



## Мониторинг влияния антропогенных факторов функционирования городского хозяйства на возникновение наводнений и подтоплений

Э.С. Цховребов<sup>1✉</sup>, У.Д. Ниязгулов<sup>2</sup>, Е.Б. Сергеев<sup>3</sup>, Ю.В. Прус<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные вопросы предупреждения экологической опасности в процессе деятельности системы городского хозяйства как фактора возникновения и развития чрезвычайных ситуаций природного характера – паводков и наводнений. Цель работы – формирование конфигурации системы комплексного мониторинга, позволяющей при ее внедрении принимать обоснованные организационно-технические и управленческие решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций с опасными экологическими последствиями. Задачей исследования стала отработка предложений по созданию такой системы на примере конкретной чрезвычайной ситуации природного характера: наводнений, подтоплений и паводков, вызванных антропогенными причинами, связанными с функционированием населенных пунктов. Объект исследования – паводки и наводнения в качестве чрезвычайных ситуаций природного характера. Предметом исследования определен комплекс факторов, условий, параметров, ограничений, оказывающих влияние на возникновение и развитие наводнений, подтоплений и паводков. Методика исследования базируется на применении системного анализа факторов, параметров функционирования, условий, ограничений, причинно-следственных связей техногенных событий и природных явлений, приводящих к возникновению и прохождению паводков и наводнений как природной чрезвычайной ситуации с экологически опасными последствиями. На примере исследования техногенных причин зарождения паводков и наводнений в настоящей работе даны предложения по организации системы комплексного мониторинга урбанизированных территорий в целях своевременного предотвращения, выявления и смягчения неблагоприятных событий, опасных факторов, угроз, рисков и потенциально возможных последствий для инфраструктуры городского хозяйства и жизнедеятельности населения.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, чрезвычайные ситуации, прогнозирование, городское хозяйство, антропогенные факторы, подтопления, паводки, мониторинг

**Для цитирования:** Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д., Сергеев Е.Б., Прус Ю.В. Мониторинг влияния антропогенных факторов функционирования городского хозяйства на возникновение наводнений и подтоплений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 105–118. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-105-118>. EDN: PAFBKG.

### Original article

## Monitoring of effects, caused by the anthropogenic factors of the municipal economy functioning, on the occurrence of floods and groundwater flooding

Eduard S. Tshovrebov<sup>1✉</sup>, Ural D. Niyazgulov<sup>2</sup>,  
Evgeniy B. Sergeev<sup>1</sup>, Yuriy V. Prus<sup>1</sup>

<sup>1,3,4</sup>All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia (Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Russian University of Transport, Moscow, Russia

© Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д., Сергеев Е.Б., Прус Ю.В., 2024

**Abstract.** The article considers topical issues of preventing environmental hazards during the functioning of urban economy system as a factor for the occurrence and development of natural emergencies – freshets and groundwater flooding. The study aims to form a configuration of a comprehensive monitoring system for making reasonable organisational, technical and managerial decisions on the prevention of emergencies with dangerous environmental consequences. The objective of the study was to investigate proposals for the creation of such a system using an example of specific natural emergencies: floods, groundwater flooding and freshets, caused by anthropogenic activities, associated with the functioning of human settlements. The object of the study includes freshets and floods in terms of natural emergencies. The subject of the study involves a set of factors, conditions, parameters and restrictions, affecting the occurrence and development of floods, groundwater flooding and freshets. The research methodology is based on the application of a system analysis to factors, functioning parameters, conditions, restrictions, cause-and-effect relationships of technogenic events and natural phenomena, leading to the occurrence and passage of groundwater flooding and floods as a natural emergency with environmentally hazardous consequences. Using the study of anthropogenic causes of floods and groundwater flooding, this paper presents proposals for the organisation of a system for integrated monitoring of urban areas in order to timely prevent, identify and mitigate adverse events, hazards, threats, risks and potential consequences for the infrastructure of urban economy and population vital activity.

**Keywords:** environmental safety, emergencies, forecasting, urban management, anthropogenic factors, flooding, floods, monitoring

**For citation:** Tshovrebov E.S., Niyazgulov U.D., Sergeev E.B., Prus Yu.V. Monitoring of effects, caused by the anthropogenic factors of the municipal economy functioning, on the occurrence of floods and groundwater flooding. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(1):105-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-105-118>. EDN: PAFBKG.

## ВВЕДЕНИЕ

Достижение состояния защищенности людей и природной среды от экологических угроз, ЧС техногенного и природного плана является в настоящее время одной из актуальных проблем современности и безопасности будущих поколений [1–5].

Особое внимание уделяется охране и рациональному использованию водных ресурсов, обеспечивающих одни из важнейших потребностей жизнедеятельности населения [6, 7].

В работе проведен системный анализ влияния техногенных (антропогенных) факторов на возникновение, прохождение паводков, подтоплений, затоплений и наводнений, квалифицируемых в качестве источников природной ЧС с возможным переходом в техногенную ситуацию с опасными экологическими, социально-экономическими последствиями для жизнедеятельности населения, систем жизнеобеспечения территорий, функционирования комплекса городского хозяйства, объектов экономики.

В рамках проводимого исследования определен комплекс факторов, условий, параметров, оказывающих влияние на возникновение и развитие затоплений, паводков и подтоплений городских и иных территорий.

Системный анализ информации о природных ЧС вышеуказанного характера, их антропогенных причинах, опасных последствиях для природной среды, жизнедеятельности населения, устойчивого развития объектов экономики предопределили необходимость проведения исследований в части поиска путей решения проблемы мониторинга и прогнозирования ЧС научными методами и способами. Обращено внимание на тот факт, что мониторинг является неотъемлемой информационно-аналитической базой для подготовки обоснованных и достоверных прогнозов неблагоприятных и чрезвычайных ситуаций разного уровня упреждения. Это предопределяет важнейшую функцию мониторинга: его комплексность в отношении объектов – источников негативных процессов и явлений. Означенным актуальным вопросам и посвящена представленная работа.

## МЕТОДЫ

Материалами для проведения настоящего исследования послужили опубликованные труды, результаты исследований российских и зарубежных ученых, специалистов-экспертов в области геоэкологии [8], гидрологии [9–13], безопасной эксплуатации искусственных сооружений и городской системы

водопроводно-канализационного хозяйства [14–16], создания экологически безопасных систем и технологий, оценки показателей экологической безопасности [17–19], анализа риска аварий, мониторинга, предупреждения ЧС, их негативных проявлений [20–24], материалы исследований зарубежных авторов.

Методика исследования основывается на системном анализе факторов, параметров функционирования, условий, ограничений, закономерностей, причинно-следственных связей, взаимозависимости техногенных (антропогенных) и природных явлений, событий,

приводящих к негативным последствиям для устойчивого социально-экономического развития территорий, благоприятности и безопасности жизнедеятельности населения в результате возникновения и прохождения паводков и наводнений.

В рамках проведения системного анализа определен комплекс методов и инструментов проводимого исследования (табл. 1).

Порядок и алгоритм применения инструментариев исследования на различных этапах проводимого исследования иллюстрирован на впервые разработанной схеме (рис. 1).

**Таблица 1.** Комплекс методов и инструментов проводимого исследования

**Table 1.** A set of methods and tools of the conducted research

| Метод исследования | Сущность применяемого метода исследования                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Абстрагирование    | Выделение, вычленение отдельных или общих интересующих в данный момент существенных закономерных признаков, свойств и отношений предмета в результате мысленного (логического) отвлечения от множества несущественных сторон, признаков, свойств, взаимоотношений, связей исследуемого объекта (предмета) |
| Формализация       | Превращение различных свойств предметов исследования в объект рассмотрения, позволяющее отразить основные закономерности исследуемых объектов или явлений, изучать их, прогнозировать новые закономерности                                                                                                |
| Аналогия           | Сравнение объектов, процессов, технических решений, близких (сходных, подобных) по совокупности существенных признаков, свойств, характеристик, отношений, назначению                                                                                                                                     |
| Идентификация      | Установление соответствия объектов по ряду прямых и косвенных признаков                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ранжирование       | Обработка данных, полученных в результате опроса специалистов или из опубликованных исследований путем выявления и присвоения рангов факторам, имеющим согласно априорной информации предполагаемое существенное влияние на параметры оптимизации предмета, объекта                                       |
| Обобщение          | Логический процесс перехода от единичного к общему, от менее общего знания к более общему, включая результат данного процесса в виде обобщенного суждения, понятия, теории                                                                                                                                |
| Классификация      | Систематическое деление и упорядочение понятий и предметов, фиксация закономерных связей между объектами                                                                                                                                                                                                  |
| Компроментация     | Выдвижение любого числа возражений против актуальности, значимости проблемы, путей решения                                                                                                                                                                                                                |
| Синтез             | Соединение/объединение ранее разрозненных объектов исследования или понятий в единое целое                                                                                                                                                                                                                |

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам системного анализа информации с применением вышеприведенных исследовательских инструментов и методов классифицированы техногенные (антропогенные, т.е. вызванные деятельностью человека)

факторы паводков и наводнений, причины, условия их формирования как следствие хозяйственной деятельности человека с нарушением градостроительного, природоохранного, санитарного, технического и иных видов российского законодательства (табл. 2).



**Рис. 1. Порядок и алгоритм применения инструментария исследования на различных этапах проводимого исследования**  
**Fig. 1. The procedure and algorithm for applying the research tools at various stages of the study**

С развитием производительных сил, увеличением численности населения, усиливается негативное влияние жизнедеятельности людей на природу, и, как следствие, возрастает роль антропогенных факторов, оказывающих воздействие на чистоту и равновесное состояние водных объектов.

Исследование, анализ и учет данных факторов имеют огромное значение при решении вопросов мониторинга и прогнозирования как самих чрезвычайных ситуаций, так и их опасных экологических, социально-экономических и иных последствий.

Таким образом, предмет исследования водных ресурсов и объектов приобретает черты междисциплинарного характера, а результат определяет, в конечном счете, безопас-

ность жизнедеятельности населения, природной среды и природных ресурсов, объектов жизнеобеспечения территорий.

Прямые причины возникновения антропогенных факторов наводнений и подтоплений связаны с авариями на ГТС, а также разрушением плотин. Косвенные причины, связанные с жизнедеятельностью человека, определяют все остальные факторы, истематизированные в табл. 2.

Нарушение естественного поверхностного стока объектами недвижимости, равно как и нарушение гидрологического режима, водного баланса, устойчивости работы ГТС и искусственных сооружений, также является причиной возникновения неблагоприятных событий и чрезвычайных ситуаций.

**Таблица 2.** Классификация антропогенных факторов наводнений и паводков

**Table 2.** Classification of anthropogenic factors of floods and floods

| Антропогенные факторы паводков и наводнений                                  | Условия и причины формирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Гидрологический результат                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Строительство, эксплуатация водохранилищ и гидротехнических сооружений (ГТС) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нерациональное управление режимом работы водохранилищ до и в период прохождения максимального стока (экстренная сработка водохранилища, необоснованно полное раскрытие водосбросов)</li> <li>2. Образование заторов и зажоров в период формирования или разрушения ледяного покрова</li> <li>3. Уменьшение пропускной способности русла и поймы реки в результате образования русловых отложений в зоне выклинивания подпора от плотин на реках с повышенным стоком</li> <li>4. Стеснение живого сечения русла из-за недостаточной водопропускной способности искусственных сооружений (мостов, труб, пр.); в связи с проведением русловыправительных работ; строительством вдоль русловых дамб</li> <li>5. Образование временных водоемов (возможным их прорывом) при затрудненном оттоке поверхностного стока из-за отсутствия или недостаточной пропускной способности искусственных сооружений при строительстве насыпей дорог и других объектов; затрудненным поверхностным стоком из-за отсечения поймы дамбами обвалования</li> <li>6. Разрушение плотин и дамб в результате отказа водосбросных устройств или недостаточной их пропускной способности</li> <li>7. Хозяйственное освоение территорий пойм в нижних бьефах водохранилищ многолетнего регулирования стока, увеличивающее максимальный сток</li> <li>8. Нарушение естественного режима расхода и уровней вод в результате сезонного регулирования стока водохранилищ</li> </ol> | Поступление значительных объемов воды в водный объект. Повышение уровня вод в водоеме |
| Вырубка лесов                                                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уничтожение растительности – источника потребления поверхностного стока</li> <li>2. Повышение интенсивности смыва почв в водный объект</li> <li>3. Условия для возникновения речной эрозии, абразии</li> <li>4. Сокращение суммарного испарения из-за прекращения перехвата осадков лесной подстилкой и кронами деревьев</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Увеличение стока на 300 %                                                             |
| Сплав древесины                                                              | Загромождение русла древесиной (заломы) с вытеснением объемов вод из русла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | –//–                                                                                  |
| Осушение болот                                                               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ликвидация естественных аккумуляторов поверхностных сточных вод</li> <li>2. Смыв торфяных масс в водный объект</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Увеличение стока на 130–160 %                                                         |

**Окончание табл. 2**

| Антропогенные факторы паводков и наводнений                                                                                                                                                                                | Условия и причины формирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Гидрологический результат                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Стеснение живого сечения потока вод в результате сужения русла проточного водоема                                                                                                                                          | Размещение объектов (вдоль русловых дорог, мостовых переходов, набережных, стоянок судов, складов минеральных строительных материалов в акваториях, иных антропогенных источников, искусственное сужение русла, возведение искусственных островов) без учета гидрологических условий проточного водоема, без проведения оценки воздействия на окружающую среду (водные ресурсы и водоисточники)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Уменьшение пропускной способности русла и повышение уровня вод                             |
| Градостроительство (жизнеобеспечение, жилищно-социальная сфера, промышленность, энергетическая, дорожно-транспортная инфраструктура, канализование, пр.) в пределах зон санитарной охраны, водоохраных зон водного объекта | 1. Нарушение естественного поверхностного, подземного стоков водного объекта и впадающих проточных водоемов<br>2. Уменьшение инфильтрации сточных вод за счет увеличения площадей водонепроницаемых покрытий. Увеличение коэффициента стока и поверхности формирования стока с твердых покрытий, приводящее к росту объемов поступления поверхностных (ливневых, талых) вод в водный объект<br>3. Изменение гидрологического режима водоемов<br>4. Уменьшение инфильтрующих свойств почв<br>5. Повышение интенсивности смыва почв в водный объект<br>6. Поступление в водный объект отходов, иных продуктов жизнедеятельности<br>7. Усложненный поверхностный сток из-за недостаточной пропускной способности, засорения системы отвода стока<br>8. Залповые сбросы в результате аварийных прорывов коммуникаций (канализование, водопровод), а также авариях на очистных сооружениях | Подъем уровня загрязненных вод за счет роста объемов поверхностного стока до 1000 % и выше |
| Утечки из водонесущих коммуникаций                                                                                                                                                                                         | 1. По различным оценкам более 50-60 % водонесущих коммуникаций в границах населенных пунктов и вне их расположения морально и физически устарело, требуют замены или капремонта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Рост объема стока и подъем уровня вод                                                      |

Особую роль играют наличие и пропускная способность ливневой канализации городских территорий. Лишь менее 50 % населенных пунктов России и промышленных зон частично оборудованы такой канализацией с отводом и последующей очисткой загрязненного поверхностного стока. Ливневые пропускные решетки и каналы зачастую забиваются древесно-растительными, коммунальными, пищевыми остатками и частицами (особенно в зоне размещения торговых комплексов, рынков, кафе, мест стоянки и ожидания транспортных средств). В таких случаях система городского ливневого стока перестает работать в нормальном режиме, дренажная сеть

(если таковая предусмотрена) функционирует с перегрузкой, что приводит в результате к повышению уровня вод и далее – к подтоплениям и затоплениям.

Устройство продуманной в техническом и гидрологическом аспектах дождевой (ливневой) канализации в населенных пунктах приводит к нормализации отвода нарушенного застройкой поверхностного стока. Оптимальным проектным решением служит комплексный процесс размещения сетей канализования в сочетании с градостроительной планировкой. В части предупреждения подтоплений и затоплений ливневая канализация выполняет две важных функции: во-первых, регулирует

емый организованный прием и сброс поверхностных сточных вод; во-вторых, забор воды с дренажей, понижающих уровень подпора вод, способствующий оптимизации процессов сбора и отвода такого рода стоков с урбанизированной территории.

Утечки из водонесущих продуктопроводов также являются существенным источником образования процессов подтопления зон расположения населенных пунктов. Коммуникации водопроводно-канализационного хозяйства со временем приходят в негодность, разрушаются, и, как следствие, начинаются скрытые трудно обнаруживаемые подземные утечки. С большой долей частоты выявляются ситуации, при которых источник прорыва сети находят лишь после выхода воды на поверхность через значительное время после момента начала скрытой утечки вод. В ряде случаев новые водопроводно-канализационные сети лишаются герметичности, особенно на стыковых поверхностях и переходах. На это влияет множество технических и иных причин, в том числе качество изделия и соблюдение технических требований при установке.

Имеются попытки статистически прогнозировать подтопление, однако при этом до сих пор различные по степени упреждения прогнозы подтопления проводят аналоговым методом с помощью математического и компьютерного моделирования процессов. В ходе изысканий анализируется параметр добавочной инфильтрации влаги, которая способствует поднятию уровня грунтовых вод. На основе этого индикатора разрабатывается прогноз подтопления. Означенные индикаторы с определенной степенью достоверности могут быть обоснованно установлены только на основе осуществления комплексного мониторинга (инженерного, фоновое экологического, геотехнического), организации сети постоянных наблюдений за уровнем грунтовых вод на урбанизированной территории.

Таким образом, процесс урбанизации и сопряженный с ним человеческий фактор в части несоблюдения, нарушения экологических, градостроительных, технических, санитарных норм, требований, правил, нормативов становится основным техносферным (антропогенным) фактором возникновения и развития паводков, подтоплений и наводнений в качестве ЧС с опасными экологическими, социально-экономическими и иными последствиями.

По результатам системного анализа поднятой научной проблемы следует подчеркнуть, что подтопления и наводнения, как пра-

вило, вызываются несколькими основаниями, имеющими взаимосвязанный характер.

Одним из основных путей решения проблемы предупреждения паводков, наводнений, подтоплений, затоплений и их неблагоприятных последствий является создание и поэтапное перспективное развитие государственной системы комплексного мониторинга всей окружающей человека среды.

В настоящее время действующая система фоновое экологического мониторинга может быть охарактеризована как комплекс повторяющихся измерений показателей в живых и неживых компонентах природы, реализуемых постами наблюдений, специализированных на конкретных природных средах и природных компонентах. Функционирующая отдельно система инженерно-технического мониторинга реализует наблюдения за инженерно-техническими элементами объектов, изменениями в них.

Функционирующий в теории комплексный мониторинг является частью федерального и регионального мониторинга и по смыслу должен охватывать в комплексе санитарно-гигиенический, фоновый экологический, геотехнический, инженерный мониторинг.

При оценке необходимости предупреждения и смягчения отрицательных последствий негативных или опасных явлений в природе основным становится вопрос: существует ли опасный предел таких изменений, который может привести к возникновению неблагоприятных для человека ситуаций, их перерастания в ЧС, в том числе разрушению сложившейся климатической системы или весьма серьезным последствиям для человека и биосферы.

При организации фоновое экологического мониторинга для принятия последующих организационно-технических и управленческих решений по предупреждению подтоплений и наводнений целесообразно осуществлять постоянные гидрометеорологические наблюдения и определения загрязняющих веществ в водной среде.

В процессе мониторинга вод до и после прохождения наводнений и паводков, углубленные исследования проводятся в части оценки и анализа состояния водных объектов, в том числе: уровня грунтовых вод, состояния ледяного покрова, распространения видов и классов водной растительности, идентификации и оценки количеств загрязнителей вод, показателей гидрометеорологического и гидрологического режима.

С общепринятых позиций инженерно-строительный мониторинг проводится в целях

непрерывного отслеживания территорий предполагаемого строительства промышленных и энергетических предприятий путем систематических наблюдений за состоянием городской инфраструктуры (каналы, здания, сооружения, строения, техника, инженерные системы, водоочистка), в части анализа паводковой ситуации и подтоплений исследованию подлежат площадь твердых покрытий, организация ливнестока, функционирование водопроводно-канализационных сетей, регулирование стока и подземных рек и ручьев. В целях консолидации в единое целое государственной системы наблюдений, инструментального (лабораторного) контроля и мониторинга следует унифицировать всю систему мониторинга и инструментальных наблюдений за состоянием указанных составляющих окружающей среды. С рассматриваемых позиций задачей мониторинга является определение степени влияния антропогенных (техногенных) источников возможной ЧС на данный объект и зависимую территорию, определяя возможность наступления неблагоприятных и чрезвычайных ситуаций и их последствий. Такой мониторинг организуется и начинается наиболее заблаговременно, не позднее стадии начала разработки предпроектной документации технического проекта планируемого объекта, и продолжится в период строительства и ввода объекта в эксплуатацию. К сожалению, на настоящий момент острейшая проблема состоит в том, что все виды мониторинга разрозненно действуют и рассредоточены в различных органах исполнительной власти, ни о какой координации и комплексности единой сети непрерывных наблюдений говорить не

приходится. С позиций обеспечения создания и устойчивого развития единой системы государственных наблюдений за состоянием окружающей среды предлагается:

1. Создание государственного центра комплексного мониторинга (фоновое экологическое, инженерное, санитарно-гигиеническое и геотехническое), упорядочение деятельности в этом направлении соответствующих региональных и ведомственных служб, в том числе для проведения единой регулятивно-правовой и технической политики в рассматриваемой сфере.

2. Законодательное обеспечение функционирования единой федеральной системы мониторинга.

3. Разработка документов по стандартизации, определяющих терминологию, порядок проведения, участников комплексного мониторинга.

По результатам проведенного исследования даны предложения по организации системы мониторинга природных и техногенных ЧС с участием федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ).

Выделенные и систематизированные взаимосвязанные функции, предопределяющие участие ФОИВ в единой системе комплексного мониторинга в рамках системы РСЧС, в структурированном виде представлены в табл. 3.

Проведенный анализ функций и полномочий федеральных органов исполнительной власти, участников РСЧС образует по сути информационно-аналитическую базу формирования конфигурации комплексной системы мониторинга природных и техногенных ЧС.

**Таблица 3.** Предложения по организации системы мониторинга ЧС с участием федеральных органов исполнительной власти в соответствии с возложенными на них функциями и полномочиями

**Table 3.** Proposals for the organization of an emergency monitoring system with the participation of federal executive authorities in accordance with the functions and powers assigned to them

| ФОИВ            | Функции и полномочия в области отдельных видов мониторинга, прогнозирования, ведения информационных баз данных, установленные Положениями о ФОИВ | Участие в системе мониторинга и прогнозирования ЧС (согласно критериям отнесения событий к ЧС)         |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Росприроднадзор | качества атмосферного воздуха; состояния и загрязнения окружающей среды                                                                          | 1.3. Аварии на системах жизнеобеспечения<br>1.4. Аварии с выбросом, сбросом опасных химических веществ |

Продолжение табл. 3

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ФОИВ             | Функции и полномочия в области отдельных видов мониторинга, прогнозирования, ведения информационных баз данных, установленные Положениями о ФОИВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Участие в системе мониторинга и прогнозирования ЧС (согласно критериям отнесения событий к ЧС)                                                                                                               |
| Ростехнадзор     | состояния защищенности химически опасных производственных объектов; состояния антитеррористической защищенности гидротехнических сооружений; состояния антитеррористической защищенности критически важных опасных производственных объектов; состояния защищенности опасных производственных объектов химического профиля                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.2. Взрывы (в том числе с последующим горением) и (или) разрушения (обрушения) в зданиях и сооружениях<br>1.4.<br>1.5. Аварии с разливом (выбросом) нефти (нефтепродуктов)<br>1.7. Гидродинамические аварии |
| Роснедра         | подземных вод; опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов; месторождений углеводородов, твердых полезных ископаемых; участков недр, используемых для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых; участков недр, испытывающих воздействие хозяйственной деятельности, не связанной с недропользованием; геологической среды континентального шельфа; прогноз изменения геологической среды                                                                                                                                                                       | 1.2.6. Аварии на объектах ведения горных работ;<br>1.5.<br>2.1 Опасные геофизические явления<br>2.2. Опасные геологические явления<br>2.5. Опасные гидрологические явления                                   |
| Росгидромет      | состояния и загрязнения окружающей среды в районах расположения опасных производственных объектов биологического и химического профиля; участвует в создании и функционировании систем аварийного реагирования на опасных производственных объектах биологического и химического профиля в части подготовки и предоставления оперативной и прогностической информации о масштабах и уровнях загрязнения окружающей среды и возможных его последствиях; обеспечивает органы власти, население информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей среды и ее загрязнении | 1.3; 1.4; 2.5<br>2.3. Опасные метеорологические явления<br>2.4. Морские опасные гидрометеорологические явления                                                                                               |
| Рослесхоз        | лесопатологический – лесов, включая выявление факторов, негативно воздействующих на состояние и воспроизводство лесов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2.6. Опасные явления в лесах                                                                                                                                                                                 |
| Россельхознадзор | карантинного фитосанитарного состояния территории РФ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2.9. Биологическая опасность                                                                                                                                                                                 |

### Окончание табл. 3

| ФОИВ            | Функции и полномочия в области отдельных видов мониторинга, прогнозирования, ведения информационных баз данных, установленные Положениями о ФОИВ                                                                                                                                             | Участие в системе мониторинга и прогнозирования ЧС (согласно критериям отнесения событий к ЧС) |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Роспотребнадзор | опасных для человека природных биологических агентов и химических веществ, а также вызываемых ими заболеваний с целью прогнозирования биологических и химических опасностей; санитарно-эпидемиологический; причинно-следственных связей между состоянием здоровья людей и средой их обитания | 1.3; 1.4; 2.9                                                                                  |
| Минсельхоз      | земель сельскохозяйственного назначения                                                                                                                                                                                                                                                      | 2.3                                                                                            |
| Минэнерго       | мониторинг в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности                                                                                                                                                                                                               | 1.3; 2.3                                                                                       |
| Ространснадзор  | контроль и надзор за соблюдением законодательства о гражданской авиации; торговом мореплавании; внутреннем водном транспорте; безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта; транспортной безопасности; перевозке опасных грузов автомобильным транспортом                | 1.1. Транспортные аварии                                                                       |
| Росводресурсы   | разработку автоматизированных систем сбора, обработки, анализа, хранения и выдачи информации о состоянии водных объектов, водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод; ведение государственного водного реестра                                                                    | 1.7; 2.5.                                                                                      |

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка систем комплексного мониторинга на основе системного анализа и учета антропогенных факторов возникновения подтоплений, затоплений территорий населенных пунктов является важнейшим инструментом обеспечения экологической безопасности, представляется новым научным направлением исследований в области решения проблем устойчивого развития населенных пунктов и территорий, является значимой научно-технической задачей на современном

этапе социально-экономического развития России. Таким образом, по мнению авторов внедрение предлагаемой системы комплексного мониторинга, в части трансформации функциональной подсистемы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС повлечет за собой предотвращение или смягчение опасных экологических, социально-экономических и иных последствий для жизнедеятельности населения, состояния окружающей среды и устойчивого развития объектов экономики.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 6–11. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.

2. Ниязгулов У.Д., Цховребов Э.С. Формирование комплексной системы обращения и геоинформационных систем мониторинга отходов // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 12 (151). С. 56–61. EDN: YOOMVO.
3. Velichko E., Tshovrebov E., Niyazgulov U. Organizational, technical and economic fundamentals of waste management and monitoring // Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. E3S Web of Conferences (Moscow, 20–22 November 2019). France: EDP Sciences, 2020. P. 08031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408031>. EDN: ICANYZ.
4. Цховребов Э.С., Костарев С.Н. Прогнозирование экологических угроз, возникающих при эксплуатации объектов строительства и городского хозяйства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 1 (769). С. 95–108. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-769-1-95-108>. EDN: MZHGNY.
5. Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 114–126. EDN: BFHLEX.
6. Ниязгулов У.Д., Цховребов Э.С., Юрьев К.В. Методы мониторинга водных экологических систем и биоресурсов // Вестник Тувинского государственного университета. № 2 Естественные и сельскохозяйственные науки. 2014. № 2. С. 114–119. EDN: SFAERZ.
7. Цховребов Э.С. Проблемы охраны поверхностных водных объектов при строительстве // ЭКОСинформ. 2008. № 12. С. 50–54. EDN: XPEQEP.
8. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже 21 века // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 4. С. 291–302.
9. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: Геос, 2006. 256 с. EDN: YNNHUX.
10. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 183 с.
11. Раткович Д.Я., Раткович Л.Д. Типы наводнений и пути сокращения наносимых ими ущербов // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 3. С. 261–266.
12. Авакян А.Б. Наводнения в прошлом, настоящем и будущем: концепция защиты // Использование и охрана водных ресурсов в России. 2001. № 10. С. 43–49. EDN: USROTO.
13. Калинина М.Н., Орлов Е.В. Затопление городской территории // Системные технологии. 2018. № 4 (29). С. 120–123. EDN: YRSCKT.
14. Пупырев Е.И. Системы жизнеобеспечения городов. Москва: Наука, 2006. 274 с.
15. Дерюгин Г.К., Наумов О.С. Разрушение плотин в связи с пропуском сбросных расходов // Гидротехническое строительство. 1995. № 7. С. 30–33.
16. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений: проблемы безопасности: монография. М.: Наука, 2005. 354 с. EDN: QMISRX.
17. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Каримов А.М., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Концепция биосферной совместимости как основа доктрины градоустройства и расселения // Стратегические приоритеты. 2014. № 1 (1). С. 71–84. EDN: TWOJYB.
18. Графкина М.В., Потапов А.Д. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 23–28. EDN: MVHAJP.
19. Slesarev M., Makarova A. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters // Revista Inclusiones. 2020. Vol. 7. P. 477–488.
20. Акимов В.А., Лесных В.В., Рязанов Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.
21. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Оценка ущерба от чрезвычайной ситуации в условиях неполных данных // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 32–36. EDN: ZUSCWO.
22. Щеглов А.Н., Жалнин К.Ю., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В., Часнавичус Ю.К., и др. О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 78–83. EDN: MXDHWZ.
23. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (Sochi, 06–12 September 2020). IOP Publ. Ltd, 2020. Vol. 962, Iss. 4. P. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ
24. Щеглов А.Н., Жалнин К.Ю., Радионов Г.П., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В., и др. Результаты расчетов гидрологических параметров для оценки риска чрезвычайных ситуаций на неизученных территориях на основе моделирования катастрофических наводнений // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 4 (74). С. 11–19. EDN: MLTITI.

25. Goldstein B.P., Rasmussen F.N. LCA of Buildings and the Built Environment // Life Cycle Assessment / M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). Cham: Springer, 2018. Chapter 28. P. 695–720. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28).
26. Yongqiang Zong, Xiqing Chen. The 1998 Flood on the Yangtze, China // Natural Hazards. 2000. Vol. 22. P. 165–184.
27. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future. A Report of the int. resource panel. united nations environment programme. Nairobi, 2020. 38 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3542680>.
28. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Природные и антропогенные причины наводнений // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т. 3. № 1 (4). С. 269–281. EDN: PXKSHV.
29. Авакян А.Б., Полюшкин А.А. Антропогенные факторы наводнений // Водные ресурсы. 1989. № 3. С. 5–13.
30. Авакян А.Б., Полюшкин А.А. Наводнения и защита от них // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1990. Вып. 9. С. 76–111.

## REFERENCES

1. Suzdaleva A.L. Ecological globalistics and sustainable development at the stage of technogenic transformation of the biosphere. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2020;1:6-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.
2. Niyazgulov U.D., Tshovrebov E.S. The formation of an integrated management system and geoinformational monitoring systems waste transport construction. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2017;12:56-61. (In Russ.). EDN: YOOMVO.
3. Velichko E., Tshovrebov E., Niyazgulov U. Organizational, technical and economic fundamentals of waste management and monitoring. In: *Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. E3S Web of Conferences*. 20-22 November 2019, Moscow. France: EDP Sciences; 2020. p. 08031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408031>. EDN: ICANYZ.
4. Tshovrebov E.S., Kostarev S.N. Forecasting of environmental threats arising during the operation of construction and urban facilities. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. construction*. 2023;1:95-108. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-769-1-95-108>. EDN: MZHGHI.
5. Tshovrebov E.S., Gordienko A.N. A method for assessing environmental threats and risks in the operation of technosphere objects. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of technosphere risk management*. 2023;1:114-126. (In Russ.). EDN: BFHLEX.
6. Niyazgulov U., Tshovrebov E., Yuriev K. Methods for monitoring aquatic ecosystems and bioresources. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. №2 Estestvennye i sel'skokhozyaistvennye nauki*. 2014;2:114-119. (In Russ.). EDN: SFAERZ.
7. Tshovrebov E.S. Problems of protection of surface water bodies during construction. *EKOSinform*. 2008;12:50-54. (In Russ.). EDN: XPEQEP.
8. Osipov V.I. Natural disasters at the turn of the 21st century. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2001;71(4):291-302. (In Russ.).
9. Dobrovolskii S.G., Istomina M.N. Floods of the world. Moscow: Geos; 2006. 256 p. (In Russ.). EDN: YHNHUX.
10. Nezhikhovskii R.A. Floods on rivers and lakes. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1988. 183 p. (In Russ.).
11. Ratkovich D.Ya., Ratkovich L.D. Water supply issues of the day. *Vodnye resursy*. 2000;27(3):261-266. (In Russ.).
12. Avakian A.B. Floods in the past, present and future: the concept of protection. *Ispol'zovanie i okhrana vodnykh resursov v Rossii*. 2001;10:43-49. (In Russ.). EDN: USROTO.
13. Kalinina M.N., Orlov E.V. Flooding urban territory. *Sistemnye tekhnologii*. 2018;4:120-123. (In Russ.). EDN: YRSCKT.
14. Pupyrev E.I. Life support systems of cities. Moscow: Nauka; 2006. 274 p. (In Russ.).
15. Deryugin G.K., Naumov O.S. Destruction of dams in connection with the passage of discharge costs. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 1995;7:30-33. (In Russ.).
16. Malik L.K. Risk factors for damage to hydraulic structures: safety issues. Moscow: Nauka; 2005. 354 p. (In Russ.). EDN: QMISRX.
17. Ilyichev V.A., Emelianov S.G., Kolchunov V.I., Karimov A.M., Gordon V.A., Bakaeva N.V. The conception of biosphere compatibility as basis of town-planning and settling doctrine. *Strategicheskie priority*. 2014;1:71-84. (In Russ.). EDN: TWOJYB.

18. Grafkina M.V., Potapov A.D. The analysis of ecologic safety of building systems is a nature-technical complex (theoretical basis). *Vestnik MGSU*. 2008;1:23-28 (In Russ). EDN: MVHAJP.
19. Slesarev M., Makarova A. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters. *Revista Inclusiones*. 2020;7:477-488. (In Russ.).
20. Akimov V.A., Lesnyh V.V., Ryazaev N.N. *Basis of analysis and management of risks in a nature and tehnogenion spheres*. Moscow: Business express; 2004. 352 p. (In Russ.).
21. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Moshkov V.B., Oltyan I.Yu., Niyazova Ju.M. Emergency situation damage assessment in the conditions of incomplete data. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*. 2022;19(3):32-36. (In Russ). EDN: ZUSCWO.
22. Shcheglov A.N., Zhalnin K.Yu., Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V., Chiasnavichius Ju.K. On the method of forecasting catastrophic floods parameters in unexplored territories to assess the risk of emergencies. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*. 2022;19(3):78-83. (In Russ.). EDN: MXDHWZ.
23. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. 06-12 September 2020, Sochi. IOP Publ. Ltd; 2020. Vol. 962, Iss. 4. p. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ.
24. Shcheglov A.N., Zhalnin K.Yu., Radionov G.P., Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V., Chiasnavichius JU.K. Estimation results of hydrological parameters for assessing risk of emergencies in unexplored areas based on catastrophic floods modeling. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*. 2022;19(4):11-19. (In Russ.). EDN: MLTITI.
25. Goldstein B.P., Rasmussen F.N. LCA of Buildings and the Built Environment. In: *Life Cycle Assess-ment*. M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). Cham: Springer; 2018. Chapter 28. P. 695–720. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28).
26. Yongqiang Zong, Xiqing Chen. The 1998 Flood on the Yangtze, China. *Natural Hazards*. 2000;22:165-184.
27. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future. A Report of the int. resource panel. united nations environment programme. Nairobi, 2020. 38 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3542680>.
28. Avakian A.B., Istomina M.N. Natural and anthropogenic causes of floods. *Strategiya grazhdanskoi zashchity: problemy i issledovaniya*. 2013;3(1):269-281. (In Russ.). EDN: PXKSHV.
29. Avakian A.B., Polyushkin A.A. Anthropogenic factors of floods. *Vodnye resursy*. 1989;3:5-13. (In Russ.).
30. Avakian A.B., Polyushkin A.A. Floods and protection from them. *Problems of the environment and natural resources*. 1990;9:76-111. (In Russ.).

**Информация об авторах**

**Цховребов Эдуард Станиславович**,  
к.э.н., доцент,  
старший научный сотрудник,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт по проблемам гражданской обороны  
и чрезвычайных ситуаций МЧС России  
(Федеральный центр науки  
и высоких технологий),  
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,  
Россия,  
✉e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>  
Author ID: 470064

**Ниязгулов Урал Давлетшиевич**,  
к.э.н., профессор кафедры геодезии,  
геоинформатики и навигации,  
Российский университет транспорта,  
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, Россия  
e-mail: transgeo@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>  
Author ID: 932331

**Information about the authors**

**Eduard S. Tshovrebov**,  
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,  
Senior Researcher,  
All-Russian Scientific Research Institute  
for Civil Defence and Emergencies  
of the EMERCOM of Russia  
(Federal Science and High Technology  
Center),  
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,  
Russia,  
✉e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>  
Author ID: 470064

**Ural D. Niyazgulov**,  
Cand. Sci. (Econ.), Professor of the Department  
of Geodesy, Geoinformatics and Navigation,  
Russian University of Transport,  
9 Obrastsova St., Moscow 127994, Russia,  
e-mail: transgeo@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>  
Author ID: 932331

**Сергеев Евгений Борисович,**

научный сотрудник,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт по проблемам гражданской  
обороны и чрезвычайных ситуаций  
МЧС России (Федеральный центр науки  
и высоких технологий),  
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,  
Россия,  
e-mail: [alik574@mail.ru](mailto:alik574@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-2813-2600>  
Author ID: 1082860

**Прус Юрий Витальевич,**

д. физ.-мат. н., профессор,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт по проблемам гражданской  
обороны и чрезвычайных ситуаций  
МЧС России (Федеральный центр науки  
и высоких технологий),  
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,  
Россия,  
e-mail: [prus.y@gubkin.ru](mailto:prus.y@gubkin.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-9781-9458>  
Author ID: 13514

**Evgeniy B. Sergeev,**

Research Associate,  
All-Russian Scientific Research Institute  
for Civil Defence and Emergencies  
of the EMERCOM of Russia  
(Federal Science  
and High Technology Center),  
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,  
Russia,  
e-mail: [alik574@mail.ru](mailto:alik574@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-2813-2600>  
Author ID: 1082860

**Yuriy V. Prus,**

Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor,  
All-Russian Scientific Research Institute  
for Civil Defence and Emergencies  
of the EMERCOM of Russia  
(Federal Science  
and High Technology Center),  
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,  
Russia,  
e-mail: [prus.y@gubkin.ru](mailto:prus.y@gubkin.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-9781-9458>  
Author ID: 13514

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 01.12.2023.  
Одобрена после рецензирования 14.12.2023.  
Принята к публикации 19.12.2023.

**Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

**Information about the article**

The article was submitted 01.12.2023.  
Approved after reviewing 14.12.2023.  
Accepted for publication 19.12.2023.