УДК 519.23 DOI: http://doi.org/10.25728/pu.2022.3.2

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА[1]

В.В. Москвичев, У.С. Постникова, О.В. Тасейко

Аннотация. Предложен алгоритм принятия управленческих решений на основе разработанной методики оценки рисков с применением методов многомерного статистического анализа. Предложенная методика позволяет получить расчетные значения приемлемого уровня риска, которые могут быть использованы при разработке нормативных документов. Алгоритм принятия решений интегрирован в информационную систему территориального управления рисками и безопасностью. В качестве объекта исследования выбраны промышленные агломерации Сибири, для которых были проанализированы основные виды техногенных опасностей. Для получения количественной оценки комплексного техногенного территориального риска использовались данные о числе техногенных опасных событий, чрезвычайных ситуациях и гибели людей из официальной базы данных МЧС России. В результате анализа факторов риска было определено, что основная техногенная нагрузка на рассматриваемых территориальных образованиях связана с пожаровзрывоопасными событиями. Решение обратной задачи позволило выявить необходимость выработки мер в отношении факторов риска для достижения его приемлемого уровня. Задача минимизации комплексного техногенного территориального риска связана с двухкритериальной задачей управления: необходимо минимизировать количество летальных исходов и сумму ущерба. Для решения указанной задачи по результатам применения рассматриваемого подхода комплексной оценки рисков предложены превентивные мероприятия по повышению безопасности территории.

Ключевые слова: социально-природно-техногенная система, территориальный риск, управление.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие территорий основывается на соблюдении баланса между экономическим ростом, безопасностью, социальной ответственностью и экологической обстановкой. Для осуществления эффективного управления территориальные образования целесообразно анализировать с точки зрения концепции социально-природно-техногенной (СПТ) системы [1–5], которая представляется единым комплексом взаимосвязанных элементов социо-эко-техносферы и характеризуется наличием различных групп рисков [2, 6, 7]. При наличии опасных природных процессов и росте числа сложных техногенных систем условия развития территориальных образований связаны с реализацией, выявлением и минимизацией рисков[2]. Требования по идентификации, оценке и управлению рисками закреплены в федеральных законах [8–10], а необходимость противостояния факторам, создающим прямую или косвенную возможность причинения ущерба национальным интересам отражена в указах Президента РФ [11, 12].

Для комплексного решения задач управления на разных уровнях и в различных областях создаются интеллектуальные системы, позволяющие интегрировать, хранить и обрабатывать значительные потоки информации. За последние годы в России и за рубежом создано множество программных комплексов и систем, позволяющих обрабатывать поступающую в ходе мониторинга информацию [13–28], однако такие системы имеют узкоспециа-

[1] Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ НШ-421.2022.4.

[2] Риск – количественная мера опасности, характеризующая одновременно процессы возникновения неблагоприятных явлений, событий или процессов в сложной социально-природно-техногенной системе и тяжесть их последствий [29].

лизированную направленность. В условиях быстрорастущих объемов и потоков информации комплексная оценка состояния СПТ систем представляет собой сложную научно-прикладную задачу, решить которую можно путем создания информационно-аналитических систем с реализацией возможности оценки рисков.

Наибольшую опасность[3] для жизни и здоровья человека представляют техногенные аварии и катастрофы, характеризующие такую компоненту СПТ системы, как техносфера. Нарушения технологических, управленческих и организационных процессов в промышленной и административной деятельности приводят к появлению широкого спектра техногенных опасных событий: аварии на транспорте, взрывы и крупные пожары, обрушения несущих конструкций, аварии с выбросом аварийно-химически опасных и радиационно-опасных веществ (АХОВ и РВ), разрушения магистральных трубопроводов, аварии на системах жизнеобеспечения (электроэнергетические системы, коммунальные системы и тепловые сети).

1. АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Предметом исследования является анализ состояния и оценка уровня техногенной нагрузки в крупных промышленных центрах Сибирского федерального округа – Красноярске, Новосибирске, Омске. Наибольшую опасность на рассматриваемых территориях представляют все виды пожаров, крупные ДТП и аварии на системах жизнеобеспечения.

Процессы урбанизации и рост промышленности в городах оказывают негативное влияние на экологическую и социальную безопасность, под их влиянием формируется ряд проблем, требующих постоянного внимания органов государственной власти и местного самоуправления:

– высокая концентрация источников потенциальной опасности на ограниченных территориях (предприятия ядерного цикла, военно-промышленный комплекс, трубопроводы, нефте- и газохранилища, гидроэлектростанции, химические и металлургические производства и др.);

– повышение вероятности возникновения аварийных ситуаций из-за высокой изношенности основных производственных фондов;

– факторы, связанные с низкой культурой безопасности.

На сегодняшний день одной из основных задач является повышение устойчивости развития и функционирования территориальных образований посредством эффективного управления. Для решения данной задачи предлагается использовать информационную систему территориального управления рисками и безопасностью (ИСТУ РБ) [1], которая предназначена для выявления территориальных рисков и минимизации их до научно обоснованных приемлемых уровней[4]. Система позволяет интегрировать накопленный опыт в области сетевого мониторинга состояния окружающей среды и техносферы, технологий анализа больших объемов информации, теории безопасности и риска, механизмов территориального управления и методов прогнозирования социально-экономического развития.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНОГЕННОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА

Оценка комплексного техногенного территориального риска и предельного состояния объектов техносферы как элемента СПТ системы проводилась с помощью метода иерархического кластерного анализа [5, 31], который позволил разбить территории СФО на группы кластеров и выбрать для сравнения эталонную группу с последующим определением приемлемого уровня риска.

Иерархический кластерный анализ позволяет объединять в группы объекты, имеющие схожие характеристики. На первом шаге каждый объект (территориальное образование) выборки рассматривается как отдельный кластер. Процесс объединения кластеров происходит последовательно: объединяются наиболее близкие объекты. Классификация объектов проводится на основе сходства между ними, которое, в свою очередь, устанавливаются в зависимости от метрического расстояния между классифицируемыми объектами. Каждый объект описывается k признаками и представляется как точка в k-мерном пространстве, его сход-

[3] *Опасность* – объективно существующая возможность негативного воздействия на объект или процесс, в результате которого может быть причинен какой-либо ущерб, вред, ухудшающий состояние, придающий развитию нежелательные динамику или параметры (характер, темпы, формы и т.д.) [30].

[4] *Приемлемый уровень риска* – научно обоснованное количественное значение риска, которое может быть принято человеком, обществом и государством на данном отрезке времени [29].

ство с другими объектами будет определяться как соответствующее расстояние (метрика). Если матрица сходства первоначально имеет размерность $m \times m$, то полностью процесс кластеризации завершается за m–1 шагов, в итоге все объекты будут объединены в один кластер.

Метод оценки риска на основе кластерного анализа состоит из восьми этапов.

Этап 1 – формулировка проблемы. Стоит задача анализа техногенной безопасности городов СФО с численностью населения более 70 тыс. чел. согласно классификации муниципальных образований [32].

Этап 2. Выбираются количественные показатели, на основании которых проводится анализ (статистические данные официальной базы автоматизированной информационно-управляющей системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (АИУС РСЧС) за период 1999–2020 гг.).

Этап 3. Исходные показатели представляются в виде количественных значений уязвимости[5], имеющих вероятностную природу, которые изменяются в диапазоне от нуля до единицы, что позволяет проводить деление на городов на группы кластеров:

$$\vartheta = \{p_a; p_f; p_e\}, \qquad (1)$$

где ϑ – уязвимость территории; p_a – вероятность возникновения опасного события; p_f – вероятность гибели при определенном опасном событии; p_e – вероятность возникновения ЧС.

Этап 4 связан с определением расстояния между объектами в условном многомерном пространстве. В качестве меры расстояния между двумя точками (характеризующего близость или подобие (схожесть) объектов), образованными координатными осями x и y, наиболее часто используются Евклидово расстояние, квадрат Евклидового расстояния, расстояние городских кварталов (Манхэттенское) и расстояние Чебышева. Для обоснования корректности деления на кластеры применяют разные меры расстояния. Однотипное распределение кластеров, полученное с использованием различных методов определения расстояния, подтверждает обоснованность выбранного метода классификации.

Этап 5. Выбирается метод кластеризации (способ вычисления расстояний между кластерами). Для объектов, имеющих «размытую» структуру с нечетко выраженными «сгущениями», наилучшим образом подходит метод Варда. В результате применения данного метода формируются небольшие по размеру и компактные кластеры. Данный метод кластеризации предполагает, что на первом шаге каждый кластер состоит из одного объекта. Далее объединяются два ближайших кластера. Для них определяются средние значения каждого признака и рассчитывается сумма квадратов отклонений V_k

$$V_k = \sum_{i=1}^{n_k}\sum_{j=1}^{p}\left(x_{ij} - \overline{x}_{jk}\right)^2,$$

где k – номер кластера; i – номер объекта; j – номер признака; p – количество признаков, характеризующих каждый объект; n_k – количество объектов в k-м кластере; $\overline{x}_{jk}$ – среднее значение j-го признака в k-м кластере; x_{ij} – значение j-го признака для i-го объекта.

В одну группу объединяются те кластеры, которые дают наименьший прирост общей суммы расстояний.

Этап 6 – определение количества кластеров иерархического дерева. В настоящей работе для определения числа кластеров использовался метод k-means. Он позволяет задавать количество кластеров (2, 3, 4 и т. д.) и последовательно проверять деление иерархического дерева.

Этап 7 связан с количественной оценкой техногенных рисков для каждой группы кластеров. Оценка комплексного техногенного территориального риска определяется по формуле (2) и учитывает весь перечень опасностей на рассматриваемой территории и размеры ущерба, связанные с данными опасными событиями:

$$R_c = \sum_{i=1}^{n} N_i\left(Q_i\right) P_i\left(Q_i\right) U_i\left(N_i, Q_i\right),$$

$$R_c \le [R], \qquad (2)$$

где R_c – комплексный техногенный территориальный риск (далее по тексту значение риска); n – число видов опасностей; $N_i\left(Q_i\right)$ – вероятность гибели людей (число погибших, деленное на численность населения) из-за реализации различных видов опасностей; $P_i\left(Q_i\right)$ – вероятность наступления опасного события на рассматриваемой терри-

[5] *Уязвимость* – системный параметр, характеризующий возможность нанесения описываемой системе повреждений любой природы [33], для территориальных образований уязвимость, характеризуется степенью возможных потерь, которые могут произойти при воздействии какого-либо негативного процесса или явления определенной величины [30].

тории в единицу времени; $U_i(N_i, Q_i)$ – материальный ущерб от источника опасностей и числа человеческих жертв, руб; $[R]$ – приемлемый уровень риска, руб./год.

Этап 8. Выбирается эталонная группа кластеров, имеющая наименьшее значение риска. Расчетный приемлемый уровень риска определялся как доверительный интервал по эталонной группе [5, 31]. Для крупных городов Сибири с численностью населения более 70 тыс. чел. расчетный приемлемый уровень риска соответствует интервальному значению [0; 2,1].

При выявлении высокого значения риска требуется дополнительный анализ данных. Для этого наилучшим образом подходит метод решения обратных задач, который позволяет определить доминирующие факторы, влияющие на значение риска, и выявить параметры, которые нуждаются в управлении. В оптимальных условиях в рамках концепции ненулевого риска суммарное значение комплексного техногенного территориального риска по различным видам техногенных событий не должно превышать приемлемого:

$$R_C = \sum_{i=1}^{n} R_{C_i} = R_{C_1} + R_{C_2} \ldots + R_{C_n}$$

$$R_{C_1} \ll [R];\ R_{C_2} \ll [R]; \ldots R_{C_n} \ll [R], \qquad (3)$$

где R_{C_i} – комплексный техногенный территориальный риск, возникающий из-за реализации событий определенного вида.

Определив доминирующие факторы, необходимо проводить мероприятия, направленные на минимизацию значения выявленного вида риска. Методы риск-менеджмента представляют собой направленные действия по снижению опасностей и их последствий. Минимизация значения риска в соответствии с формулой (2) связана с двухкритериальной задачей управления – необходимо минимизировать количество фатальных исходов $F(N_i)$ и ущерб $F(U_i)$:

$$\begin{cases} F_1(N_i) \to \min, \\ F_2(U_i) \to \min. \end{cases}$$

Накладывая на один из критериев ограничение C, получаем две задачи оптимизации:

$$\begin{cases} F_1(N_i) \to \min, \\ F_2(U_i) \le C_1, \end{cases} \quad \begin{cases} F_2(U_i) \to \min, \\ F_1(N_i) \le C_2. \end{cases} \qquad (4)$$

Быстрое реагирование на аварийную ситуацию, позволяющее снизить материальные потери, напрямую зависит от числа пожарно-спасательных формирований, а наличие достаточного количества медицинских учреждений позволяет уменьшить количество летальных исходов. Одной из задач, которую необходимо решить в целях разработки мер по повышению защищенности, является количественная оценка обеспеченности территориального образования необходимым числом медицинских учреждений и пожарно-спасательных формирований $Z_{(\tau)}$:

$$Z_{(\tau)} = \left(\frac{N^{\Phi}_{\text{ПЧ}} + N^{\Phi}_{\text{МУ}}}{N^{\text{Н}}_{\text{ПЧ}} + N^{\text{Н}}_{\text{МУ}}} \right) \cdot 100 \ge 100\ \%, \qquad (5)$$

где $N^{\Phi}_{\text{ПЧ}}$ – фактическое количество пожарно-спасательных формирований на рассматриваемой территории; $N^{\text{Н}}_{\text{ПЧ}}$ – нормативное количество пожарно-спасательных формирований на рассматриваемой территории; $N^{\Phi}_{\text{МУ}}$ – фактическое количество медицинских учреждений на рассматриваемой территории; $N^{\text{Н}}_{\text{МУ}}$ – нормативное количество медицинских учреждений на рассматриваемой территории.

Территория является защищенной, когда фактические и нормативные значения количества медицинских учреждений и пожарно-спасательных формирований равны или фактическое количество больше нормативного, при таких условиях $Z_{(\tau)}$ принимается ≥ 100 %. Расчет нормативного значения пожарно-спасательных формирований основывается на определении нормативной численности личного состава подразделений пожарной охраны, привлекаемых к спасательным работам, и типовой штатной структуре:

$$N^{\text{Н}}_{\text{ПЧ}} = \frac{N_{\text{нас}}}{N_{\text{ПФ}} N_{\text{шт}}}, \qquad (6)$$

где $N_{\text{нас}}$ – численность населения на рассматриваемой территории; $N_{\text{ПФ}}$ – численность населения, приходящегося на одного сотрудника пожарно-спасательного формирования (ПФ); $N_{\text{шт}}$ – типовое штатное количество спасателей в ПФ.

Для определения численности населения, приходящегося на одного сотрудника ПФ, применяется формула [34]

$$N_{\text{ПФ}} = 0,036757 \cdot P\left(0,036648 + 98,781 \cdot P^{-0,44823}\right)^2, \qquad (7)$$

где P – плотность населения на рассматриваемой территории.

Определение нормативного количества медицинских учреждений основывается на нормативном документе Министерства здравоохранения [35].

Таким образом, кластеризация территориальных образований по показателям техногенной опасности (формула (1)), кластерная оценка рисков (формулы (2) и (3)) и защищенности (формулы (5)–(7)) дают возможность проведения комплексного анализа техногенной безопасности территориальных образований с позиции риск-ориентированного подхода [31].

3. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Определение значения комплексного техногенного территориального риска является одной из основных функций информационной системы территориального управления рисками и безопасностью (ИСТУ РБ). Общая блок-схема ИСТУ РБ построена на базе Docker-контейнеров, которые представляют собой систему управления контейнерами (модулями), где каждый отдельный модуль размещен как независимый компонент-программа на расчетном сервере, имеет свой порт доступа и набор библиотек. Он позволяет «упаковать» приложение или веб-сайт со всем его окружением и зависимостями в контейнер, которым в дальнейшем можно легко и просто управлять: переносить на другой сервер, масштабировать, обновлять. Графический интерфейс системы разработан на базе библиотек ReactJS + Redux. Система использует комплексную кризисную базу данных (на базе СУБД PostgreSQL) [36].

В работе предложен алгоритм поддержки принятия управленческих решений, встроенный в информационную систему территориального управления рисками и безопасностью (рис. 1) [1, 31].

Рис. 1. Алгоритм принятия управленческих решений на основе риск-ориентированного подхода

В ИСТУ РБ поступают статистические данные, характеризующие СПТ систему (территорию). ИСТУ РБ состоит из двух подсистем:

- Информационная подсистема «Мониторинг». В данной подсистеме происходит сбор и систематизация информационных потоков систем мониторинга с последующей обработкой, анализом и организацией хранения исходных и обработанных данных.
- Информационная подсистема «Риск-анализ». Данная подсистема имеет три блока: кризисные базы данных СПТ системы; картографическая база геоинформационной системы и блок, в который входят модели и вычислительные технологии анализа базовых рисков. Решается задача количественной оценки риска, происходит идентификация риска (выявление, классификация, оценка и определение приемлемого уровня).

После прохождения информации через указанные подсистемы данные обрабатываются до получения количественных значений риска, рассчитываемых на основе представленного выше методического подхода.

В зависимости от полученного расчетного значения риска формируется заключение, в котором прописываются мероприятия по управлению территорией и планированию. В случае, если значение риска соответствует приемлемому уровню, формируется заключение о том, что дополнительных мероприятий по уменьшению риска на рассматриваемой территории не требуется. При выявлении высокого уровня риска проводится дополнительный анализ данных для выявления доминирующего фактора риска.

На основе полученной информации формируется промежуточный продукт – заключение о мероприятиях, направленных на минимизацию значения риска для конкретного фактора путем повышения защищенности, снижения техногенной опасности и повышения устойчивости защищаемых объектов (табл. 1), а также осуществляется контроль уровня риска.

Заключение направляется лицу, принимающему решение, которое анализирует полученную информацию и согласовывает мероприятия в рамках имеющегося бюджета. Результатом работы данной системы будут нормативные документы (приказы или постановления), в которых прописываются методы управления рисками. В зависимости от вида опасного фактора (техногенного события) и возможностей финансирования превентивные мероприятия будут различны (табл. 2).

Территориальные образования являются динамическими системами, поэтому с течением времени расчетное значение риска будет изменяться. Таким образом, для эффективного управления необходимо ежегодно проводить корректировку результатов.

Таблица 1

Основные виды превентивных мероприятий для повышения техногенной безопасности территории

Цели превентивных мероприятий	Технологические решения, превентивные мероприятия
Снижение вероятности реализации опасных событий	– ремонт, реконструкция объектов техносферы; – строительство всех видов объектов по новым технологиям с учетом требований безопасности; – непрерывный мониторинг негативных процессов; – автоматизация процессов (уменьшение роли человеческого фактора)
Повышение устойчивости защищаемых объектов	– зонирование территорий, прилегающих к объектам техносферы; – развитие систем здравоохранения и охраны труда; – инженерные решения по повышению устойчивости городской среды; – развитие систем оповещения и информирования; – страхование имущества; – контроль, надзор, профилактика, обучение населения
Повышение защищенности	– создание и модернизация аварийно-спасательных формирований, служб экстренного реагирования; – создание, пополнение, замена резервов на случай ЧС; – увеличение финансовых резервов; – совершенствование межведомственного взаимодействия, работа с волонтерами

Таблица 2

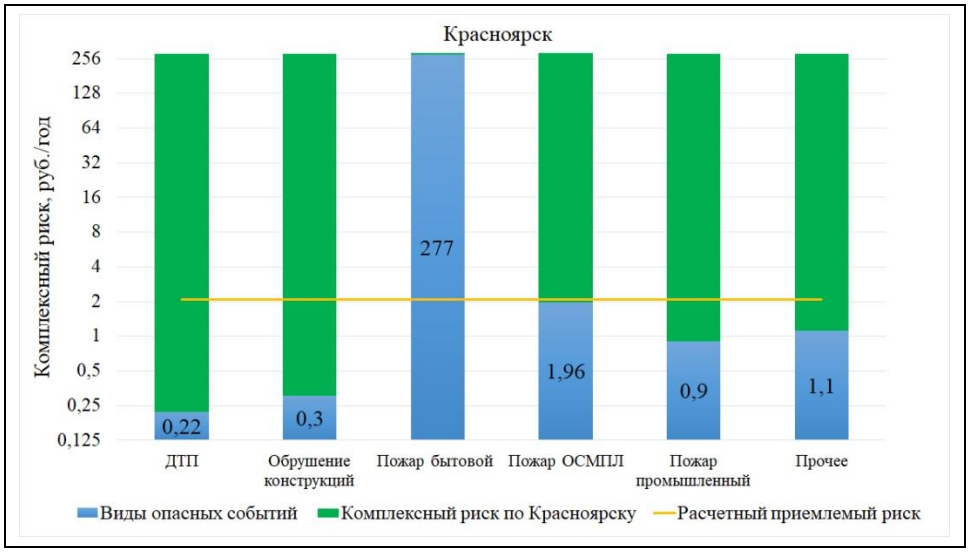
Мероприятия по предупреждению или снижению последствий основных опасных техногенных событий

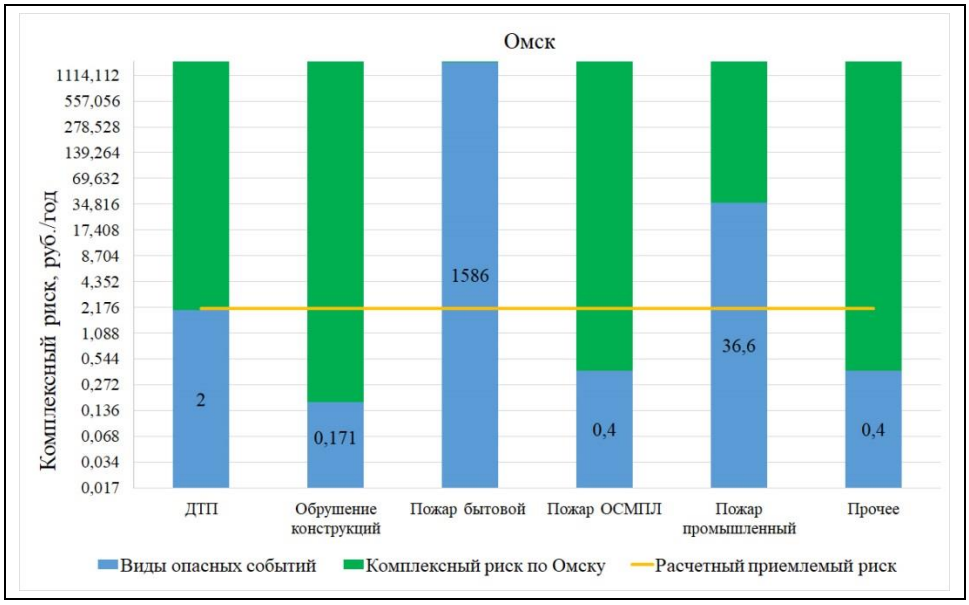
Вид опасного события	Превентивные мероприятия		
	Снижение вероятности возникновения	Снижение масштабов ЧС	Действия при отсутствии ограничений ресурсов
Аварии на потенциально опасных объектах	Повышение «чувствительности» АСУ ТП к идентификации аварий и инцидентов. Проверки Ростехнадзора	Повышение готовности объектовых формирований. Совершенствование планов действий по ликвидации ЧС	Переход на альтернативные технологии. Снижение объемов (полный отказ от использования) опасных веществ и материалов
Пожары промышленные	Усиление пожарного надзора. Контроль знания правил пожарной безопасности	Установка современного противопожарного оборудования. Повышение готовности объектовых формирований. Совершенствование планов действий по ликвидации ЧС	Переход на альтернативные технологии производства и строительства
Пожары бытовые и на объектах массового пребывания людей	Усиление пожарного надзора. Обучение населения правилам пожарной безопасности	Увеличение количества и статуса противопожарных формирований. Создание ресурсов для тушения пожаров	Переход на альтернативные технологии строительства. Отказ от печного отопления
Аварии в сфере ЖКХ	Увеличение объемов и качества капитальных ремонтов	Повышение готовности формирований. Совершенствование планов действий по ликвидации ЧС	Переход на альтернативные технологии и материалы при замене коммуникаций
Автотранспортные аварии	Законодательное регулирование вопросов безопасности	Обучение навыкам оказания первой помощи. Повышение готовности спасательных формирований	Строительство и реконструкция дорог по современным стандартам (четыре полосы, развязки)

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе предложенной методологии было проанализировано 31 территориальное образование СФО с численностью более 70 тыс. чел. Выявлено, что в Красноярске, Новосибирске и Омске значение комплексного техногенного территориального риска в сотни раз превышает предельно-допустимый уровень. На рис. 2 представлен график распределения значений комплексного техногенного территориального риска по каждому виду опасных событий для рассматриваемых городов Сибири.

Основная техногенная нагрузка в городских формированиях приходится на различные пожаро-взрывоопасные ситуации и крупные дорожно-транспортные происшествия. Наименьшее значение риска получено для показателей «Обрушение конструкций» и «Прочее» (куда входят аварии на воздушном, ж/д и речном транспорте, аварии на промышленных объектах, аварии с выбросом РВ / ХОВ, взрывы бытовые и промышленные, аварии на системах жизнеобеспечения).





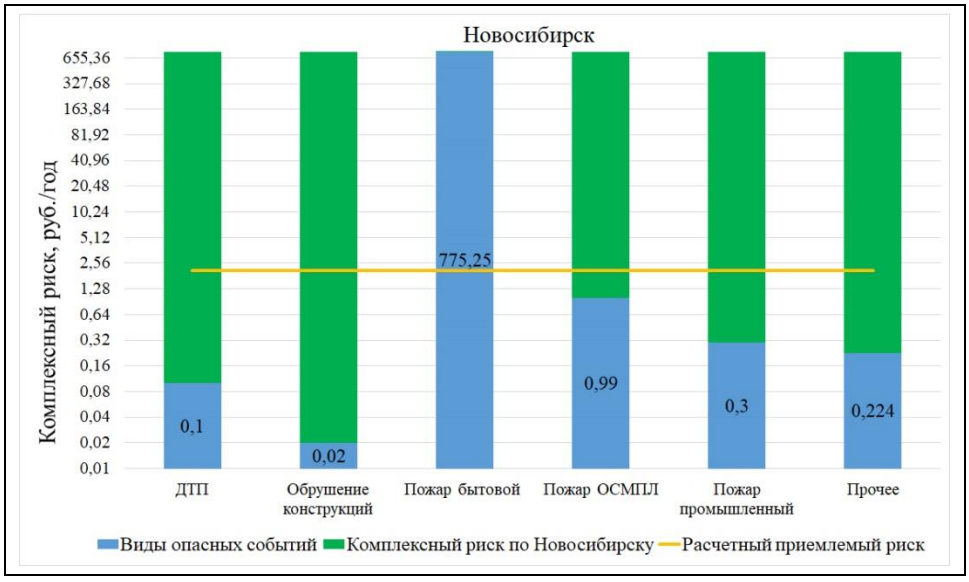


Рис. 2. Распределение значений комплексного техногенного территориального риска по видам опасностей для крупнейших городов Сибири

Для трех городов методом решения обратных задач были определены доминирующие виды опасных событий. Для г. Красноярска и г. Новосибирска основная опасность связана с пожарами (бытовые и на объектах с массовым пребыванием людей), для г. Омска – пожары (бытовые и на объектах с массовым пребыванием людей) и крупные ДТП. Основная проблема, характерная для всех рассматриваемых городов, требующая минимизации и управления, связана с бытовыми пожарами. На рис. 3 представлены графики изменения комплексного территориального техногенного риска при управлении двумя показателями – ущерб и количество смертельных исходов (уравнения (4) и (5)).

Снижение значения одного из показателей – количества летальных исходов или суммы ущерба – позволяет уменьшить значение риска, поэтому основные рекомендации по минимизации риска должны быть направлены на повышение культуры и общего уровня безопасности и, как следствие, снижение количества летальных исходов, а также на страхование имущества, которое позволит компенсировать ущерб в случае наступления опасного техногенного события. Для достижения приемлемого уровня риска на рассматриваемых территориях необходимо уменьшение ущерба или числа погибших в для г. Новосибирска 8 раз, для г. Красноярска в 6 раз, для г. Омска в 10 раз.

Для поддержания необходимого уровня устойчивости к негативному воздействию проведен расчет количественных значений защищенности по формулам (5)–(7) и выполнен анализ количества спасательных формирований и медицинских учреждений для рассматриваемых городов (табл. 3).

Самая низкая защищенность выявлена в г. Новосибирске, где наблюдается недостаток пожарно-спасательных формирований и медицинских учреждений. Таким образом, для своевременного

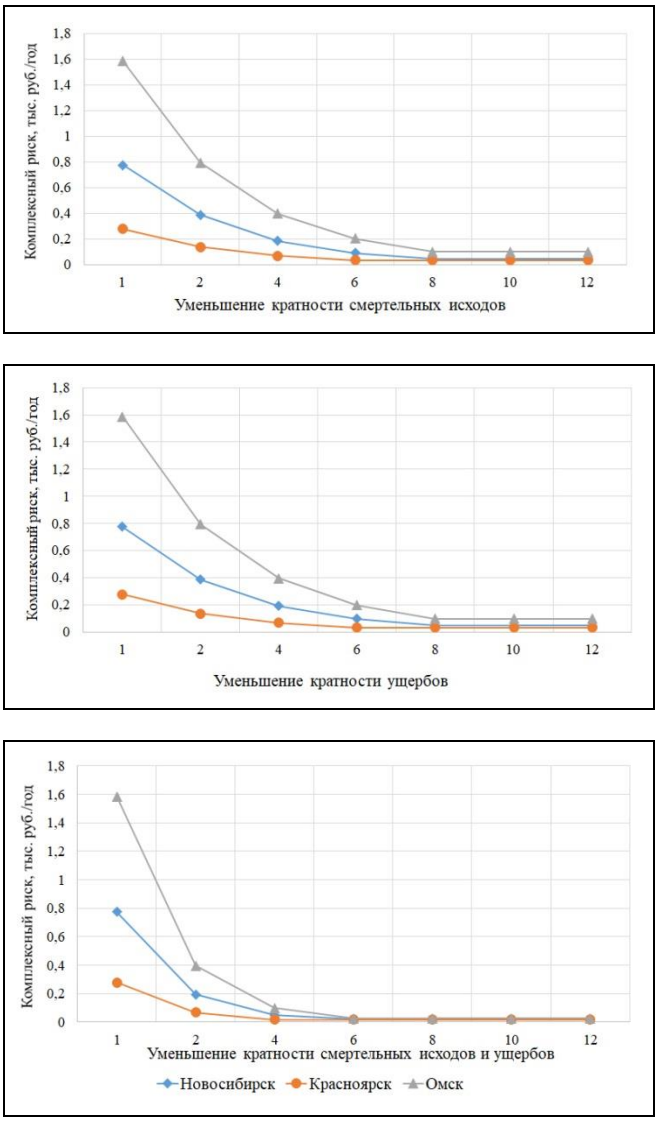


Рис. 3. Графики изменения риска при снижении размеров ущерба и смертности населения

предупреждения аварий и катастроф и минимизации последствий от реализованных событий необходимо увеличивать защищенность территории путем увеличения числа аварийно-спасательных формирований и служб экстренного реагирования, а также их модернизации.

Таблица 3

Количественные значения показателя защищенности и данные для его расчета

Наименование территории	Защищенность, %	Фактическое кол-во ПФ	Нормативное кол-во ПФ	Фактическое кол-во мед. уч.	Нормативное кол-во мед. уч.
г. Новосибирск	84,5	25	30	68	80
г. Омск	135	22	22	85	57
г. Красноярск	98,5	10	18	55	48

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Основная цель территориального управления сводится к достижению приемлемого уровня риска. Однако анализ нормативно-технических документов по оценке техногенного территориального риска выявил ряд методических проблем и противоречий в их применении вследствие различного правового статуса и несогласованности норм. Ключевая проблема действующей нормативно-технической базы в области безопасности и оценки рисков заключается в том, что приемлемые уровни рисков не являются научно обоснованными. Математический аппарат оценки рисков требует доработок, учитываются только чрезвычайные ситуации, но для анализа безопасности территориального образования необходимо анализировать все происшествия, которые возникают на территории и в дальнейшем могут привести к крупным авариям и катастрофам. Разработанная методика оценки рисков, основанная на методах многомерного статистического анализа, позволяет снизить остроту обозначенных проблем и противоречий.

Обеспечение территориальной техногенной безопасности возложено на территориальные Агентства по делам ГО и ЧС субъектов РФ и территориальные управления МЧС России. Для эффективного управления целесообразно использовать информационные системы поддержки принятия решений, которые должны объединять и анализировать данные мониторинга, имеющиеся в распоряжении различных ведомств, и оценивать риски по основным сферам жизнедеятельности. Управление техногенным риском включает в себя разработку и реализацию программ деятельности по предотвращению опасных событий, снижению их возможных последствий, обеспечение мониторинга и повышение эффективности затрат, направленных на снижение значений рисков до приемлемых уровней. Идентификация основных факторов высокого техногенного риска с использованием соответствующей информационной системы территориального управления рисками и безопасностью позволяет конкретизировать эту работу и предупредительные мероприятия.

Оценка эффективности и экономической целесообразности управленческих решений по минимизации рисков является отдельной практической задачей, для решения которой необходима исходная информация о стоимости реконструкции конкретных технических объектов, развития системы мониторинга объектов, систем здравоохранения и охраны труда, создании и модернизации аварийно-спасательных формирований и т. д. Реализация этих мероприятий находится в ведении различных министерств и ведомств РФ, органов исполнительной власти регионов и производственных структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе полученных значений комплексного техногенного территориального риска для крупных промышленных центров СФО были выявлены причины, которые в наибольшей степени влияют на уровень риска. Основными из них являются пожары на объектах промышленного и социального значения, аварии в жилищно-коммуналь-ной сфере (теплосети, электросети, водоснабжение и пр.) и аварии на транспорте. Наибольшее число погибших наблюдается при возникновении бытовых пожаров. Наибольший материальный ущерб обусловлен промышленными пожарами, что связано с большим числом пострадавших, экономическими потерями при ликвидации ЧС и аварийно-восстановительными работами.

Преимущество разработанной методики оценки рисков заключается в возможности получения расчетного приемлемого уровня риска, который может быть использован при разработке нормативных документов. Существующие в настоящее время численные значения приемлемых уровней рисков относятся к индивидуальным рискам, в то время как для нормирования комплексного риска применяются преимущественно качественные показатели (балльные оценки). Оценка защищенности территории также выполняется с помощью качественных методов, в то время как предложенная методика позволила впервые получить численные значения.

Оценка комплексной безопасности территориальных образований должна базироваться на разработке и применении критериев и методов анализа рисков. С ростом антропогенной нагрузки, использования технологий, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, ростом угроз для жизни и здоровья граждан необходимы механизмы эффективного территориального управления, базирующиеся на использовании системы поддержки принятия решений в составе ИСТУ РБ, в основе которой лежит комплексная оценка техногенных территориальных рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Москвичев В.В., Бычков И.В., Потапов В.П.* и др. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник Российской академии наук. – 2017. – № 8. – С. 696–705. [*Moskvichev, V.V., By-*

chkov, I.V., Potapov, V.P., et al. Information System for Territorial Risk and Safety Management Development// Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – No. 8. – P. 696–705. (In Russian)].

2. *Махутов Н.А., Кузык Б.Н., Абросимов Н.В*. и др Научные основы прогнозирования и прогнозные показатели социально-экономического и научно-технического развития России до 2030 года с использованием критериев стратегических рисков. – М.: ИНЭС, 2011. – 136 с. [*Makhutov, N.A., Kuzyk, B.N., Abrosimov, N.V.,* et al. Scientific Bases of Forecasting and Forecast Indicators of Socio-Economic and Scientific-Technical Development of Russia until 2030 Using Criteria of Strategic Risks. – Moscow: INES, 2011. – 136 s. (In Russian)]
3. *Махутов Н.А, Кузык Б.Н., Абросимов Н.В.* Системные стратегические риски и приоритеты прогнозного социально-экономического и научно-технологического развития России до 2030 года. – М: ИНЭС, 2012. 78 с. [*Makhutov, N.A., Kuzyk, B.N.,Abrosimov, N.V.* Systemic Strategic Risks and Priorities of the Forecast Socio-Economic, Scientific and Technological Development of Russia until 2030. – Moscow: INES, 2012. – 78 s. (In Russian)]
4. *Москвичев В.В., Тасейко О.В., Иванова У.С., Черных Д.А.* Базовые региональные риски развития территорий Сибирского федерального округа // Вычислительные технологии. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 95–109. [*Moskvichev, V.V., Taseiko, O.V., Ivanova, U.S., Chernykh, D.A.* Basic Regional Risks of the Development of the Territories of the Siberian Federal District // Computational Technologies. – 2018. – Vol. 23, no. 4. – P. 95–109. (In Russian)]
5. *Moskvichev V.V., Postnikova U.S., Taseiko O.V.* Cluster Analysis and Individual Anthropogenic Risk // CEUR Workshop Proceedings. SDM 2021 – Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation «Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes»». – 2021. – С. 526–532.
6. *Управление* риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика / *Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С.* и др. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука», 2000. – 431 с. – (Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения). [*Risk* management: Risk. Sustainable Development. Synergetics / *Vladimirov, V.A., Vorobyev, Yu.L. Salov, S.S.,* et al. – Moscow : Federal State Unitary Enterprise «Academic Scientific Publishing, Production, Printing and Book Distribution Center «Nauka», 2000. – 431 p. – (Cybernetics: unlimited possibilities and possible limitations) (In Russian)]
7. *Кононов Д.А.* Исследование безопасности систем управленияна основе анализа их системных параметров // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Материалы XXVIII международной конференции, Москва, 16 декабря 2020 года / Под общей редакцией А.О. Калашникова, В.В. Кульбы. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2020. – С. 102–108. [*Kononov, D.A.* Safety Research of Control Systems Based on the Analysis of Their System Parameters // Problems of security management of complex systems : Proceedings of the XXVIII International Conference, Moscow, December 16, 2020 / Eds. A.O. Kalashnikov, V.V. Kulba. – Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, 2020. – pp. 102–108. (In Russian)]
8. *Федеральный* закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 N 184-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ [*Federal* Law «On Technical Regulation» dated December 27, 2002 N 184-FZ (In Russian)]
9. *Федеральный* закон «О безопасности» от 28.12.2010 N 390-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108546/ [Federal Law «On Safety» dated December 28, 2010 N 390-FZ. (In Russian)]
10. *Федеральный* закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 N 68-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/ [Federal Law «On the Protection of the Population and Territories from Natural and Man-Made Emergencies» dated December 21, 1994 N 68-FZ. (In Russian)]
11. *Указ* Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107030001 [*Decree* of the President of the Russian Federation of February 7, 2021 No. 400 «On the National Safety Strategy of the Russian Federation» (In Russian)]
12. *Указ* Президента РФ от 19.04.2017 N 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/ [*Decree* of the President of the Russian Federation of April 19, 2017 N 176 «On the Strategy for Environmental Safety of the Russian Federation for the period up to 2025» (In Russian)]
13. *Большаков Б.Е., Шевенина Е.В.* Методологические принципы бездефектного управления безопасностью и развитием территориальных и производственных систем // Науковедение. – 2016. – Т. 8. – № 2. – С. 1–18. [*Bolshakov, B.E., Shevenina, E.V.* Methodological Principles of defect-free Management of Safety and Development of Territorial and Production Systems // Naukovedenie. – 2016. – Vol. 8, no. 2. – P. 1–18. (In Russian)]
14. *Состояние* окружающей среды: Постановление Правительства РФ № 477 от 6 июня 2013 г. «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.meteorf.ru/upload/iblock/30b/PPRF-477-20130606.pdf [State of the Environment: Decree of the Government of the Russian Federation No. 477 of June 6, 2013 «On the Implementation of State Monitoring of the State and Pollution of the Environment» (In Russian)]
15. *Приказ* Федерального агентства по недропользованию «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме мониторинга состояния недр единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» от 24.11.2005 № 1197: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_ LAW_224058/ [Order of the Federal Agency for Subsoil Use «On approval of the Regulations on the Functional Subsystem for Monitoring the State of the Subsoil of the Unified State System for the Prevention and Liquidation of Emergency Situations» dated 11/24/2005 No. 1197: (In Russian)]
16. *Немтинов В.А*. Информационные технологии принятия решений по обеспечению экологической безопасности

промышленных объектов // Вестник ТГТУ. – 2008. – № 14. – С. 13–19. [*Nemtinov, V.A.* Information Technologies for Decision-Making in Maintenance of Ecological Safety of Industrial Enterprises // Vestnik TGTU. – 2008. – No. 14. – P. 13–19. (In Russian)]

17. *Neirotti, P.* Current Trends in Smart City Initiatives: Some Stylized Facts // Cities 38. – 2014. – P. 25–36.
18. *Fraker, H.* The Hidden Potential of Sustainable Neighborhoods: Lessons for Low-Carbon Communities. – Washington, DC: Island Press, 2013. 248 p.
19. *La Greca,P., Barbarossa, L., Ignaccolo, M.,* et al. The Density Dilemma. A Proposal for Introducing Smart Growth Principles in a Sprawling Settlement within Catania Metropolitan Area // Cities, 28. – 2011. – Vol. 6. – P. 527–535.
20. *Барановский В.Ю.* Интеллектуально-информационные системы как источник повышения рационализации процедуры управления промышленного предприятия в условиях неопределенности // Евразийский союз ученых. – 2021. – № 4-3 (85). – С. 17–20. [*Baranovskiy, V.Yu.* Intellectual Information Systems as a Source of Increasing the Rationalization of the Management Procedure of an Industrial Enterprise under Uncertainty // Eurasian Union of Scientists. – 2021. – No. 4-3 (85). – P. 17–20. (In Russian)]
21. *Кретова А.В.* Экономические информационные системы как основа повышения качества управления организацией // Менеджер. – 2020. – № 3 (93). – С. 84–90. [*Kretova, A.V.* Economic Information Systems as a Basis for Improving the Quality of Organization Management // Менеджер. – 2020. – No. 3 (93). – P. 84–90. (In Russian)]
22. *Вожаков А.В., Столбов В.Ю., Федосеев С.А.* Интеллектуальные информационные системы управления предприятием: модели и практики: – М: Университетская книга. – 2021. – 304 с. [*Vozhakov, A.V., Stolbov, V.Yu., Fedoseev, S.A.* Intelligent Information Systems of Enterprise Management: Models and Practices: – M: University Book. – 2021. – 304 s. (In Russian)]
23. *Киселев В.М., Данько Т.П., Афанасьев М.А.* Географические информационные системы для обеспечения экономической безопасности страны во время эпидемиологических кризисов // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 10. – С. 249–253. [*Kiselev, V.M., Danko, T.P., Afanasyev, M.A.* Geographic Information Systems to Ensure the Economic Security of the Country During Epidemiological Crises. – 2020. – No. 10. – P. 249–253. (In Russian)]
24. *Oliveira da Silva, A., Souza Fernandes, R.A.* Smart Governance Based on Multipurpose Territorial Cadastre and Geographic Information System: An Analysis of Geoinformation, Transparency and Collaborative Participation for Brazilian Capitals // Land Use Policy, – 2020, – Vol. 97. 104752.
25. *Béjar, R., Latre, M.Á., Lopez-Pellicer, F.J.,* et al. SDI-Based Business Processes: A Territorial Analysis Web Information System in Spain // Computers & Geosciences. – 2012. – Vol. 46. – P. 66–72.
26. *Lee, B.S., Alexander, M.E., Hawkes, B.C.,* et al. Information Systems in Support of Wildland Fire Management Decision Making in Canada // Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – Vol. 37. – P. 185–198.
27. *Green, B., Chen, Y.* The Principles and Limits of Algorithm-in-the-Loop Decision Making // Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction . – 2019. – Vol. 3,– no. CSCW. – P. 1–24.
28. *Alkhatib, A., Bernstein, M.* Street-Level Algorithms: A theory at the Gaps Between Policy and Decisions // Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2019. – P. 1–13.
29. *Махутов Н.А.* Научные основы анализа стратегических приоритетов и рисков развития России: Информационно-аналитическая справка по проблемам стратегического прогнозирования, планирования и программирования в целях устойчивого социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности – Москва : МГОФ «Знание», 2018. – 96 с. [*Makhutov, N.A.* Scientific Basis for the Analysis of Strategic Priorities and Risks of Russia's Development: Information and Analytical Reference on the Problems of Strategic Forecasting, Planning and Programming for Sustainable Socio-Economic Development and Ensuring National Security – Moscow: MGOF «Znanie», 2018. – 96 p. (In Russian)]
30. *Махутов Н.А., Урсул А.Д., Проценко А.Н.* и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно- технические аспекты. Словарь терминов и определений. – М.: МГФ «Знание», 1999. – 368 с. [*Makhutov, N.A., Ursul, A.D., Protsenko, A.N.,* et al. Security of Russia. Legal, Socio-Economic and Scientific and Technical Aspects. Dictionary of Terms and Definitions. - M.: MGF «Znanie», 1999. – 368 p. (In Russian)]
31. *Taseiko, O.V., Postnikovaa, U.S., Georgieva, M.,* et al. Methods for Analyzing Heterogeneous Data in the Tasks of Assessing Territorial Risks // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – 2930. – P. 124–128.
32. *Градостроительный* кодекс РФ от 7 мая 1998 г. N 73-ФЗ. Принят Государственной Думой 8 апреля 1998 г. 46 с. [*Town-planning* Code of the Russian Federation of May 7, 1998 N 73-FZ. Adopted by the State Duma on April 8, 1998. 46 p. (In Russian)]
33. *Кононов Д.А., Пономарев Н.О., Пономарев Р.О., Барбашев М.П.* Региональные системы:моделирование кризисных явлений и уязвимость // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2015: Материалы Восьмой международной конференции: В 2 томах. / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2015. – С. 147–149. [*Kononov, D.A., Ponomarev, N.O., Ponomarev, R.O. M. P. Barbashev, M.P.* Regional Systems: Modeling of Crisis Phenomena and Vulnerability // Management of Large-Scale Syatem Development MLSD'2015 : Proceedings of the Eighth International Conference: In 2 volumes. / Eds. S.N. Vasiliev, A.D. Tsvirkun. – Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2015. – p. 147–149. (In Russian)]
34. *Организационно-методические* рекомендации по определению численности противопожарной службы субъекта Российской Федерации и ее технической оснащенности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/metodicheskie-materialy/metodicheskie-rekomendacii/prochee/organizacionno-metodicheskie-rekomendacii-po-opredeleniyu-chislennosti-protivopozharnoy-sluzhby-subekta-rossiyskoy-federacii-i-ee-tehnicheskoy-osnashchennosti. [*Organizational* and Methodological Recommendations for Determining the Size of the Fire Service of the Subject of the Russian Federation and Its Technical Equipment. (In Russian)]
35. *Приказ* Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27.02.2016 № 132н «О Требованиях к размещению медицинских организаций государственной

системы здравоохранения и муниципальной системы здравоохранения исходя из потребностей населения» (Зарегистрирован 22.03.2016 № 41485). 8 с. [*Order* of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 132n dated 27.02.2016 «On the Requirements for the Placement of Medical Organizations of the State Health System and Municipal Health System Based on the Needs of the Population» (Registered 22.03.2016 No. 41485). – 8 p. (In Russian)]

36. *Попов С.Е., Потапов В.П., Замараев Р.Ю.* и др. Информационно-вычислительная система «Риски»: № 2020660032: заявл. 04.09.2020: опубл. 17.09.2020. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020661041 РФ. [*Popov, S.E., Potapov, V.P., Zamaraev, R.Yu.*, et al. Information and computing system «Risks»: No. 2020660032: application 04.09.2020: publ. 17.09.2020. Sertificate of state registration of the computer program No. 2020661041 Russian Federation. (In Russian)]

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой.

Поступила в редакцию 29.04.2022,
после доработки 4.07.2022.
Принята к публикации 11.07.2022.

Москвичев Владимир Викторович – д-р техн. наук, Красноярский филиал ФИЦ ИВТ, г. Красноярск, ✉ e-mail: krasn@ict.nsc.ru,

Постникова Ульяна Сергеевна – мл. науч. сотрудник, Красноярский филиал ФИЦ ИВТ, г. Красноярск, ✉ e-mail: ulyana-ivanova@inbox.ru,

Тасейко Ольга Викторовна – канд. физ.-мат. наук, СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, ✉ e-mail: taseiko@gmail.com.

MANAGEMENT OF TECHNOGENIC SAFETY BASED ON A RISK-ORIENTED APPROACH

V.V. Moskvichev[1], U.S. Postnikova[1], and O.V. Taseiko[2]

[1]Federal Research Center for Information and Computational Technologies,
Krasnoyarsk Branch, Krasnoyarsk, Russia
[2]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

✉ krasn@ict.nsc.ru, ✉ ulyana-ivanova@inbox.ru, ✉ taseiko@gmail.com

Abstract. This paper proposes a managerial decision algorithm based on the developed risk assessment methodology with multidimensional statistical analysis. The methodology allows calculating an acceptable level of risk, which can be used in regulatory documents. The decision algorithm is integrated into the information system of territorial risk and security management. The industrial agglomerations of Siberia are chosen as the object of research, and their main types of technogenic hazards are analyzed. The complex risk is assessed using statistical data on man-made dangerous events, emergencies, material damage, and fatal outcomes from the official database (the Emercom of Russia). According to risk factor analysis, the main technogenic load in territorial units is due to fire and explosive events. The inverse problem is solved, showing the need to reduce the main risk factors for achieving an acceptable level. Minimizing the complex technogenic territorial risk is a management problem with two criteria: the minimum number of fatal outcomes and the minimum amount of damage. Within the complex risk assessment approach, the problem is solved by proposing preventive measures to improve territorial security.

Keywords: socio-natural-technogenic system, territorial risk, management.

Funding. This work was supported by the Russian Federation President grant no. NSh-421.2022.4.