100–250 слов

Ключевые слова: 3–10 слов

Для цитирования: Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 2 (42). С. 1–2 (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ).

METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

✉Ivanov Sergey P.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉spi78@mail.ru

Abstract.

Keywords:

For citation: Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. № 2 (42). P. 1–2.

Введение

Текст, текст, текст

Методы исследования

Текст, текст, текст

Результаты исследования и их обсуждение

Текст, текст, текст

Заключение

Текст, текст, текст

Список источников (не менее 10 источников)

References

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.04.2024; одобрена после рецензирования: 12.05.2024;
принята к публикации: 14.05.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 06.04.2024; approved after review: 12.05.2024;
accepted for publication: 14.05.2024

Информация об авторах:

Иванов Сергей Петрович, заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>, SPIN-код: 0123-3210

Information about the authors:

Ivanov Sergey P., deputy head of the research institute of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>, SPIN: 0123-3210



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»

[16+]

Научно-аналитический журнал

**Природные и техногенные риски
(физико-математические и прикладные аспекты)**

№ 2 (58)–2026

Главный редактор

Матвеев Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Регистрационный орган: Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС 77-64323 от 31 декабря 2015 г.

Адрес редакции и издателя научно-аналитического журнала

«Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»:

Россия, 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»
телефон для справок: +7(812)645-20-35, e-mail: redakziaotdel@yandex.ru

Подписано в печать 07.07.2026
Печать цифровая

Вышел в свет 09.07.2026
Объем 13,25 п.л.
Свободная цена

Формат 60×84_{1/8}
Тираж 39 экз.

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149