

На правах рукописи



Постникова Ульяна Сергеевна

**ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМИ
ТЕХНОСФЕРНЫМИ РИСКАМИ СОЦИАЛЬНО-ПРИРОДНО-
ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ
СИБИРИ**

05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск 2022

Работа выполнена в Красноярском филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» и Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: **Москвичев Владимир Викторович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Николайчук Ольга Анатольевна** доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории 4.2. «Информационно-телекоммуникационные технологии исследования техногенной безопасности» ФГБНУ «Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН» (.)

Вишняков Яков Дмитриевич доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Экономика и управление топливно-энергетическим комплексом» ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (.)

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» (. ,)

Защита диссертации состоится «29» сентября 2022 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.268.05 на базе Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская 146, а также на сайте ТУСУРа: <https://postgraduate.tusur.ru/urls/88wowcu5>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Костюченко Евгений Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Развитие и рост числа объектов техносферы, формирование промышленных кластеров и агломераций при активном освоении новых территорий Сибири и Арктики ведет к накоплению потенциальных опасностей, которые приводят к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера со значительными социальными и экономическими потерями (смертельные случаи, травмы и болезни; прямой ущерб имуществу и инфраструктуре; финансовые затраты и косвенные экономические убытки; загрязнение экосистемы и утрата биоразнообразия; социальные и культурные потери). Чрезмерное использование природных и технологических ресурсов, стремление к экономическому росту без соответствующего научного обоснования приводит к повышенным рискам развития территориальных образований, особенно при росте концентрации опасных промышленных производств без должного анализа их влияния на социально-экономическое и социально-экологическое развитие с позиции территориальной безопасности.

В соответствии с Указами Президента «О Стратегии национальной безопасности» от 02.07.2021 г. № 400 и «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» от 13.05.2017 г. № 208 обеспечение безопасности направлено на противодействие вызовам и угрозам, защиту населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, повышение качества жизни, предотвращение кризисных явлений в ресурсно-сырьевой, производственной, научно-технологической и финансовой сферах. Национальная безопасность и устойчивое развитие страны должны основываться на единой системе комплексного мониторинга, прогнозирования возможных опасных событий и принятия мер по снижению риска возникновения аварийных ситуаций и катастроф.

На сегодняшний день на законодательном уровне обоснованы и сформулированы практические, социальные и экономические предпосылки и необходимость расширенного применения риск-ориентированного подхода в различных системах территориального управления на федеральном, отраслевом, субъектовом, муниципальном и объектовом уровнях. Для каждой сферы жизнедеятельности существуют свои особенности реализации риск-ориентированного подхода при этом основным обоснованием является его универсальность для организации и осуществления государственного контроля и управления. Для эффективного территориального управления с учетом требований риск-ориентированного подхода необходимо решение следующих задач:

– определение нормативных уровней рисков и разработка целевых мероприятий, оптимальных предложений и программ по их снижению. Каждый аспект жизнедеятельности человека сопровождается воздействием определенной группы рисков, устойчивое развитие связано с выявлением и предупреждением негативных воздействий на человека, окружающую природную среду, определяется балансом между научно-техническим и промышленным развитием и сохранением экосферы для будущих поколений. Принципы устойчивого развития напрямую связаны с концепцией приемлемого научно-обоснованного риска.

– повышение требований конкретизации и необходимости реализации единых подходов к анализу рисков, обеспечивающих сравнительную оценку различных опасностей и защищенности географических, территориальных,

промышленных образований, социально-природно-техногенных систем. При анализе безопасности территориальных образований на федеральном уровне, как правило, рассматривают территории субъектов Российской Федерации и на основании усредненных данных принимаются управленческие решения. Однако для повышения эффективности управления целесообразно рассмотрение территорий муниципальных образований, отдельных промышленных регионов и агломераций, с детальной проработкой базовых и нормативных рисков развития, их сравнением и оценкой комплексных показателей безопасности.

Таким образом управление и устойчивое территориальное развитие напрямую связано с анализом, оценкой и минимизацией территориальных техногенных рисков. Особо остро стоит проблема обеспечения техногенной безопасности регионов Сибирского федерального округа, где формируются новые промышленные агломерации, обеспечивающие будущий потенциал экономического развития страны. СФО характеризуется наличием большого числа промышленных объектов и развитой инфраструктурой. Оценка и анализ территориального техногенного риска являются важнейшими инструментами для выработки эффективной региональной политики, стратегий и тактик управления социально-экономическим и социально-экологическим развитием, которые позволят минимизировать негативные последствия, снизить уровень опасности и повысить защищенность территории.

Отмеченные аспекты территориального управления с учетом риск-ориентированного подхода выдвигают на первый план актуальную комплексную проблему исследования территориальных техногенных рисков социально-природно-техногенных систем промышленных регионов Сибири.

Целью диссертационного исследования является оценка территориальных техногенных рисков социально-природно-техногенных (С-П-Т) систем для повышения устойчивости развития и эффективности управления муниципальными образованиями, промышленными регионами и агломерациями на примере территорий Сибирского федерального округа.

Для реализации поставленной цели решались следующие **основные задачи**:

1) Систематизация и анализ статистической информации по опасным техногенным событиям на рассматриваемой территории (промышленные регионы СФО) с определением вероятности наступления опасных техногенных событий и их классификация.

2) Анализ информационно-аналитических систем и программных комплексов управления и принятия решений.

3) Развитие и практическое применение моделей и методов оценки техногенных и территориальных рисков С-П-Т систем.

4) Разработка методики оценки нормативного уровня индивидуальных и комплексных техногенных территориальных рисков муниципальных образований и субъектов СФО.

5) Ранжирование исследуемых территорий по уровню опасности для населения по показателям риска с использованием ГИС технологий.

6) Разработка алгоритма поддержки принятия решений, основанного на риск-ориентированном подходе.

7) Разработка метода количественной оценки защищенности территориальных образований СФО.

Объектом исследования является социально-природно-техногенная система регионов и муниципальных образований с учетом формирующихся рисков развития в условиях антропогенных воздействий.

Предметом исследования являются методы, модели и методики поддержки принятия решений при управлении территориальными образованиями с использованием методов математической классификации данных и риск-ориентированного подхода.

Степень разработанности темы исследования. Наиболее интенсивные исследования в области оценки рисков проводятся с середины 1990-х годов как в Российской Федерации, так и за рубежом. В России с 1998 г. реализуется издательский проект «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты», который охватывает различные проблемы безопасности, управления и анализа риска. В области оценки риска выделяется несколько укрупненных направлений исследований: общая теория катастроф и риск-анализа, анализ и оценка рисков различного происхождения (природные, экологические, техносферные и др.), пространственный анализ и картографирование территориальных рисков.

В формировании общей теории катастроф и риск-анализа значительный вклад внесли: Легасов В.А., Вишняков Я.Д., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А., Осипов В.И., Тимашев С.А., Фалеев М.И., Шахраманян М. А. и др.

В области техносферных рисков наиболее значимые результаты получены авторами: Ахметханов Р.С., Быков А.А., Гаденин М.М., Гражданкин А.С., Жуков И.С., Козлитин А.М., Лесных В.В., Лепихин А.М., Лисанов М.В., Массель Л.В., Маршал В.К., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Ноженкова Л.Ф., Острейковский В.А., Печеркин А.С., Резников Д.О., Сидоров В.И., Ales Bernatik, Carlos M. Rodrigues, Yafei Zhou, Mao Liu, Katarina Holla, Tiago Miguel Ferreira, Romeu Vicente, José António Raimundo Mendes da Silva и др.

Большинство разрабатываемых моделей оценки риска носят локальный характер (для определенного производственного объекта), однако в последнее время наблюдается тенденция к переходу на риск-ориентированный подход в области управленческой деятельности в части принятия решений территориального развития. Эффективность планирования и управления территориальными образованиями на прямую зависит от возможности выявления и минимизации техногенных опасностей и рисков, что предопределило разработку методики комплексной оценки территориальных техногенных рисков с обоснованием допустимых уровней и последующим решением обратных задач управления территориями. В области территориальных рисков следует отметить вклад авторов: Акимов В.А., Арефьева Е.В., Артюхин В.В., Берман А.Ф., Верескун А.В., Елохин А.Н., Крапухин В.В., Олтян И.Ю., Москвичев В.В., Радаев Н.Н., Фалеев М.И.

Научная новизна работы заключается в разработке нового методического подхода оценки техногенного территориального риска, основанного на методах многомерной статистики и, в отличие от существующих методов, позволяет выделять муниципальные образования в отдельные группы и анализировать риски на территориях, имеющих аналогичные характерные признаки. В работе впервые:

1) Предложена новая методика оценки территориального техногенного риска, отличающаяся от известных тем, что основана на методах математической классификации данных. На основе разработанной методики выполнено

ранжирование территориальных образований Сибирского федерального округа по уровню техногенной опасности, в отличие от известных методов, основанных на анализе общих характеристик безопасности региона.

2) Разработан оригинальный алгоритм принятия решений, основанный на количественной оценке комплексного территориального техногенного риска и развивающий информационную систему территориального управления рисками и безопасностью.

3) Разработана методика оценки защищенности территории, отличающаяся от известных качественных методов возможностью получения количественных показателей.

Соответствие паспорту специальности. Сформулированные положения и задачи соответствуют паспорту специальности 05.13.10 пунктам: 4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах»; 12. Разработка новых информационных технологий в решении задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах.

Теоретическая ценность диссертации заключается в развитии моделей оценки территориальных рисков и алгоритмов поддержки принятия решений при управлении социально-природно-техногенными системами.

Практическая ценность работы:

Полученные результаты могут быть использованы при разработке паспортов безопасности территориальных образований, региональных стратегий устойчивого развития и нормативных документов по оценке рисков, при подготовке планов предупреждения и ликвидации аварий и катастроф.

Использование разработанной методики оценки территориальных техногенных рисков и алгоритма обеспечения поддержки принятия решений позволяет руководителям муниципальных образований получать количественные значения рисков, выявлять доминирующие опасные факторы и на основании полученной информации принимать обоснованные управленческие решения. Управление и минимизация техногенных рисков позволяют снизить затраты на ликвидацию последствий аварий и катастроф.

Реализация результатов. Полученные в диссертационной работе результаты использованы:

– при выполнении государственного задания Министерства науки и высшего образования для ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» по базовой теме «Теоретические основы, алгоритмическое обеспечение и информационные технологии для решения фундаментальных и прикладных задач исследования сложных техногенных, природных и биологических систем» по проекту «Разработка нового поколения информационных систем мониторинга и оценки рисков развития социально-природно-техногенных систем для управления промышленными регионами страны» № АААА-А17-117120670141 (2017-2020 гг.);

– при разработке проекта нормативно-технического документа «Руководство по оценке рисков развития социально-природно-техногенных систем», прошедшего экспертную оценку в Комиссии по техногенной безопасности РАН (руководитель член-корр. РАН Н.А. Махутов).

– в учебном процессе кафедры «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» СибГУ им. М.Ф. Решетнева при чтении курса лекций, проведении

практических и лабораторных занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности», при подготовке методических указаний к лабораторным работам «Безопасность жизнедеятельности. Производственный травматизм» для бакалавров по всем направлениям подготовки всех форм обучения и при подготовке методических указаний к практическим работам «Оценка рисков социосферы (статистические методы)» для подготовки магистров по направлению 20.04.01 — «Техносферная безопасность»;

– в учебном процессе кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» СФУ при разработке курса лекций «Риск – анализ аварийных ситуаций и катастроф» для обучения магистров по направлениям подготовки 20.04.01 — «Техносферная безопасность»;

– при выполнении проекта КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» № 2021101907838 «Разработка методов управления территориальным развитием на основе риск-ориентированного подхода» (2021 – 2022 гг.).

– при выполнении проекта Российского фонда фундаментальных исследований и КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» № 18-47-240006 р_а «Методы и информационные технологии оценки рисков развития социально-природно-техногенных систем промышленного региона» (2018 – 2020 гг.).

Методика оценки рисков и алгоритм поддержки принятия решений внедрены в практическую деятельность лаборатории «Мониторинг и природно-техногенная безопасность» Красноярского филиала ФИЦ ИВТ.

Материалы диссертации переданы в Главное управление МЧС России по Красноярскому краю и используются при решении задач управления территориальными рисками и анализе защищенности территориальных образований.

Степень достоверности и апробации результатов

Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Всероссийская конференция «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Россия, Новосибирск, 24-27 августа 2021 г.); VI Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления» (Россия, Хабаровск, 14-16 сентября 2021 г.); Всероссийская научно-практическая конференция «Енисейская Арктика» (Россия, Красноярск, 25 марта 2021 г.); XX International multidisciplinary scientific geosconference - SGEM 2020 (Болгария, Албена, 18-24 августа 2020 г.); VII Всероссийская конференция «Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем» (Россия, Кемерово, 5-7 октября 2020 г.); The Second Eurasian Conference «Innovations in minimization of natural and technological risks» (Грузия, Тбилиси, 12-19 апреля 2020 г.); The First Eurasian Conference «Innovations in minimization of natural and technological risks» (Азербайджан, Баку, 22-24 мая 2019 г.); First international symposium on risk analysis and safety of complex structures and components (Португалия, Порту, 1-2 июля 2019 г.); Всероссийская конференция «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Россия, Бердск, 26-30 августа 2019 г.); XXI Всероссийский семинар «Моделирование неравновесных систем» (Россия, Красноярск, 4-6 октября 2019 г.); VI Всероссийская конференция «Безопасность и

мониторинг техногенных и природных систем» (Россия, Красноярск, 18–21 сентября 2018 г.); XXII Международная научно-практическая конференция «Решетневские чтения» (Россия, Красноярск, 12-16 ноября 2018 г.).

На разных этапах работа была поддержана: грантами ККГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (2017, 2019, 2021-2022 гг.), грантом Erasmus+ (2019-2020 гг.), грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1121 (2022-2024 гг.) и грантом Президента РФ НШ-421.2022.4. (2022-2023 гг.).

Методы исследования. Диссертационная работа основывается на теоретической базе научных трудов российских и зарубежных ученых в области оценки территориальных рисков. При решении задач использовались методы многомерного статистического анализа, методологии территориального управления и планирования, системного анализа и безопасности технических систем, теории вероятности и риск-анализа аварийных ситуаций и катастроф, информационные технологии поддержки принятия решений.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 39 работ. Основные положения диссертации изложены в 5 работах, опубликованных в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, две из которых опубликованы по направлению «Информатика, вычислительная техника и управление».

Предмет защиты и личный вклад автора. Постановка задач, выбор методов исследования осуществлялись автором совместно с научным руководителем, сбор и систематизация данных по видам техногенных опасностей, характерных для территориальных образований СФО, разработка методики кластерного анализа опасности территориальных образований, оценка и определение допустимого уровня фактически реализуемых территориальных техногенных рисков с использованием разработанного метода и разработка метода анализа защищенности территорий выполнены автором самостоятельно.

Положения, выносимые на защиту, представляются в виде результатов теоретических и прикладных исследований, полученных на основе нового методического подхода по оценке территориальных техногенных рисков для социально-природно-техногенных систем промышленных регионов Сибири:

1) Новая методика на основе методов многомерной статистики, позволившая осуществить расчеты индивидуального и комплексного рисков с определением расчетных приемлемых уровней для отдельных субъектов, городских и районных муниципальных образований Сибирского федерального округа.

2) Алгоритм принятия решений для управления территориальными образованиями на основе риск-ориентированного подхода.

3) Методика количественной оценки защищенности территории, позволившая определить необходимое число медицинских учреждений и пожарно-спасательных формирований на территориях СФО.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, 4 разделов, списка используемых источников и шести приложений. Основное содержание изложено на 174 страницах. Работа содержит 36 рисунков, 25 таблиц и 130 источников использованной литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность исследования проблем территориальных техносферных рисков, определяется цель работы, формулируются задачи, которые необходимо решить для реализации поставленной цели, указывается методологическая основа исследования, раскрывается научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, выдвигаются основные положения, выносимые на защиту, представлена апробация работы.

Первая глава посвящена описанию этапов развития и становления риск-ориентированного подхода, представлен обзор научных исследований в области оценки риска. Проведен анализ методических разработок по оценке техногенного риска, который показал, что в нормативно-технических документах имеется ряд методических проблем и противоречий в применении действующих документов в области анализа рисков вследствие их различного правового статуса и несогласованности норм. Действующая законодательная нормативно-правовая база в области безопасности и снижения рисков требует развития и совершенствования. Приведена характеристика природно-техногенной безопасности РФ и Сибирского федерального округа. Выявлено, что основную угрозу для жизни и здоровья человека представляют техногенные опасные события. Основной вклад в формирование техногенной нагрузки вносят регионы с высоким производственным потенциалом. Сформулирована концепция социально-природно-техногенной (С-П-Т) системы, которая представляется форматом описания территориального образования. С-П-Т система объединяет основные элементы социо-эко-техносферы и возникающие в них риски, что конкретизирует предметную область исследования с позиции эффективности управления территорией. Рассмотрены информационные системы и программные комплексы применяемые в области поддержки принятия решений. В области территориального управления существует необходимость создания специализированной системы управления рисками и безопасностью, в которую должны быть интегрированы основные природные и техногенные показатели, территориальные особенности, экономические условия и методы мониторинга и управления безопасностью на уровне субъектов и муниципальных образований. В большинстве случаев информационные системы управления безопасностью используются на уровне промышленных объектов, однако для эффективного управления территорией необходима система, позволяющая анализировать весь комплекс возможных рисков.

Определены основные проблемы в области обеспечения территориальной безопасности С-П-Т систем:

1) необходимость развития нормативно-правовой базы в области территориального риска:

– существующие уровни приемлемого риска требуют дополнительного научного обоснования;

– необходимо развитие математического аппарата (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);

– необходимо анализировать территорию с учетом дифференцируемого показателя от численности населения (при типовых аварийных ситуациях на

территориях с разной численностью и плотностью населения значения риска будут существенно различаться).

2) недостаточный уровень информационного взаимодействия структур государственных органов территориального управления. Для эффективного управления необходимо создание информационной системы поддержки и принятия решений, которая должна объединять и анализировать мониторинговые данные различных ведомств и оценивать риски по основным сферам жизнедеятельности.

Во второй главе содержится описание методики оценки индивидуального и комплексного техногенного территориального риска. Анализ исходных мониторинговых данных основывается на методах многомерной статистики, которые позволяют проводить деление территорий на однородные группы со схожими характеристиками. Алгоритм изображен на рисунке 1.

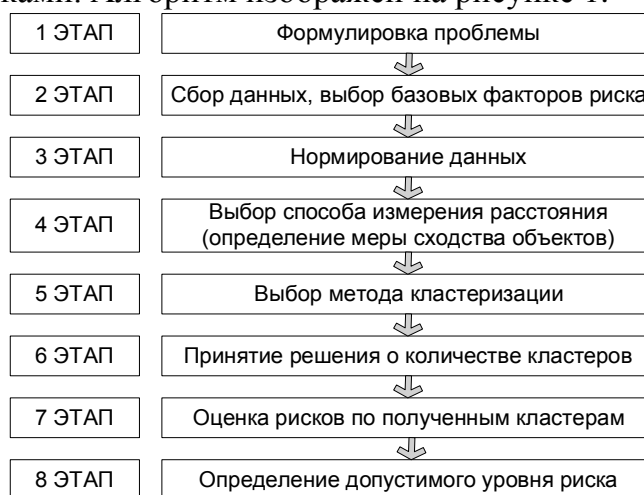


Рисунок 1 –Алгоритм кластеризации для оценки риска

Данный метод позволяет выбрать эталонную группу для определения приемлемого уровня риска. На 1 этапе формируется постановка проблемы анализа техногенной безопасности территорий СФО. На 2 этапе выбираются количественные показатели, на основании которых проводится анализ. Следующий этап связан с определением расстояния классификации в условном многомерном пространстве между объектами (муниципальными образованиями). Классификация объектов проводится на основе сходства. В каждый кластер должны попасть объекты, имеющие сходные характеристики. Сходство или различие между классифицируемыми объектами устанавливается в зависимости от метрического расстояния между ними. Наиболее распространенными способами определения расстояния между двумя точками, образованными координатными осями x и y , являются: Евклидово, Манхэттенское и Чебышева. Для точности деления на кластеры следует применять разные расстояния. Однотипное распределение кластеров, полученное с использованием разных методов определения расстояния, подтверждает обоснованность выбранного метода классификации.

В качестве метода кластеризации (способ вычисления расстояний между кластерами) на 5 этапе рекомендуется использовать метод Варда (Уорда) (Ward's method). Данный метод 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 отклонения. В одну группу объединяются те кластеры, которые дают наименьший прирост общей суммы дистанций. 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. Этот метод отличается от остальных тем, что в нем используются методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами.

Следующий этап связан с определением количества кластеров. В 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.

Седьмой и восьмой этапы связаны с количественной оценкой исследуемых техногенных рисков (индивидуальный и комплексный), их анализом и определением приемлемых расчетных уровней риска.

Оценка территориального техногенного риска реализуется в два этапа. Подготовительный этап связан со сбором статистической информации и методологическим подходом оценки риска (определяется и формируется массив исходных данных). В ходе первого этапа:

- определяются возможные опасности для территорий;
- определяются исходные данные;
- формируется общая целевая информация;
- формируются модели для аналитического исследования рисков.

На этапе реализации проводятся расчеты, аналитическое моделирование рисков и представление результатов анализа, включая картографирование рисков. На основании полученных количественных значений риска разрабатываются рекомендации по управлению рисками на уровне муниципальных образований.

При определении исходных данных для расчета территориальных техногенных рисков выбираются основные количественные значения показателей, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Требуемые исходные данные для расчета рисков

Объект	Показатель риска	Входные данные
Муниципальные образования: <ul style="list-style-type: none"> • города с численностью более 70 тыс. чел; • города с численностью населения менее 70 тыс. чел.; • муниципальные районы) 	Индивидуальный риск	количество погибших при ЧС и происшествиях (чел.); численность населения (чел.)
	Комплексный риск	количество ЧС и происшествий; количество погибших при ЧС и происшествиях (чел.); численность населения (чел.); стоимость жизни и здоровья человека; стоимость объектов техносферы; стоимость природных ресурсов; стоимость ликвидации последствий ЧС (руб.)

Расчет индивидуального и комплексного риска проводится для установления количественного значения риска (приемлемого, повышенного, высокого) с целью определения необходимости и эффективности проведения превентивных мероприятий, а также мероприятий по управлению рисками развития муниципального образования органами исполнительной власти.

Для оценки индивидуального техногенного риска предложен дифференцированный подход, который позволяет детально сравнивать и выявлять наиболее опасные территории независимо от численности населения:

$$R = k \cdot \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{п}}$ – среднее количество погибших в год при определённом виде ЧС и происшествии на заданной территории; $N_{\text{н}}$ – количество населения, проживающего на данной территории; k – дифференцированный показатель:

$$k = \frac{N_i}{N_{\text{ср}} - N_{\text{ср.min}}}, \quad (2)$$

где N_i – численность населения муниципального образования в составе региона; $N_{\text{ср}}$ – средняя численность на рассматриваемой территории; $N_{\text{ср.min}}$ – средняя минимальная численность на рассматриваемой территории.

Для оценки комплексного территориального техногенного риска предложено использовать следующую формулу:

$$R_{\text{T}}^{\text{K}} = \sum_{i=1}^n N_i(Q_i) \cdot P_i(Q_i) \cdot U_i(N_i, Q_i) \leq [R] \quad (3)$$

где n – число видов опасных техногенных событий, $N_i(Q_i)$ – число погибших от опасных техногенных событий, деленное на численность населения; $P_i(Q_i)$ – вероятность появления опасного техногенного события на рассматриваемой территории в единицу времени; $U_i(N_i, Q_i)$ – материальный ущерб от опасного техногенного события и числа человеческих жертв, руб.; $[R]$ – приемлемый уровень риска.

Количественные показатели для оценки рисков, в том числе значения материального ущерба по различным видам техногенных аварий определялись с использованием официальной базы данных АИУС РСЧС. При оценках социального ущерба учитывалась статистическая стоимость человеческой жизни, которую предложено рассчитывать следующим образом:

$$U_{\text{с}} = \text{МРОТ} \cdot 12 \cdot \gamma \quad (4)$$

где γ – средняя продолжительность жизни, принятая равной 70 годам.

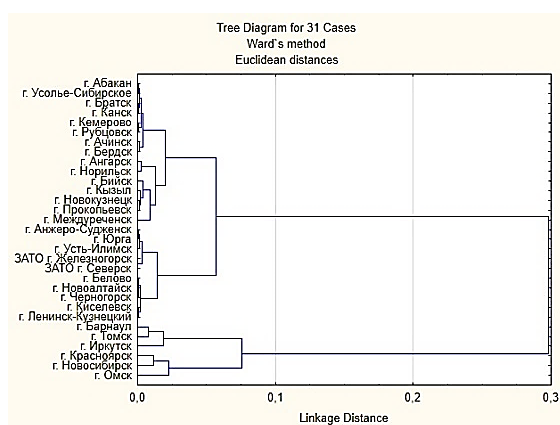
В качестве пилотной территории для отработки данного подхода рассматривается Сибирский федеральный округ, который характеризуется наличием большого числа источников повышенной техногенной опасности.

В третьей главе представлены результаты анализа техногенной безопасности территории, основанного на количественной оценке индивидуального и комплексного риска (таблица 1). Анализ техногенной территориальной безопасности СФО проводится по разным группам административно-территориального деления (в зависимости от численности населения городские и сельские поселения подразделяются на 10 групп согласно Градостроительного кодекса РФ). В работе предлагается проводить анализ территорий СФО по трем укрупненным группам: города с численностью населения свыше 70 тыс. чел., средние и малые города (численность населения менее 70 тыс. чел.) и муниципальные районы. Для каждой территориальной группы получены свои уровни риска. На основе предложенного метода (глава 2) и на базе программного

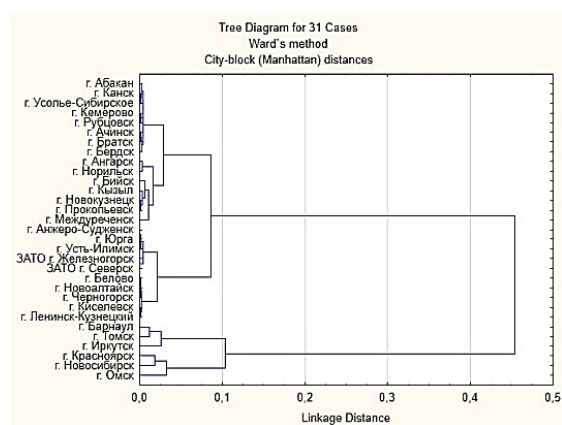
обеспечения STATISTICA представлен детальный расчет территориального риска (индивидуального и комплексного) для городов с численностью населения более 70 тыс. чел.

На рисунке 2 представлены дендрограммы распределения городов на группы кластеров. Распределения на группы кластеров, с использованием разных методов (Евклидовое, Манхэттенское и Чебышева), получились однотипные, что подтверждает обоснованность выбранного способа классификации. Для определения числа кластеров использовался метод k-means (рисунок 3), который позволил выделить 5 однородных групп (рисунок 2 (в)).

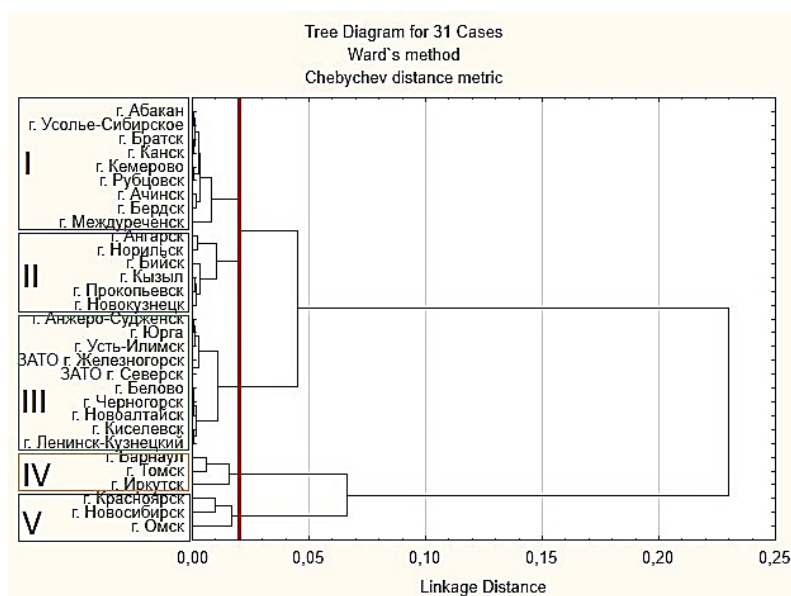
Для каждого кластера были проанализированы опасные техногенные события по разным видам (в городах с численностью более 70 тыс. чел регистрируется 17 различных видов аварий), средние значения которых приведены в таблице 2. В каждой группе кластеров прослеживаются свои доминирующие негативные факторы. Наибольшее количество техногенных происшествий наблюдаются в V кластере. Наименьшие значения получены для III кластера, который будет являться эталонным в данной группе.



а)



б)



в)

Рисунок 2 - Дендрограмма кластеризации крупных городов Сибири методом Варда (а – Евклидово расстояние; б – Манхэттенское; в – Чебышева)

I Cluster		II Cluster		III Cluster	
City	Distance	City	Distance	City	Distance
г. Абакан	0,001190	г. Ангарск	0,001413	г. Анжеро-Судженск	0,000955
г. Ачинск	0,000586	г. Бийск	0,001378	г. Белово	0,001230
г. Бердск	0,001325	г. Кызыл	0,001084	г. Киселевск	0,000790
г. Братск	0,000310	г. Новокузнецк	0,001591	г. Ленинск-Кузнецкий	0,000759
г. Канск	0,000686	г. Норильск	0,002710	г. Новоалтайск	0,001533
г. Кемерово	0,000619	г. Прокопьевск	0,001345	г. Усть-Илимск	0,000431
г. Междуреченск	0,003386			г. Черногорск	0,001264
г. Рубцовск	0,000552			г. Юрга	0,000901
г. Усолье-Сибирское	0,000852			ЗАТО г. Железногорск	0,001566
				ЗАТО г. Северск	0,001672

IV Cluster		V Cluster	
City	Distance	City	Distance
г. Барнаул	0,001120	г. Красноярск	0,007206
г. Иркутск	0,006150	г. Новосибирск	0,000574
г. Томск	0,005312	г. Омск	0,007586

Рисунок 3 – Деление на группы кластеров методом k-means

Таблица 2 - Среднее количество опасных событий по группам кластеров

№ п/п	Факторы	Группы кластеров				
		I	II	III	IV	V
1	Аварии на системах жизнеобеспечения	7	10	2	39	77
2	Аварии на воздушном транспорте	2	3	0	14	28
3	Аварии с выбросом АХОВ	2	2	0	8	11
4	Взрывы на промышленных объектах	1	2	0	2	4
5	Взрывы бытовые	1	3	0	5	8
6	Крупные ДТП	3	5	1	7	41
7	Падение крана	0	0	0	2	5
8	Пожары на объектах с массовым пребыванием людей (ОСМПЛ)	5	18	1	28	82
9	Пожары на промышленных объектах.	5	7	1	23	45
10	Пожары бытовые	37	50	17	145	264
11	Обнаружение АХОВ / РВ	1	1	0	7	12
12	Обрушение конструкций	2	4	1	6	12
13	Аварии на магистральных газо / нефтепроводах	0	0	0	0	2
14	Аварии на промышленных объектах	2	7	3	1	2
15	Авария на ж/д транспорте	0	1	0	1	2
16	Авария на водном транспорте	1	0	0	2	4
17	Аварии с выбросом радиоактивных веществ (РВ)	0	0	0	1	5

В таблице 3 приведены количественные значения индивидуального риска по каждому городу, а также значения приемлемого уровня индивидуального техногенного риска.

Таблица 3 - Индивидуальный техногенный риск по кластерам

№	Город	Численность населения	Расчетный параметр k (2)	Индивидуальный риск	Приемлемый уровень	Повышенный уровень
I	г. Абакан	173200	0,62	$1,43 \cdot 10^{-5}$	[0; $1,2 \cdot 10^{-5}$]	(1,2·10 ⁻⁵ ; 4,5·10 ⁻⁵)
	г. Ачинск	112000	0,4	$1,43 \cdot 10^{-5}$		
	г. Бердск	104334	0,37	$1,07 \cdot 10^{-5}$		
	г. Братск	249657	0,89	$1,43 \cdot 10^{-5}$		
	г. Канск	98500	0,35	$1,79 \cdot 10^{-5}$		
	г. Кемерово	556900	1,99	$2,12 \cdot 10^{-5}$		
	г. Междуреченск	97900	0,35	$2,86 \cdot 10^{-5}$		
	г. Рубцовск	143000	0,51	$1,79 \cdot 10^{-5}$		
г. Усолье-Сибирское	85570	0,31	$1,43 \cdot 10^{-5}$			
II	г. Ангарск	224630	0,81	$2,15 \cdot 10^{-5}$		
	г. Бийск	200000	0,72	$3,22 \cdot 10^{-5}$		
	г. Кызыл	108070	0,39	$2,15 \cdot 10^{-5}$		
	г. Новокузнецк	552400	1,98	$2,86 \cdot 10^{-5}$		
	г. Норильск	173500	0,62	$2,15 \cdot 10^{-5}$		
III	г. Прокопьевск	196400	0,70	$2,51 \cdot 10^{-5}$		
	г. Анжеро-Судженск	77600	0,28	$3,58 \cdot 10^{-6}$		
	г. Белово	128100	0,46	$1,07 \cdot 10^{-5}$		

Окончание таблицы 3

№	Город	Численность населения	Расчетный параметр k (2)	Индивидуальный риск	Приемлемый уровень	Повышенный уровень
	г. Киселевск	96200	0,34	$1,07 \cdot 10^{-5}$	[0; $1,2 \cdot 10^{-5}$]	$(1,2 \cdot 10^{-5}; 4,5 \cdot 10^{-5})$
	г. Ленинск-Кузнецкий	99000	0,35	$7,16 \cdot 10^{-6}$		
	г. Новоалтайск	73769	0,26	$1,07 \cdot 10^{-5}$		
	г. Усть-Илимск	96311	0,35	$3,58 \cdot 10^{-6}$		
	г. Черногорск	76259	0,27	$7,16 \cdot 10^{-6}$		
	г. Юрга	81700	0,29	$3,58 \cdot 10^{-6}$		
	ЗАТО г. Железногорск	90100	0,32	0		
IV	г. Барнаул	640000	2,29	$6,09 \cdot 10^{-5}$		
	г. Иркутск	580708	2,08	$8,95 \cdot 10^{-5}$		
	г. Томск	596500	2,14	$4,65 \cdot 10^{-5}$		
V	г. Красноярск	1096073	3,92	$7,88 \cdot 10^{-5}$		
	г. Новосибирск	1618000	5,79	$1,1 \cdot 10^{-4}$		
	г. Омск	1154116	4,13	$1,4 \cdot 10^{-4}$		

Наименьшие значения риска получились для третьей группы. Данный кластер принимается в качестве эталонной группы. Определение приемлемого уровня риска основывалось на значениях доверительного интервала для данного кластера (таблица 4).

Таблица 4 – Определение доверительных интервалов

	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент Стьюдента	Доверительный интервал
Эталонная группа	$5,73 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	5	[0; $1,2 \cdot 10^{-5}$]
Выборка по всем городам с численностью более 70 тыс. чел	$2,85 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	2,8	$(1,2 \cdot 10^{-5}; 4,5 \cdot 10^{-5})$

Значение зоны повышенного риска определено аналогично (доверительный интервал по всей выборке), при этом верхняя граница зоны повышенного риска оказалась равной $4,5 \cdot 10^{-5}$. Таким образом были получены три зоны для анализа риска городов СФО с численностью более 70 тыс. чел (рисунок 4): приемлемый уровень $R \leq 1,2 \cdot 10^{-5}$; повышенный $1,2 \cdot 10^{-5} < R \leq 4,5 \cdot 10^{-5}$; высокий уровень $R > 4,5 \cdot 10^{-5}$.

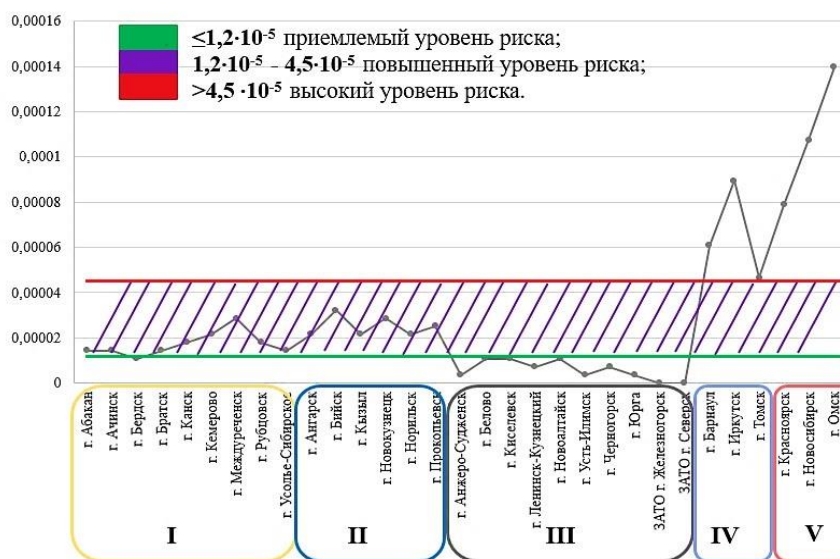


Рисунок 4 – Кривая изменения индивидуального риска по городам СФО с численностью населения более 70 тыс. чел

В зоне приемлемого уровня риска находится 10 городов, которые входят в 3 кластер, в зоне повышенного риска находится 15 городов (1 и 2 кластеры), и в зоне высокого риска 6 городов из 4 и 5 кластеров (рисунок 4).

Аналогичные расчеты проведены для городов с численностью населения менее 70 тыс. чел. и для муниципальных районов СФО. Для городов с численностью менее 70 тыс. чел. установлены следующие нормативные уровни риска: приемлемый $R \leq 3,7 \cdot 10^{-6}$; повышенный $3,7 \cdot 10^{-6} < R \leq 5,5 \cdot 10^{-6}$; высокий $R > 5,5 \cdot 10^{-6}$. В зоне высокого риска находится девять городов с численностью населения менее 70 тыс. чел., в зоне повышенного риска – двенадцать; зоне приемлемого риска – двадцать пять.

При анализе муниципальных районов, данный подход позволил разбить 268 административно-территориальных единиц на пять однородных групп. Нормативные значения риска установлены следующие: приемлемый уровень $R \leq 2 \cdot 10^{-6}$; повышенный уровень $2 \cdot 10^{-6} < R \leq 4,4 \cdot 10^{-6}$; высокий уровень $R > 4,4 \cdot 10^{-6}$. В зоне приемлемого уровня находятся 150 муниципальных районов, в зоне повышенного уровня риска 57 муниципальных районов и в зоне высокого находятся 61 район.

Аналогичным образом проведены расчеты комплексного техногенного территориального риска (3), проведено ранжирование (таблица 5) и на рисунке 5 представлено распределение риска по муниципальным образованиям Сибири.

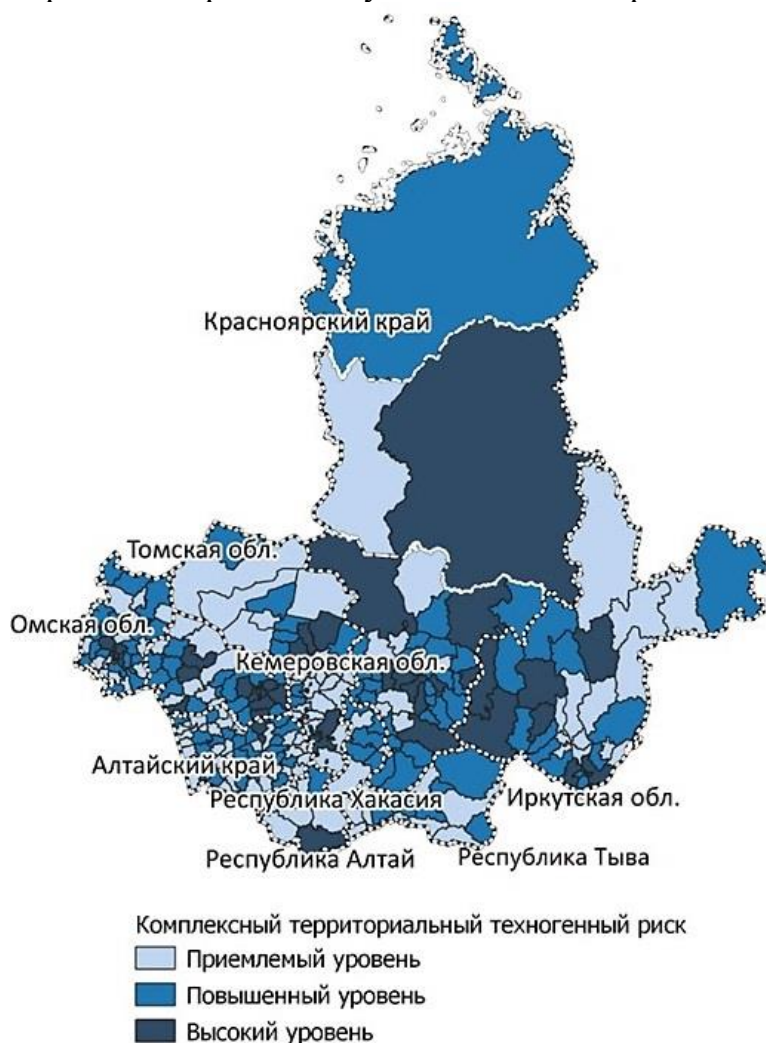


Рисунок 5 – Пространственное распределение комплексного техногенного территориального риска

Таблица 5 – Уровни комплексного техногенного территориального риска

Территориальные группы	Уровень риска		
	Приемлемый	Повышенный	Высокий
Города с численностью населения более 70 тыс. чел.	$R_T^K \leq 2,1$	$2,1 < R_T^K \leq 27$	$R_T^K > 27$
Города с численностью населения менее 70 тыс. чел.	$R_T^K \leq 0,03$	$0,03 < R_T^K \leq 0,35$	$R_T^K > 0,35$
Муниципальные районы	$R_T^K \leq 0,07$	$0,07 < R_T^K \leq 1,1$	$R_T^K > 1,1$

При анализе комплексного техногенного территориального риска определено, что в зоне высокого риска находится 47 территориальных образований. Наибольшая опасность сосредоточена в крупных городах: Красноярск, Омск, Новосибирск

В четвертой главе представлен алгоритм поддержки принятия решений по управлению территориальным техногенным риском. Данный алгоритм является частью информационной системе территориального управления рисками и безопасностью (ИСТУ РБ) (рисунок 6). Концепция ИСТУ РБ разработана под руководством Москвичева В.В., Потапова В.П., Тасейко О.В.



Рисунок 6 - Алгоритм принятия управленческих решений

В ИСТУ РБ поступают статистические данные, характеризующие С-П-Т систему (территорию). ИСТУ РБ состоит из двух подсистем:

1) информационная подсистема «Мониторинг». В данной подсистеме происходит сбор и систематизация информационных потоков систем с

последующей обработкой, анализом и организацией хранения исходных и обработанных данных;

2) информационная подсистема «Риск-анализ». В данной подсистеме реализована идентификация риска (выявление, классификация, оценка и определение допустимого уровня).

Прототип информационно-вычислительной подсистемы «Риск-анализ» разработан с участием автора на базе Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий в рамках государственного задания.

После прохождения информации через представленные подсистемы данные обрабатываются до количественных значений риска. В зависимости от уровня риска формируется заключение, в котором прописываются мероприятия по планированию и управлению территорией. В случае если уровень риска приемлемый, то формируется заключение о том, что дополнительных мероприятий по уменьшению риска на рассматриваемой территории не требуется. При выявлении повышенного или высокого уровня риска проводится дополнительный анализ данных методом решения обратных задач для выявления фактора или группы факторов, вносящих основной вклад в формирование техногенной нагрузки.

Для реализации, поставленной задачи наилучшим образом, подходит метод решения обратных задач, который позволяет определить доминирующие факторы, влияющие на уровень риска и выявить параметры, нуждающиеся в управлении. В оптимальных условиях в рамках концепции ненулевого риска суммарное значение комплексного риска по различным видам техногенных событий не должно превышать приемлемого значения:

$$R_T^K = \sum_{i=1}^n R_{T_i}^K = R_{T_1}^K + R_{T_2}^K \dots + R_{T_n}^K \quad (5)$$

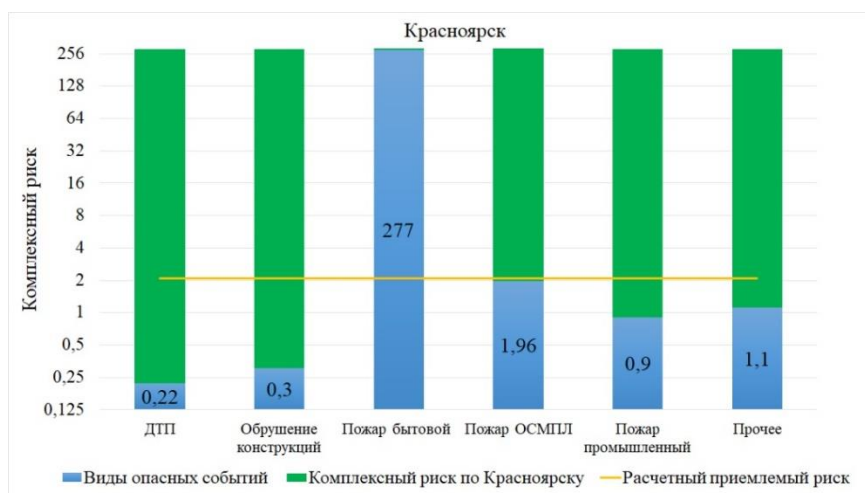
$$R_{T_1}^K \ll [R]; R_{T_2}^K \ll [R]; \dots R_{T_n}^K \ll [R],$$

где $R_{T_i}^K$ – комплексный техногенный риск по определенному виду событий.

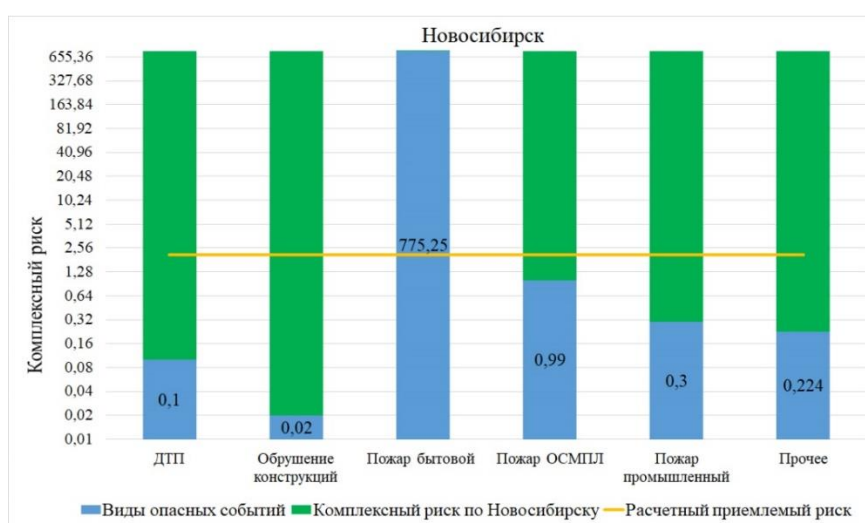
На основе полученной информации формируется промежуточный продукт – заключение о мероприятиях, направленных на минимизацию конкретного фактора риска за счет повышения защищенности, снижения техногенной опасности и повышения устойчивости защищаемых объектах. Заключение о мероприятиях направляется лицу, принимающему решение, который анализирует полученную информацию и согласовывает мероприятия в рамках экономического потенциала. Результатом данной системы будут нормативные документы (приказы или постановления), прописывающие методы управления рисками. В зависимости от опасного фактора (вида техногенного события) и экономического потенциала превентивные мероприятия будут различны.

Пример дополнительного анализа (метод решения обратной задачи) представлен для крупных городов Сибири (Красноярск, Новосибирск, Омск), входящих в одну группу кластеров и имеющих наибольший комплексный техногенный территориальный риск.

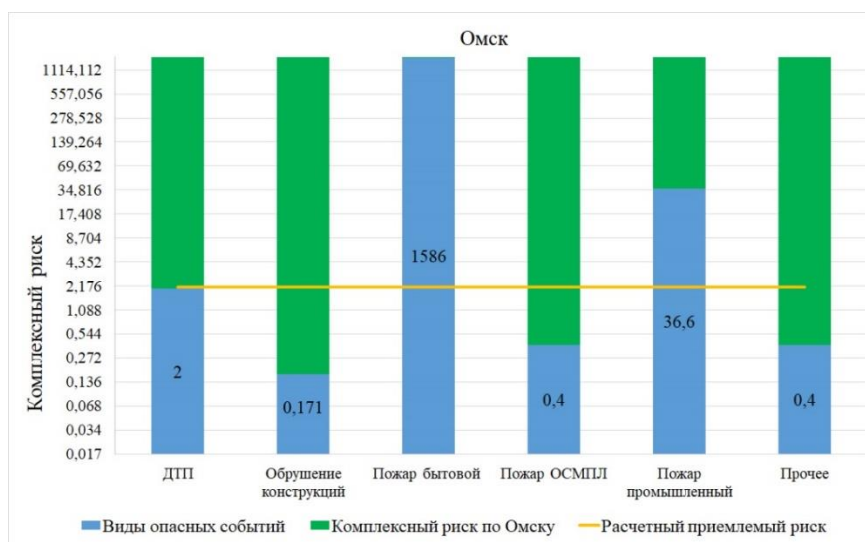
На рисунке 7 представлен график распределения комплексного техногенного территориального риска по каждому виду опасных событий.



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Распределение комплексного техногенного территориального риска по видам опасностей для крупных городов Сибири (а – Красноярск, б – Новосибирск, в – Омск)

Расчетным способом определено, что основная техногенная нагрузка в городских образованиях формируется за счет различных пожаро-взрывоопасных ситуации (наибольшая нагрузка связана с бытовыми пожарами) и крупных дорожно-транспортных происшествий. Наименьший риск получен для показателей «Обрушение конструкций» и «Прочее», куда входят аварии на воздушном, ж/д и речном транспорте, аварии на промышленных объектах, аварии с выбросом РВ / АХОВ, взрывы бытовые и промышленные, аварии на системах жизнеобеспечения, обнаружение РВ/АХОВ, падение крана и аварии на магистральных нефтегазопроводах.

В задачах управления риском в соответствии с (3) и (5) необходимо минимизировать комплексный территориальный техногенный риск $R_T^K = \sum_{i=1}^n R_{T_i}^K \rightarrow \min$, значение которого зависит от двух основных характеристик: ущерб $N_i(Q_i)$ и число погибших $U_i(N_i, Q_i)$:

Минимизация риска связана с двухкритериальной задачей управления – необходимо минимизировать количество фатальных исходов и ущерб:

$$\begin{aligned} N_i(Q_i) &\rightarrow \min \\ U_i(N_i, Q_i) &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (6)$$

Переводя один из критериев в ограничение C_i , получаем две задачи оптимизации:

$$\begin{cases} N_i(Q_i) \rightarrow \min \\ U_i(N_i, Q_i) \leq C_1 \end{cases} \quad \begin{cases} U_i(N_i, Q_i) \rightarrow \min \\ N_i(Q_i) \leq C_2 \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, алгоритм задачи оптимизации с позиции минимизации рисков может быть представлен следующим образом:

- 1 Шаг. Определяем доминирующий фактор риска $R_{T_i}^K \gg [R]$.
- 2 Шаг. Выбираем мероприятия, направленные на минимизацию конкретного фактора риска.
- 3 Шаг. Определяем экономический потенциал для реализации мероприятий, направленных на снижение количества летальных исходов. Каждое мероприятие для минимизации летальных исходов от конкретного фактора риска характеризуется определенной стоимостью L_{ij}^1 , которая входит в общие затраты L^1 , выделяемые лицу, принимающему решения в зависимости от ведомственной принадлежности и приоритетных задач. Таким образом, задача управления параметром $N_i(Q_i)$ имеет ограничения:

$$\sum_{j=1}^m N_i(Q_i) L_{ij}^1 \leq L^1 \quad (8)$$

- 4 Шаг. Определяем экономический потенциал для реализации мероприятий, направленных на снижение ущерба, которые характеризуются определенной стоимостью L_{ij}^2 :

$$\sum_{j=1}^m U_i(N_i, Q_i) L_{ij}^2 \leq L^2 \quad (9)$$

На рисунке 8 представлены графики изменения комплексного территориального техногенного риска при управлении двумя показателями - изменения значений ущерба и смертельных исходов (уравнения (6) и (7)).

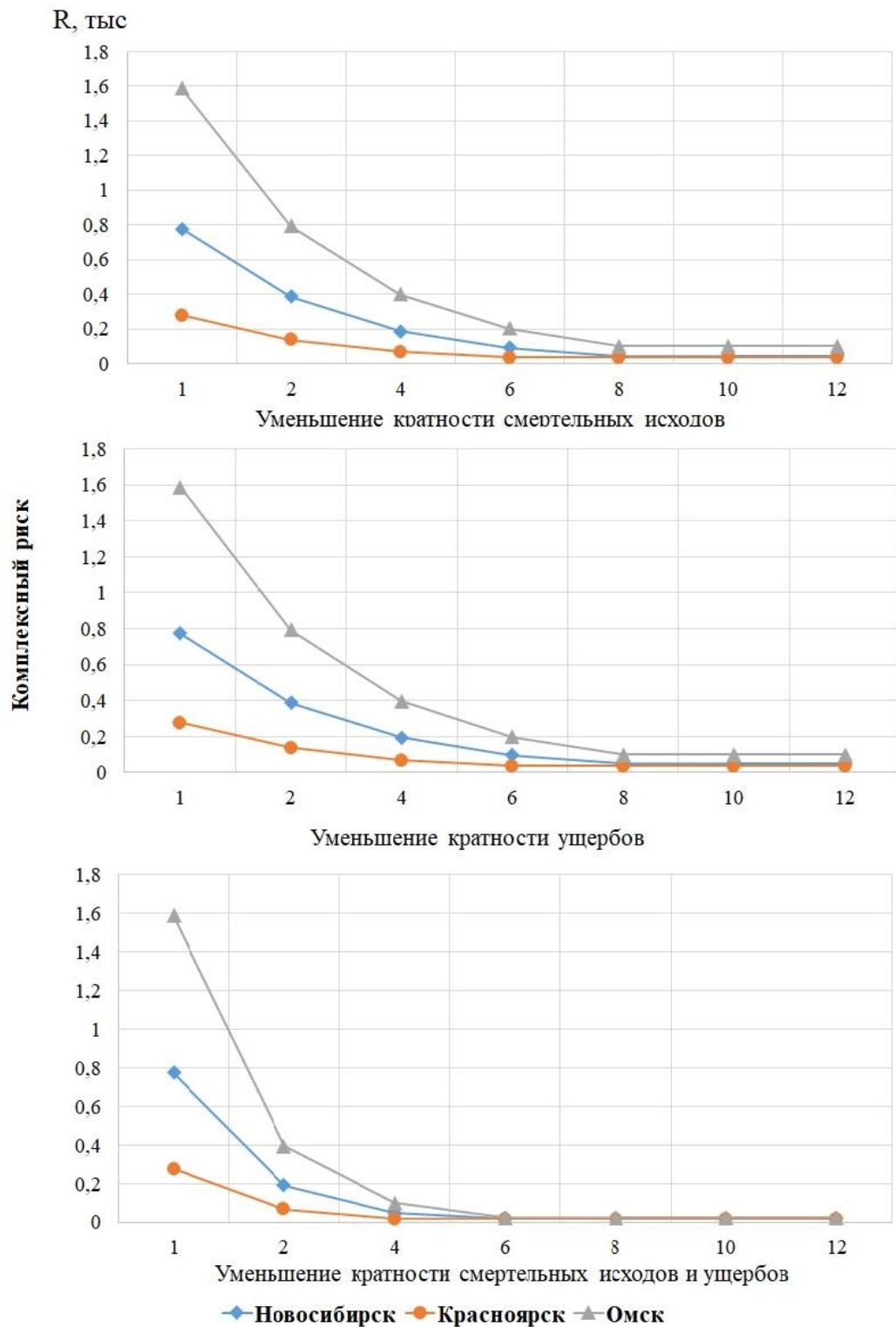


Рисунок 8 – Графики изменения риска при управлении ущербом и смертностью населения

Снижение одного из показателей – количества летальных исходов или последствий, 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, и страхование имущества, которое позволит снизить ущербы в случае наступления опасного техногенного события.

Идентификация основных факторов высокого техногенного территориального риска и выбор метода управления риском позволяют конкретизировать деятельность и предупредительные мероприятия по его минимизации.

Для поддержания необходимого уровня устойчивости к негативному воздействию разработана методика расчета количественных значений защищенности и выполнен анализ количества спасательных формирований и медицинских учреждений для территорий СФО:

$$Z_{(\tau)} = \left(\frac{N_{\text{ПЧ}}^{\text{Ф}} + N_{\text{МУ}}^{\text{Ф}}}{N_{\text{ПЧ}}^{\text{Н}} + N_{\text{МУ}}^{\text{Н}}} \right) \cdot 100 \geq 100\% \quad (8)$$

где $N_{\text{ПЧ}}^{\text{Ф}}, N_{\text{МУ}}^{\text{Ф}}$ – фактические значения пожарно-спасательных формирований и медицинских учреждений на рассматриваемой территории; $N_{\text{ПЧ}}^{\text{Н}}, N_{\text{МУ}}^{\text{Н}}$ – нормативные значения пожарно-спасательных формирований и медицинских учреждений на рассматриваемой территории.

Для каждой территориальной группы получены количественные значения защищенности, на основании которых было определено, что в 18 городах с численностью населения более 70 тыс. чел., в 13 городах с численность населения менее 70 тыс. чел и в 89 муниципальных районах необходимо решать задачу повышения защищенности территории, которая связана с увеличением числа и модернизацией аварийно-спасательных формирований и служб экстренного реагирования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1) Систематизирована основная статистическая информация по опасным техногенным событиям на территории СФО. Для каждого территориального образования СФО определена и проанализирована уязвимость территории, которая включает вероятность наступления опасного техногенного события, вероятность наступления ЧС и вероятность гибели человека при опасных техногенных событиях.

2) Проанализированы информационно-аналитические системы и программные комплексы управления и принятия решений, выявлена их узкая специализированная направленность, не позволяющая решать задачи управления на региональном и муниципальном уровне.

3) Рассмотрены и проанализированы модели и методы оценки техногенных рисков, включая нормативно-техническую документацию, разработки российских и зарубежных ученых. Определена общая основа математических подходов анализа рисков. Выявлены области их практического применения и ряд методологических проблем и противоречий, связанных с недостаточной проработанностью математического аппарата и обоснованностью приемлемого уровня риска.

4) Разработана методика и выполнена оценка нормативного уровня индивидуальных и комплексных техногенных территориальных рисков муниципальных образований и субъектов СФО. Методика, основана на методах многомерной статистики, что позволило определить допустимый уровень риска для

каждой рассматриваемой территориальной группы (крупные города; средние и малые города; муниципальные районы).

5) Проведено ранжирование территорий СФО по уровню техногенной опасности (высокоопасные, повышенной опасности, безопасные). Построены карты рисков с использованием ГИС-технологий.

6) Представлен алгоритм поддержки принятия решений для управления территориальными образованиями, который является частью информационной системы территориального управления рисками и безопасностью.

7) Предложена методика количественной оценки защищенности территорий с последующим расчетом на примере территориальных образований СФО.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В РАБОТАХ:

Статьи в журналах, индексируемых в информационно-аналитических системах научного цитирования (WoS, Scopus, ВАР):

1. Москвичев В.В., **Постникова У.С.**, Тасейко О.В. Кластерный анализ в оценке территориальных рисков социально-природно-техногенных систем. Вычислительные технологии. 2022; 27(3):112–124.

2. Москвичев В.В., Постникова У.С., Тасейко О.В. Управление техногенной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода // Проблемы управления. 2022. № 3. С. 16-28.

3. Makhutov N.A, Moskvichev V.V., **Postnikova U.S.** Failure and accident risks of technical systems // RT&A, Special Issue № 3 (66) Vol. 17. 2022. С. 49-58.

4. Taseiko, O.V., **Postnikovaa, U.S.**, Georgieva, M., Milosevic, H., Panic, S. Methods for analyzing heterogeneous data in the tasks of assessing territorial risks // CEUR Workshop Proceedings this link is disabled, 2021, 2930, стр. 124–128

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. Москвичев В.В., Прохоров В.А., **Иванова (Постникова) У.С.** Техногенно-экологические риски: Красноярский край, Республика Саха (Якутия) // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 4. С. 53-59.

7. **Ivanova (Postnikova) U.S.**, Chernykh D.A., Taseiko O.V., Nikulina T.N. The differentiated approach to assessment individual risk of emergency // CEUR Workshop Proceedings. SDM 2019 - Proceedings of the All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes". 2019. С. 354-358.

8. **Иванова (Постникова) У.С.**, Москвичев В.В., Тасейко О.В. Ранжирование территорий Красноярского края с использованием риск-ориентированного подхода // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 4. С. 48-63.

9. Москвичев В.В., Тасейко О.В., **Иванова (Постникова) У.С.**, Черных Д.А. Базовые региональные риски развития территорий Сибирского федерального округа // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23. № 4. С. 95-109.

10. Москвичев В.В., Тасейко О.В., **Иванова (Постникова) У.С.**, Черных Д.А. Базовые риски природно-техногенной безопасности Красноярской промышленной агломерации // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 1. С. 42-47.